



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Τεχνοοικονομική μελέτη υβριδικού συστήματος Ανανεώσιμων**  
**Πηγών Ενέργειας**

Διπλωματική Εργασία

Μαχαίρας Ευάγγελος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούλιος 2023





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Τεχνοοικονομική μελέτη υβριδικού συστήματος Ανανεώσιμων**  
**Πηγών Ενέργειας**

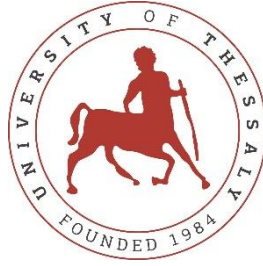
Διπλωματική Εργασία

Μαχαίρας Ευάγγελος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούλιος 2023





**UNIVERSITY OF THESSALY**  
**SCHOOL OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**Techno-economic analysis of Hybrid Renewable Energy System**

Diploma Thesis

Machairas Evangelos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

July 2023



Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

**Μπαργιώτας Δημήτριος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Λουτρίδης Σπυρίδων**

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Χροναίος Αλέξανδρος**

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

Μαχαίρας Ευάγγελος



**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

Machairas Evangelos



## Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο πέρας των σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών κλείνει ένας κύκλος με αρκετές δυσκολίες αλλά και πολλές ευχάριστες στιγμές.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αξιότιμο καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα που με εμπιστεύτηκε και μου ανέθεσε την παρούσα διπλωματική εργασία.

Επίσης, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Κωνσταντίνο Πιπή, για την καθοδήγηση και την υπομονή του, προσφέροντάς μου χρήσιμες συμβουλές και κατατοπιστικές οδηγίες για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ τους καθηγητές της σχολής Σπυρίδωνα Λουτρίδη και Αλέξανδρο Χροναίο για την προθυμία τους να ενταχθούν στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την οικογένειά μου, που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε όλα τα βήματα της ζωής μου, παρέχοντας μου τη δυνατότητα να εκπληρώσω τα όνειρά μου φοιτώντας στη σχολή που μου προσέφερε εκτενείς γνώσεις και προοπτικές εξέλιξης.



# Τεχνοοικονομική μελέτη υβριδικού συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Μαχαίρας Ευάγγελος

## Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ενεργειακές ανάγκες για τις ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνονται συνεχώς. Το ζήτημα της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί αξιοσημείωτο πρόβλημα για τα ελληνικά νησιά. Πολλά από αυτά δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο και εξυπηρετούνται από αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Η χρήση αυτών των εισαγόμενων καυσίμων, επιφέρει όχι μόνο την αύξηση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για αυτούς τους λόγους, καθίσταται αδήριτη η ανάγκη για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι ανεξάντλητες και φιλικότερες προς το περιβάλλον. Έτσι, πραγματοποιείται μελέτη για την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Σύμη, η οποία δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο. Αρχικά, αναλύεται η εξέλιξη της ενέργειας σε παγκόσμιο και εγχώριο επίπεδο. Έπειτα, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για τη συγκρότηση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, πραγματοποιείται η τεχνοοικονομική μελέτη στην οποία χρησιμοποιώντας το λογισμικό HOMER Pro, σχεδιάζεται και επιλέγεται το βέλτιστο υβριδικό σύστημα που ικανοποιεί τις ενεργειακές απαιτήσεις του νησιού.

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα επιτυγχάνει εξοικονόμηση ίση με 56,42% σε βάθος εικοσαετίας, η οποία οφείλεται στις ΑΠΕ που έχουν ποσοστό διείσδυσης 96,2%. Ξεχωρίζουν τα σημαντικά μικρότερα κόστη παραγόμενης κιλοβατώρας από τα φωτοβολταϊκά (0,015 €/kWh) και τις ανεμογεννήτριες (0,0263 €/kWh), σε σύγκριση με τις γεννήτριες πετρελαίου (0,22 €/kWh). Παράλληλα, μειώνει δραματικά την ετήσια κατανάλωση πετρελαίου και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με το υπάρχον σύστημα. Επομένως, η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος με το

προτεινόμενο υβριδικό σύστημα επιτυγχάνει πολλαπλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, εκπληρώνοντας το στόχο αυτής της έρευνας.

**Λέξεις-κλειδιά:**

Υβριδικό σύστημα, ΑΠΕ, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, τεχνοοικονομική μελέτη, αποθήκευση ενέργειας, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μετατροπείς, συμβατικές μονάδες παραγωγής, διείσδυση ΑΠΕ, HOMER

## **Techno-economic analysis of Hybrid Renewable Energy System**

Machairas Evangelos

### **Abstract**

In recent decades, the energy needs for human activities have been continuously increasing. The issue of electricity is a notable problem for the Greek islands. Many islands are not connected to the Greek electrical grid and are served by autonomous power generation systems that are powered by using fossil fuels. Using these non-domestic fuels not only increases the cost of electricity production but also has adverse environmental effects. For these reasons, the need to harness renewable energy sources that are inexhaustible and more environmentally friendly becomes unmistakable. Thus, a study is being carried out for the installation of a hybrid electricity generation system in Symi, which is not connected to the grid. First, the evolution of energy at global and domestic level is analyzed. Then, the theoretical background required for the construction of a hybrid power generation system is presented. Finally, the techno-economic study is conducted in which, using the HOMER Pro software, the optimal hybrid system that meets the island's energy requirements is designed and selected. The results demonstrate that the proposed hybrid system achieves savings equal to 56.42% over a twenty-year period, which is due to renewable energy sources that have a penetration rate of 96.2%. The significantly lower costs per kilowatt hour produced by photovoltaics (€0.015/kWh) and wind turbines (€0.0263/kWh) stand out, compared to diesel generators (€0.22/kWh). At the same time, it dramatically reduces annual oil consumption and carbon dioxide emissions compared to the existing system. Therefore, replacing the existing system with the proposed hybrid system achieves multiple economic and environmental benefits, fulfilling the objective of this research.

**Keywords:** Hybrid system, Renewable Energy Sources, electricity production, Non-Interconnected Islands, techno-economic study, energy storage, photovoltaics, wind turbines, inverters, conventional generation units, RES penetration

## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	xiii
Περίληψη.....	xv
Abstract .....	xvii
Πίνακας περιεχομένων .....	xix
Κατάλογος εικόνων .....	xxiii
Κατάλογος διαγραμμάτων .....	xxv
Κατάλογος πινάκων .....	xxviii
Συνοτομογραφίες .....	xxx
Κεφάλαιο 1 .....	1
Ενέργεια.....	1
1.1 Η ενεργειακή εξέλιξη κατά τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας .....	1
1.2 Η ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση .....	3
1.3 Το ενεργειακό σκηνικό στην Ελλάδα.....	7
1.3.1 Από τις Τοπικές Εταιρείες στην Εθνικοποίηση: Μια Σύντομη Ιστορία της Ελληνικής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	7
1.3.2 Το Εθνικό Σχέδιο για την αντιμετώπιση των ενεργειακών θεμάτων .....	8
1.3.3 Περαιτέρω ανάλυση του ΕΣΕΚ για τις ΑΠΕ.....	15
1.4 Η ενεργειακή κατάσταση των ελληνικών νησιών .....	19
Κεφάλαιο 2 .....	25
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Υβριδικών Συστημάτων Παραγωγής Ενέργειας .....	25
Κεφάλαιο 3 .....	27
Η νήσος Σύμη .....	27
3.1 Γενικά στοιχεία .....	27
3.2 Η σημερινή ενεργειακή κατάσταση.....	29
Κεφάλαιο 4.....	33

<b>Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....</b>	<b>33</b>
4.1 Εισαγωγή.....	33
4.2 Ηλιακή Ενέργεια .....	34
4.3 Αιολική Ενέργεια .....	35
4.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	36
4.5 Ενέργεια από Βιομάζα.....	38
4.6 Γεωθερμική Ενέργεια .....	40
4.7 Ενέργεια από τη θάλασσα .....	41
4.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	42
4.9 Υβριδικό σύστημα ενέργειας βάσει της ελληνικής νομοθεσίας .....	44
<b>Κεφάλαιο 5 .....</b>	<b>45</b>
<b>Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας .....</b>	<b>45</b>
5.1 Επισκόπηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.....	45
5.2 Συστήματα Αντλησιοταμίευσης .....	47
5.3 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα .....	48
5.4 Υπερπυκνωτές.....	50
5.5 Μπαταρίες.....	52
5.6 Θερμική αποθήκευση ενέργειας .....	56
5.7 Επιλογή μοντέλου συσσωρευτή .....	58
<b>Κεφάλαιο 6 .....</b>	<b>61</b>
<b>Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία.....</b>	<b>61</b>
6.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	61
6.1.1 Βασικές Αρχές.....	61
6.1.2 Μορφές Ακτινοβολίας .....	62
6.2 Φωτοβολταϊκή κυψέλη .....	62
6.3 Φωτοβολταϊκή μονάδα .....	64
6.4 Φωτοβολταϊκή διάταξη .....	65
6.5 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων.....	66

6.6 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στη Σύμη.....	68
<b>Κεφάλαιο 7 .....</b>	<b>73</b>
<b>Αιολική Τεχνολογία .....</b>	<b>73</b>
7.1 Άνεμος .....	73
7.2 Ανεμογεννήτρια.....	77
7.2.1 Βασικά στοιχεία και λόγοι ευρείας χρήσης.....	77
7.2.2 Ταξινόμηση και χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών.....	77
7.2.3 Δομή ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα .....	80
7.2.4 Ενεργειακές μετατροπές και απώλειες.....	83
7.2.5 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας .....	84
7.2.6 Συντελεστής εκμετάλλευσης ανεμογεννήτριας CF και μέθοδοι ελέγχου ισχύος.....	86
7.2.7 Αιολικά Πάρκα.....	88
7.2.8 Υπεράκτια αιολικά πάρκα.....	90
7.3 Αιολική εγκατάσταση στη Σύμη .....	92
<b>Κεφάλαιο 8.....</b>	<b>96</b>
<b>Ηλεκτρονικά Ισχύος.....</b>	<b>96</b>
8.1 Τι είναι τα ηλεκτρονικά ισχύος.....	96
8.2 Κατηγορίες των διατάξεων ισχύος .....	97
8.3 Μετατροπείς του υβριδικού συστήματος της Σύμης .....	98
<b>Κεφάλαιο 9 .....</b>	<b>104</b>
<b>Μοντελοποίηση του υβριδικού συστήματος .....</b>	<b>104</b>
9.1 Οι λειτουργίες του λογισμικού HOMER Pro .....	104
9.2 Το ηλεκτρικό φορτίο της Σύμης.....	106
9.3 Κλιματικά δεδομένα του νησιού.....	108
9.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος κάθε στοιχείου του υβριδικού συστήματος .....	112
9.4.1 Ανάλυση συμβατικών μονάδων.....	112
9.4.2 Ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης .....	116
9.4.3 Ανάλυση ανεμογεννήτριας.....	118
9.4.4 Ανάλυση συστήματος αποθήκευσης.....	120
9.4.5 Ανάλυση μετατροπέων .....	121
9.5 Οικονομικά δεδομένα.....	122
9.6 Στρατηγική λειτουργίας συστήματος.....	124

9.7 Περιορισμοί.....	125
<b>Κεφάλαιο 10 .....</b>	<b>127</b>
<b>Τεχνοοικονομική ανάλυση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος .....</b>	<b>127</b>
10.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος.....	127
10.2 Οικονομική ανάλυση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος.....	128
10.3 Λειτουργία συμβατικών μονάδων.....	131
10.4 Λειτουργία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης .....	137
10.5 Λειτουργία αιολικού πάρκου .....	138
10.6 Λειτουργία συστήματος αποθήκευσης .....	140
10.7 Λειτουργία μετατροπών .....	143
10.8 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος .....	145
10.9 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.....	149
10.10 Αξιολόγηση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος.....	150
<b>Κεφάλαιο 11 .....</b>	<b>152</b>
<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>152</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>154</b>

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 3.1: Η Σύμη.....	28
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση της Σύμης μέσω του Google Earth Pro .....	29
Εικόνα 4.1: Δυνατότητα κάλυψης των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών από κάθε ενεργειακό πόρο .....	33
Εικόνα 4.2: Α/Γ Οριζοντίου άξονα .....	36
Εικόνα 4.3: Α/Γ Κάθετου άξονα .....	36
Εικόνα 4.4: Διαδικασίες μετατροπής βιοηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικά τελικά προϊόντα .....	39
Εικόνα 5.1 Κατάταξη των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας με κριτήριο τη μορφή αποθήκευσης.....	45
Εικόνα 5.2: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης .....	47
Εικόνα 5.3: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος CAES .....	49
Εικόνα 5.4: Σχηματική απεικόνιση ενός υπερπυκνωτή.....	51
Εικόνα 5.5: Τοπολογία συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) ενσωματωμένη με θερμική αποθήκευση ενέργειας.....	57
Εικόνα 5.6: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή LG Chem RESU 10 .....	60
Εικόνα 6.1: Απεικόνιση κατασκευαστικής διάταξης φωτοβολταϊκής κυψέλης: .....	63
Εικόνα 6.2: Φωτοβολταϊκά πλαίσια με σταθερή βάση στήριξης .....	67
Εικόνα 6.3: Φωτοβολταϊκά πλαίσια με ιχνηλάτη διπλού άξονα .....	68
Εικόνα 6.4: Χωροθέτηση ΦΒ πάρκου στο βόρειο τμήμα του νησιού με χρήση Google Earth Pro .....	70
Εικόνα 6.5: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή LX-550M PERC HC Bifacial .....	72
Εικόνα 7. 1: Ατμοσφαιρική κυκλοφορία του αέρα .....	73
Εικόνα 7.2: Τοπικοί άνεμοι Α. Παραλία ημέρα Β. Παραλία νύκτα Γ. Πεδιάδα ημέρα Δ. Πεδιάδα νύκτα .....	74
Εικόνα 7. 3: Αριστερά ανεμόμετρο, δεξιά ανεμοδείκτης .....	75
Εικόνα 7.4: Παγκόσμιο αιολικό δυναμικό .....	76
Εικόνα 7.5: Ελληνικό αιολικό δυναμικό .....	76
Εικόνα 7.6: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα Darrieus αριστερά και Savonius δεξιά .....	79

Εικόνα 7.7: Φωτογραφία αιολικού πάρκου στην Πύλο Μεσσηνίας .....	80
Εικόνα 7.8: Θεμελίωση μίας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα .....	81
Εικόνα 7.9: Αιολικό πάρκο στη Βοσνία και Ερζεγοβίνη .....	89
Εικόνα 7.10: Χωροθέτηση ανεμογεννητριών σε αιολικό πάρκο .....	90
Εικόνα 7.11: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο .....	92
Εικόνα 7.12: Τοποθεσία αιολικού πάρκου με βάση το αιολικό δυναμικό της Σύμης .....	93
Εικόνα 7.13: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή ανεμογεννήτριας EWT-DW61 .....	95
Εικόνα 8.1: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή SUNGROW SG350HX .....	100
Εικόνα 8.2: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή Solis RHI-6K-48ES-5G .....	103
Εικόνα 9.1: Αλληλεπίδραση μεταξύ των λειτουργιών του λογισμικού HOMER Pro .....	106
Εικόνα 9.2: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας MITSUBISHI S16R-PTA .....	114
Εικόνα 9.3: Εισαγωγή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης (δεξιά) για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος MITSUBISHI S16R-PTA .....	114
Εικόνα 9.4: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας MTU 12V 4000G60 .....	114
Εικόνα 9.5: Εισαγωγή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης (δεξιά) για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος MTU 12V 4000G60 .....	115
Εικόνα 9.6: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας CEGIELSKI 6AL20/24 .....	115
Εικόνα 9.7: Εισαγωγή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης (δεξιά) για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος CEGIELSKI 6AL20/24 .....	116
Εικόνα 9.8: Δεδομένα φωτοβολταϊκής εγκατάστασης .....	118
Εικόνα 9.9: Δεδομένα ανεμογεννήτριας EWT-DW61 .....	119
Εικόνα 9.10: Εισαγωγή κλιμακωτής παραγωγής (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης ισχύος (δεξιά) για την ανεμογεννήτρια EWT-DW61 .....	120
Εικόνα 9.11: Δεδομένα συσσωρευτή LG Chem RESU 10 .....	121
Εικόνα 9.12: Δεδομένα υβριδικού μετατροπέα Solis RHI-6K-48ES-5G .....	122
Εικόνα 9.13: Οικονομικά δεδομένα και χρονική διάρκεια της μελέτης .....	123
Εικόνα 9.14: Κόστος εκπομπής ρυπογόνων ουσιών .....	124
Εικόνα 9.15: Εισαγωγή περιορισμών για το υβριδικό σύστημα .....	126

## Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα .....	2
Διάγραμμα 1.2: Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή .....	3
Διάγραμμα 1.3: Διακύμανση ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για τα 27 κράτη μέλη της ΕΕ και για υποψήφιες προς ένταξη χώρες για το έτος 2021 σε σύγκριση με το στόχο του 2030 .....	6
Διάγραμμα 1.4: Διακύμανση ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για κράτη μέλη της ΕΕ για τα έτη 2020 και 2021 συγκριτικά με το στόχο του 2020 .....	6
Διάγραμμα 1.5: Μερίδιο της κάθε πηγής ενέργειας στη συνολική καθαρή ηλεκτροπαραγωγή στην ΕΕ το 2021 (% σε GWh) .....	7
Διάγραμμα 1.6: Σύγκριση των ΕΣΕΚ αναφορικά με τα μερίδια ΑΠΕ για το 2030 .....	13
Διάγραμμα 1.7: Αντιπαραβολή των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των ΕΣΕΚ για το 2030, αναφέροντας τις τιμές του 1990 και του 2005 .....	13
Διάγραμμα 1.8: Αντιπαραβολή της συμμετοχής καυσίμων αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των ΕΣΕΚ για το 2030 .....	14
Διάγραμμα 1.9: Αντιπαραβολή τελικής κατανάλωσης ενέργειας των ΕΣΕΚ για το 2030, με κριτήριο το καύσιμο .....	14
Διάγραμμα 1.10: Χρονοδιάγραμμα εγκατεστημένης ικανότητας ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2017 - 2030 (σε GW) .....	17
Διάγραμμα 1.11: Απεικόνιση εγκατεστημένης ισχύος στα ΜΔΝ των φωτοβολταϊκών (ροζ) και αιολικών (γαλάζιο), από το 2020 έως το 2022 .....	22
Διάγραμμα 1.12: Απεικόνιση ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ από φωτοβολταϊκά (ροζ) και αιολικά (γαλάζιο), από το 2020 έως το 2022 .....	22
Διάγραμμα 1.13: Απεικόνιση ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ από θερμικές μονάδες (μπεζ) και ΑΠΕ (πράσινο), από το 2020 έως το 2022 .....	23
Διάγραμμα 6.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες ΦΒ μονάδας .....	65
Διάγραμμα 7.1: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας .....	85
Διάγραμμα 9.1: Απεικόνιση μέσης ωριαίας ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος .....	107
Διάγραμμα 9.2: Διακύμανση του μηνιαίου ηλεκτρικού φορτίου (ελάχιστο, μέσο ημερήσιο ελάχιστο, μέσο, μέσο ημερήσιο μέγιστο, μέγιστο) .....	107

Διάγραμμα 9.3: Αναπαράσταση του ηλεκτρικού φορτίου για κάθε ώρα του 2021 .....	107
Διάγραμμα 9.4: Απεικόνιση μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας (μπλε) και μέσης μηνιαίας καθαρότητας του ουρανού (πορτοκαλί) .....	108
Διάγραμμα 9.5: Μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου .....	110
Διάγραμμα 9.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία .....	111
Διάγραμμα 10.1: Αντιπαραβολή του συνολικού κόστους των στοιχείων .....	128
Διάγραμμα 10.2: Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου .....	129
Διάγραμμα 10. 3: Αντιπαραβολή ειδών κόστους στο NPC .....	129
Διάγραμμα 10.4: Μερίδιο κάθε είδους κόστους στο NPC ανά έτος .....	130
Διάγραμμα 10.5: Ροή κόστους για κάθε στοιχείο του συστήματος .....	130
Διάγραμμα 10.6: Ροή κόστους για κάθε είδος κόστους του συστήματος .....	131
Διάγραμμα 10.7: Ετήσια ωριαία παραγόμενη ισχύς της συμβατικής μονάδας MITSUBISHI .....	132
Διάγραμμα 10.8: Ετήσια ωριαία παραγόμενη ισχύς της συμβατικής μονάδας MTU .....	134
Διάγραμμα 10.9: Ετήσια ωριαία παραγόμενη ισχύς της συμβατικής μονάδας CEGIELSKI .....	135
Διάγραμμα 10.10: Ωριαία κατανάλωση πετρελαίου των συμβατικών μονάδων σε μηνιαία κλίμακα .....	136
Διάγραμμα 10.11: Ωριαία κατανάλωση πετρελαίου των συμβατικών μονάδων σε ετήσια βάση .....	136
Διάγραμμα 10.12: Ωριαία παραγόμενη ισχύς της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε ετήσια κλίμακα .....	138
Διάγραμμα 10.13: Ωριαία παραγόμενη ισχύς από το αιολικό πάρκο σε ετήσια κλίμακα .....	140
Διάγραμμα 10.14: Διακύμανση της ετήσιας ωριαίας κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών .....	142
Διάγραμμα 10.15: Αναπαράσταση της μηνιαίας κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών (ελάχιστη, μέση ημερήσια ελάχιστη, μέση, μέση ημερήσια μέγιστη, μέγιστη).....	142
Διάγραμμα 10.16: Η συχνότητα φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης και το ποσοστό αυτής της φόρτισης .....	143
Διάγραμμα 10.17: Διακύμανση της ωριαίας ισχύος εξόδου του αντιστροφέα κατά τη διάρκεια ενός έτους .....	144
Διάγραμμα 10.18: Διακύμανση της ωριαίας ισχύος εξόδου του ανορθωτή κατά τη διάρκεια ενός έτους .....	144

Διάγραμμα 10.19: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά στοιχείο του συστήματος .....	146
Διάγραμμα 10.20: Ωριαία αναπαράσταση της στιγμιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που διαιρείται με το στιγμιαίο ηλεκτρικό φορτίο κατά τη διάρκεια ενός έτους .....	148
Διάγραμμα 10.21: Ωριαία αναπαράσταση της στιγμιαίας ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ που διαιρείται με τη συνολική στιγμιαία ηλεκτροπαραγωγή κατά τη διάρκεια ενός έτους ....	149
Διάγραμμα 10.22: Ωριαία αναπαράσταση της διαφοράς του αριθμού 1, με τη στιγμιαία ηλεκτροπαραγωγή από τις πετρελαιογεννήτριες που διαιρείται με το στιγμιαίο ζητούμενο φορτίο σε ετήσια βάση .....	149

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1: Εθνικοί στόχοι για το χρονικό διάστημα 2021-2030, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή πολιτική, για το περιβάλλον και την ενέργεια .....	9
Πίνακας 1.2: Σύγκριση των εθνικών και ευρωπαϊκών προτεραιοτήτων .....	10
Πίνακας 1.3: Σύγκριση του αρχικού και του τελικού ΕΣΕΚ .....	12
Πίνακας 1.4: Χρονοδιάγραμμα μεριδίου ΑΠΕ ανά στόχο για το χρονικό διάστημα 2020 - 2030 .....	16
Πίνακας 1.5: Χρονοδιάγραμμα της εγκατεστημένης ικανότητας ηλεκτροπαραγωγής των μονάδων ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2020 - 2030 .....	16
Πίνακας 1.6: Χρονοδιάγραμμα της ηλεκτροπαραγωγής μονάδων ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2020 - 2030 .....	16
Πίνακας 1.7: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής διασυνδέσεων .....	18
Πίνακας 1.8: Ηλεκτρικά συστήματα των ΜΔΝ .....	21
Πίνακας 1.9: Συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής των μεγάλων ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ (Δεκέμβριος 2022) .....	23
Πίνακας 1.10: Συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής των μικρών ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ (Δεκέμβριος 2022) .....	24
Πίνακας 3.1: Απαιτήσεις ενέργειας της Σύμης για το 2022 [31] .....	31
Πίνακας 5.1: Επισκόπηση των χαρακτηριστικών των κύριων τύπων μπαταριών .....	55
Πίνακας 7.1: Κατηγορίες ανέμου κατά IEC [61] .....	89
Πίνακας 9.1: Σημαντικά δεδομένα του ηλεκτρικού φορτίου του 2021 για τη Σύμη .....	108
Πίνακας 9.2: Διακύμανση των μηνιαίων τιμών της μέσης καθαρότητας του ουρανού, της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας και τιμή της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας .....	109
Πίνακας 9.3: Διακύμανση τιμών της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου και τιμή ετήσιας ταχύτητας του ανέμου .....	110
Πίνακας 9.4: Διακύμανση των τιμών της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μέση ετήσια τιμή θερμοκρασίας .....	111
Πίνακας 10.1: Ανάλυση συνολικού κόστους, ανά είδος και στοιχείο .....	128
Πίνακας 10.2: Ανάλυση ετήσιου κόστους ανά είδος και στοιχείο .....	129
Πίνακας 10.3: Στοιχεία λειτουργίας μονάδας MITSUBISHI .....	132
Πίνακας 10.4: Κατανάλωση καυσίμου μονάδας MITSUBISHI .....	132
Πίνακας 10.5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας MITSUBISHI .....	132

Πίνακας 10.6: Στοιχεία λειτουργίας μονάδας MTU .....	133
Πίνακας 10.7: Κατανάλωση καυσίμου μονάδας MTU .....	133
Πίνακας 10.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας MTU .....	133
Πίνακας 10.9: Στοιχεία λειτουργίας μονάδας CEGIELSKI .....	134
Πίνακας 10.10: Κατανάλωση καυσίμου μονάδας CEGIELSKI .....	134
Πίνακας 10.11: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας CEGIELSKI .....	134
Πίνακας 10.12: Συγκεντρωτικά στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου από τις συμβατικές μονάδες στο υβριδικό σύστημα .....	135
Πίνακας 10.13: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ..	137
Πίνακας 10.14: Λειτουργία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης .....	138
Πίνακας 10.15: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου .....	139
Πίνακας 10.16: Λειτουργία αιολικού πάρκου .....	139
Πίνακας 10.17: Αρχιτεκτονική του συστήματος αποθήκευσης .....	140
Πίνακας 10.18: Λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης .....	141
Πίνακας 10.19: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που διαχειρίζεται το σύστημα αποθήκευσης .....	141
Πίνακας 10.20: Χωρητικότητα μετατροπέων .....	143
Πίνακας 10.21: Λειτουργία και ενέργεια που διαχειρίζονται οι μετατροπείς .....	144
Πίνακας 10.22: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά στοιχείο του συστήματος	146
Πίνακας 10.23: Περίσσεια ενέργειας, ανεκπλήρωτο φορτίο, έλλειψη χωρητικότητας του συστήματος .....	147
Πίνακας 10.24: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ΑΠΕ.....	147
Πίνακας 10.25: Ετήσιες εκπομπές ρύπων του υβριδικού συστήματος .....	150

## Συντομογραφίες

AΓ	Ανεμογεννήτρια
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ΦΒ	Φωτοβολταϊκό
AC	Alternating Current / Εναλλασσόμενο Ρεύμα
BESS	Battery Energy Storage System / Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες
CAES	Compressed air energy storage / Αποθήκευση Ενέργειας Πεπιεσμένου Αέρα
CSP	Concentrated Solar Power / Συγκεντρωμένη Ηλιακή Ενέργεια
DC	Direct Current / Συνεχές Ρεύμα
ESS	Energy Storage System / Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbines / Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα
HRES	Hybrid Renewable Energy Systems / Υβριδικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
LEAD-ACID	Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος
Li-ion	Μπαταρίες ιόντων λιθίου
Ni-cd	Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου
Ni-MH	Μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου
NPC	Net Present Cost / Καθαρό παρόν κόστος
TES	Thermal Energy Storage / Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας
VAWT	Vertical Axis Wind Turbines / Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

# Κεφάλαιο 1

## Ενέργεια

### 1.1 Η ενεργειακή εξέλιξη κατά τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας

Η ενέργεια είναι μια θεμελιώδης έννοια στη φυσική που αναφέρεται στην ικανότητα ενός σώματος να παράγει έργο ή να προκαλεί μια αλλαγή. Η ενέργεια μπορεί να λάβει πολλές μορφές, συμπεριλαμβανομένης της κινητικής ενέργειας, της δυναμικής ενέργειας, της θερμικής ενέργειας, της χημικής ενέργειας και της ηλεκτρικής ενέργειας [1]. Η έννοια της ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της συμπεριφοράς των φυσικών συστημάτων και είναι απαραίτητη για πολλές επιστημονικές και τεχνολογικές εφαρμογές, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι μεταφορές και οι βιομηχανικές διεργασίες.

Η ιστορία εκμετάλλευσης της ενέργειας χρονολογείται από τους αρχαίους πολιτισμούς, όπου οι άνθρωποι εκμεταλλεύτηκαν για πρώτη φορά τη δύναμη της φωτιάς για να μαγειρέψουν φαγητό και να ζεσταθούν. Αργότερα, τον Μεσαίωνα, οι ανεμόμυλοι και οι υδατοτροχοί χρησιμοποιήθηκαν για την άλεση των σιτηρών και την άντληση νερού αντίστοιχα. Επομένως, φυσικές πηγές όπως ο ήλιος, ο αέρας και το νερό συνέβαλαν στην επιβίωση και στην κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου από την αρχαιότητα.

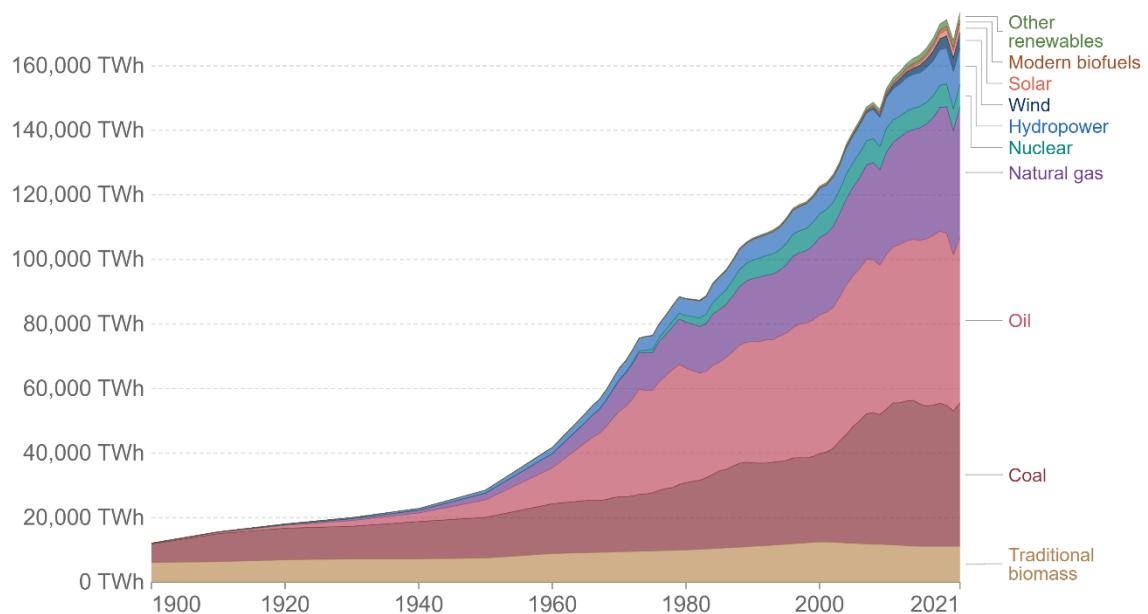
Με την πάροδο του χρόνου, η ανθρωπότητα εξελίσσεται, με συνέπεια την αύξηση των ενεργειακών της αναγκών. Τον 18<sup>ο</sup> και 19<sup>ο</sup> αιώνα επήλθε μία σημαντική πρόοδος στην παραγωγή ενέργειας, χάρη στη Βιομηχανική Επανάσταση, με την εφεύρεση της ατμομηχανής, η οποία οδήγησε στην ευρεία χρήση του άνθρακα και του πετρελαίου ως πηγές ενέργειας.

Η ιστορία της ηλεκτρικής ενέργειας είναι στενά συνδεδεμένη με την ανάπτυξη του ηλεκτρισμού ως επιστημονικού πεδίου. Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, επιστήμονες όπως ο Benjamin Franklin και ο Luigi Galvani έκαναν σημαντικές ανακαλύψεις σχετικά με τον ηλεκτρισμό, θέτοντας τα θεμέλια για την ανάπτυξη της ηλεκτρικής μηχανικής. Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, εφευρέτες όπως ο Michael Faraday και ο Thomas Edison συνέβαλαν σημαντικά στην μελέτη της ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της εφεύρεσης του ηλεκτροκινητήρα και του λαμπτήρα.

Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η ταχεία εκβιομηχάνιση, η τεχνολογική πρόοδος και η πληθυσμιακή αύξηση συνέδραμαν στην αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια (Διάγραμμα 1.1). Η άνοδος του καταναλωτισμού αύξησε περαιτέρω τις ενεργειακές απαιτήσεις καθώς οι άνθρωποι άρχισαν να χρησιμοποιούν περισσότερες συσκευές και ηλεκτρονικά είδη στην καθημερινή τους ζωή. Επιπλέον, η αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου και των μεταφορών οδήγησε σε αύξηση της χρήσης ορυκτών καυσίμων για τη ναυτιλία και τα αεροπορικά ταξίδια. Το αποτέλεσμα αυτής της ευρείας κατανάλωσης είναι η ραγδαία ελάττωση των αποθεμάτων πετρελαίου και η αδιάκοπη μόλυνση στο φυσικό περιβάλλον. Γι' αυτόν τον λόγο είναι αναγκαία η αλλαγή της παγκόσμιας ενεργειακής πολιτικής, με περαιτέρω καθιέρωση των ανεξάντλητων ΑΠΕ, αποσκοπώντας στην διαφύλαξη των φυσικών πόρων.

### Global primary energy consumption by source

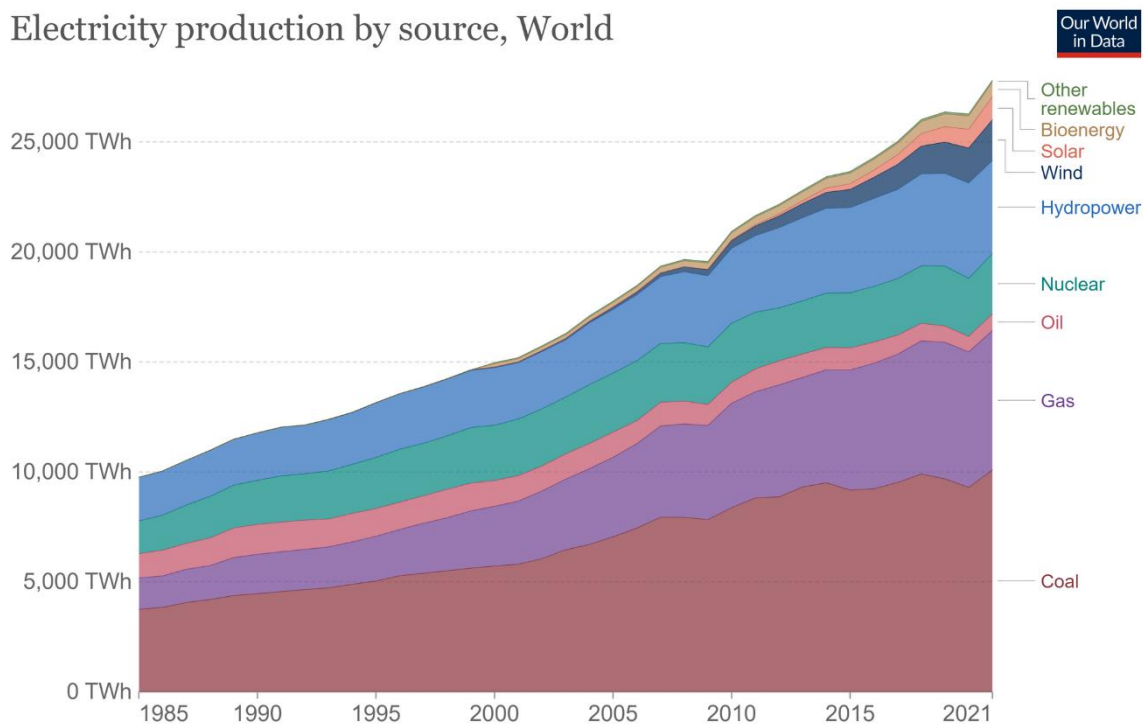
Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Διάγραμμα 1.1: Ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα [2]

Στο ακόλουθο Διάγραμμα 1.2, εκτίθεται η μεταβολή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή, από το 1985 και μετά. Παρατηρείται αύξηση της παραγωγής κατά τη διαδοχή των χρόνων, με τον άνθρακα να αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή ενέργειας, όμως αυτό απαιτεί μείωση λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ταυτόχρονα, παρατηρείται αύξηση στην παραγωγή από αέριο και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## Electricity production by source, World



Διάγραμμα 1.2: Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή [3]

## 1.2 Η ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, η Ευρώπη γνώρισε σημαντική αύξηση της ζήτησης ενέργειας όπως υποδηλώνει το Διάγραμμα 1.1. Η ζήτηση καλύφθηκε κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο (Διάγραμμα 1.2), γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η καύση αυτών των καυσίμων οδήγησε στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, στην ατμοσφαιρική ρύπανση στα αστικά κέντρα και την όξινη βροχή, συμβάλλοντας έτσι στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή.

Επιπλέον, οι χώρες ανταγωνίζονταν για να εξασφαλίσουν τον ενεργειακό τους εφοδιασμό. Αυτός ο ανταγωνισμός συχνά οδηγούσε σε γεωπολιτικές συγκρούσεις και εντάσεις μεταξύ των εθνών, συμπεριλαμβανομένου του Πόλεμου του Κόλπου το 1990, ο οποίος εν μέρει οδηγήθηκε από την επιθυμία των δυτικών χωρών να εξασφαλίσουν πρόσβαση στο πετρέλαιο της Μέσης Ανατολής.

Οι επιστήμονες ήταν οι πρώτοι που άρχισαν να αντιλαμβάνονται τον κίνδυνο κλιματικής μεταβολής που προκαλείται από ανθρωπογενείς αιτίες και έκρυσαν τον κώδωνα του κινδύνου. Δυστυχώς όμως, η διεθνή κοινότητα καθυστέρησε δραματικά να ανταποκριθεί σε αυτό το αίτημα. Το Πρωτόκολλο του Κιότο [4], θεσπίστηκε το 1997 ως διεθνής συνθήκη για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης της Γης. Το πρωτόκολλο θέτει στόχους για την ελάττωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και απαιτεί από τις συμμετέχουσες χώρες να εφαρμόσουν πολιτικές για την πραγματοποίηση αυτών των βλέψεων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει να επιτύχει τους στόχους της για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής μέσω συμφωνιών μεταξύ των κρατών μελών της. Έτσι, ενσωμάτωσε το πρωτόκολλο του Κιότο στη νομοθεσία της και αργότερα, μέσω της «Συνθήκης της Λισαβόνας» που υπεγράφη από τα μέλη της ΕΕ στις 13 Δεκεμβρίου 2007, έθεσε την ενέργεια στο επίκεντρο θέτοντας νέους στόχους για το 2030 [5]:

- ❖ Περικοπή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% ως μέρος της «Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας» [6] σε σύγκριση με το 1990.
- ❖ Αύξηση του μεριδίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση σε 32%.
- ❖ Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά τουλάχιστον 32,5%.

Η "Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία" που προαναφέρθηκε, αποτελεί ένα πακέτο μέτρων που στοχεύουν στον μηδενισμό των αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050. Αυτό απαιτεί τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030 και τη μηδενική εκπομπή αυτών των αερίων έως το 2050. Οι στόχοι αυτοί περιλαμβάνουν την απαγόρευση των πωλήσεων βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων εντός των επόμενων 20 ετών. Η "Πράσινη Συμφωνία" περιλαμβάνει επίσης προτάσεις για την εδραίωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στις κατοικίες και τις επιχειρήσεις. Μερικές βασικές προτάσεις της συμφωνίας είναι:

- ❖ Τιμολόγηση του άνθρακα στον αεροπορικό και ναυτιλιακό τομέα και την προώθηση βιώσιμων καυσίμων.
- ❖ Επιβολή πληρωμής δασμού άνθρακα σε εταιρείες που εισάγουν στην ΕΕ υλικά όπως ο χάλυβας.
- ❖ Παροχή οικονομικής υποστήριξης για την ανακαίνιση κατοικιών με σκοπό να μετατραπούν σε ενεργειακά αποδοτικές.

Αυτές οι προτάσεις αποτελούν σημαντικά βήματα για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Ακόμη, θα οδηγήσουν στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου των πολιτών μειώνοντας τους ρύπους και

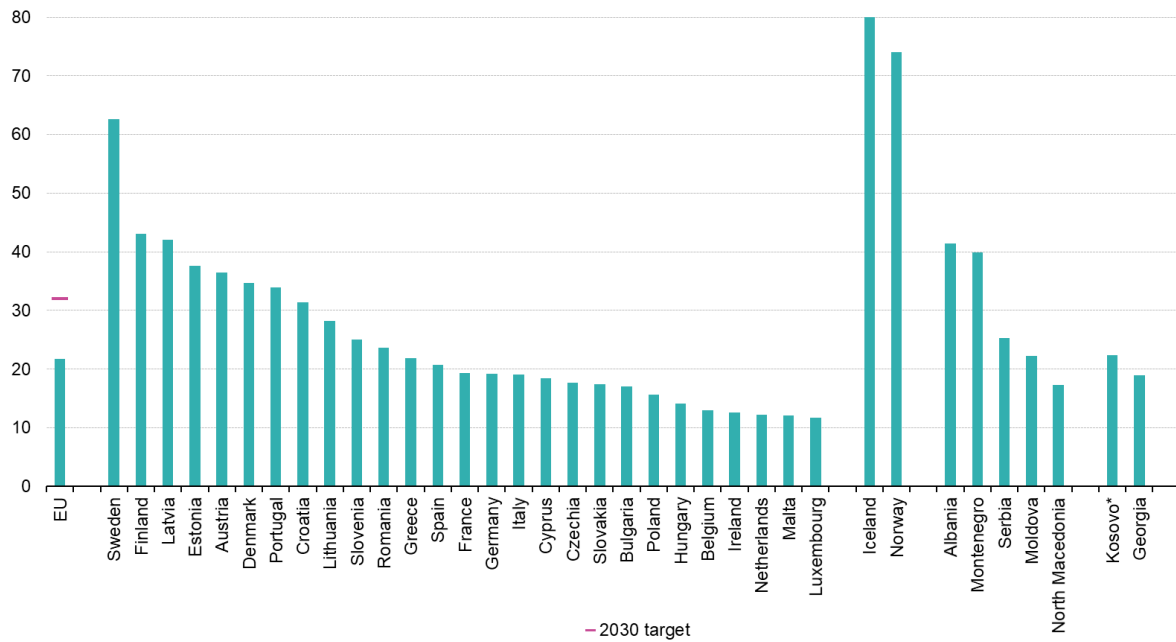
δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας σε κλάδους σχετιζόμενους με την ανανεώσιμη ενέργεια.

Η Eurostat δημοσιοποίησε μία πολύ ενδιαφέρουσα έκθεση [7], κατά την οποία η ΕΕ έφτασε σε μερίδιο 21,8% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές το 2021, σχεδόν 0,3% χαμηλότερα από το 2020. Η άρση των περιορισμών που συνδέονται με την πανδημία COVID-19 πιθανότατα έπαιξε ρόλο σε αυτή τη μείωση. Επιπλέον, παρατηρείται υπερδιπλασιασμός της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε σχέση με το 2004 (9,6%). Παρόλα αυτά μεγάλες αποκλίσεις δεν παύουν να υφίστανται ανάμεσα στις χώρες της ΕΕ.

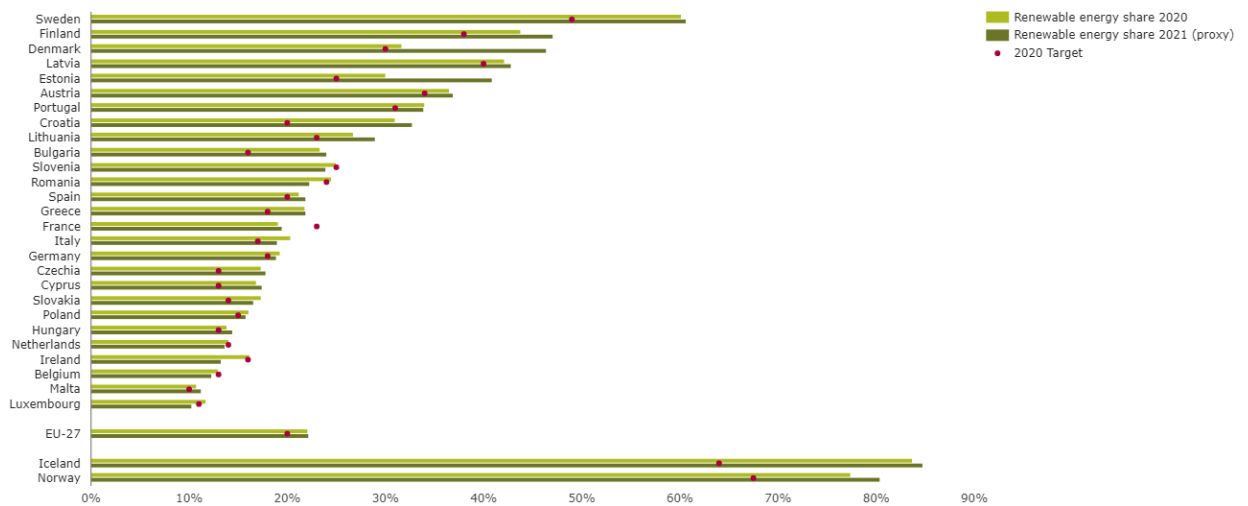
Όπως υποδεικνύεται από το Διάγραμμα 1.3, η Σουηδία (62,6%) παρουσίαζε με διαφορά το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ, ενώ ακολουθούν Φινλανδία (43,1%) και Λετονία (42,1%). Από την άλλη πλευρά, το Λουξεμβούργο (11,7%) κατείχε το χαμηλότερο ποσοστό από όλα τα κράτη μέλη με τη Μάλτα (12,2%) και την Ολλανδία (12,3%) σε απόσταση βολής.

Το Διάγραμμα 1.4 που παρέχεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος [8], απεικονίζει επίσης το μερίδιο της τελικής καταναλισκόμενης ισχύος που πηγάζει από ΑΠΕ αλλά και τον στόχο του 2020. Η Ελλάδα βρίσκεται σε ποσοστό του 21,9%, σε μία πολύ ικανοποιητική θέση έχοντας ήδη ξεπεράσει τον στόχο για το 2020. Ακόμη, οι πρώιμες εκτιμήσεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, φανερώνουν ότι 16 από τα 27 χώρες που είναι μέλη στην ΕΕ σημείωσαν άνοδο στο μερίδιο ΑΠΕ μεταξύ 2020 και 2021. Η Δανία και η Εσθονία ήταν στην κορυφή της λίστας, έχοντας αυξήσει το μερίδιό τους κατά περισσότερες από 10 ποσοστιαίες μονάδες το 2021. Αντίθετα, το μερίδιο ΑΠΕ της Ιρλανδίας και της Ρουμανίας μειώθηκε κατά περισσότερο από 2% σε σύγκριση με το 2020.

**Share of energy from renewable sources, 2021**  
(% of gross final energy consumption)



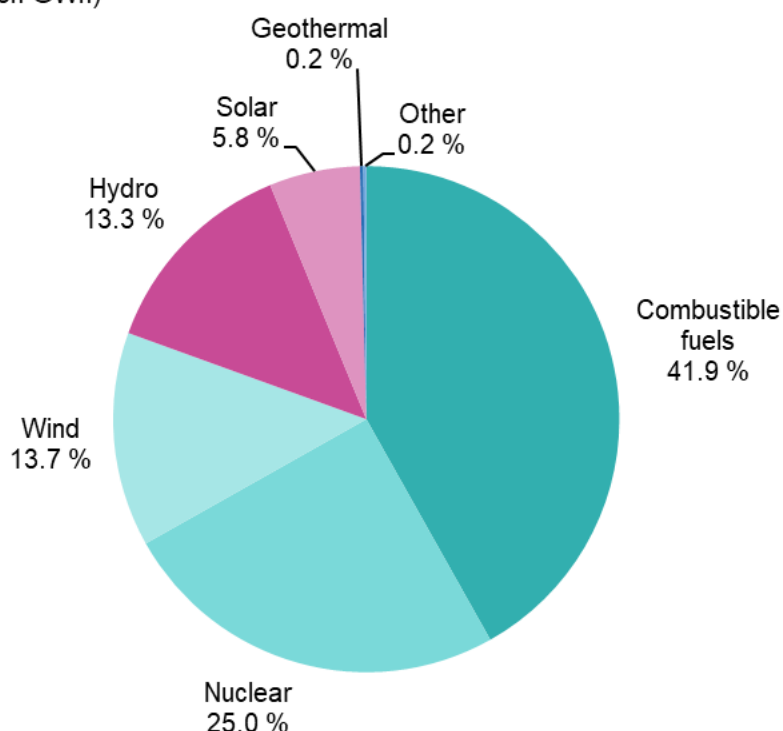
Διάγραμμα 1.3: Διακύμανση ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για τα 27 κράτη μέλη της ΕΕ και για υποψήφιες προς ένταξη χώρες για το έτος 2021 σε σύγκριση με το στόχο του 2030 [7]



Διάγραμμα 1.4: Διακύμανση ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για κράτη μέλη της ΕΕ για τα έτη 2020 και 2021 συγκριτικά με το στόχο του 2020 [8]

Τέλος, στο Διάγραμμα 1.5 απεικονίζεται το μερίδιο του κάθε μέσου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ΕΕ το 2021. Βασικός στόχος αποτελεί η μείωση του ποσοστού από καύσιμα και αύξηση αυτού που προέρχεται από πιο καθαρές πηγές ενέργειας.

**Net electricity generation, EU, 2021**  
(%, based on GWh)



Διάγραμμα 1.5: Μερίδιο της κάθε πηγής ενέργειας στη συνολική καθαρή ηλεκτροπαραγωγή στην ΕΕ το 2021 (% , σε GWh) [9]

### 1.3 Το ενεργειακό σκηνικό στην Ελλάδα

#### 1.3.1 Από τις Τοπικές Εταιρείες στην Εθνικοποίηση: Μια Σύντομη Ιστορία της Ελληνικής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην Ελλάδα οι πρώτες εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ισχύος εμφανίστηκαν στην Αθήνα το 1889. Επίσης, το ίδιο έτος στην τουρκικής κατοχής τότε Θεσσαλονίκη, εταιρεία βελγικών συμφερόντων αναλαμβάνει τη δημιουργία εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής. Το 1896, η Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία απέκτησε την επιχείρηση ηλεκτροφωτισμού από τη

Γενική Εταιρεία Εργοληψιών και στη συνέχεια κατασκεύασε ένα εργοστάσιο στο Νέο Φάληρο. Η ισχύς του εργοστασίου αυξήθηκε σημαντικά, από 3 MVA το 1903 σε 43 MVA το 1949. Το 1925 ιδρύθηκε η Γενική Ηλεκτρική Εταιρεία, ή "Power", η οποία ήταν μια συνεργασία από το δημόσιο, τις ελληνικές τράπεζες και από Άγγλους επιχειρηματίες. Από αυτή τη σύμπραξη προήλθαν δύο εταιρείες, η Ηλεκτρική Εταιρεία Παραγωγής και η Ηλεκτρική Εταιρεία Διανομής. Στη συνέχεια, αυτές οι εταιρείες συγχωνεύτηκαν και δημιούργησαν την Ηλεκτρική Εταιρεία Αθηνών-Πειραιώς (ΗΕΑΠ). Πριν τη δημιουργία της ΔΕΗ, υπήρχαν περίπου 400 επιχειρήσεις οι οποίες ήταν υπεύθυνες για την εξυπηρέτηση σχεδόν ισάριθμων πόλεων και κωμοπόλεων, οι οποίες παρείχαν ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορες περιοχές της χώρας. Η διανομή γινόταν με συνεχές ρεύμα και περιοριζόταν σε σχετικά μικρές αποστάσεις. Μετά το 1945 ξεκίνησε η αξιοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ, με το νόμο 1468/1950, αποσκοπώντας σε μία ενισχυμένη παραγωγή και ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που θα διατίθετο σε όλους τους οικισμούς της Ελλάδας. Μέσα σε 6 χρόνια από την ίδρυσή της, η ΔΕΗ είχε προχωρήσει σε υποχρεωτική απορρόφηση όλων των τοπικών επιχειρήσεων που πραγματοποιούσαν μέχρι τότε τη παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε σημαντικά από το 1939 έως το 1966 και η πηγή παραγωγής περιλάμβανε λιγνίτη, υδροηλεκτρικά εργοστάσια, πετρέλαιο και κλασματικές αποστάξεις [10].

### 1.3.2 Το Εθνικό Σχέδιο για την αντιμετώπιση των ενεργειακών θεμάτων

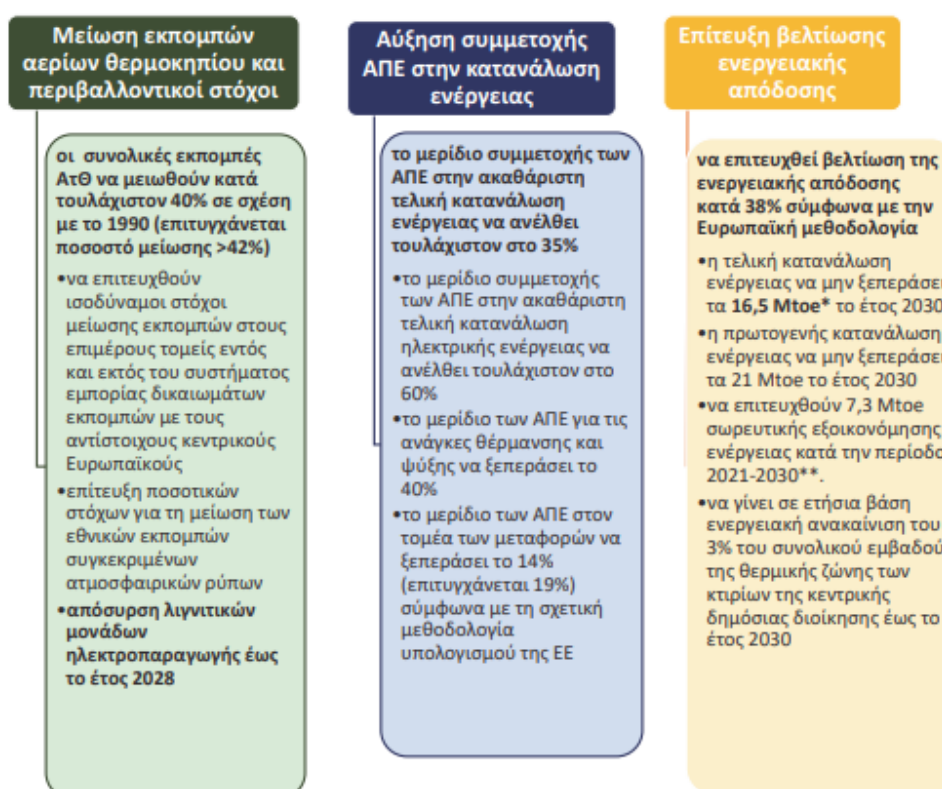
Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ στο τεύχος Β με αριθμό φύλλου 4893 [11] της 31/12/2019 (σελ. 55455-55926) και αντιπροσωπεύει για την Ελληνική Κυβέρνηση ένα σημαντικό σχέδιο που πραγματεύεται τις προκλήσεις του Κλίματος και της Ενέργειας. Το ΕΣΕΚ προβάλλει τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν και αναλύει τα μέσα με τα οποία θα επέλθει η επίτευξή τους. Η κατεύθυνση του Σχεδίου βασίζεται στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και των Ηνωμένων Εθνών που αποσκοπούν στην προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Με βάση το Εθνικό στρατηγικό Σχέδιο, είναι αναγκαία η επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης έως το 2030, με σκοπό τη μείωση των ρύπων που εκπέμπονται, όπως τα αέρια του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα, από το ΕΣΕΚ θέτονται αισθητά πιο φιλόδοξοι ενεργειακοί στόχοι σε σχέση όχι μόνο με το αρχικό ΕΣΕΚ (Ιανουάριος 2019) αλλά και με τις προτροπές από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι οποίοι αποτυπώνονται στον Πίνακα 1.1. Ειδικότερα, προτείνει:

- ❖ Δραστική ελάττωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου: Τουλάχιστον κατά 42% σε σχέση με το 1990 και 56% με το 2005.
- ❖ Αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε μερίδιο μεγαλύτερο του 35%, ενώ για την κατανάλωση ηλεκτρικής αποκλειστικά ενέργειας μεγαλύτερο του 60%.
- ❖ Επίτευξη μίας βελτιωμένης αποδοτικότητας ενέργειας κατά 38%, ξεπερνώντας κατά πολύ τον Ευρωπαϊκό στόχο του 32%.

Επιπλέον, ο Πίνακας 1.2 που ακολουθεί, συγκρίνει τους στόχους του αρχικού και του τελικού ΕΣΕΚ, καθώς και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υποδηλώνοντας έτσι τους πολύ υψηλούς στόχους που έχουν τεθεί.

Πίνακας 1.1: Εθνικοί στόχοι για το χρονικό διάστημα 2021-2030, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή πολιτική, για το περιβάλλον και την ενέργεια [11]



Πίνακας 1.2: Σύγκριση των εθνικών και ευρωπαϊκών προτεραιοτήτων [11]

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

Στον Πίνακα 1.2 παρατηρείται μία κορυφαία βλέψη του ΕΣΕΚ: η πλήρης απολιγνιτοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής. Το Εθνικό Σχέδιο, με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος, επιδιώκει την απόσυρση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο το λιγνίτη έως το 2028, ενώ περιέχει αναλυτικό χρονοδιάγραμμα που θα ακολουθηθεί για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος.

Επιπρόσθετα, το ΕΣΕΚ εντάσσει και αναλύει παρόμοιες οδηγίες και σε άλλους τομείς που αποτελούν κορυφαίες προτεραιότητες όπως:

1. Επιτάχυνση του ρυθμού σύνδεσης των ελληνικών Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών στο ηλεκτρικό δίκτυο.
2. Επανασχεδίαση του μοντέλου αγοράς για την ενέργεια.
3. Ανάπτυξη συστημάτων που θα διευκολύνουν τη διεθνή ανταλλαγή ενέργειας.
4. Εκπλήρωση έργων για την διεύρυνση της ενεργειακής αποθήκευσης.
5. Τεχνολογική αναβάθμιση του δικτύου.
6. Δημιουργία κινήτρων που θα ενθαρρύνουν τη χρήση ηλεκτροκίνησης στις μεταφορές.
7. Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την παραγωγή και χρήση ενέργειας.
8. Προώθηση νέων εργαλείων για τη χρηματοδότηση.
9. Προαγωγή δράσεων για την καινοτομία, έρευνα και ανάπτυξη αποσκοπώντας στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας.

Η στρατηγική προσέγγιση από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την ενέργεια και το περιβάλλον προωθεί την ένωση της ενέργειας στην Ευρώπη, δηλαδή την απομάκρυνση των ενεργειακών συνόρων ανάμεσα στις εθνικές αγορές ενέργειας, ενώ επίσης ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία της ΕΕ. Το ελληνικό κράτος, στην προσπάθειά του να συντελέσει στην επίτευξη των βλέψεων της ΕΕ, θα προβεί σύμφωνα με το ΕΣΕΚ στις ακόλουθες ενέργειες:

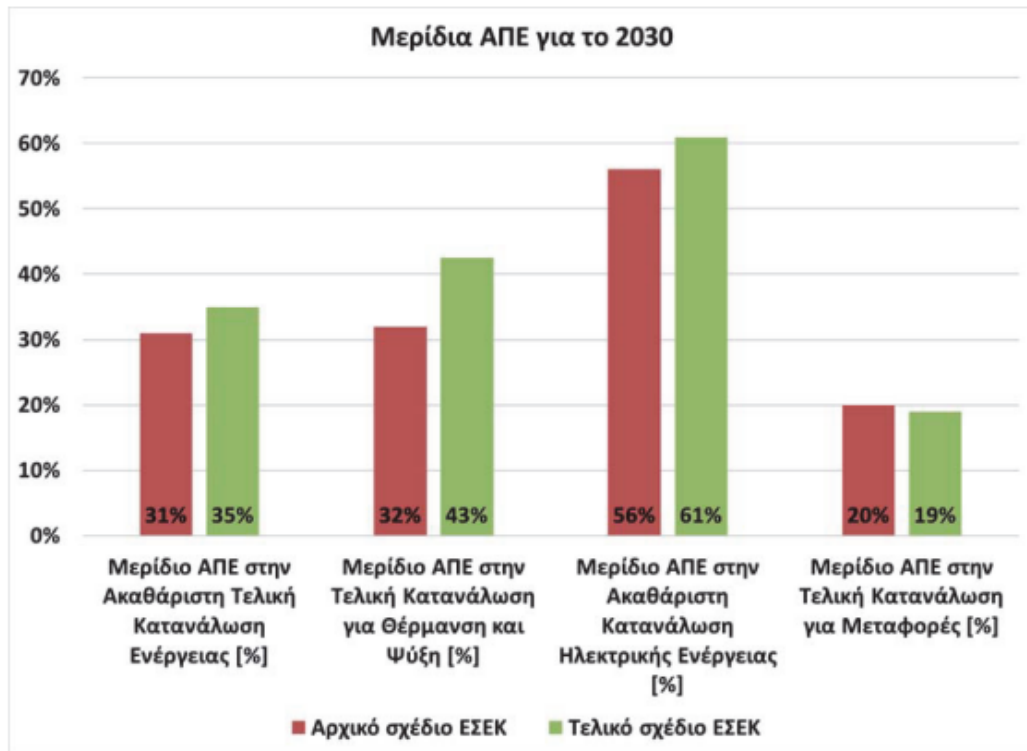
1. Διασφάλιση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού.
2. Επίτευξη μιας βιώσιμη αγορά ενέργειας.
3. Προώθηση της λειτουργίας μιας οικονομίας χαμηλής έντασης άνθρακα.
4. Επιτάχυνση του χωρικού σχεδιασμού.
5. Πρόοδος του βιοκλιματικού και αστικού σχεδιασμού.
6. Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό και μεταφορικό τομέα.
7. Ενίσχυση της έρευνας και καινοτομίας.

Η πραγματοποίηση των οδηγιών της νέας ενεργειακής πολιτικής απαιτεί μια ριζική μεταστροφή του ενεργειακού συστήματος στην επόμενη δεκαετία. Για το λόγο αυτό, απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις σε διάφορους τομείς όπως η αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού ώστε να βελτιωθεί η παραγωγή ενέργειας, τα δίκτυα ενέργειας, οι διασυνδέσεις και γενικότερα οι ενεργειακές υποδομές, παράλληλα με την κατανάλωση και διαχείριση της ενέργειας. Αυτό θα επηρεάσει την εξελικτική πορεία του κράτους με έναν ευνοϊκό και αποφασιστικό τρόπο.

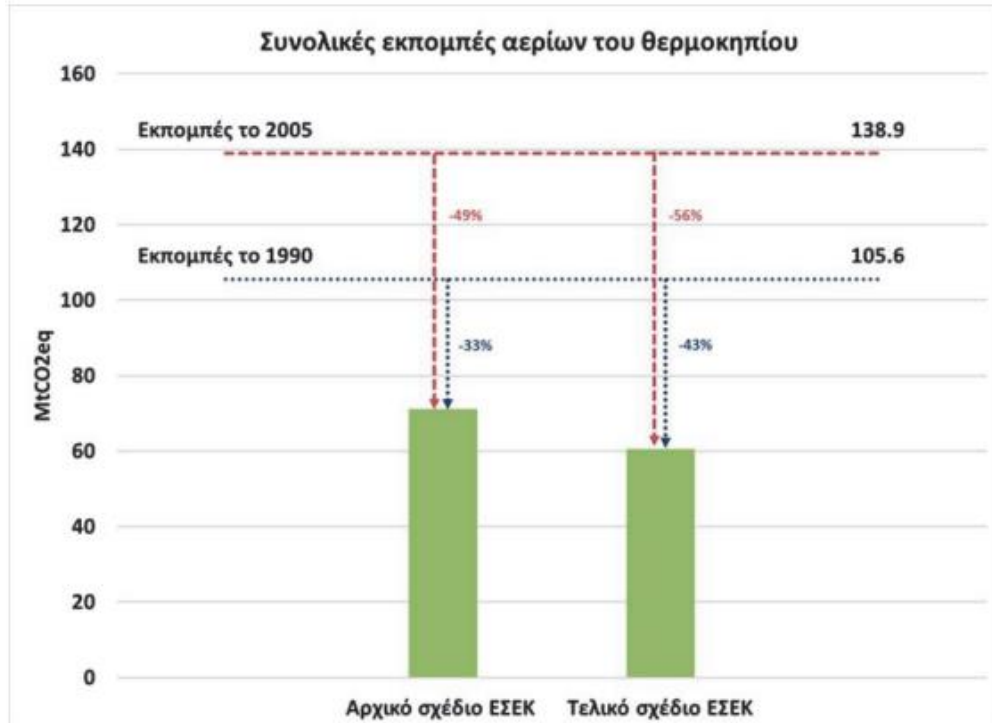
Τα παραπάνω μέτρα και στόχοι που ορίζει το ΕΣΕΚ αναπτύσσονται αναλυτικότερα παρακάτω μέσω του Πίνακα 1.3 και των Διαγραμμάτων 1.6 - 1.9 που αντλήθηκαν από την Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Πίνακας 1.3: Σύγκριση του αρχικού και του τελικού ΕΣΕΚ [11]

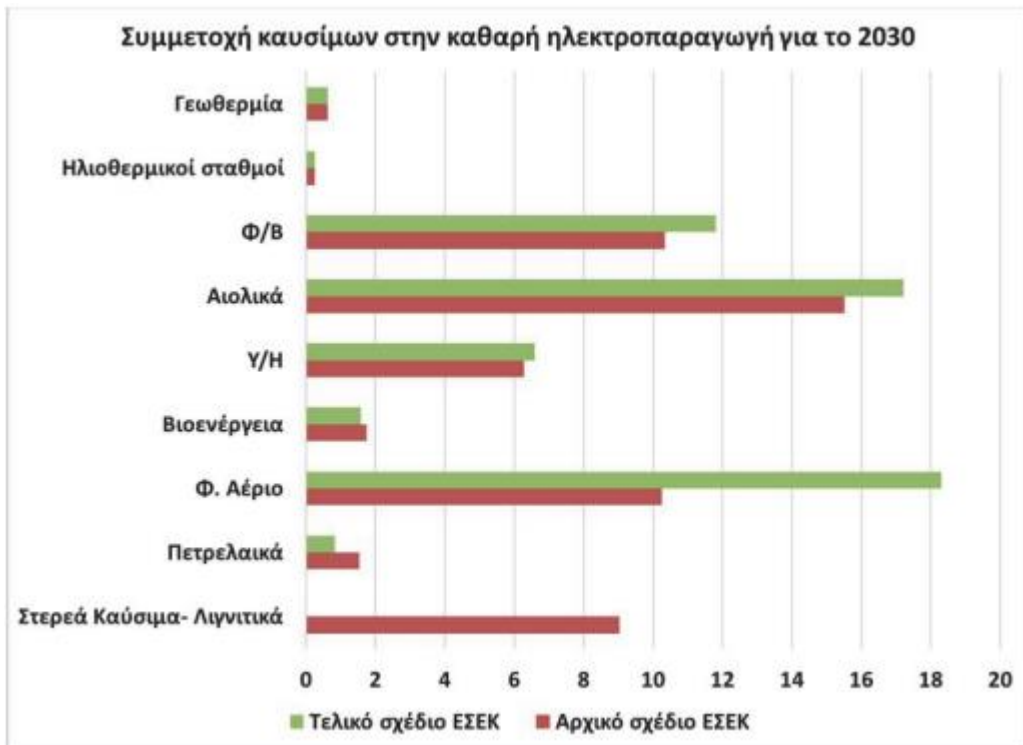
Συγκριτικός πίνακας	Αρχικό ΕΣΕΚ	Τελικό ΕΣΕΚ
<b>Βασικοί δείκτες</b>		
Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (MtCO <sub>2</sub> eq)	71	60,6
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας [%]	31%	35%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη [%]		
	32%	43%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρικής ενέργειας [%]	56%	61%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές [%]	20%	19%
Παραγωγικότητα Ενέργειας [εκατ. € '10/ktoe]	9,98	11,03
<b>Κατανάλωση Ενέργειας</b>		
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
<b>Τομέας ηλεκτροπαραγωγής</b>		
<b>Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]</b>		
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
<b>Ακαθάριστη Ηλεκτροπαραγωγή [TWh]</b>	57,37	57,93
<b>Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή [TWh]</b>	55,56	57,22
Λιγνίτης	9,03	0,00
Πετρελαϊκά	1,54	0,83 <sup>3</sup>
Φ. Αέριο	10,26	18,30
Βιοενέργεια	1,74	1,58
Υ/Η	6,27	6,60
Αιολικά	15,51	17,21
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] <sup>5</sup>	59,72	61,80
Τελική Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]	54,32	56,4
<b>Κτιριακός τομέας</b>		
Συνολικός αριθμός ανακαίνισης κατοικιών έως το έτος 2030	400.000	600.000



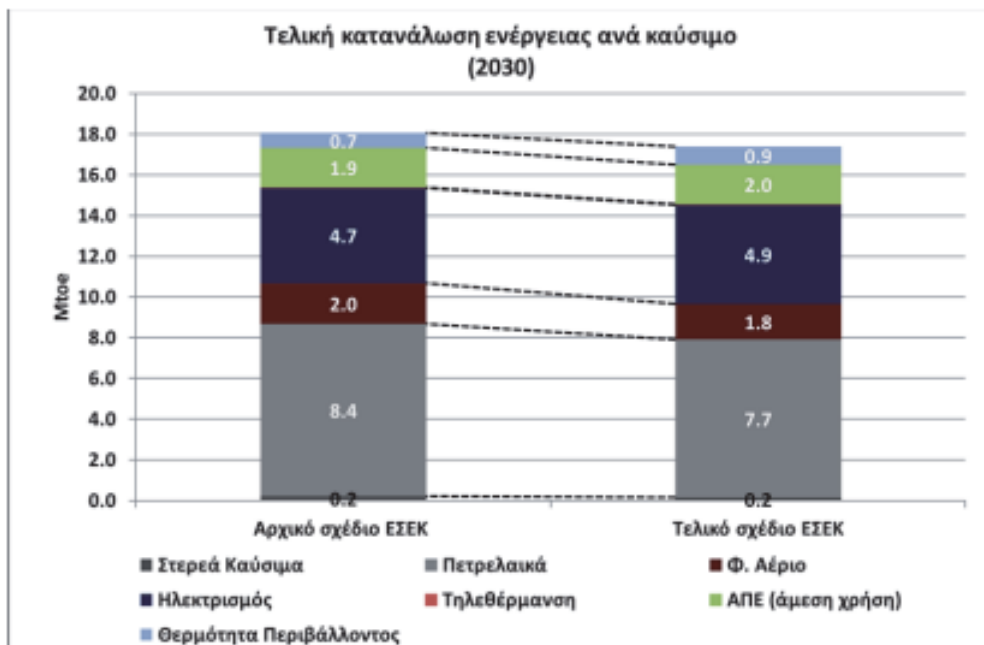
Διάγραμμα 1.6: Σύγκριση των ΕΣΕΚ αναφορικά με τα μερίδια ΑΠΕ για το 2030 [11]



Διάγραμμα 1.7: Αντιπαραβολή των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των ΕΣΕΚ για το 2030, αναφέροντας τις τιμές του 1990 και του 2005 [11]



Διάγραμμα 1.8: Αντιπαραβολή της συμμετοχής καυσίμων αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των ΕΣΕΚ για το 2030 [11]



Διάγραμμα 1.9: Αντιπαραβολή τελικής κατανάλωσης ενέργειας των ΕΣΕΚ για το 2030, με κριτήριο το καύσιμο [11]

### 1.3.3 Περαιτέρω ανάλυση του ΕΣΕΚ για τις ΑΠΕ

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, αναφορικά με την τελική κατανάλωση ενέργειας, η Ελληνική Κυβέρνηση επιδιώκει την άνοδο του ποσοστού διείσδυσης των ΑΠΕ άνω του 35%, με συμμετοχή μεγαλύτερη του 60% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και του 40% στις απαιτήσεις για θέρμανση και κλιματισμό χώρων. Αντίστοιχα στο κομμάτι των μεταφορών, στοχεύεται η υπέρβαση του 14% με βάση την μέθοδο υπολογισμού της ΕΕ.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω βλέψεις, απαιτείται η επέκταση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγκατάσταση μονάδων ΑΠΕ πρέπει να επιταχυνθεί, διότι υπάρχει διαθέσιμο το αναπόσπαστο τεχνικό και επιστημονικό δυναμικό σε συνάρτηση με το μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον. Παράλληλος στόχος αποτελεί ο εξηλεκτρισμός των διαφόρων τομέων. Ειδικότερα, ο τομέας των μεταφορών θεωρείται η πιο αξιοσημείωτη πρόκληση. Πιο κοντά στην επίτευξη του στόχου βρίσκεται ο σιδηρόδρομος, ενώ ταυτόχρονα αναμένεται μία σημαντική διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, αυτή η διείσδυση επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί με τον πιο οικονομικά συμφέρον τρόπο για την οικονομία του έθνους.

Επιπρόσθετα, οι αξιοποίηση των αντλιών θερμότητας σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και σχημάτων αυτοπαραγωγής θα συμβάλλουν καίρια προς τον στόχο του εξηλεκτρισμού των χρήσεων τελικής κατανάλωσης. Εξετάζεται επίσης η αξιοποίηση και διοχέτευση υδρογόνου ή μεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου, τα οποία έχουν τη δυνατότητα παραγωγής μέσω ΑΠΕ.

Αξίζει να σημειωθεί, η βλέψη του ΕΣΕΚ για την ενθάρρυνση της εγκατάστασης συστημάτων ΑΠΕ σε οικοδομήματα και συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής, με τη μορφή ενεργειακού συμψηφισμού (net metering) και αυτοπαραγωγής. Προβλέπεται, ότι το έτος ορόσημο του σχεδίου, το 2030, θα έχουν εγκατασταθεί 1 GW τέτοιων συστημάτων ικανά να καλύψουν τουλάχιστον 330.000 νοικοκυριά.

Στους Πίνακες 1.4 - 1.6 και στο Διάγραμμα 1.10 αποτυπώνεται αναλυτικά το χρονοδιάγραμμα επίτευξης των παραπάνω σημείων εστίασης του εθνικού σχεδίου.

Πίνακας 1.4: Χρονοδιάγραμμα μεριδίου ΑΠΕ ανά στόχο για το χρονικό διάστημα 2020 - 2030 [11]

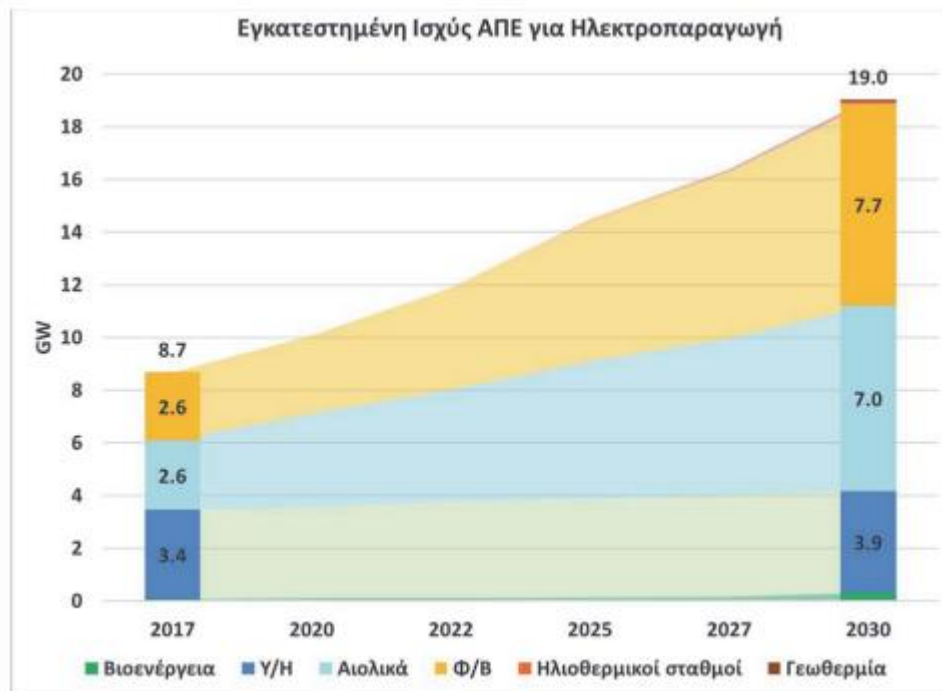
Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ	2020	2022	2025	2027	2030
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας [%]	19,7%	23,4%	27,1%	29,6%	<b>35%</b>
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη [%]	30,6%	33,8%	36,8%	38,3%	<b>42,5%</b>
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρισμού [%]	29,2%	38,6%	46,8%	52,9%	<b>61%</b>
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές [%]	6,6%	7,3%	10,1%	11,7%	<b>19,0%</b>

Πίνακας 1.5: Χρονοδιάγραμμα της εγκατεστημένης ικανότητας ηλεκτροπαραγωγής των μονάδων ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2020 - 2030 [11]

Ηλεκτροπαραγωγή - Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]	2020	2022	2025	2027	2030
Βιομάζα & Βιοαέριο	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Υ/Η (συμπ. μεικτών αντλητικών)	3,4	3,7	3,8	3,9	3,9
Αιολικά	3,6	4,2	5,2	6,0	7,0
Φ/Β	3,0	3,9	5,3	6,3	7,7
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Γεωθερμία	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
<b>Σύνολο</b>	<b>10,1</b>	<b>11,9</b>	<b>14,6</b>	<b>16,4</b>	<b>19,0</b>

Πίνακας 1.6: Χρονοδιάγραμμα της ηλεκτροπαραγωγής μονάδων ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2020 - 2030 [11]

Ηλεκτροπαραγωγή [TWh]	2020	2022	2025	2027	2030
Βιομάζα & Βιοαέριο	0,4	0,5	0,8	1,0	1,6
Υ/Η	5,5	6,4	6,5	6,6	6,6
Αιολικά	7,3	10,1	12,6	14,4	17,2
Φ/Β	4,5	6,0	8,2	9,7	11,8
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3
Γεωθερμία	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6
<b>Σύνολο</b>	<b>17,7</b>	<b>23,0</b>	<b>28,4</b>	<b>32,2</b>	<b>38,1</b>



Διάγραμμα 1.10: Χρονοδιάγραμμα εγκατεστημένης ικανότητας ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2017 - 2030 (σε GW) [11]

Για το μέλλον, μία ακόμη προτεραιότητα του σχεδίου αποτελεί η έρευνα νέων μεθόδων περαιτέρω αξιοποίησης των ΑΠΕ που θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν στην επέκταση της παραγωγής μεγαλύτερου όγκου ηλεκτρικής ισχύος. Ειδικότερα, παρακάτω ακολουθούν ορισμένες καινοτομίες που είναι ικανές να συνεισφέρουν σε αυτό το σκοπό:

- ❖ ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας
- ❖ παραγωγή και εφαρμογή του υδρογόνου
- ❖ εγκαταστάσεις για αφαλάτωση του νερού με συνδρομή των ΑΠΕ
- ❖ εγκατάσταση συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής.

Όλοι οι προτεινόμενοι στόχοι αποβλέπουν στην ενεργειακή επάρκεια και ασφάλεια, που είναι απαραίτητες για την απρόσκοπτη οικονομική και κοινωνική λειτουργία χωρίς αναστατώσεις. Για να επιτευχθεί αυτή η βλέψη, πρέπει να συνδεθούν πολλοί συμπληρωματικοί και αλληλοσυνδεδεμένοι στόχοι και να υπάρξουν αντίστοιχες ενεργειακές υποδομές τόσο στις εσωτερικές όσο και στις εξωτερικές διασυνδέσεις. Επομένως, η ενεργειακή ασφάλεια της χώρας επιτάσσει τις ακόλουθες ενέργειες:

- ❖ Ενίσχυση της διαφοροποίησης των ενεργειακών πηγών και σύμπραξη με μεγαλύτερο αριθμό προμηθευτών από τρίτες χώρες.
- ❖ Βέλτιστη αξιοποίηση και χρήση εγχώριων ενεργειακών πόρων.

- ❖ Η εκμετάλλευση της γεωπολιτικής θέσης της Ελλάδας, με τη δημιουργία διεθνών διασυνδέσεων, αποσκοπώντας στην ανάδειξη της χώρας ως ενεργειακός κόμβος.
- ❖ Περικοπή του ποσοστού ενεργειακής εξάρτησης που αυτή τη στιγμή ανέρχεται στο 65% και οφείλεται κυρίως στην ιδιαίτερα υψηλή χρήση προϊόντων πετρελαίου.
- ❖ Επιτάχυνση της διασύνδεσης του ηπειρωτικού ηλεκτρικού δικτύου με τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (Πίνακας 1.7), των οποίων η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί αυξημένους οικονομικούς πόρους και συμβάλλουν στην ενεργειακή εξάρτηση της χώρας.
- ❖ Διασφάλιση μίας αναγκαία επάρκειας ισχύος του ηλεκτρικού συστήματος.

Πίνακας 1.7: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής διασυνδέσεων [11]

Εσωτερικές Διασυνδέσεις	Διασύνδεση Κυκλάδων	A Φάση: Λαύριο – Σύρος – Τήνος – Μύκονος	2018
		B Φάση: Πάρος - Νάξος, Νάξος - Μύκονος	2019
		Γ Φάση: Δεύτερη σύνδεση Λαύριο-Σύρος (2 <sup>ο</sup> καλώδιο)	2020
		Δ Φάση: Δυτικές και Νότιες Κυκλάδες	2023-2024: Διασύνδεση 2025: Έτος πλήρους λειτουργίας
	Διασύνδεση Κρήτης	Φάση I: 150kV, 2x200 MVA	2020: Διασύνδεση 2021: Έτος πλήρους λειτουργίας
		Φάση II (Αριάδνη): ΕΣΜΗΕ αναλαμβάνει όλο το φορτίο της Κρήτης	2022: Διασύνδεση 2023: Έτος πλήρους λειτουργίας
			2027: Διασύνδεση 2028: Έτος πλήρους λειτουργίας
	Διασύνδεση Δωδεκάνησα*		2027: Διασύνδεση 2028: Έτος πλήρους λειτουργίας
	Διασύνδεση Β. Αιγαίο **		2028: Διασύνδεση 2029: Έτος πλήρους λειτουργίας
	Διεθνείς Διασυνδέσεις	2η Διασύνδεση με Βουλγαρία, 600 MW	

\* Η διασύνδεση των Δωδεκανήσων περιλαμβάνει τη διασύνδεση σε Υψηλή Τάση των νησιών Κω, Ρόδου και Καρπάθου και μέσω αυτών με διασυνδέσεις Μέσης Τάσης τα νησιά Κάσος, Χάλκη, Κάλυμνος, Ψέριμος, Τέλενδος, Νίσυρος, Τήλος, Λέρος, Λειψοί, Γυαλί, Πάτμος, Αρκιοί, Μαράθι και Σύμη.

\*\* Η διασύνδεση Β. Αιγαίου περιλαμβάνει τη διασύνδεση σε Υψηλή Τάση των νησιών Λήμνος, Λέσθος, Σκύρος, Χίος και Σάμος και μέσω αυτών με διασυνδέσεις Μέσης Τάσης τα νησιά Ικαρία και Αγαθονήσι.

## 1.4 Η ενεργειακή κατάσταση των ελληνικών νησιών

Η Ελλάδα περιέχει γύρω στα 6.000 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες. Όμως, μόνο τα 227 είναι κατοικήσιμα, δηλαδή το 3,78%, εκ των οποίων μόλις τα 79 έχουν πληθυσμό άνω των 100 κατοίκων [12].

Τα ελληνικά νησιά έχουν τη δυνατότητα διαχωρισμού σε δύο κατηγορίες με κριτήριο τη σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα νησιά που συνδέονται με το δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδας μέσω υποβρυχίων καλωδίων και εστιάζει κυρίως σε αυτά με μικρότερη απόσταση από την ηπειρωτική χώρα. Η δεύτερη κατηγορία επικεντρώνεται στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ), τα οποία εξαρτώνται από αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτελούνται από ηλεκτροπαραγωγικά ζεύγη πετρελαίου και μικρής ισχύος εγκαταστάσεις ΑΠΕ. Συνολικά, υπάρχουν 29 αυτόνομα δίκτυα που εξυπηρετούν τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά και ορισμένα από αυτά εξυπηρετούν συμπλέγματα νησιών, όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 1.8.

Η Διεύθυνση Διαχείρισης Νήσων του ΔΕΔΔΗΕ, η οποία έχει έδρα την Αθήνα, είναι αρμόδια για τον χειρισμό και την αδιάκοπη λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. Το ηλεκτρικό φορτίο των ΜΔΝ είναι δύσκολο διαχειρίσιμο και πολύπλοκο, διότι παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση σε περίοδο ενός έτους. Συγκεκριμένα, τους χειμερινούς μήνες, το φορτίο παραμένει σταθερό και σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, ενώ τους θερινούς παρουσιάζει δραματική άνοδο. Τον Αύγουστο εμφανίζεται η μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας, επειδή ο αριθμός των τουριστών στα νησιά αυξάνεται σημαντικά.

Παρά τις άριστες συνθήκες που διαθέτουν τα μη διασυνδεδεμένα νησιά για την αξιοποίηση της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, παράγουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας από το δαπανηρό και μη περιβαλλοντικά φιλικό diesel. Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά υπόκειται σε τεχνικούς περιορισμούς του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου, το οποίο αδυνατεί να υποστηρίξει μεγάλο μέγεθος μη ελεγχόμενης ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ. Επίσης, πολλά νησιά περιέχουν αρχαιολογικούς χώρους με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθέσιμης έκτασης για εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων ΑΠΕ. Η διασύνδεση των νησιών αποτελεί λύση σε αυτό το πρόβλημα, ωστόσο σε μερικές περιπτώσεις το κόστος είναι υπέρογκο.

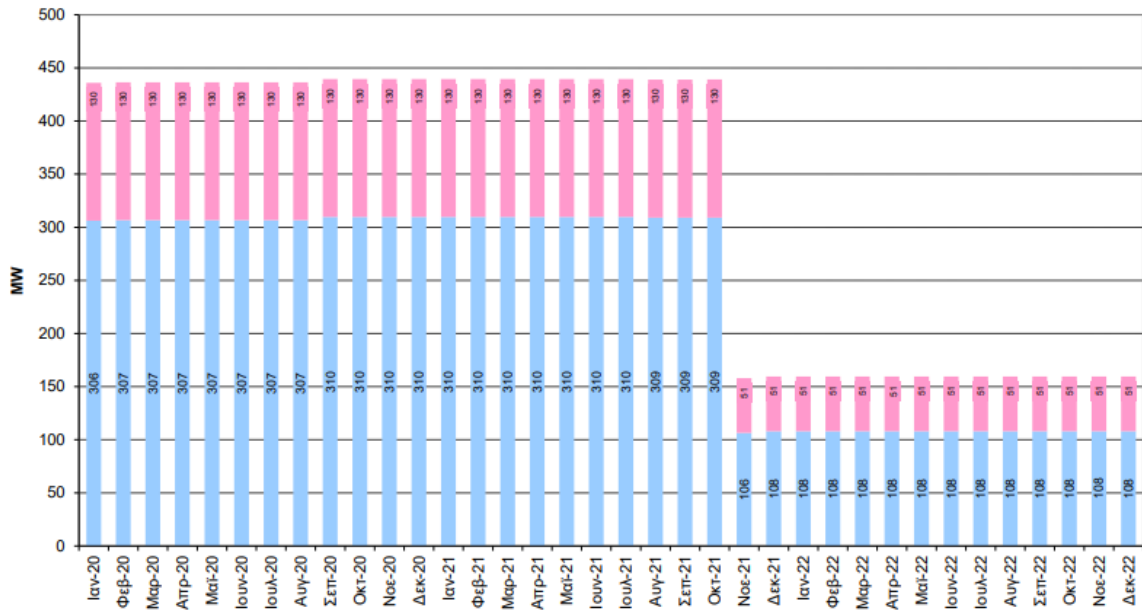
Η λύση για την μετάβαση σε μια πιο πράσινη οικονομία, την οποία επιδιώκουν τόσο η ΕΕ όσο και το ελληνικό κράτος, είναι η εγκατάσταση ενός οικονομικά βιώσιμου υβριδικού

συστήματος στα νησιά με δυσκολία διασύνδεσης στο δίκτυο. Ένα τέτοιο νησί είναι και η Σύμη, στην οποία έπειτα από τεχνικοοικονομική μελέτη προτείνεται ένα σύστημα που θα απαρτίζεται από συμβατικές μονάδες καύσης πετρελαίου, οι οποίες θα λειτουργούν ως εφεδρική πηγή ενέργειας, φωτοβολταϊκό και αιολικό πάρκο, καθώς και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Η τεχνολογία που συμβάλλει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και είναι σημαντικός αρωγός αυτής της προσπάθειας ενεργειακής μετάβασης

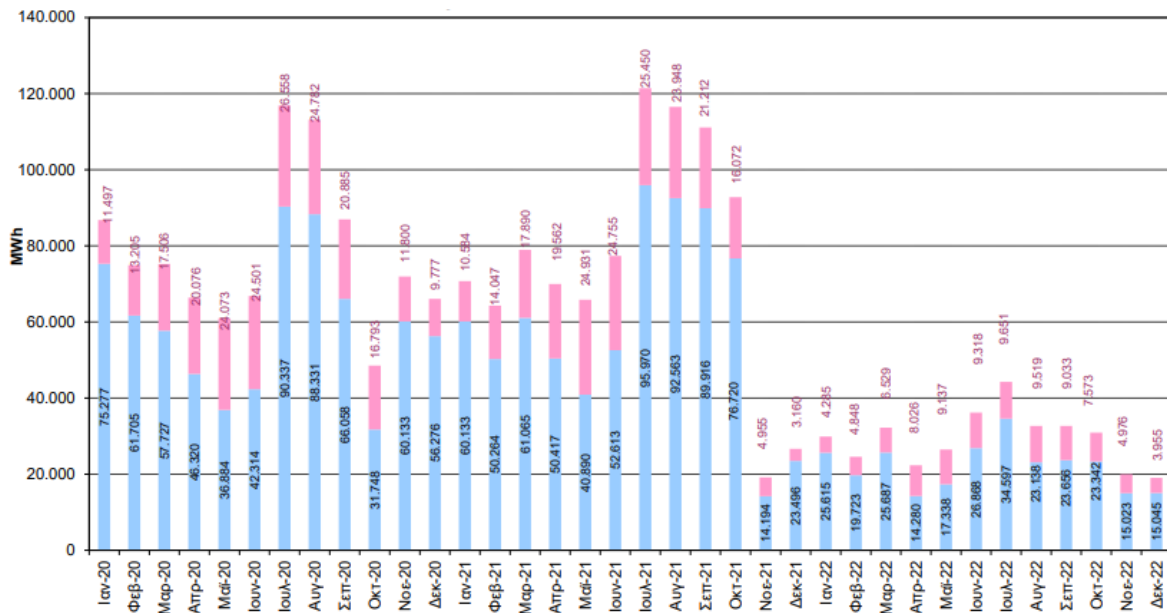
Στους Πίνακες 1.9 και 1.10 και στα Διαγράμματα 1.11 - 1.13 που αντλήθηκαν από το «Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά» για τον Δεκέμβριο του 2022, που δημοσιεύτηκε από το ΔΕΔΔΗΕ, απεικονίζεται η σημερινή επικρατούσα ενεργειακή κατάσταση στα ΜΔΝ. Να σημειωθεί ότι η απότομη μείωση στα νούμερα που αφορούν την εγκατεστημένη ισχύ και την παραγόμενη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οφείλεται στο γεγονός ότι βρίσκεται σε κατασκευή το έργο διασύνδεσης της Κρήτης με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Γι' αυτόν τον λόγο, από το Νοέμβριο του 2021 η Κρήτη δεν περιλαμβάνεται στα ΜΔΝ, ένα σημαντικό βήμα στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας.

Πίνακας 1.8: Ηλεκτρικά συστήματα των ΜΔΝ [13]

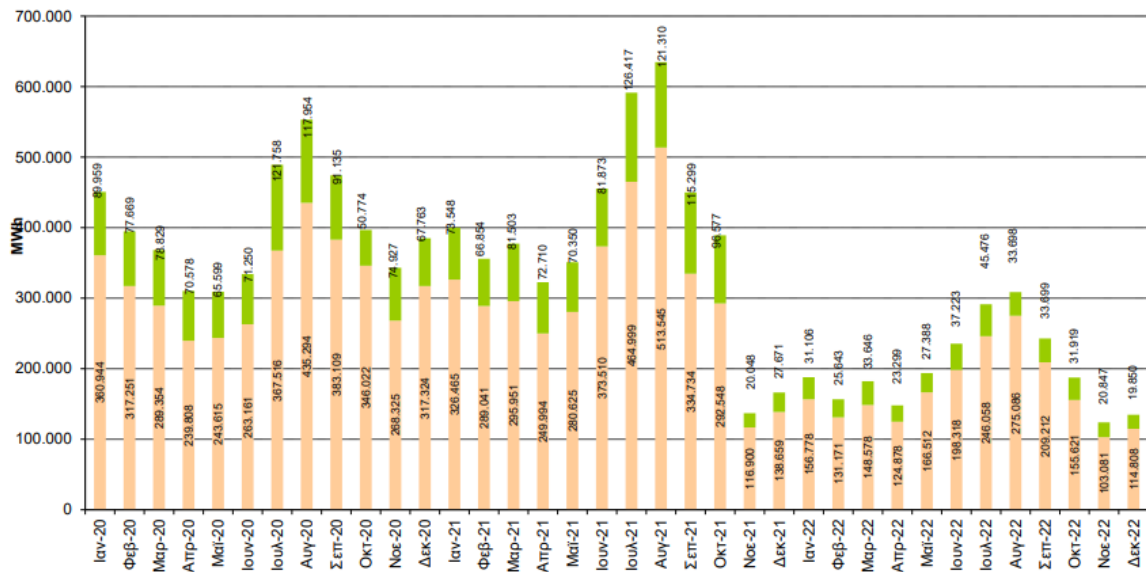
<b>ΛΙΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ</b>		
<b>α/α</b>	<b>Ηλεκτρικό Σύστημα ΜΔΝ</b>	<b>Νησί</b>
1	ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ
2	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ
3	ΑΜΟΡΓΟΣ	ΑΜΟΡΓΟΣ
4	ΑΝΑΦΗ	ΑΝΑΦΗ
5	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ
6	ΑΡΚΙΟΙ	ΑΡΚΙΟΙ
		ΜΑΡΑΘΙ
7	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ
8	ΓΑΥΔΟΣ	ΓΑΥΔΟΣ
9	ΔΟΝΟΥΣΑ	ΔΟΝΟΥΣΑ
10	ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΣΑ
11	ΘΗΡΑ	ΘΗΡΑ
		ΘΗΡΑΣΙΑ
12	ΙΚΑΡΙΑ	ΙΚΑΡΙΑ
13	ΚΑΡΠΑΘΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ
		ΚΑΣΟΣ
14	ΚΡΗΤΗ	ΚΡΗΤΗ
15	ΚΥΘΝΟΣ	ΚΥΘΝΟΣ
		ΚΩΣ
		ΨΕΡΙΜΟΣ
		ΓΥΑΛΙ
		ΚΑΛΥΜΝΟΣ
		ΛΕΡΟΣ
		ΛΕΙΨΟΙ
		ΤΕΛΕΝΔΟΣ
		ΝΙΣΥΡΟΣ
		ΤΗΛΟΣ
17	ΛΕΣΒΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ
		ΜΕΓΑΛΟΝΗΣΙ
18	ΛΗΜΝΟΣ	ΛΗΜΝΟΣ
19	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
20	ΜΗΛΟΣ	ΜΗΛΟΣ
		ΚΙΜΩΛΟΣ
21	ΟΘΩΝΟΙ	ΟΘΩΝΟΙ
22	ΠΑΤΜΟΣ	ΠΑΤΜΟΣ
23	ΡΟΔΟΣ	ΡΟΔΟΣ
		ΧΑΛΚΗ
24	ΣΑΜΟΣ	ΣΑΜΟΣ
		ΦΟΥΡΝΟΙ
		ΘΥΜΑΙΝΑ
25	ΣΕΡΙΦΟΣ	ΣΕΡΙΦΟΣ
26	ΣΙΦΝΟΣ	ΣΙΦΝΟΣ
27	ΣΚΥΡΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ
28	ΣΥΜΗ	ΣΥΜΗ
29	ΧΙΟΣ	ΧΙΟΣ
		ΟΙΝΟΥΣΣΕΣ
		ΨΑΡΑ



Διάγραμμα 1.11: Απεικόνιση εγκατεστημένης ισχύος στα ΜΔΝ των φωτοβολταϊκών (ροζ) και αιολικών (γαλάζιο), από το 2020 έως το 2022 [14]



Διάγραμμα 1.12: Απεικόνιση ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ από φωτοβολταϊκά (ροζ) και αιολικά (γαλάζιο), από το 2020 έως το 2022 [14]



Διάγραμμα 1.13: Απεικόνιση ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ από θερμικές μονάδες (μπεζ) και ΑΠΕ (πράσινο), από το 2020 έως το 2022 [14]

Πίνακας 1.9: Συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής των μεγάλων ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ (Δεκέμβριος 2022) [14]

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΔΝ	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ 2021 (MW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΙΧΜΗ ΖΗΤΗΣΗΣ 2021 (MW)*	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ (MWh)***	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)
ΡΟΔΟΣ	326,96	237,47	6.768,20	33.004,87	403,82	238,87	17,02
ΛΕΣΒΟΣ	102,60	68,36	3.336,01	19.143,63	222,90	197,62	14,84
ΚΩΣ-ΚΑΛΥΜΝΟΣ	143,74	106,08	3.218,26	16.101,71	404,26	208,81	16,66
ΛΗΜΝΟΣ	26,15	16,30	736,26	3.793,62	392,23	233,00	16,25
ΜΗΛΟΣ	21,70	14,52	275,42	2.955,84	280,25	211,95	8,52
ΧΙΟΣ	77,78	51,90	2.438,88	12.960,95	241,50	188,51	15,84
ΣΑΜΟΣ	49,63	33,10	1.687,68	7.662,29	320,03	232,34	18,05
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	19,05	12,45	348,85	1.922,03	401,72	280,84	15,36
ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΗΣ**	173,11		1.039,97	17.262,89	0,00	0,00	5,68
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>940,72</b>		<b>19.849,53</b>	<b>114.807,83</b>			<b>14,74</b>

Πίνακας 1.10: Συγκεντρωτικά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής των μικρών ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ (Δεκέμβριος 2022) [14]

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΔΝ	ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ 2021 (MW)	ΜΕΓΙΣΤΗ* ΕΤΗΣΙΑ ΔΙΧΜΗ ΖΗΤΗΣΗΣ 2021 (MW)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ (MWh)**	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh)	ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)
ΑΓΙΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	0,84	0,35	0,00	75,27	671,12	371,22	0,00
ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	0,64	0,24	0,00	70,79	1.014,98	445,69	0,00
ΑΜΟΡΓΟΣ	6,20	3,50	24,19	671,09	618,90	358,38	3,48
ΑΝΑΦΗ	1,15	0,64	0,00	73,81	576,29	452,44	0,00
ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	0,41	0,10	0,00	19,96	1.107,64	572,79	0,00
ΑΡΚΙΟΙ	0,41	0,16	0,00	21,98	2.968,93	530,10	0,00
ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	5,10	2,59	30,68	341,99	987,19	564,76	8,23
ΓΑΥΔΟΣ	0,43	0,18	0,00	35,77	1.061,21	483,82	0,00
ΔΟΝΟΥΣΑ	0,99	0,46	0,00	53,41	1.535,47	430,10	0,00
ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	0,77	0,53	0,00	52,61	1.092,01	468,81	0,00
ΘΗΡΑ	80,19	58,35	54,44	9.291,32	406,00	317,24	0,58
ΙΚΑΡΙΑ	20,02	9,60	637,05	1.472,87	803,53	381,56	30,19
ΚΥΘΟΣ	7,20	4,34	18,94	558,41	740,93	502,55	3,28
ΜΕΓΙΣΤΗ	2,22	1,19	0,00	281,14	584,54	400,40	0,00
ΟΘΩΝΟΙ	0,66	0,29	0,00	39,85	1.074,94	431,66	0,00
ΠΑΤΜΟΣ	8,93	6,14	121,47	1.014,08	650,85	429,36	10,70
ΣΕΡΙΦΟΣ	7,97	4,14	11,63	446,37	635,26	356,81	2,54
ΣΙΦΝΟΣ	11,48	7,50	112,53	911,38	1.077,58	512,68	10,99
ΣΚΥΡΟΣ	7,65	4,86	19,75	1.025,57	578,31	405,84	1,89
ΣΥΜΗ	9,88	4,06	9,30	805,21	614,14	428,99	1,14

## Κεφάλαιο 2

### Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Υβριδικών Συστημάτων Παραγωγής Ενέργειας

Εξαιτίας της ευρείας έρευνας και δυνατότητας εφαρμογής των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένος αριθμός επιστημονικών μελετών σε αυτό το αντικείμενο, ορισμένες εκ των οποίων αξιοποιήθηκαν για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν μελέτες που εξετάζουν τον βέλτιστο σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος μέσω του λογισμικού HOMER για την Ελλάδα. Ο Κατσιβελάκης [15], διέπραξε μία τεχνικοοικονομική μελέτη που αποσκοπεί στην εύρεση του βέλτιστου αυτόνομου συστήματος εκτός δικτύου για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στη νήσο Δονούσα, εξετάζοντας τρία διαφορετικά σενάρια. Οι διπλωματικές εργασίες των Μπόζιερη [16] και Αλεξίου [17], πραγματοποιούν τεχνικοοικονομικές μελέτες με σκοπό την αντικατάσταση των υπάρχοντων ντιζελογεννητριών από ΑΠΕ, για την πλήρη εξυπηρέτηση των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων του Καστελόριζου και Αμοργού αντίστοιχα. Οι Γιατράκος et al. [18], παρουσιάζουν τον βιώσιμο σχεδιασμό ενός ενεργειακού συστήματος με στόχο την αντικατάσταση των υφιστάμενων γεννητριών ντίζελ με ένα υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από αιολική ενέργεια, φωτοβολταϊκά και υδρογόνο στην Κάρπαθο. Επιπλέον, οι Deblecker και Ιωακειμίδης [19] εξετάζουν τη δυνατότητα χρήσης ενός υβριδικού συστήματος ΑΠΕ για ένα μικρό ελληνικό νησί (Άγιος Ευστράτιος) διερευνώντας τρία διαφορετικά σενάρια περιπτώσεων, στοχεύοντας στον καλύτερο δυνατό σχεδιασμό του μικροδικτύου με τη μικρότερη οικονομική επιβάρυνση πραγματοποιώντας τεχνικοοικονομική ανάλυση. Τέλος, ο Κατσουλάκος [20], παραθέτει μια αναλυτική επισκόπηση των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας των ελληνικών νησιών και διαφορετικά σενάρια αναρρύθμισης του αυτόνομου συστήματος της Αστυπάλαιας με κύριο σκοπό την ελάττωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αειφόρο τρόπο.

Εκτός από την Ελλάδα, υπάρχουν πολλές άλλες μελέτες που εξετάζουν τη σκοπιμότητα ενός υβριδικού συστήματος στο εξωτερικό, χρησιμοποιώντας το λογισμικό

HOMER. Για παράδειγμα, οι Al-Badi et al. [21] πραγματοποίησαν μία τεχνοοικονομική ανάλυση για αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος, στο Duqm του Oman, με ΑΠΕ που περιλαμβάνουν δεξαμενές υδρογόνου και κυψέλες καυσίμου. Η [22] αποτελεί ακόμη μία τεχνικοοικονομική μελέτη, ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος για ένα απομονωμένο νησί στο Χονγκ-Κονγκ. Επίσης, οι Gautam et al. [23], προτάσσουν ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από το συνδυασμό ηλιακής ενέργειας και βιομάζας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε απόμερες περιοχές. Στην [24], οι συγγραφείς πραγματοποιούν μία ανάλυση απόδοσης ενός αυτόνομου συστήματος που τροφοδοτεί απομονωμένες αγροτικές περιοχές στην Ουγκάντα, το οποίο βασίζεται στην υδροηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από τη ροή του πλησιέστερου ποταμού. Ακόμη, οι Hoarcă et al. [25], παρουσιάζουν αναλυτικά μια συγκριτική ανάλυση των λύσεων που λαμβάνονται με τους προσομοιωτές iHOGA και HOMER για το ίδιο υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην πόλη Ramnicu Valcea της Ρουμανίας, το οποίο περιέχει κυψέλες καυσίμου και άλλες μορφές ΑΠΕ, αντικαθιστώντας το υπάρχον επιβλαβές για το περιβάλλον σύστημα γεννητριών πετρελαίου. Η μελέτη [26], πραγματεύεται την εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος για την παροχή ενός νοσοκομείου στο Ιράν, αποσκοπώντας στη βελτίωση της βιωσιμότητας του συστήματος ενέργειας. Παράλληλα, για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος χρησιμοποιεί μία σύνθετη μέθοδο λήψης αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη τεχνικά, περιβαλλοντικά, οικονομικά κριτήρια, καθώς και κριτήρια ενεργειακής ασφάλειας. Επιπρόσθετα, οι συγγραφείς της [27] μοντελοποιούν ένα υβριδικό σύστημα για την κάλυψη των απαιτήσεων του χωριού Elarakkam που βρίσκεται στην περιοχή Tamil Nadu στην Ινδία, μελετώντας τρία διαφορετικά σενάρια για το σύστημα αναφορικά με τη σύνδεσή του με το δίκτυο. Τέλος, οι Chakraborty et al. [28], ασχολούνται με την πιθανή εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος που συνδυάζει αρκετές μορφές ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας σε αυτόνομη λειτουργία για μια απομακρυσμένη λοφώδη πόλη μιας πολιτείας της βορειοανατολικής Ινδίας. Σχεδιάστηκαν τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του ολοκληρωμένου ενεργειακού συστήματος εξετάζοντας την απόδοση κάθε περίπτωσης για την καλύτερη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εν κατακλείδι, το ευρύ φάσμα ερευνών που προαναφέρθηκαν αποτέλεσε αρωγό για την παρούσα μελέτη. Ωστόσο, ο σχεδιασμός κάθε υβριδικού συστήματος είναι διαφορετικός και εξαρτάται από τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα και το προφίλ φορτίου της εκάστοτε περίπτωσης μελέτης.

## Κεφάλαιο 3

### Η νήσος Σύμη

#### 3.1 Γενικά στοιχεία

Η Σύμη που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1, ανήκει στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων, ενώ βρίσκεται 12 μίλια βορειοδυτικά της Ρόδου, κοντά στον ομώνυμο μικρασιατικό κόλπο της Σύμης, ή σύμφωνα με τους Τούρκους τον κόλπο Συμπεκί.

Υπάγεται διοικητικά στην περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου και ειδικότερα στην περιφερειακή ενότητα Ρόδου. Σύμφωνα με την επίσημη απογραφή του ελληνικού κράτους που πραγματοποιήθηκε το έτος 2011, ο πληθυσμός της Σύμης προσδιορίζεται στους 2.690 μόνιμους κατοίκους. Το μεγαλύτερο κομμάτι του πληθυσμού συγκεντρώνεται στο άνω τμήμα της πόλης, το λεγόμενο Χωριό.

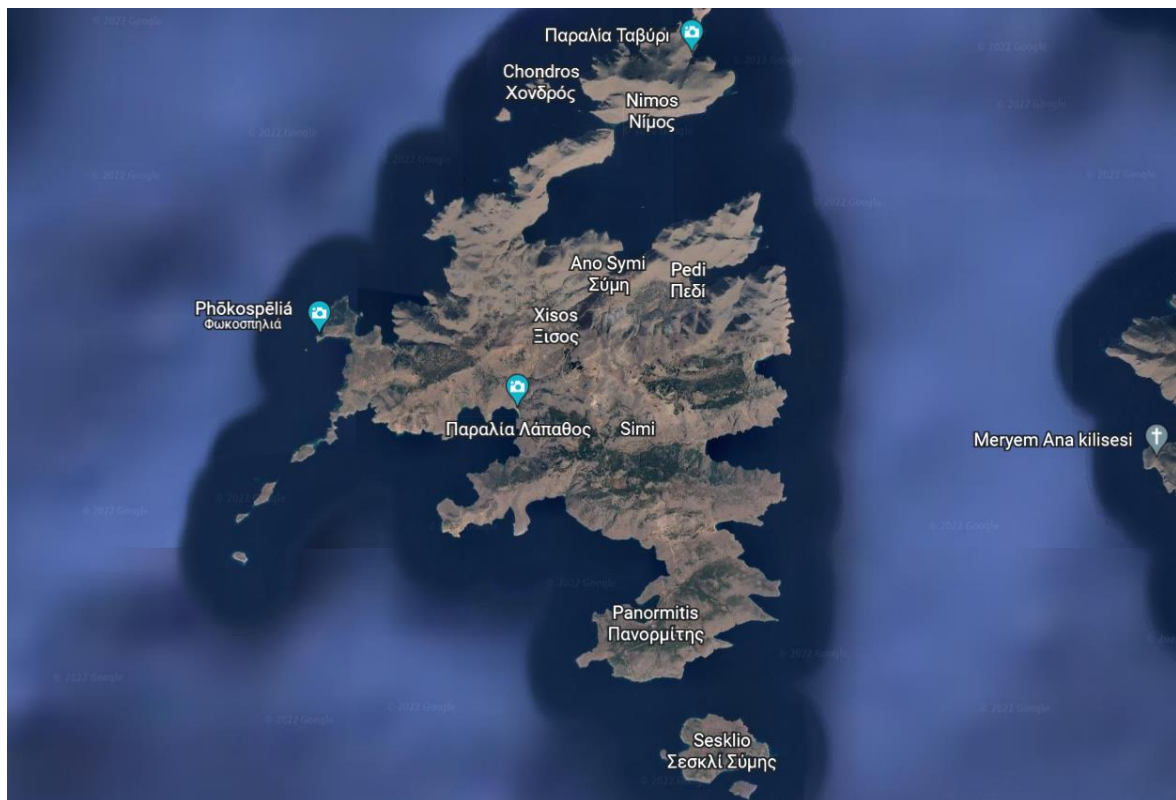
Η έκταση του νησιού είναι 57,865 τ.χλμ. Το νησί διαθέτει αρκετά βουνά, είναι πετρώδες και χαρακτηρίζεται από λιγοστή βλάστηση και έλλειψη υδάτων. Το κορυφαίο σημείο του νησιού ονομάζεται Βίγλα και βρίσκεται στα 550 μέτρα, ενώ διαχωρίζει το νησί στο βόρειο πιο καλλιεργήσιμο κομμάτι και το νότιο. Επίσης, αποτελείται από λιγοστά υψίπεδα και πεδινά.

Η πόλη είναι οικοδομημένη γύρω από τον Γιαλό, το φυσικό της λιμάνι, που προέρχεται από τη λέξη "Αιγιαλός". Η αρχιτεκτονική της Σύμης την καθιστά έναν παγκόσμιας κλάσης τουριστικό προορισμό, με αποτέλεσμα η οικονομία του νησιού να βασίζεται στον τουρισμό. Άξιο αναφοράς αποτελεί το γεγονός ότι στο νησί βρίσκεται σε λειτουργία εργοστάσιο αφαλάτωσης από το 2009, για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης του νησιού [29].



Εικόνα 3.1: Η Σύμη

Αρκετά νησιά και βραχονησίδες τοποθετούνται γύρω από τη Σύμη, τα οποία διακρίνονται στην Εικόνα 3.2, με τα σημαντικότερα τη Νίμο που βρίσκεται βόρεια, το Σεσκλι που είναι νότια, αλλά και ακόμη πολλές βραχονησίδες στο δυτικότερο σημείο της Σύμης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η Σύμη με τις κοντινές της νησίδες, καθώς και η εγγύτερη τούρκικη ακτή, γεγονός που απεικονίζει πόσο μικρή απόσταση χωρίζει τη Σύμη από τη γειτονική χώρα. Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν, ότι το νησί βρίσκεται σε καίρια γεωγραφική θέση με εξέχουσα γεωπολιτική σημασία.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση της Σύμης μέσω του Google Earth Pro

### 3.2 Η σημερινή ενεργειακή κατάσταση

Οι πληροφορίες σχετικά με τη σημερινή ενεργειακή κατάσταση της Σύμης παρασχέθηκαν από τον Διευθυντή του Κλάδου Διαχείρισης Παραγωγής κύριο Ανδρέα Ρέππα και τον Τομεάρχη Λειτουργίας Συστημάτων Ελέγχου Ενέργειας κύριο Κωνσταντίνο Καούσια της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ [30], τους οποίους ευχαριστώ ιδιαίτερος.

Η Σύμη καλύπτει τις ενεργειακές τις ανάγκες χάρη στη λειτουργία ενός Συμβατικού Θερμικού Σταθμού Παραγωγής, τον ΤΣΠ Σύμης. Παράλληλα, σήμερα λειτουργούν τρεις ΦΒ Σταθμοί, με συνολική ισχύ 189,54 kW, μη συμπεριλαμβανομένων των ΦΒ στέγης. Αντίθετα, το ηλεκτρικό σύστημα της Σύμης δε περιλαμβάνει κάποιον αιολικό σταθμό.

Το μέσο ετήσιο μεταβλητό κόστος του συστήματος της Σύμης είναι ίσο με 236,64€/MWh για το 2021, σύμφωνα με τα στοιχεία των μηνιαίων εκκαθαρίσεων. Αυτό το ποσό προέκυψε συνυπολογίζοντας το κόστος καυσίμου, το πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης καθώς και το κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub>. Πιο συγκεκριμένα, δηλώνεται ότι το μεσοσταθμικό ετήσιο κόστος αγοράς πετρελαίου για το

2021 εκτιμήθηκε στα 866,28 €/klt, ενώ το μέσο ετήσιο πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης προσδιορίστηκε ίσο με 2,63 €/MWh για όλες τις μονάδες του σταθμού.

Παράλληλα, με βάση τις μηνιαίες εκκαθαρίσεις, το συνολικό σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του ΤΣΠ Σύμης για το ίδιο έτος ανήλθε στα 114,26 €/MWh. Στο σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συμβατικού σταθμού περιλαμβάνονται οι δαπάνες λειτουργίας δραστηριότητας παραγωγής, το κόστος κεφαλαίου, οι αποσβέσεις πάγιου ενεργητικού και οι υποστηρικτικές λειτουργίες.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η ημερήσια αιχμή κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται κατά βάση τις μεσημεριανές ώρες 11:00 - 14:00 και τις βραδινές 18:00 - 21:00. Αντίστοιχα τη θερινή περίοδο οι ώρες αιχμής φορτίου εκδηλώνονται συνήθως τις ώρες 10:00 - 14:00 και 18:00 - 23:00.

Ο ΤΣΠ Σύμης περιλαμβάνει εννιά συμβατικές μονάδες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6,6 MW. Πιο συγκεκριμένα ο ηλεκτρικός σταθμός αποτελείται από τρεις συμβατικές μονάδες MITSUBISHI S16R-PTA (0,9 MW), μία MITSUBISHI S16R-PTA (1 MW), δύο MTU 12V 4000G60 (0,7MW) και δύο CEGIELSKI 6AL20/24 (0,3 MW). Όλες οι παραπάνω μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνουν πετρέλαιο.

Με βάση τα μηνιαία στοιχεία εκκαθάρισης στα ΜΔΝ που αναρτεί ο ΔΕΔΔΗΕ, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτήθηκε για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της Σύμης για το 2022 καταγράφεται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Απαιτήσεις ενέργειας της Σύμης για το 2022 [31]

	Ενέργεια ΑΠΕ (MWh)	Ενέργεια Συμβατικών Μονάδων (MWh)
Ιανουάριος 2022	11,55	1.153,31
Φεβρουάριος 2022	13,46	947,13
Μάρτιος 2022	20,25	1.043,52
Απρίλιος 2022	27,25	785,63
Μάιος 2022	26,80	956,60
Ιούνιος 2022	28,09	1.188,33
Ιούλιος 2022	29,92	1.792,31
Αύγουστος 2022	26,12	1.974,39
Σεπτέμβριος 2022	26,90	1.418,15
Οκτώβριος 2022	19,84	1.064,46
Νοέμβριος 2022	13	741,93
Δεκέμβριος 2022	9,30	805,21
Σύνολο	252,48	13.870,97

Όπως εκτίθεται στον ανωτέρω πίνακα, για το 2022 οι συνολικές απαιτήσεις ενέργειας της Σύμης προέκυψαν στις:  $252,48 + 13.870,97 = 14.123,45$  MWh. Το ποσοστό του φορτίου που τροφοδοτήθηκε από ΑΠΕ ήταν μόλις:  $252,48 / 13.870,97 = 0,0182$ , γεγονός που σημαίνει ότι το ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ ισούταν μόλις με 1,82%.

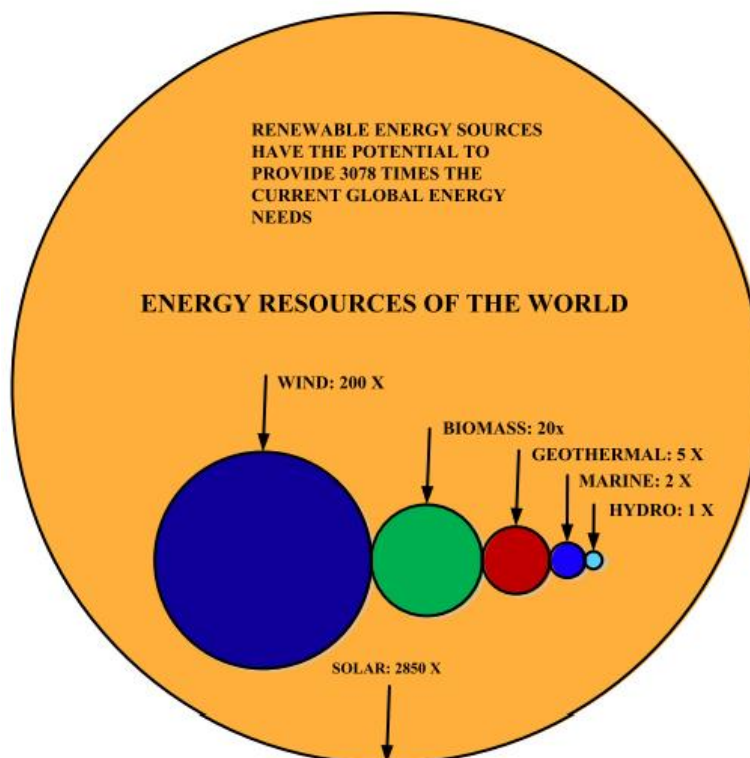


## Κεφάλαιο 4

### Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

#### 4.1 Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρούνται μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διεργασίες, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία και η κυκλοφορία του νερού. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μετατρέπουν αυτή τη φυσική ενέργεια σε χρησιμοποιήσιμες μορφές ενέργειας όπως ηλεκτρισμός, θερμότητα και καύσιμα. Η Εικόνα 4.1 απεικονίζει την ικανότητα των ΑΠΕ να καλύψουν πάνω από 3000 φορές τις τρέχουσες παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες.



Εικόνα 4. 1: Δυνατότητα κάλυψης των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών από κάθε ενεργειακό πόρο [36]

Οι ΑΠΕ δεν εμπεριέχουν ενεργειακές πηγές που πηγάζουν από ορυκτά καύσιμα, καθώς και απόβλητα που προέρχονται από ορυκτές και ανόργανες πηγές. Μπορούν να

ονομαστούν και ως νέες πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια. Τις πιο ανεπτυγμένες τεχνολογίες πράσινης ενέργειας αποτελούν η ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, γεωθερμική, από βιομάζα, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών.

Τον όρο ήπιες μορφές ενέργειας τον χρησιμοποιούμε για δύο βασικούς λόγους. Αφενός, εκμεταλλεύονται την προϋπάρχουσα ροή ενέργειας στη φύση δίχως να απαιτείται κάποια ενεργητική επέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, αλλά απλώς η εκμετάλλευση. Αφετέρου, είναι περιβαλλοντικά φιλικές, διότι στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες ή ραδιενεργά και τοξικά απόβλητα.

Όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία έρχονται σε σύγκρουση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι η πιο ευρεία διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι θεωρούνται ένας αρωγός στην προσπάθεια για την αντιμετώπιση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Ως αποτέλεσμα, τα τελευταία χρόνια, εφαρμόζονται νέες στρατηγικές για την εδραίωση των ΑΠΕ από την ΕΕ αλλά και από διάφορα κράτη, για να παράγουν ενέργεια με την ελάχιστη δυνατή μόλυνση του περιβάλλοντος [32].

## **4.2 Ηλιακή Ενέργεια**

Ηλιακή ενέργεια αποκαλείται η ενέργεια του ήλιου που φτάνει στη γη. Ο ήλιος είναι μία πηγή ενέργειας, η οποία δεν εξαντλείται, είναι πάντα προς διάθεση και περίπου 10.000 φορές μεγαλύτερη από την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς, μεταβάλλοντας το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα αξιοποιώντας τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία (ΦΒ), είτε έμμεσα χρησιμοποιώντας την αρχή της συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας [33].

Η ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η μετατροπή λαμβάνει χώρα γίνεται εντός των φωτοβολταϊκών κυττάρων, τα οποία βασίζονται σε τεχνολογίες ημιαγωγών. Υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία βασίζονται σε μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, άμορφη σιλικόνη, τελλουρίδιο του καδμίου και σεληνιούχο ίνδιο του χαλκού.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται και συναρμολογούνται για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού ή ηλιακού πάνελ. Κάθε πάνελ αξιολογείται με βάση την ισχύ εξόδου DC υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής, και τυπικά κυμαίνεται από 100 έως 320 W. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ καθορίζεται για κάθε εμβαδόν επιφάνειας ενός πάνελ με την ίδια ονομαστική ισχύ εξόδου. Η καλύτερη απόδοση μετατροπής ηλιακού φωτός που έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα ανέρχεται σε ποσοστό 20%, ενώ τα πιο αποδοτικά ηλιακά πάνελ μαζικής παραγωγής έχουν τιμές ενεργειακής πυκνότητας έως 175 W/m<sup>2</sup>.

Τα συστήματα CSP χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς και συστήματα παρακολούθησης για να συγκεντρώσουν ένα μεγάλο πεδίο ηλιακού φωτός σε μια μικρή δέσμη. Η εστιασμένη ηλιακή ενέργεια κατευθύνεται για να θερμανθεί ένα υγρό μέσα σε σωλήνες απορρόφησης ή άλλα δοχεία. Η συγκεντρωμένη θερμότητα στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας. Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος από τεχνολογίες συγκέντρωσης [34].

Τα πιο ανεπτυγμένα συστήματα και ήδη εφαρμοσμένα στην πράξη είναι:

- ❖ Παραβολικά κάτοπτρα
- ❖ Συγκεντρωτικά γραμμικά κάτοπτρα Fresnel
- ❖ Ηλιακοί πύργοι

Άξια αναφοράς είναι επίσης η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τροφοδοσία συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες που αφορούν την ηλιακή ψύξη και θέρμανση αποθηκεύουν θερμική ενέργεια από τον ήλιο. Στη συνέχεια αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται όχι μόνο για παροχή ζεστού νερού αλλά και για θέρμανση χώρων. Επίσης, μπορεί να αξιοποιηθεί σε ψύξη και θέρμανση πισίνων για οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

### **4.3 Αιολική Ενέργεια**

Η αιολική ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που δημιουργείται από την αξιοποίηση του ανέμου, που είναι ανεξάντλητος. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Μία ανεμογεννήτρια αποτελείται από δύο κύρια τμήματα: το δρομέα ή ρότορα και την ηλεκτρογεννήτρια. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική χάρη στο δρομέα, ενώ η μηχανική σε ηλεκτρική χάρη στην ηλεκτρογεννήτρια.

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- ❖ Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (Εικόνα 4.2): Ακολουθούν περιστροφή γύρω από άξονα που είναι σχεδόν παράλληλος με τη διεύθυνση του ανέμου και οριζόντιος ως προς το επίπεδο του εδάφους.



Εικόνα 4.2: Α/Γ Οριζοντίου άξονα [35]

- ❖ Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα (Εικόνα 4.3) κάθετο ως προς το έδαφος και τη ροή του ανέμου [35].



Εικόνα 4.3: Α/Γ Κάθετου άξονα [35]

#### 4.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προκύπτει από την ενέργεια του κινούμενου νερού. Το νερό που ρέει προσφέρει ενέργεια που είναι ικανή να συλληφθεί και να μετατραπεί σε ηλεκτρική με τη χρήση στροβίλων. Τα φράγματα αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τρόπο

παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η εκμετάλλευση της κυματικής και παλιρροιακής ισχύος διαδίδεται όλο και περισσότερο.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι προϊόν αξιοποίησης της κίνησης του νερού στον υδρολογικό κύκλο, τον οποίο καθοδηγεί η ηλιακή ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα, το κινούμενο νερό των ποταμών, κατεβαίνει από υψηλότερες περιοχές σε χαμηλότερες με τη βοήθεια της βαρύτητας και χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας [36].

Οι ΥΗΣ ορίζονται από μία ευρεία κλίμακα, η οποία εκτείνεται από περιορισμένα watt μέχρι και GW. Πιο συγκεκριμένα, διαχωρίζονται με βάση την ονομαστική τους δυνατότητα παραγωγής σε:

- ❖ Μεγάλοι με ονομαστική ισχύ:  $P > 15\text{MW}$
- ❖ Μικροί με ονομαστική ισχύ:  $1\text{ MW} < P < 15\text{ MW}$
- ❖ Μίνι με ονομαστική ισχύ:  $0.1\text{ MW} < P < 1\text{ MW}$  [37].

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη λειτουργία και το είδος της ροής του νερού.

- ❖ Στη ροή του ποταμού
- ❖ Αποθήκευσης με ταμιευτήρα
- ❖ Με αντλία αποθήκευσης

Ένας ΥΗΣ στη ροή του ποταμού αποκομίζει ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας κατά κύριο λόγο από τη ροή των υδάτων του ποταμού που είναι αξιοποιήσιμα. Ένας ΥΗΣ τέτοιου τύπου έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης κάποιας βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, ενώ επιτρέπει συγκεκριμένες μετατροπές στο προφίλ ζήτησης, αλλά το προφίλ παραγωγής θα ποικίλλει ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες ροής του ποταμού. Ως αποτέλεσμα, η παραγωγή εξαρτάται από τη βροχόπτωση και την απορροή και ίσως να εμφανίσει αξιοσημείωτες ημερήσιες, μηνιαίες ή εποχιακές μεταβολές.

Οι σταθμοί με δεξαμενή ονομάζονται υδροηλεκτρικές μονάδες αποθήκευσης, διότι πραγματοποιούν αποθήκευση νερού, το οποίο προορίζεται για μελλοντική κατανάλωση. Η εξάρτηση από τη διακύμανση της παροχής του νερού συρρικνώνεται χάρη στη δεξαμενή, ενώ οι σταθμοί παραγωγής βρίσκονται σε κατάντη συνδεδεμένοι με τη δεξαμενή με τη χρήση καναλιών. Οι δεξαμενές σχεδιάζονται και τυποποιούνται σύμφωνα με το τοπίο.

Οι ΥΗΣ με αντλία αποθήκευσης δεν αποτελούν ενεργειακούς πόρους, αλλά έχουν την ικανότητα να συντελούν στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ως μέσα αποθήκευσης. Αναλυτικότερα, η λειτουργία τους βασίζεται στην άντληση του νερού από έναν κάτω ταμιευτήρα σε έναν άνω ταμιευτήρα, κατά κύριο λόγο σε ώρες χαμηλού ηλεκτρικού

φορτίου. Αντίθετα, η διαδικασία αντιστρέφεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τις περιόδους που παρουσιάζεται αιχμή ζήτησης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλο που οι απώλειες της διαδικασίας άντλησης καθιστούν μια τέτοια εγκατάσταση καθαρό καταναλωτή ενέργειας, το εργοστάσιο είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο στο ηλεκτρικό σύστημα χάρη στη μεγάλη δυνατότητά του για αποθήκευση ενέργειας. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι αυτή η μέθοδος αποθήκευσης κατέχει την υψηλότερη εγκατεστημένη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας του δικτύου που είναι πλέον άμεσα διαθέσιμη σε όλο τον κόσμο.

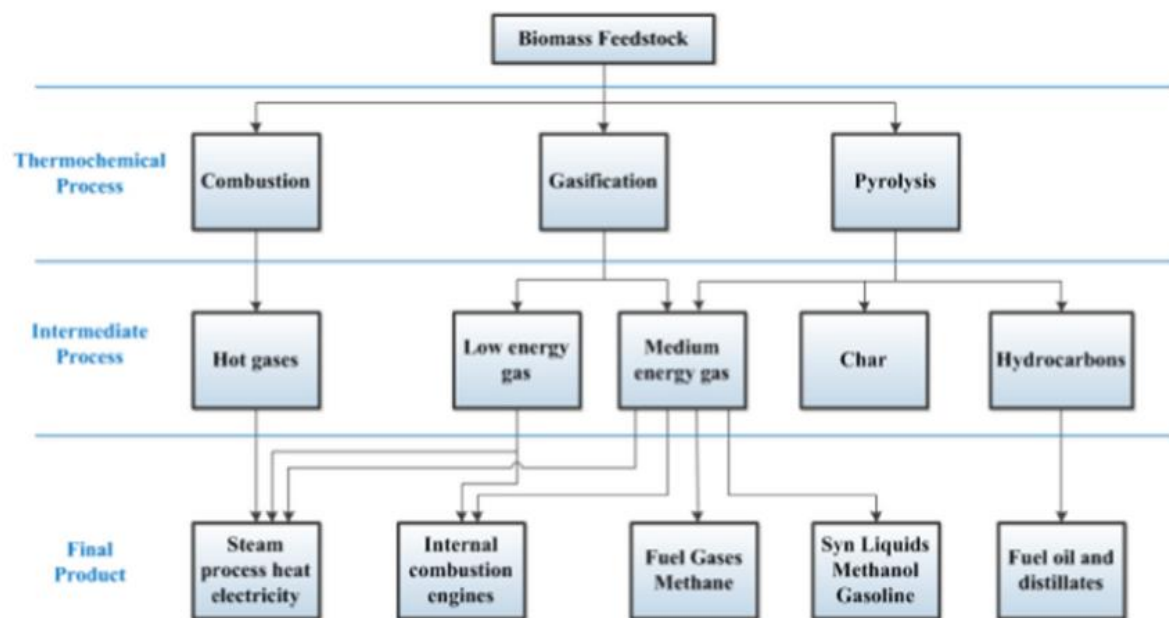
Αυτή η μέθοδος παραγωγής ενέργειας αποτελεί μια δοκιμασμένη και αρκετά εξελιγμένη τεχνολογία που βασίζεται σε πάνω από έναν αιώνα εμπειρίας. Ακόμη, τη σήμερον ημέρα θεωρείται μια άκρως προσαρμόσιμη τεχνολογία για την παραγωγή ισχύος με μία από τις καλύτερες αποδόσεις μετατροπής όλων των πηγών ενέργειας χάρη στην άμεση μετατροπή της ενέργειας του κινούμενου νερού σε ηλεκτρική. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς ανάπτυξης με την βελτιστοποίηση της λειτουργίας, ελάττωση του με περιβαλλοντικού αντίκτυπου, προσαρμόζοντάς την σε σύγχρονες ανάγκες τις κοινωνίας και του περιβάλλοντος και αναπτύσσοντας πιο εύρωστες και αποδοτικές τεχνολογικές προτάσεις [36].

## **4.5 Ενέργεια από Βιομάζα**

Βιομάζα είναι η ορολογία που χρησιμοποιούμε για το σύνολο των οργανικών υλικών που πηγάζουν από φυτά, δέντρα και καλλιέργειες, δηλαδή την συγκεντρωμένη και αποθηκευμένη ενέργεια του ηλίου διαμέσου της φωτοσύνθεσης. Η παροχή της ενέργειας από τη βιομάζα (βιοενέργεια), δημιουργείται μετατρέποντας μορφές της σε ωφέλιμες μορφές ενέργειας όπως για παράδειγμα η θερμότητα, ηλεκτρισμό και βιοκαύσιμα. Η βιοενέργεια πηγάζει κατευθείαν από τη Γη, με την χρήση αφιερωμένων ενεργειακών καλλιεργειών ή αλλιώς από κατάλοιπα τα οποία δημιουργούνται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των καλλιεργειών για τροφή ή άλλων προϊόντων.

Η βιοενέργεια είναι ιδιαίτερα οικολογική, ωστόσο έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τους ορυκτούς πόρους. Καθώς είναι ικανή να παράξει ενέργεια απευθείας μέσω καύσης, ακόμη έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για μετατροπή σε ποικιλία υγρών ή αερίων καυσίμων (βιοκαύσιμα). Αυτά τα καύσιμα μεταφέρονται, αποθηκεύονται και επιτρέπουν την παραγωγή θερμότητας και ενέργειας όποτε ζητηθεί, η οποία έχει

αξιοσημείωτο ρόλο σε ένα μείγμα ενέργειας το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από διακοπόμενες πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος. Αυτές οι ομοιότητες είναι ο λόγος για τον σημαντικό ρόλο που αναμένεται να παίζει σε μελλοντικά ενεργειακά σενάρια. Ως εκ τούτου, ένα πρόσφατα αναδυόμενο πλάνο είναι η εξέλιξη βιοδιυλιστηρίου και τεχνολογιών βιομετασχηματισμού για να μετατρέπουν τις διάφορες μορφές βιομάζας σε καθαρά ενεργειακά καύσιμα. Η τροφοδοσία βιομάζας μπορεί να μετατραπεί σε βιοενέργεια μέσω θερμοχημικών και βιοχημικών διεργασιών μετατροπής. Αυτές οι διεργασίες περιλαμβάνουν καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση, και αναερόβια πέψη, όπως υποδεικνύεται στην Εικόνα 4.4. Επιπλέον, η αξιοποίηση των καυσίμων που προέρχονται από βιομάζα θα μετριάσει επίσης σε μεγάλο βαθμό τα τρέχοντα θέματα ενεργειακής ασφάλειας και εμπορικών ισοζυγίων και θα ενθαρρύνει κοινωνικές και οικονομικές εξελίξεις.



Εικόνα 4.4: Διαδικασίες μετατροπής βιοηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικά τελικά προϊόντα [36]

Σε αντίθεση με τα προτερήματα, παρατηρούνται σημαντικές δυσκολίες για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα χαρακτηρίζονται από μικρή ενεργειακή πυκνότητα, ενώ η συγκέντρωση και η μεταβίβασή τους πολλές φορές ίσως είναι απαγορευτικές λόγω κόστους. Παρόλο που οι τεχνολογίες βιομάζας είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν υπέρογκο κόστος γι' αυτή την παραγωγή, με αποτέλεσμα τη σπάνια αντιστάθμιση του πλήρους κόστους του βιοκαυσίμου. Τα βιοενεργειακά καύσιμα είναι εντατικά στη χρήση εισροών, που

περιλαμβάνουν γη, νερό, καλλιέργειες και ορυκτή ενέργεια, τα οποία έχουν ευκαιριακό κόστος [36].

## 4.6 Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί έναν ισχυρό και αποδοτικό τρόπο εξαγωγής ανανεώσιμης ενέργειας από τη Γη με φυσικές διεργασίες. Αυτή η διαδικασία εκτελείται σε μικρό βαθμό για να παρέχει θερμότητα σε οικίες μέσω γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, ή σε μεγαλύτερο βαθμό για ενεργειακή παραγωγή με τη χρήση γεωθερμικού σταθμού. Η ενέργεια από τη γεωθερμία εκτιμάται ως οικονομική, έμπιστη, και περιβαλλοντικά καθαρή ενεργειακή πηγή.

Η πηγή της γεωθερμικής ενέργειας είναι η θερμική ενέργεια στο εσωτερικό της γης αποθηκευμένη σε πέτρα αλλά και σε παγιδευμένο ατμό ή υγρό νερό. Γεωθερμικά συστήματα λαμβάνουν χώρα σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα στα οποία η θερμοκρασία και το βάθος των δεξαμενών ποικίλουν αναλόγως. Πολλά υδροθερμικά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας (μεγαλύτερη από 180 °C) είναι σε περιοχές που σχετίζονται με πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Συστήματα ενδιάμεσης θερμοκρασίας (μεταξύ 100 και 180 °C) και χαμηλής θερμοκρασίας (λιγότερο από 100 °C) βρίσκονται σε ηπειρωτικές ρυθμίσεις μέτρησης, όπου η παραγωγή θερμότητας πάνω από την κανονική μέσω διάσπασης ραδιενεργών ισοτόπων αυξάνει την επίγεια ροή θερμότητας ή όπου οι υδροφόροι ορίζοντες φορτίζονται από νερό που θερμαίνεται μέσω της κυκλοφορίας κατά μήκος βαθιά διεισδυτικών ζωνών σφαλμάτων. Υπό κατάλληλες συνθήκες, τα γεωθερμικά πεδία με υψηλή, μέση και χαμηλή θερμοκρασία μπορούν να αξιοποιηθούν όχι μόνο για να παραχθεί ενέργεια αλλά και για να χρησιμοποιηθεί άμεσα η θερμότητα.

Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας ταξινομούνται ως υδροθερμικά συστήματα, αγωγίμα συστήματα και βαθείς υδροφορείς. Τα υδροθερμικά συστήματα αποτελούνται από τύπους που επικρατούν υγρά και ατμοί. Τα αγωγίμα συστήματα περιλαμβάνουν θερμό βράχο και μάγμα σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών ενώ οι βαθείς υδροφορείς διαθέτουν κυκλοφορούντα υγρά σε πορώδη μέσα ή θραυσματικές ζώνες σε βαθύτερες από 3 χλμ., αν και στερούνται τοπικής μαγματικής πηγής θερμότητας.

Οι μέθοδοι χρησιμοποίησης της ενέργειας που προέρχεται από τη γεωθερμία ομαδοποιούνται σε τρεις τύπους εφαρμογών:

- ❖ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- ❖ Απευθείας χρήση της θερμότητας,
- ❖ Θερμότητα σε συνδυασμό με την ισχύ για εφαρμογές συμπαραγωγής.

Οι τεχνολογίες γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) είναι ένα υποσύνολο απευθείας χρήσης. Σήμερα, το μόνο αξιοποιημένο γεωθερμικό σύστημα για ενεργειακή παραγωγή μεγάλης κλίμακας και απευθείας χρήση θεωρείται το υδροθερμικό.

## 4.7 Ενέργεια από τη θάλασσα

Η ενέργεια από τη θάλασσα αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία περιλαμβάνει την αξιοποίηση της ενέργειας από τη θάλασσα, συμπεριλαμβανομένων των κυμάτων, των παλιρροϊκών ρευμάτων και της παλίρροιας, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- ❖ Κυματική ενέργεια: Τα κύματα διαμορφώνονται από τους ανέμους οι οποίοι πνέουν πάνω από τη θάλασσα. Τα μεγέθη των κυμάτων διαφέρουν και είναι εξαρτώμενα από την ταχύτητα και διάρκεια των ανέμων, την απόσταση του νερού πάνω από την οποία φυσά (η προσαγωγή), τη βαθυμετρία του πυθμένα της θάλασσας (που είναι ικανή να συγκεντρώσει ή να διασκορπίσει την κυματική ενέργεια) και τα ρεύματα. Η ξαφνική κινητικότητα του νερού δημιουργεί κινητική ενέργεια για να αξιοποιηθεί από συσκευές κυματικής ενέργειας. Οι καλύτερες πηγές κυμάτων παρουσιάζονται σε τοποθεσίες όπου οι δυνατοί άνεμοι έχουν ταξιδέψει αρκετά μεγάλη απόσταση. Εξαιτίας αυτού, οι καλύτεροι πηγές κυμάτων στην Ευρώπη εμφανίζονται σε όλο το μήκος των δυτικών ακτών που είναι στο τέρμα μίας δυνατής έλξης (τον Ατλαντικό Ωκεανό).
- ❖ Ενέργεια παλιρροϊκών ρευμάτων: Η ενέργεια του παλιρροϊακού ρεύματος κάνει χρήση της κινητικής ενέργειας της κίνησης του νερού για την τροφοδοσία των στροβίλων. Τα παλιρροϊκά ρεύματα δημιουργούνται από τη συνεχώς μεταβαλλόμενη βαρυτική έλξη της σελήνης και του ήλιου στους ωκεανούς του κόσμου. Οι παλίρροιες δεν σταματούν ποτέ, με το νερό να κινείται πρώτα προς τη μία κατεύθυνση, μετά από την άλλη, σε όλο τον κόσμο. Οι τεχνολογίες παλιρροϊακού ρεύματος συλλαμβάνουν την κινητική ενέργεια των ρευμάτων που ρέουν μέσα και έξω από τις παλιρροϊκές περιοχές. Δεδομένου ότι οι σχετικές θέσεις του ήλιου και της σελήνης μπορούν να προβλεφθούν με απόλυτη ακρίβεια, το ίδιο μπορεί και η προκύπτουσα παλίρροια. Αυτή η προβλεψιμότητα είναι που κάνει την παλιρροϊακή ενέργεια τόσο πολύτιμο πόρο. Οι πόροι παλιρροϊκών ρευμάτων είναι γενικά μεγαλύτεροι σε περιοχές όπου υπάρχει καλό εύρος παλιρροϊκών ρευμάτων και όπου η ταχύτητα των ρευμάτων ενισχύεται από την επίδραση διοχέτευσης της

τοπικής ακτογραμμής και του βυθού, για παράδειγμα, σε στενά και εισόδους, γύρω από ακρωτήρια και σε κανάλια μεταξύ νησιών.

- ❖ **Ενέργεια του παλιρροιακού εύρους:** Η ενέργεια του παλιρροιακού εύρους χρησιμοποιεί τη δυναμική ενέργεια στη διαφορά ύψους (ή κεφαλής) μεταξύ υψηλής και χαμηλής παλίρροιας. Μπορούν να κατασκευαστούν τεχνητά παλιρροϊκά φράγματα ή λιμνοθάλασσες για να συλλάβουν το παλιρροιακό εύρος. Οι τουρμπίνες στο φράγμα ή στη λιμνοθάλασσα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς η παλίρροια πλημμυρίζει στη δεξαμενή. Έτσι, το νερό συγκρατείται και είναι ικανό να απελευθερωθεί μέσω στροβίλων, δημιουργώντας ξανά ηλεκτρική ενέργεια μόλις υποχωρήσει η παλίρροια έξω από το φράγμα [38].

## 4.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν τις χώρες να κάνουν ένα σημαντικό βήμα στη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, παράγοντας ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια με ασφάλεια, αξιοπιστία και προσιτό κόστος. Γι' αυτό το λόγο όλο και περισσότερα κράτη έχουν πάρει μέτρα που ευνοούν την ανάπτυξή τους. Μερικά από τα πολύτιμα οφέλη τους σε σύγκριση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής είναι:

- ❖ Είναι ανεξάντλητες. Οι τεχνολογίες ΑΠΕ αξιοποιούν περιβαλλοντικές πηγές για την παραγωγή ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές δεν εξαντλούνται, σε αντίθεση με διάφορα είδη ορυκτών καυσίμων, επειδή όσο χρησιμοποιούνται οι πόροι ορυκτών καυσίμων, τόσο πιο δύσκολο θα είναι να αποκτηθούν, αυξάνοντας πιθανότατα τόσο το κόστος όσο και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης.
- ❖ Έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησης. Συνήθως, οι τεχνολογίες ΑΠΕ χρειάζονται μειωμένη συντήρηση σε σύγκριση με τις συμβατικές γεννήτριες. Αυτό αιτιολογείται από την απουσία κινούμενων μερών των ανανεώσιμων τεχνολογιών όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, καθώς και από την ανεξαρτησία τους από εύφλεκτα καύσιμα για να λειτουργήσουν. Ως αποτέλεσμα, οι μειωμένες ανάγκες συντήρησης οδηγούν σε περικοπή εξόδων και σπατάλης χρόνου.
- ❖ Η χρήση ΑΠΕ είναι πιο οικονομική μακροπρόθεσμα, διότι έχει λιγότερα κόστη λειτουργίας και συντήρησης. Η χρήση μιας τεχνολογίας για παραγωγή ενέργειας από τον ήλιο, τον άνεμο, τον ατμό ή από φυσικές διεργασίες, δεν απαιτεί προμήθεια καυσίμου.
- ❖ Οι ΑΠΕ εξαπολύουν στην ατμόσφαιρα μηδαμινά ρυπογόνα αέρια. Αυτό οδηγεί σε μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και συνολικά ωφέλιμο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Αντίθετα, όσο πραγματοποιείται η διαδικασία καύσης, τα καύσιμα από ορυκτούς πόρους απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου σε πολύ μεγάλη κλίμακα, τα οποία αποδεδειγμένα επιταχύνουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και το ρυθμό εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων.

- ❖ Μειώνουν την εξάρτηση από ξένες πηγές ενέργειας, επειδή μπορούν να παράγουν ενέργεια τοπικά. Οπότε βοηθούν στην ενεργειακή αυτονομία των χωρών, με συνέπεια την ελαχιστοποίηση των γεωπολιτικών κινδύνων που είναι συνδεδεμένοι με τους ορυκτούς πόρους, από εμπορικές αντιπαραθέσεις έως πολιτική ανισορροπία έως πολέμους τιμών, οι οποίοι συχνά έχουν τις ρίζες τους στην πρόσβαση στο πετρέλαιο.
- ❖ Συμβάλλουν σε καθαρότερο νερό και αέρα. Η διαδικασία της καύσης των ορυκτών καυσίμων με σκοπό την ηλεκτροπαραγωγή, συντελεί στη μόλυνση του αέρα και του νερού που χρησιμοποιούμε. Ενδεικτικά, οι σταθμοί που χρησιμοποιούν άνθρακα για να παράξουν ενέργεια εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίου του αζώτου, αλλά και επικίνδυνες τοξίνες όπως ο υδράργυρος, ο μόλυβδος και το διοξείδιο του θείου. Η κατάποση όλων αυτών των επιβλαβών ουσιών είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη και σε ακραίες περιπτώσεις θανατηφόρα. Αντίθετα, οι ΑΠΕ έχουν πολύ μικρότερο αρνητικό αντίκτυπο στον αέρα και το νερό [39].

Από την άλλη πλευρά, έχουν κάποιες αδυναμίες συγκριτικά με τα παραδοσιακά καύσιμα, που καθιστούν την εδραίωσή τους πιο δυσχερή. Αναλυτικότερα:

- ❖ Έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης. Ενώ είναι οικονομικές στη λειτουργία τους, τις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί ισχυρές οικονομικές παροτρύνσεις, όπως φορολογικές εκπτώσεις, που βοηθούν στη μείωση του αρχικού κόστους της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- ❖ Παρόλο που οι ΑΠΕ είναι προσβάσιμες σε όλη την υφήλιο, παρουσιάζουν συνεχή μεταβλητότητα στη διαθεσιμότητά τους. Ορισμένες ημέρες ίσως φυσάει περισσότερο, ο ήλιος δε λάμπει ποτέ τη νύχτα, ενώ μπορεί να εμφανιστούν ξηρασίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ενδέχεται να εμφανιστούν ξαφνικά καιρικά φαινόμενα τα οποία μπορούν να διαστρεβλώσουν τη λειτουργία τους. Αντίθετα, τα συμβατικά καύσιμα δεν είναι διακοπτόμενα και ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται όποτε αυτό ζητηθεί.
- ❖ Εξαιτίας της διαλείπουσας λειτουργίας κάποιων ανανεώσιμων πηγών, δημιουργείται επιτακτική ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας, με σκοπό την σταθερή λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και υπάρχουν διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης σήμερα, είναι ιδιαίτερα κοστοβόρες,
- ❖ Υπάρχουν γεωγραφικοί περιορισμοί σχετικά με τις ΑΠΕ, διότι η κάθε τεχνολογία απαιτεί συγκεκριμένα τοπολογικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις χρειάζονται μία ηλιόλουστη περιοχή για καλύτερη απόδοση.
- ❖ Μολονότι τα φωτοβολταϊκά και οι υπόλοιπες τεχνολογίες ΑΠΕ ελαττώνουν ραγδαία τον εκπεμπόμενο άνθρακα, οι μορφές αυτές εμφανίζουν ένα περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Οι διαδικασίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασής τους, δημιουργούν αποτύπωμα άνθρακα, διότι η παραγωγή τους πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο σε εργοστάσια τροφοδοτούμενα από ορυκτά καύσιμα, ενώ άξια

αναφοράς αποτελούν το ντίζελ και η βενζίνη που απαιτούνται για τα φορτηγά μεταφοράς [39].

#### 4.9 Υβριδικό σύστημα ενέργειας βάσει της ελληνικής νομοθεσίας

Ένα υβριδικό σύστημα ισχύος είναι ένα σύστημα που ενσωματώνει διαφορετικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις. Για να επιτεύξει αυτό το στόχο, το δυναμικό σύστημα ισχύος χρησιμοποιεί πάνω από μία πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, συμβατικές μονάδες καύσης πετρελαίου και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, η ελληνική νομοθεσία, με το άρθρο 2 του νόμου 3468/2006 [40], χαρακτηρίζει ως υβριδικό σύστημα κάθε σταθμό παραγωγής ενέργειας που παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

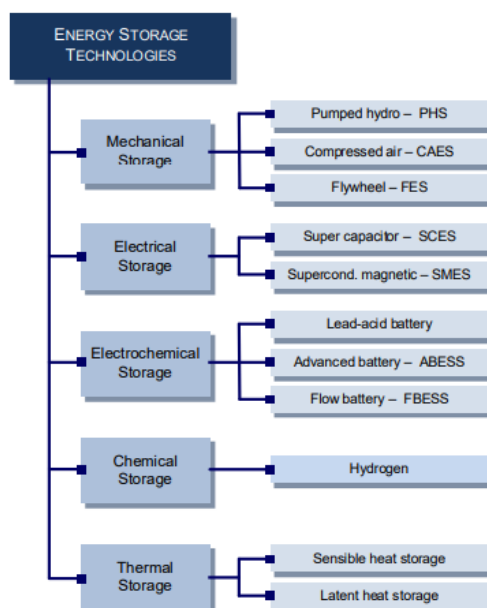
- ❖ Απαιτείται η χρήση τουλάχιστον μίας μορφής ΑΠΕ.
- ❖ Το σύνολο της ενέργειας που παραχωρείται από το δίκτυο κάθε έτος δεν μπορεί να υπερτερεί του 30% της καταναλισκόμενης ενέργειας για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού. Η ενέργεια που δέχεται ο Υβριδικός Σταθμός από το υπόλοιπο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στην ενέργεια που δέχεται ως είσοδό ο σταθμός και σε αυτήν που διατίθεται άμεσα στο δίκτυο από τις ανανεώσιμες μονάδες παραγωγής ενέργειας του Υβριδικού Σταθμού. Για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, αυτή η τιμή εκτιμάται για ωριαίο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά για την εκμετάλλευση της ενέργειας του ήλιου, επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας που δεν διατίθεται στο δίκτυο, με την προϋπόθεση να είναι απαραίτητη για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, αυτή η συμβατική ενέργεια που χρησιμοποιείται απαγορεύεται να υπερέχει του 10% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας κάθε έτος.
- ❖ Η συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα των ανανεώσιμων μονάδων του σταθμού είναι αδύνατον να ξεπερνάει την αντίστοιχη χωρητικότητα των μονάδων αποθήκευσης του ίδιου του σταθμού, με προσαύξηση έως 20%.

## Κεφάλαιο 5

### Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας

#### 5.1 Επισκόπηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαδικασία μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μία διαφορετική μορφή ενέργειας που έχει τη δυνατότητα άμεσης αποθήκευσης και μετατροπής ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια όποτε αυτό απαιτηθεί. Η επιλογή μιας τεχνολογίας αποθήκευσης ενέργειας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από την απαιτούμενη ισχύ και ενέργεια, χρόνο απόκρισης, κύκλους λειτουργίας, βάρος, όγκο και θερμοκρασία λειτουργίας. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για την κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως, όσον αφορά τις λειτουργίες τους, τους χρόνους απόκρισης, τη μορφή της αποθηκευμένης ενέργειας, κλπ. Η ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης είναι σύμφωνα με τη μορφή της ενέργειας που αποθηκεύεται στο σύστημα, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5.1. Με αυτή τη μέθοδο, τα ESS διαχωρίζονται σε μηχανική, ηλεκτρική, ηλεκτροχημική, χημική και θερμική αποθήκευση ενέργειας [41].



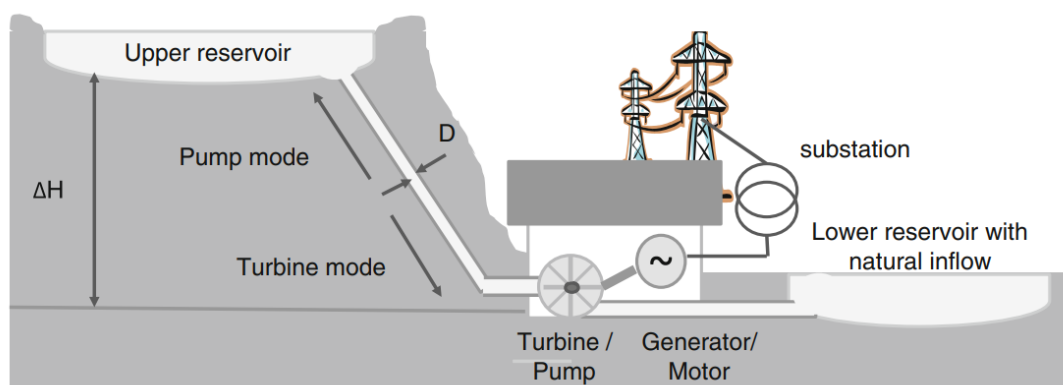
Εικόνα 5.1 Κατάταξη των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας με κριτήριο τη μορφή αποθήκευσης

- ❖ Η μηχανική αποθήκευση ανταλλάσσει την αποθηκευμένη της ενέργεια με το ηλεκτρικό δίκτυο με τη μορφή κινητικής ή δυναμικής ενέργειας. Οι πιο κοινές τεχνολογίες αποθήκευσης μηχανικής ενέργειας είναι οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με αντλία αποθήκευσης, αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (CAES) και η αποθήκευση ενέργειας σφονδύλου.
- ❖ Η ηλεκτρική αποθήκευση αποτελεί τον πιο άμεσο τρόπο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Περιλαμβάνει αποθήκευση ενέργειας με υπερπυκνωτές και υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας. Η δεύτερη αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια απευθείας στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ένα συνεχές ρεύμα που ρέει μέσα από ένα υπεραγώγιμο πηνίο.
- ❖ Οι τεχνολογίες ηλεκτροχημικής αποθήκευσης ενέργειας είναι δευτερεύοντα (επαναφορτιζόμενα) συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών (BESSs) που αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή χημικής ενέργειας. Αυτή η μέθοδος αποθήκευσης είναι μια από τις παλαιότερες μορφές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιεί μια αναστρέψιμη χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα παρουσία ηλεκτρολύτη για την αποθήκευση και παραγωγή ηλεκτρισμού συνεχούς ρεύματος. Ένα BESS περιλαμβάνει έναν αριθμό ηλεκτροχημικών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή και παράλληλα για να επιτύχουν τις επιθυμητές τιμές τάσης. Κάθε στοιχείο αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο που είναι το θετικό ηλεκτρόδιο και την κάθοδο που είναι το αρνητικό. Παράλληλα, ο ηλεκτρολύτης παρέχει το μέσο μεταφοράς του φορτίου και μπορεί να βρίσκεται σε υγρές, παχύρρευστες ή στερεές καταστάσεις.
- ❖ Η χημική μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιεί μοριακές ενώσεις για να πετύχει αυτόν το σκοπό. Συγκεκριμένα, αποθηκεύεται στους δεσμούς μεταξύ διαφορετικών τύπων μορίων. Όταν κάτι προκαλεί τη διάσπαση αυτών των δεσμών, τα μόρια αναδιατάσσονται και η ενέργεια απελευθερώνεται. Η ουσία από την οποία προήλθε η ενέργεια μετατρέπεται σε μια εντελώς διαφορετική ουσία, και συχνά ως άλλη μορφή ενέργειας. Η αποθήκευση χημικής ενέργειας επικεντρώνεται κυρίως σε δευτερεύοντες φορείς ενέργειας, με παράδειγμα να αποτελεί το υδρογόνο και το συνθετικό αέριο, που είναι μια μίξη υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα.
- ❖ Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας θεωρείται μια εξαιρετικά διαδεδομένη μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Περιλαμβάνει μια ποικιλία τεχνολογιών που αποθηκεύουν διαθέσιμη θερμότητα με χρήση διαφορετικών μέσων σε μονωμένο χώρο αποθήκευσης.

Οι κυριότερες και πιο ευρέως εφαρμοσμένες τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα μελετηθούν στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου.

## 5.2 Συστήματα Αντλιοσταμείωσης

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί αντλίας αποθήκευσης παρέχουν τη μεγαλύτερη ισχύ αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούνται από δύο ταμιευτήρες, με τον πρώτο να βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο και ο δεύτερος σε χαμηλότερο, το σύστημα σωλήνων σύνδεσης, το θάλαμο του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και τον υποσταθμό όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 5.2. Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας είναι η εσωτερική διάμετρος  $D$  (διατομή) των συνδετικών σωλήνων και η διαφορά των υψών  $\Delta H$  από την άνω δεξαμενή έως την κατανομή της τουρμπίνας-αντλίας. Ο χρόνος εκφόρτισης αλλά και η αποθηκευμένη ενέργεια εξαρτώνται από τον όγκο του άνω ταμιευτήρα [34].



Εικόνα 5.2: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος αντλιοσταμείωσης [34]

Τα συστήματα αντλιοσταμείωσης είναι η πιο ώριμη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας. Είναι υδροηλεκτρικά συστήματα τα οποία έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, όταν ζητηθεί, αξιοποιώντας την πτώση του νερού από τον υψηλότερο ταμιευτήρα στον χαμηλότερο. Επίσης, όταν παρατηρείται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία μεταφοράς νερού από τον χαμηλότερο στον υψηλότερο ταμιευτήρα. Έτσι εκπληρώνουν το ρόλο του αποταμιευτή. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- ❖ Όταν στο δίκτυο εντοπίζεται χαμηλή ζήτηση ενέργειας, αλλά οι συμβατικές μονάδες παραγωγής αδυνατούν να δουλέψουν σε χαμηλότερη ισχύ ή να τεθούν εκτός λειτουργίας, κάτι που συμβαίνει συνήθως τις πρώτες ώρες της ημέρας.
- ❖ Όταν παρουσιάζεται πλεόνασμα παραγωγής από ΑΠΕ, η οποία πρέπει να ενσωματώνεται στο δίκτυο την ίδια χρονική στιγμή που θα παραχθεί.

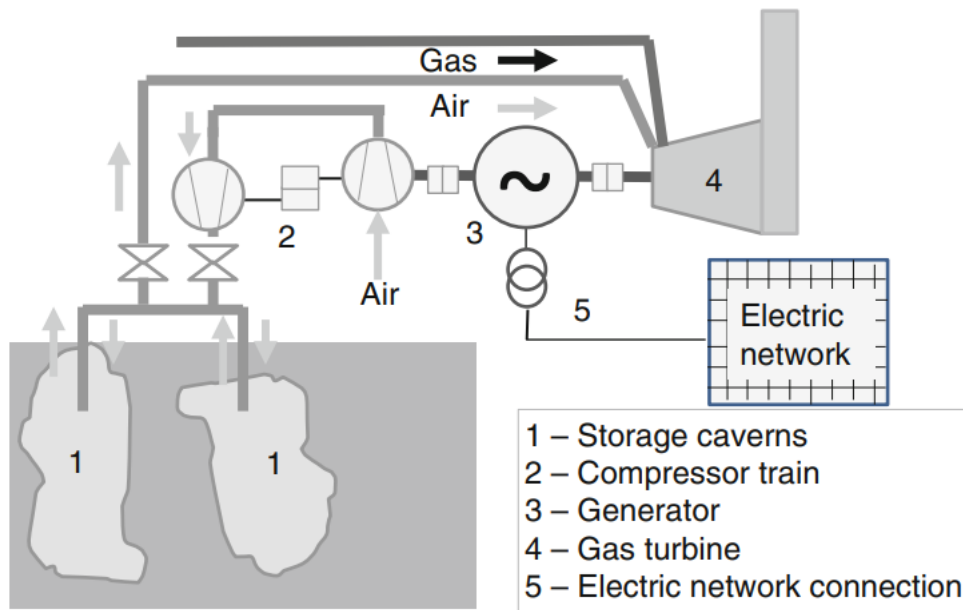
Όταν στο δίκτυο συναντάται υπερβάλλον φορτίο είναι απαραίτητη η εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού. Γι' αυτό το λόγο μεταφέρεται νερό στην άνω δεξαμενή.

Η απόδοση των συστημάτων αντλησιοταμίευσης κυμαίνεται μεταξύ 70-80%, επομένως από την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε για την άντληση, το 70-80% επιστρέφει στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μειώσεις στην απόδοση οφείλονται στα κανάλια που είναι υπεύθυνα για την προσαγωγή και απαγωγή του νερού, στους υδροστροβίλους και στις αντλίες. Επίσης, εκδηλώνονται με τη μορφή ηλεκτρικών απωλειών στις γεννήτριες του συστήματος [37].

### **5.3 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα**

Η αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα βασίζεται στη συμπίεση και αποθήκευση αέρα σε υπόγεια σπήλαια με καταλληλότερο τύπο να θεωρούνται οι αλυκές. Αποτελούν μια ρεαλιστική λύση αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα σύστημα CAES όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3 αποτελείται κυρίως από τα υπόγεια σπήλαια γεμάτα με πεπιεσμένο αέρα 1, το τρένο συμπίεστη 2, τη γεννήτρια-κινητήρια μονάδα 3, τον αεριοστροβίλο 4 και τον υποσταθμό σύνδεσης δικτύου 5.



Εικόνα 5.3: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος CAES [34]

Βασίζεται σε συνδυασμό αεριοστρόβιλου και κινητήρα καύσης πεπιεσμένου αέρα. Κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης φορτίου στο δίκτυο, ο κινητήρας καταναλώνει ισχύ με σκοπό τη συμπίεση και αποθήκευση του αέρα στα υπόγεια σπήλαια αλατιού. Κατά τις περιόδους αιχμής φορτίου, η διαδικασία αντιστρέφεται και ο πεπιεσμένος αέρας επιστρέφει στην επιφάνεια. Αυτός ο αέρας χρησιμοποιείται δύο φορές:

- ❖ Για να κάψει το καύσιμο αερίου στον θάλαμο καύσης του αεριοστρόβιλου
- ❖ Για παροχή συμπληρωματικής ισχύος περιστροφής για τον κινητήρα καύσης πεπιεσμένου αέρα.

Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει μια σημαντική ενίσχυση της απόδοσης της συνολικής εγκατάστασης. Σε έναν απλό αεριοστρόβιλο απαιτείται σημαντική ενεργειακή συμβολή για τη συμπίεση του αέρα καύσης. Στον ηλεκτρικό σταθμό CAES, ωστόσο, δεν απαιτείται συμπίεση κατά τη λειτουργία του στροβίλου επειδή η απαιτούμενη ενθαλπία περιλαμβάνεται ήδη στον πεπιεσμένο αέρα. Τα έξοδα για την συμπίεση αέρα μεταφέρονται στις χρονικές περιόδους ασθενούς φορτίου/χαμηλής τιμής και στην περίοδο αιχμής είναι διαθέσιμη ολόκληρη η χωρητικότητα του αεριοστρόβιλου και μπορεί να προσφερθεί στις αγορές σημαντικά υψηλότερη ισχύς [34].

Μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας μπορεί να αποθηκευτεί μόνο με μια μικρή αλλαγή στην πίεση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του πεπιεσμένου αέρα, τόσο μικρότερη είναι η

πίεση που απαιτείται για να αποκτηθεί ορισμένη ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας. Ο χώρος του σπηλαίου μπορεί εύκολα να μονωθεί και ο αέρας που συμπιέζεται αδιαβατικά με χαμηλές θερμοκρασιακές μεταβολές και απώλειες θερμότητας σύμφωνα με τις διαδικασίες συμπίεσης (παράγει θερμότητα) και διαστολής (απαιτεί θερμότητα). Σε περίπτωση που η παραγόμενη θερμότητα αποθηκευτεί κατά τη διαδικασία συμπίεσης με στόχο τη χρήση της για τη διαδικασία διαστολής, η αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης βελτιώνεται σημαντικά.

Τα συστήματα CAES είναι ικανά να διαχειριστούν τη θερμότητα με ποικίλους τρόπους, όπως για παράδειγμα οι αδιαβατικές ή ισοθερμικές διαδικασίες. Η παραγόμενη θερμότητα κατά τη διαδικασία συμπίεσης διατηρείται στην αδιαβατική αποθήκευση και επιστρέφεται στον αέρα όταν ο αέρας διαστέλλεται για να παράγει ενέργεια. Αντίστοιχα, ο αέρας του συστήματος παραμένει συνεχώς σε αμετάβλητη θερμοκρασία όταν πραγματοποιείται η ισοθερμική συμπίεση. Αυτό απαιτεί αναγκαστικά απομάκρυνση της θερμότητας από το αέριο, η οποία διαφορετικά θα παρούσαζε αύξηση της θερμοκρασίας ως αποτέλεσμα της συμπίεσης.

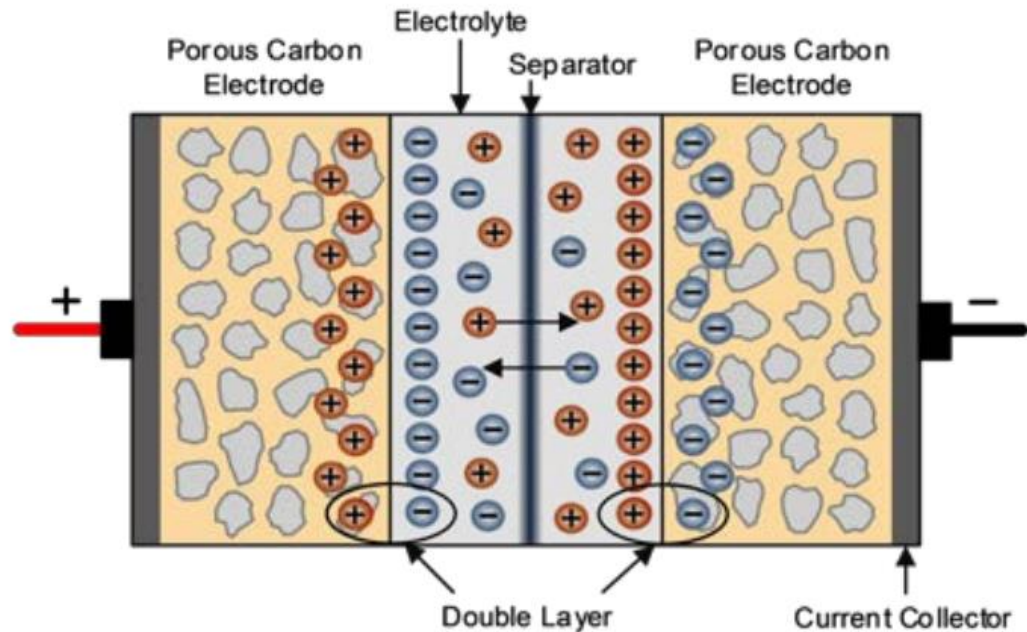
## 5.4 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές αποτελούν στοιχεία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, διαθέσιμα στην αγορά από το 1996, με συνεχή ανοδική πορεία. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία, στα ηλεκτρικά οχήματα και σε εφαρμογές ΑΠΕ. Συχνά συνδυάζονται με μπαταρίες, με σκοπό τη δημιουργία ενός συστήματος αποθήκευσης με υψηλή ισχύ, βαθμό απόδοσης και ενεργειακή διαθεσιμότητα.

Δύο παράλληλοι μεταλλικοί οπλισμοί διαχωρισμένοι από ένα μονωτή συνθέτουν ένα συμβατικό πυκνωτή. Αντίθετα, οι υπερπυκνωτές, απαρτίζονται από οπλισμούς με μορφή που φέρει λεπτές αγώγιμες, τυλιγόμενες ταινίες με εκτενές μήκος. Ανάμεσα στις ταινίες, υπάρχει το διηλεκτρικό υλικό. Οι οπλισμοί του φέρουν αντίθετα φορτία, ενώ η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή ηλεκτρικού πεδίου [33].

Οι υπερπυκνωτές διπλού ηλεκτρικού στρώματος, αποτελούνται από μια πορώδη δομή ενεργού άνθρακα για ένα ή και τα δύο ηλεκτρόδια, τα οποία είναι βυθισμένα σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα (συνήθως υδροξείδιο του καλίου ή θειικό οξύ) και μια πορώδη μεμβράνη που εμποδίζει τη φυσική επαφή των ηλεκτροδίων αλλά επιτρέπει τη μεταφορά ιόντων μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.4. Αυτή η δομή δημιουργεί

αποτελεσματικά δύο ισοδύναμους πυκνωτές (μεταξύ κάθε ηλεκτροδίου και ηλεκτρολύτη) συνδεδεμένους σε σειρά, γεγονός που τους δίνει το όνομα ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλής στρώσης. Η ενέργεια αποθηκεύεται ως διαχωρισμός φορτίου στο διπλό στρώμα που σχηματίζεται στη διεπιφάνεια μεταξύ της επιφάνειας του στερεού ηλεκτροδίου και τον υγρό ηλεκτρολύτη στους μικροπόρους των ηλεκτροδίων [41].



Εικόνα 5.4: Σχηματική απεικόνιση ενός υπερπυκνωτή

Οι υπερπυκνωτές έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Η ικανότητα διαχείρισης υψηλής ισχύος, λόγω της χαμηλής εσωτερικής αντίστασης
- ❖ Χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση
- ❖ Λειτουργούν σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $+65^{\circ}\text{C}$
- ❖ Η σημαντική αντοχή σε υπερφόρτιση και υπερθέρμανση
- ❖ Έχουν μεγάλο κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης
- ❖ Η σχετικά χαμηλή τιμή

Εν κατακλείδι, τα παλμικά φορτία, τα οποία απαιτούν παροχή υψηλής ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα, είναι τα καταλληλότερα για εφαρμογές των υπερπυκνωτών [33].

## 5.5 Μπαταρίες

Μια ηλεκτρική μπαταρία είναι μια συσκευή που αποτελείται από ηλεκτροχημικές κυψέλες που διαθέτουν την ικανότητα μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική (εκφόρτιση) και αντίστροφα (φόρτιση). Κάθε μπαταρία συνιστάται από μια άνοδο που διατηρεί φορτισμένα ιόντα και μια κάθοδο που συγκρατεί τα αποφορτισμένα ιόντα. Επίσης, έχει και έναν ηλεκτρολύτη που επιτρέπει στα ιόντα να μετακινούνται από άνοδο σε κάθοδο κατά την εκφόρτιση, ενώ έχουν την αντίθετη πορεία κατά τη φόρτιση. Το ρεύμα που ρέει μεταξύ της μπαταρίας και του ηλεκτρικού δικτύου περνά πάνω από τα τερματικά σύνδεσης της μπαταρίας. Οι μπαταρίες κατασκευάζονται από διάφορα υλικά συμπεριλαμβανομένων διάφορων μετάλλων, άνθρακα, πολυμερή και οξέα [33].

Μία μεγάλη ποικιλία στοιχείων και των αντίστοιχων μπαταριών διακρίνονται με βάση το υλικό των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Ειδικότερα, η δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών θεωρείται ο κύριος τρόπος ταξινόμησής τους. Οι μπαταρίες χωρίς δυνατότητα επαναφόρτισης ονομάζονται πρωτεύοντες, που έχουν ως πιο διαδεδομένη μορφή τις αλκαλικές, οι οποίες εκφορτίζονται μόνο μία φορά και στη συνέχεια απορρίπτονται.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν οι δευτερεύουσες ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που έχουν την ικανότητα επαναφοράς στην αρχική κατάσταση φόρτισης μετά από κάθε εκφόρτιση. Γι' αυτό το λόγο έχουν υψηλότερο κόστος και μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις πρωτεύοντες. Επιτακτική ανάγκη θεωρείται ο αυστηρά καθορισμένος τρόπος φόρτισης για την εξασφάλιση μεγάλης διάρκειας ζωής στις δευτερεύουσες μπαταρίες [33].

Οι πιο βασικοί τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι οι εξής:

- ❖ Μολύβδου-οξέος (lead-acid): Οι μπαταρίες αυτές είναι το προγενέστερο πρότυπο επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Επίσης, είναι ο πιο εύκολα διαθέσιμος και ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος στον κόσμο. Προσφέρουν τη μοναδική ώριμη και καλά ερευνημένη τεχνολογία μεταξύ όλων των BESS, με το χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μπαταριών μολύβδου-οξέος περιλαμβάνουν πολύ σύντομους χρόνους απόκρισης (στην περιοχή των χιλιοστών του δευτερολέπτου), χαμηλούς ρυθμούς αυτοεκφόρτισης (3-20% ανά μήνα), σχετικά υψηλή απόδοση κύκλου (περίπου 70-85%) και χαμηλό κόστος κεφαλαίου (100-200 \$/kWh). Άλλα πλεονεκτήματα είναι η ευνοϊκή σχέση κόστους/απόδοσης, η εύκολη ανακύκλωση και η απλή τεχνολογία φόρτισης.

Ωστόσο, τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου είναι η σχετικά χαμηλή διάρκεια ζωής του κύκλου (500-1200 κύκλοι) και η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα 50-110 Wh/L. Άλλα μειονεκτήματα αυτού του τύπου μπαταριών είναι η μείωση της χωρητικότητάς τους όταν αντλείται υψηλή ισχύς, η ισχυρή σύνδεση της διάρκειας ζωής του κύκλου με το ποσοστό εκφόρτισης, η κακή τους απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και η χρήση μολύβδου, ενός επικίνδυνου υλικού. Χρησιμοποιούνται τόσο σε κινητές όσο και σε σταθερές εφαρμογές. Στις κινητές εφαρμογές λειτουργούν ως πηγές ενέργειας για (υβριδικά) ηλεκτρικά οχήματα. Ως σταθερές συσκευές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρικά τροφοδοτικά για δεδομένα και τηλεπικοινωνιακά συστήματα και εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας.

- ❖ Νικελίου-καδμίου (Ni-Cd): Ένα στοιχείο μπαταρίας νικελίου-καδμίου χρησιμοποιεί υδροξείδιο νικελίου ( $\text{Ni(OH)}_2$ ) ως θετικό ηλεκτρόδιο, μεταλλικό κάδμιο (Cd) ως αρνητικό ηλεκτρόδιο και ένα υδατικό αλκαλικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH) ως ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου, με ονομαστική τάση κυψέλης περίπου 1,2 V, έχουν ειδική ισχύ περίπου 150 W/kg, ειδική ενέργεια 40-60 Wh/kg, διάρκεια ζωής κύκλου περίπου 2000 κύκλους, ρυθμούς αυτοεκφόρτισης περίπου 10 % ανά μήνα, απόδοση κύκλου γύρω στο 70-90% και κόστος κεφαλαίου υψηλότερο από αυτό των μπαταριών μολύβδου-οξέος (περίπου 300-600 \$/kWh). Έχουν επίσης σχετικά υψηλή αξιοπιστία, ασφάλεια (σταθερά σε βαθιές εκφορτίσεις και υπερφορτίσεις) και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Επιπλέον, αυτές είναι οι μόνες μπαταρίες με καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες ( $-20^\circ\text{C}$  έως  $-40^\circ\text{C}$ ). Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η χρήση καδμίου και νικελίου, τα οποία είναι εξαιρετικά τοξικά βαρέα μέταλλα, και η εμφάνιση ενός φαινομένου μνήμης μέσω του οποίου η μέγιστη χωρητικότητα των μπαταριών NiCd έχει τη δυνατότητα να συρρικνωθεί ραγδαία με την προϋπόθεση ότι η μπαταρία επαναφορτίζεται επανειλημμένα αφού πρότερος έχει μερικώς αποφορτιστεί.
- ❖ Νικελίου-Υδριδίου μετάλλου (Ni-MH): Οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου εισήχθησαν ως τεχνολογία μπαταριών τη δεκαετία του 1990 για να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες NiCd. Είναι κατά πολλές πτυχές ανώτερες από τις NiCd. Έχουν περίπου τη διπλάσια χωρητικότητα ενός ισοδύναμου μεγέθους NiCd, με ενεργειακή πυκνότητα συγκρίσιμη με μια μπαταρία ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες NiMH, με ονομαστική τάση κυψέλης περίπου 1,2 V, έχουν ειδική ισχύ περίπου 250-1000 W/kg, ειδική ενέργεια 60-120 Wh/kg, ενεργειακή πυκνότητα 140-400 Wh/L (σημαντικά καλύτερη από αυτές μπαταριών NiCd), διάρκεια ζωής κύκλου 500-800

κύκλων (αν και οι πιο πρόσφατες εμπορικές μπαταρίες φτάνουν τους 3000 κύκλους), απόδοση κύκλου περίπου 70-90% και μικρότερο κόστος κεφαλαίου από τις μπαταρίες NiCd (περίπου 200-500 \$/kWh). Άλλα πλεονεκτήματα των μπαταριών NiMH έναντι των μπαταριών NiCd είναι ότι υποφέρουν σημαντικά λιγότερο από το προαναφερθέν φαινόμενο μνήμης και ότι είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον (μπορούν να απορρίπτονται πιο εύκολα). Επιπλέον, οι μπαταρίες NiMH έχουν χαμηλότερη εσωτερική αντίσταση, γεγονός που τις καθιστά προτιμώμενο τύπο μπαταρίας για ηλεκτρονικά με υψηλή αποστράγγιση ρεύματος. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα των μπαταριών NiMH είναι ο υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης (5-30%/μήνα, πολύ εξαρτώμενος από το χρόνο). Είναι επίσης λιγότερο στιβαρές από τις μπαταρίες NiCd, έχουν χαμηλή ανοχή υπερφόρτισης και η απόδοσή τους μειώνεται μετά από μερικές εκατοντάδες πλήρεις κύκλους. Έτσι, οι μπαταρίες NiMH χρησιμοποιούνται γενικά για φορητά προϊόντα, κινητές εφαρμογές σε (υβριδικά) ηλεκτρικά οχήματα και πιθανές βιομηχανικές εφαρμογές αναμονής, όπως συσκευές UPS.

- ❖ **Ιόντων λιθίου (Li-Ion):** Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας μπαταριών Li-Ion είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (250-600 Wh/L, καλύτερη από αυτές των μπαταριών NiMH), σύντομος χρόνος απόκρισης (ms), μεγάλη διάρκεια ζωής κύκλου (400-1500 κύκλοι, αν και οι νεότερες εμπορικές μπαταρίες ξεπερνούν τους 3500 κύκλους), χαμηλή αυτοεκφόρτιση (περίπου 2-5% ανά μήνα), ειδική ισχύ περίπου 250-2000 W/kg και πολύ υψηλές αποδόσεις κύκλου γύρω στο 90-97%. Άλλα πλεονεκτήματα αυτών των μπαταριών σε σχέση από τις NiMH είναι ότι δεν υποφέρουν από το φαινόμενο της μνήμης και ότι είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Το κόστος κεφαλαίου των μπαταριών Li-Ion είναι ελαφρώς υψηλότερο από αυτό των μπαταριών NiCd (περίπου 300-700 \$/kWh), αλλά η επέκταση της παγκόσμιας παραγωγικής ικανότητας μειώνει συνεχώς αυτό το κόστος. Κατά συνέπεια, οι μπαταρίες Li-Ion έχουν γίνει η πιο σημαντική τεχνολογία αποθήκευσης στους τομείς των φορητών εφαρμογών, στους οποίους είναι εξέχουσας σημασίας ο χρόνος απόκρισης, το μικρό μέγεθος και η μάζα. Ωστόσο, τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών Li-Ion είναι ότι το βάθος εκφόρτισης και η θερμοκρασία πάνω από 45°C έχουν την πιθανότητα να επιδράσουν στο χρόνο ζωής αυτού του τύπου μπαταριών. Επιπλέον, η ασφάλεια είναι ένα σοβαρό ζήτημα στην τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου. Τα περισσότερα από τα ηλεκτρόδια μεταλλικού οξειδίου

είναι θερμικά ασταθή και μπορούν να αποσυντεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες, απελευθερώνοντας οξυγόνο που μπορεί να οδηγήσει σε θερμική διαφυγή [41].

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται μία επισκόπηση των κυριότερων χαρακτηριστικών των τύπων μπαταριών που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Πίνακας 5.1: Επισκόπηση των χαρακτηριστικών των κύριων τύπων μπαταριών

<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>LEAD-ACID</b>	<b>NI-CD</b>	<b>NI-MH</b>	<b>LI-ION</b>
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ,WH/L</b>	50-110	150	140-400	250-600
<b>ΕΙΔΙΚΗ ΙΣΧΥΣ,W/KG</b>	180	150	250-1000	250-2000
<b>ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ,WH/KG</b>	30-50	40-60	60-120	75-265
<b>ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ,S/KWH</b>	100-200	300-600	200-500	300-700
<b>ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ,V</b>	1,75	1,2	1,2	3,7
<b>ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΥΚΛΟΥ,%</b>	70-85	70-90	70-90	90-97
<b>ΑΥΤΟΕΚΦΟΡΤΙΣΗ,%ΜΗΝΑ</b>	3-20	10	5-30	2-5
<b>ΖΩΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ,ΧΡΟΝΙΑ</b>	6	11	5	14
<b>ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΚΥΚΛΟΥ, ΚΥΚΛΟΙ</b>	500-1200	2000	500-800	400-1500

## 5.6 Θερμική αποθήκευση ενέργειας

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES) θεωρείται μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Περιλαμβάνει μια ποικιλία τεχνολογιών που αποθηκεύουν τη διαθέσιμη θερμότητα χρησιμοποιώντας διαφορετικά μέσα σε μια μονωμένη αποθήκη. Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις τεχνολογίες, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν:

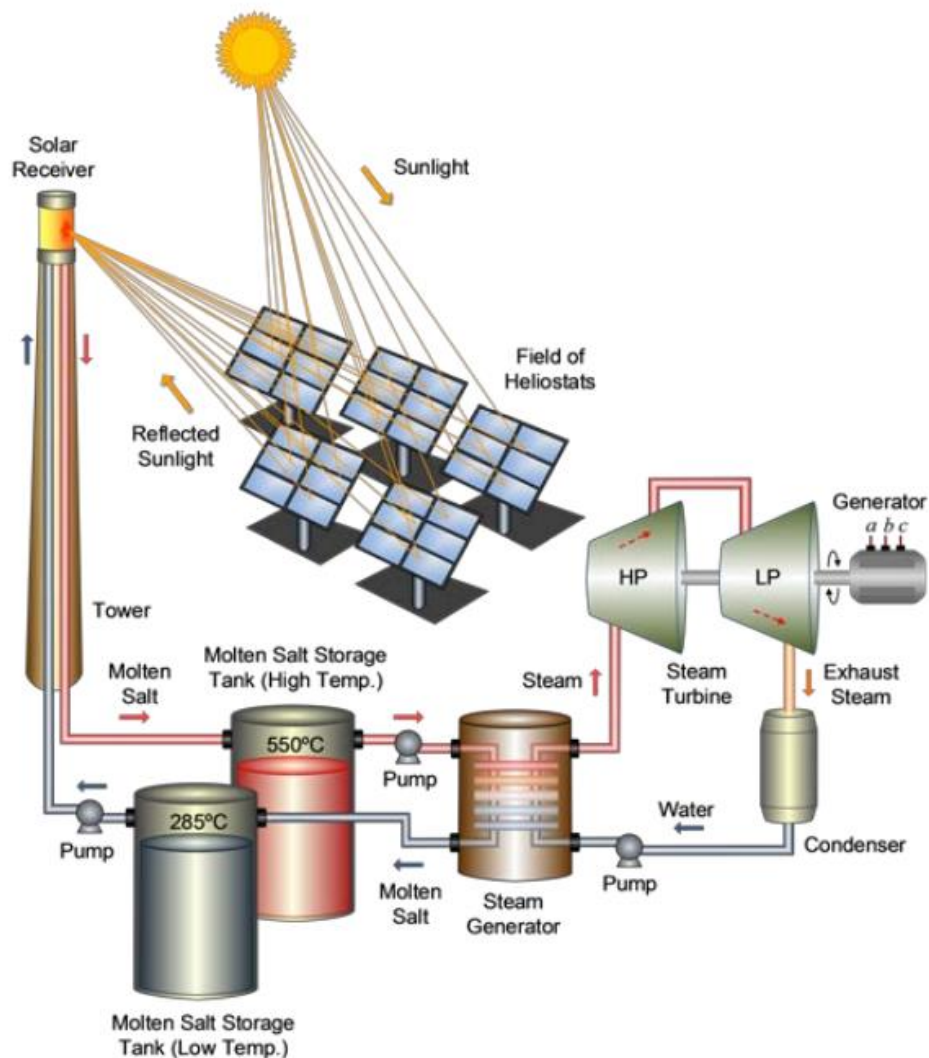
- ❖ Μέθοδο αποθήκευσης αισθητής θερμότητας μέσω αλλαγής θερμοκρασίας ενός υλικού (νάτριο, λιωμένο αλάτι, νερό υπό πίεση, σκυρόδεμα κ.λπ.)
- ❖ Αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας μέσω αλλαγής φάσης ενός υλικού (μετάπτωση υγρού-στερεού σε σταθερή θερμοκρασία)
- ❖ Θερμοχημική αποθήκευση θερμότητας προκαλώντας θερμικά αλλαγές στη χημική δομή του υλικού (χρησιμοποιώντας ένα ζεύγος προσροφητικού/εργαζόμενου ρευστού).

Ωστόσο, στο πλαίσιο της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής/λανθάνουσας θερμότητας είναι τα πιο καθιερωμένα. Η επιλογή της τεχνικής TES εξαρτάται από πολλά ζητήματα όπως το εύρος θερμοκρασίας αποθήκευσης, η συγκεκριμένη εφαρμογή και τα μέσα αποθήκευσης.

Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε δύο ομάδες: TES με χαμηλή και TES με υψηλή θερμοκρασία, με κριτήριο τη θερμοκρασία που λειτουργεί το υλικό αποθήκευσης ενέργειας σε σύγκριση με τη θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, οι διατάξεις TES με υψηλή θερμοκρασία είναι τα πιο σημαντικά στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας υλικά αλλαγής φάσης ως μέσα αποθήκευσης. Η λανθάνουσα θερμότητα είναι η ενέργεια που ανταλλάσσεται κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής φάσης. Ονομάζεται επίσης «κρυμμένη θερμότητα», επειδή δεν υπάρχει αλλαγή θερμοκρασίας κατά τη μεταφορά ενέργειας. Επί του παρόντος, κυρίως χρησιμοποιείται η αλλαγή φάσης στερεού-υγρού, όπως τα λιωμένα άλατα ως θερμικό μέσο αποθήκευσης. Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας μπορεί να είναι μικρότερη, πιο αποτελεσματική και να παρέχει μια διαφορετική προσέγγιση, οικονομικότερη σε σύγκριση με τις μεθόδους αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Η Εικόνα 5.5 δείχνει ένα παράδειγμα εγκατάστασης συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) με δύο δεξαμενές που χρησιμοποιούνται ως αποθήκη θερμικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, η ενέργεια είναι δυνατό να αποθηκευτεί όχι μόνο σαν αισθητή θερμότητα, αλλά και σαν λανθάνουσα θερμότητα με υψηλή θερμοκρασία (περίπου 500°C) ως ηλιακή θερμική είσοδο.

Το σύστημα TES μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας χωρίς μεγάλους κινδύνους, η απόδοση του θερμικού κύκλου είναι 70-90% και η ημερήσια απώλεια αυτοεκφόρτισης είναι μικρή (περίπου 0,05-1%). Επιπλέον, η δεξαμενή προσφέρει καλή ενεργειακή πυκνότητα και ειδική ενέργεια. Ωστόσο, η συνολική απόδοση του κύκλου των συστημάτων TES είναι χαμηλή 30-45%. Παράλληλα, τα TES είναι τεχνικά αναπτυγμένα και διαθέσιμα στο εμπόριο, αλλά οι πραγματικές εφαρμογές τους, ειδικά για χρησιμότητα μεγάλης κλίμακας, δεν είναι ακόμα ευρέως διαδεδομένες. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως η μετατόπιση φορτίου και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κύκλους θερμικής μηχανής [41].



Εικόνα 5.5: Τοπολογία συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) ενσωματωμένη με θερμική αποθήκευση ενέργειας [41]

## 5.7 Επιλογή μοντέλου συσσωρευτή

Λόγω των μοτίβων φορτίου που συνήθως απαντώνται στα αυτόνομα μικροδίκτυα, στα οποία η κατανάλωση δε συμπίπτει σε πλήρη βαθμό σε σχέση με την ηλιακή και αιολική της παραγωγή, ο καταλληλότερος τύπος μπαταρίας θα ήταν οι μπαταρίες βαθέως κύκλου. Αυτές οι μπαταρίες έχουν το πλεονέκτημα ότι η αποτελεσματικότητα και η διάρκεια ζωής τους δεν διακυβεύεται σημαντικά με τη συνεχή χρήση. Από τους διάφορους τύπους μπαταριών βαθέως κύκλου που υπάρχουν σήμερα, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος και ιόντων λιθίου βρίσκονται κυρίως σε εφαρμογές συστημάτων ισχύος [42]. Το κύριο πλεονέκτημα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η υψηλότερη απόδοσή τους προς το τέλος της διάρκειας ζωής (78% σε σύγκριση με 70% που επιτυγχάνουν οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος) και επίσης υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, όπως υποδεικνύεται και στον Πίνακα 5.1. Ωστόσο, διαθέτουν αρκετά υψηλότερο κόστος αγοράς σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που τις χαρακτηρίζει. Επειδή η μελέτη γίνεται σε βάθος εικοσαετίας, αυτό το επιπλέον κόστος δεν θα αποτρέψει από την επιλογή του πιο προηγμένου τύπου μπαταριών.

Ύστερα από ενδελεχή αναζήτηση στην αγορά, επιλέχθηκε το μοντέλο LG Chem RESU 10 [43]. Το συγκεκριμένο μοντέλο, είναι ιδανικό για εγκαταστάσεις που χρειάζονται εφεδρική ενέργεια. Επίσης, η μικρή διάσταση που διαθέτει του επιτρέπει μία ευκολότερη και ταχύτερη εγκατάσταση. Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά, έχει ονομαστική τάση ίση με 48V, ονομαστική χωρητικότητα 189Ah, ενώ μπορεί να αποδώσει ενέργεια ίση με 8,8 kWh η οποία είναι 10,21% μικρότερη από την μέγιστη ενέργεια αποθήκευσης που ισούται με 9,8kWh.

Παρακάτω παρουσιάζεται το τεχνικό φυλλάδιο της κατασκευάστριας εταιρείας με βασικές πληροφορίες για τον συσσωρευτή (Εικόνα 5.6). Εκτενέστερη μελέτη των οικονομικών δεδομένων και του τρόπου διασύνδεσης του στο υβριδικό σύστημα, θα πραγματοποιηθεί στο Κεφάλαιο 9 το οποίο εμπεριέχει την ανάλυση με τη χρήση του λογισμικού HOMER Pro.

Innovation  
for a Better Life



# CHANGE YOUR ENERGY CHARGE YOUR LIFE



RESU



NEW



Modular Type Battery  
RESU10M



#### Compact Size & Easy Installation

The compact and lightweight nature of the RESU allows easier and faster installation both indoor and outdoor.



#### Proven Safety

The safety of LG Chem's lithium-ion battery is proven in the automotive and ESS markets.



#### Diverse Product Options

The RESU series offers diverse product options ranging from 3.3kWh to 13.1kWh.



\* The ees Award is one of the most prestigious awards presented annually at ees Europe, the largest exhibition for batteries and energy storage systems in Europe, with the purpose to pay tribute to pioneering products and solutions for energy storage system.

[www.lgesspartner.com](http://www.lgesspartner.com)

CHANGE YOUR ENERGY, CHARGE YOUR LIFE



Models	48V			
	RESU3.3	RESU6.5	RESU10	RESU13
Total Energy [kWh] <sup>1)</sup>	3.3	6.5	9.8	13.1
Usable Energy [kWh] <sup>2)</sup>	2.9	5.9	8.8	12.4
Capacity [Ah]	63	126	189	252
Nominal Voltage [V]	51.8			
Voltage Range [V]	42.0-58.8			
Max Power [kW]	3.0	4.2	5.0	5.0
Peak Power [kW] (for 3 sec.)	3.3	4.6	7.0	7.0 11.0 (Backup Mode)
Dimension [W x H x D, mm]	452 x 403 x 120	452 x 656 x 120	452 x 484 x 227	452 x 626 x 227
Weight [kg]	31	52	75	99
Enclosure Protection Rating	IP55			
Communication	CAN2.0B			
Certificates	Cell	UL1642		
	Product	UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM		TUV(IEC 62619)/CE/FCC/RCM

1) Total Energy is measured at the initial stage of battery life under the condition as follows : Temperature 25°C

2) Usable Energy is based on battery cell only

• Compatible Inverter Brands : SMA, Ingeteam, GoodWe, Sungrow, Victron Energy, Selectronic - More brands to be added

RESU PLUS



RESU Plus is an expansion kit specially designed for 48V models of the RESU series. With RESU Plus, RESU3.3/6.5/10 are cross-connected with each other, and RESU13 is connected with the same model.

- Dimension : 216 x 156 x 121 (W x H x D, mm)
- Number of Expandable Battery Units : Up to 2EA
- IP55



Models	400V				Modular RESU10M
	RESU7H		RESU10H		
	Type-R	Type-C	Type-R	Type-C	
Total Energy [kWh] <sup>1)</sup>	7.0		9.8		9.8
Usable Energy [kWh] <sup>2)</sup>	6.6		9.3		9.3
Capacity [Ah]	63		63		63
Nominal Voltage [V]	-		-		155
Voltage Range [V]	350-450	430-550	350-450	430-550	126-176
Dimension [W x H x D, mm]	744 x 692 x 206	744 x 907 x 206	744 x 907 x 206	744 x 907 x 206	452 x 511 x 240
Weight [kg]	75	87	97	99.8	82
Enclosure Protection Rating	IP55				IP55
Communication	RS485	CAN2.0B	RS485	CAN2.0B	CAN2.0B
Certificates	Cell	UL1642			UL1642
	Product	TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM	TUV (IEC 62619) / CE / RCM	UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM	IEC 62619 / IEC 60950(LVD) / CE

1) Total Energy is measured at the initial stage of battery life under the condition as follows : Temperature 25°C

2) Usable Energy is based on battery cell only

• Noise Level : < 40dBA

• Compatible Inverter Brands (More brands to be added)

- 400V : SMA, SolarEdge, Fronius, Huawei

- Modular : SMA

Εικόνα 5.6: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή LG Chem RESU 10 [43]

## Κεφάλαιο 6

### Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

#### 6.1 Ηλιακή ακτινοβολία

##### 6.1.1 Βασικές Αρχές

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μία γενικότερη ορολογία για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος και συχνά αναφέρεται ως ηλιακός πόρος ή ως ηλιακό φως. Με την χρήση ποικίλων τεχνολογικών μεθόδων, η ηλιακή ακτινοβολία έχει τη δυνατότητα σύλληψης και μετατροπής σε επωφελείς μορφές ενέργειας σαν τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό. Παρ' όλα αυτά ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος σε μια προσδιορισμένη περιοχή επηρεάζει τον οικονομικό τρόπο λειτουργίας αυτής της τεχνολογίας.

Κάθε τοποθεσία στη Γη δέχεται ηλιακό φως. Τα ποσοστά της ηλιακής ακτινοβολίας που εισπράττουν οι διαφορετικές τοποθεσίες πάνω στη Γη ποικίλλουν με βάση τα ακόλουθα:

- ❖ Γεωγραφικό σημείο
- ❖ Ημερήσια ώρα
- ❖ Εποχή
- ❖ Μορφολογία του εδάφους της περιοχής
- ❖ Καιρός της περιοχής.

Όπως είναι ευρέως γνωστό, η Γη είναι στρογγυλή με αποτέλεσμα οι ακτίνες του ηλίου να πέφτουν στην επιφάνειά της σε διαφορετικές γωνίες, με εύρος από 0° μέχρι 90°. Η Γη απορροφά όλη τη διαθέσιμη ενέργεια από τις ηλιακές ακτίνες, όταν αυτές βρίσκονται σε κάθετο άξονα ως προς την επιφάνειά της. Όταν οι ηλιακές ακτίνες δεν είναι κάθετες, τότε ανάλογα με την κλίση τους, αυξάνεται και η απόσταση που διανύουν στην ατμόσφαιρα, καθιστώντας τις όλο και πιο διασκορπισμένες και διάχυτες. Όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα, το γεγονός ότι η Γη είναι σφαιρική δεν επιτρέπει στις περιοχές των πόλων της να απολαμβάνουν υψηλή ηλιοφάνεια, ενώ στον κεκλιμένο άξονα περιστροφής οφείλεται η έλλειψη ηλίου για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε ένα έτος.

Επίσης, επειδή η Γη περιστρέφεται συντελεί σε ορισμένες ωριαίες διακυμάνσεις του ηλιακού φωτός. Τις πρώτες πρωινές ώρες αλλά και τις τελευταίες απογευματινές, ο ήλιος

έχει χαμηλότερη θέση στον ουρανό και οι ηλιακές ακτίνες μετακινούνται πιο πολύ στην ατμόσφαιρα σε σύγκριση με τις μεσημεριανές ώρες που ο ήλιος είναι στην υψηλότερη τοποθεσία του. Σε ευνοϊκές συνθήκες το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ενέργειας συγκεντρώνεται στους ηλιακούς συλλέκτες κοντά στο ηλιακό μεσημέρι [44].

### 6.1.2 Μορφές Ακτινοβολίας

Η ολική (global) ακτινοβολία που εισέρχεται στην επιφάνεια της γης συντελείται από την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία. Η πρώτη, δεν έχει υποβληθεί σε καμίας μορφής ανάκλαση με κύρια ιδιότητα την ικανότητά της να κατευθύνεται και να συγκεντρώνεται. Η δεύτερη, αποτελεί συνέπεια του διασκορπισμού των ακτινών του φωτός σε μικροσκοπικά σωματίδια της ατμόσφαιρας και του αέρα, των σύννεφων, καθώς και σε υγρασία και σκόνη. Τέλος, άξια αναφοράς είναι η ανακλώμενη συνιστώσα που προκύπτει από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία ανακλάται στο έδαφος.

Παρ' όλα αυτά, η ολική ακτινοβολία αποτελεί το 50% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Υπάρχει ένα ποσοστό της τάξης του 20% που συγκεντρώνεται στην ατμόσφαιρα και τα σύννεφα και 30% που επιστρέφει στο διάστημα [44].

## 6.2 Φωτοβολταϊκή κυψέλη

Οι Φωτοβολταϊκές κυψέλες ή κελιά μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο, όταν η φωτεινή ακτινοβολία πέφτει πάνω σε κάποια αντικείμενα, τότε δημιουργούνται ηλεκτρικά φορτία εντός των υλικών, με την προϋπόθεση ότι η ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μία χαρακτηριστική τιμή στο εκάστοτε υλικό. Η ενέργεια  $E$  των φωτονίων ορίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

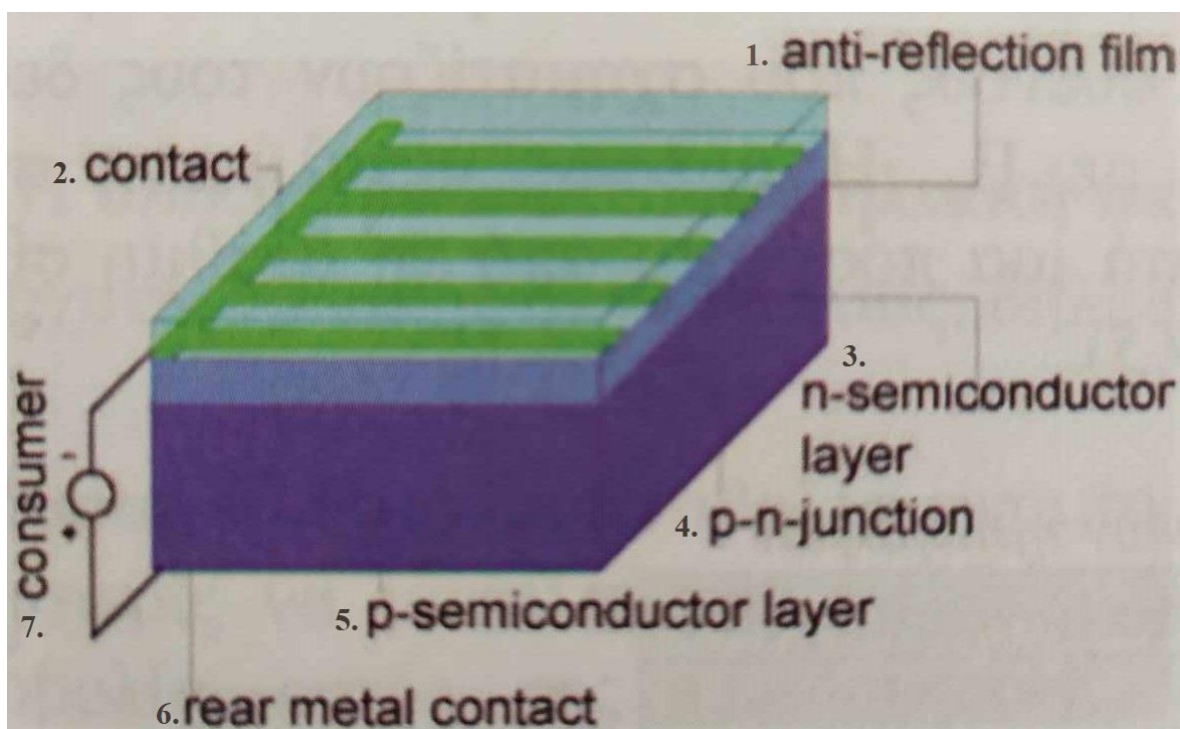
$$E = h * f = \frac{h * c}{\lambda} [J] = \frac{1240}{\lambda[nm]} [eV]$$

όπου,  $h = 6,626 * 10^{-34}$  [J · s] είναι η σταθερά του Planck,  $c = 3 * 10^8$  [m/s] είναι η ταχύτητα του φωτός,  $f$  η συχνότητα και  $\lambda$  το μήκος κύματος των φωτονίων [33].

Τα φωτοβολταϊκά κελιά βασίζονται στη δημιουργία επαφών μεταξύ των ημιαγωγών. Το συνηθέστερο είδος επαφής είναι η p-n, στην οποία ημιαγωγός τύπου p εφάπτεται με τον ημιαγωγό τύπου n. Το πυρίτιο με χημικό σύμβολο Si θεωρείται το πιο καθιερωμένο υλικό για την δημιουργία φωτοβολταϊκών μονάδων. Η κατασκευαστική δομή μιας κυψέλης απεικονίζεται στην Εικόνα 6.1.

Η βασική αρχή λειτουργίας της κυψέλης είναι η δημιουργία ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου, αξιοποιώντας τη διάχυση των ηλεκτρονίων από τον ημιαγωγό τύπου n (3) προς αυτόν τύπου p (5). Έτσι, δημιουργείται μια περιοχή με αρνητικό φορτίο, ενώ η περιοχή που εγκατέλειψαν φορτίζεται θετικά με τη δημιουργία των οπών. Συνέπεια αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός φράγματος δυναμικού (4), διότι από αυτή την περιοχή απουσιάζουν οπές και ηλεκτρόνια.

Το ηλεκτροστατικό πεδίο  $E$  που δημιουργείται από τα φωτόνια επηρεάζει τους φορείς της επαφής p-n, προκαλώντας εκτροπή των ηλεκτρονίων προς την περιοχή p και κίνηση προς τον συλλέκτη φορτίου, ο οποίος βρίσκεται στην μπροστινή πλευρά της κυψέλης. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται δημιουργία ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (7) που είναι ισχυρότερο από το φράγμα δυναμικού, όσο επιτρέπει η ενέργεια  $E$  των φωτονίων που τροφοδοτεί την κυψέλη [37].



Εικόνα 6.1: Απεικόνιση κατασκευαστικής διάταξης φωτοβολταϊκής κυψέλης:

1: Αντιανακλαστική ταινία, 2: Επαφή, 3: Υπόστρωμα ημιαγωγού τύπου n, 4: Φράγμα δυναμικού οπών και ηλεκτρονίων, 5: Υπόστρωμα ημιαγωγού τύπου p, 6: Πίσω μεταλλική επαφή, 7: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος [37]

### 6.3 Φωτοβολταϊκή μονάδα

Μία Φωτοβολταϊκή μονάδα ή πλαίσιο αποτελείται από φωτοβολταϊκές κυψέλες κατάλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η κάθε μονάδα φέρει περίβλημα με σκοπό την προστασία από τις καιρικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά του οποίου επηρεάζουν σημαντικά τη θερμοκρασία λειτουργίας των κυψελών. Είναι απαραίτητο, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο εσωτερικό του πλαισίου να είναι η ελάχιστη δυνατή για την αποκορύφωση της αποδοτικότητας και του χρόνου ζωής του [33].

Εάν υποθέσουμε ότι ένα πλαίσιο αποτελείται από  $N_s$  φωτοβολταϊκές κυψέλες σε σειρά και  $N_p$  παράλληλα, θα έχουμε:

$$V_{panel} = N_s * V, \quad I_{panel} = N_p * I,$$

όπου  $V_{panel}$ : η τάση στα άκρα του και  $I_{panel}$ : η ένταση στα άκρα του.

Στο Διάγραμμα 6.1, παριστάνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες  $I_{panel}$ - $V_{panel}$  της μονάδας, οι οποίες αποτελούν ένα καίριο τεχνικό χαρακτηριστικό, διότι μπορούμε να εξάγουμε όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για τη σχεδίαση μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Οι παράμετροι είναι:

- ❖  $I_{sc}$ : Ρεύμα βραχυκύκλωσης - μέγιστο ρεύμα εξόδου
- ❖  $V_{oc}$ : Τάση ανοιχτού κυκλώματος - μέγιστη τάση εξόδου
- ❖  $I_{mp}$ : Ένταση στη μέγιστη ισχύ
- ❖  $V_{mp}$ : Τάση στη μέγιστη ισχύ
- ❖  $P_{mp}$  ή  $P_{max}$ : Μέγιστη ισχύς.

Με την μπλε γραμμή απεικονίζεται η μεταβολή του ρεύματος εξόδου προς την τάση εξόδου, ενώ με την κόκκινη η τάση εξόδου. Η παρακάτω καμπύλη διαμορφώνεται σύμφωνα με προσδιορισμένες παραμέτρους θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας. Οι Τυπικές Συνθήκες Δοκιμής (Standard Test Conditions, STC) ακολουθούν:

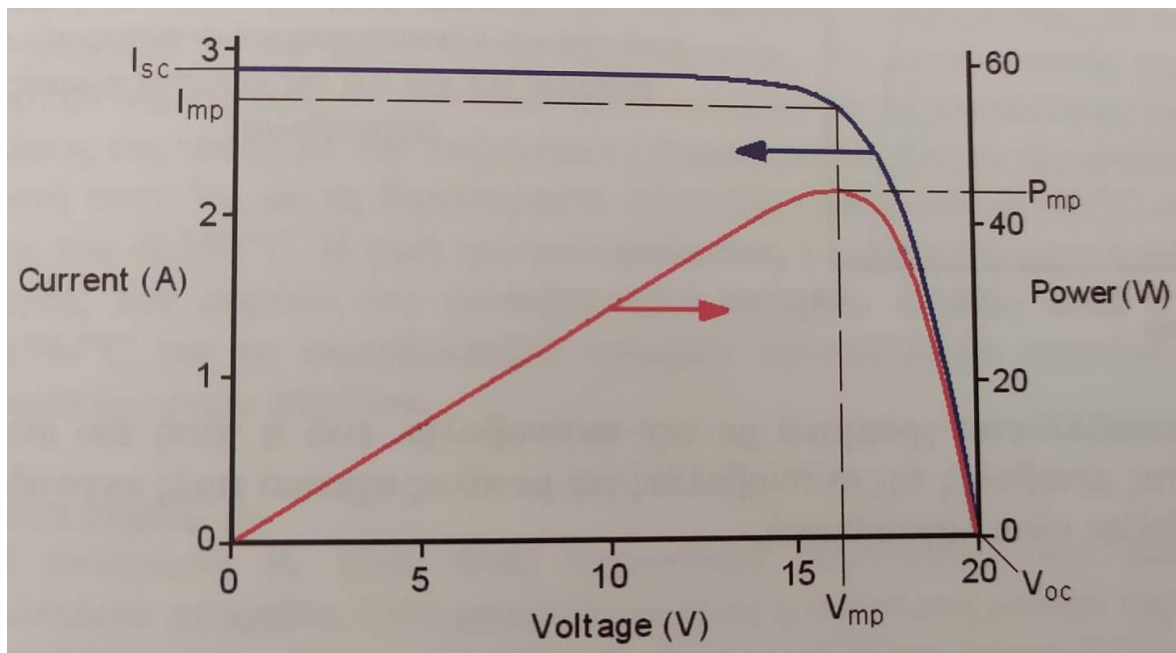
- ❖ Ένταση ακτινοβολίας  $G_{STC} = W/m^2$
- ❖ Θερμοκρασία πλαισίου  $T_{STC} = 298K$
- ❖ Φάσμα ακτινοβολίας σε 1,5 μάζα αέρα.

Η μέγιστη ισχύς  $P_{mp}$  στις παραμέτρους STC είναι η ονομαστική ισχύς μίας φωτοβολταϊκής μονάδας. Το σημείο της βρίσκεται στο γόνατο της καμπύλης ρεύματος τάσης.

Ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης απορρέει από τον τύπο:

$$\eta_{STC} = \frac{P_{mp,STC}}{G_{STC} * A_{panel}}$$

όπου  $A_{panel}$  το εμβαδό του πλαισίου.



Διάγραμμα 6.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες ΦΒ μονάδας [37]

Ο βαθμός απόδοσης επηρεάζεται σημαντικά από το υλικό κατασκευής των μονάδων. Πιο συγκεκριμένα, οι μονάδες κατασκευασμένες από κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται από 14% έως 18%, αλλά κοστίζουν περισσότερο. Αντίστοιχα, οι μονάδες από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι λιγότερο δαπανηρές αλλά ο βαθμός απόδοσης τους είναι επίσης μειωμένος και ισούται με 13% έως 15%. Τέλος, υπάρχουν και οι μονάδες άμορφου πυριτίου που κατασκευάζονται με την απόθεση μίας πολύ λεπτής στρώσης πυριτίου, πάχους μικρότερο από 1μm, συνήθως πάνω σε γυαλί. Ο βαθμός απόδοσής τους είναι μόλις 5% έως 7%, εξαιρετικά μειωμένος σε σχέση με τις μονάδες κρυσταλλικού πυριτίου, ωστόσο έχουν ένα μεγάλο προτέρημα, τον πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας [33].

#### 6.4 Φωτοβολταϊκή διάταξη

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας, οι φωτοβολταϊκές μονάδες συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους για τη λήψη της απαιτούμενης τάσης και ισχύος. Συνδέονται σε σειρά με σκοπό την αύξηση της τάσης, σχηματίζοντας μία συστοιχία. Στη συνέχεια δύο ή περισσότερες συστοιχίες συνδέονται παράλληλα, αποσκοπώντας στην αύξηση του ρεύματος, σχηματίζοντας έτσι μία φωτοβολταϊκή διάταξη [33].

Για το σχεδιασμό μίας διάταξης υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί οι οποίοι ακολουθούν παρακάτω:

- ❖ Απαγορεύεται η ένωση διαφορετικών φωτοβολταϊκών μονάδων στην ίδια διάταξη, καθώς δημιουργούνται ζημίες επειδή κατέχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά.
- ❖ Τα πλαίσια σε κάθε διάταξη θα πρέπει να έχουν ίδιο προσανατολισμό. Σε αντίθετη περίπτωση, αλλάζει η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας με αποτέλεσμα διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και απώλειες.
- ❖ Είναι αναγκαία η αποφυγή της μερικής σκίασης των μονάδων. Εάν μία μονάδα λειτουργεί σε σκίαση, τότε παράγει λιγότερο ρεύμα το οποίο αποτελεί το ρεύμα ολόκληρης της σειράς. Άρα η σκίαση μπορεί να προκαλέσει σημαντικά μειωμένη παραγωγή.

Οι φωτοβολταϊκές διατάξεις χρησιμεύουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε διαφόρων ειδών συστήματα. Το πλήθος των φωτοβολταϊκών μονάδων που απαρτίζουν την εκάστοτε διάταξη είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις απαιτήσεις ενέργειας, την εφαρμογή της και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σε θέση να εγκατασταθούν σε κτήρια αλλά και σε εκτάσεις Γης (φωτοβολταϊκά πάρκα).

Αξίζει να επισημανθεί το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας που είναι σε διασύνδεση με το δίκτυο αποτελούν την πιο καθιερωμένη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. Η δυνατότητα παραγωγής τους εκτείνεται από kW μέχρι αρκετά MW, ενώ η παραγόμενη ενέργεια τροφοδοτεί απευθείας το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τα απαραίτητα inverters, τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω στο Κεφάλαιο 8 [37].

## **6.5 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων**

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μία φωτοβολταϊκή διάταξη επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών μονάδων.

Ο φθηνότερος τρόπος εγκατάστασης και ο πιο απλός, είναι η τοποθέτηση των μονάδων σε σταθερές βάσεις (Εικόνα 6.2). Σε αυτή τη περίπτωση, επιλέγεται ο καλύτερος δυνατός προσανατολισμός ή αλλιώς γωνία αζιμούθιου καθώς και η βέλτιστη κλίση των μονάδων.



Εικόνα 6.2: Φωτοβολταϊκά πλαίσια με σταθερή βάση στήριξης

Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγιστοποιείται όταν οι φωτοβολταϊκές μονάδες ακολουθούν τη κίνηση του ήλιου με αποτέλεσμα την κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνειά τους. Επομένως, είναι απαραίτητη η χρήση ενός φωτοβολταϊκού ιχνηλάτη ή solar tracker.

Ο ιχνηλάτης είναι μία ηλεκτρομηχανική διάταξη που επιτρέπει τη κίνηση των φωτοβολταϊκών μονάδων για να παρακολουθούν τη κίνηση του ήλιου. Οι μονάδες στηρίζονται πάνω στον ιχνηλάτη, ο οποίος ανάλογα με το μέγεθός του έχει τη δυνατότητα στήριξης από μία έως και πολλές δεκάδες μονάδες. Οι ιχνηλάτες διακρίνονται σε μονού και διπλού άξονα.

Οι ιχνηλάτες μονού άξονα κατηγοριοποιούνται σε τρεις υποομάδες με βάση τον περιστρεφόμενο άξονα:

- ❖ Ιχνηλάτες οριζοντίου μονού άξονα: Έχουν στρεφόμενο άξονα παράλληλο ως προς την επιφάνεια του εδάφους που ευθυγραμμίζεται με τη διεύθυνση βορρά-νότου και μπορεί να αλλάζει τον προσανατολισμό των μονάδων από ανατολή σε δύση ανάλογα με την κίνηση του ήλιου.
- ❖ Ιχνηλάτες κάθετου μονού άξονα: Ο περιστρεφόμενος άξονας είναι κάθετος στην επιφάνεια της Γης. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες τοποθετούνται με την κατάλληλη κλίση, η οποία μπορεί να ρυθμιστεί χειροκίνητα ανάλογα με την εποχή του έτους. Προτιμώνται σε σχέση με τους ιχνηλάτες οριζοντίου άξονα σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος.
- ❖ Υπό κλίση μονού άξονα: Οι μονάδες τοποθετούνται παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής, ο οποίος έχει μία κλίση ως προς την επιφάνεια του εδάφους [33].

Οι ιχνηλάτες διπλού άξονα (Εικόνα 6.3) παρακολουθούν την αζιμουθιακή γωνία και τη γωνία ανύψωσης του ήλιου. Έτσι, αυξάνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά 30%-40% σε σχέση με την εγκατάσταση σε σταθερή βάση. Οι δύο συνηθέστεροι τρόποι υλοποίησής τους είναι είτε με κεντρικό στύλο, είτε με τον κύριο άξονα κάθετο στην επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 6.3: Φωτοβολταϊκά πλαίσια με ιχνηλάτη διπλού άξονα

## 6.6 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στη Σύμη

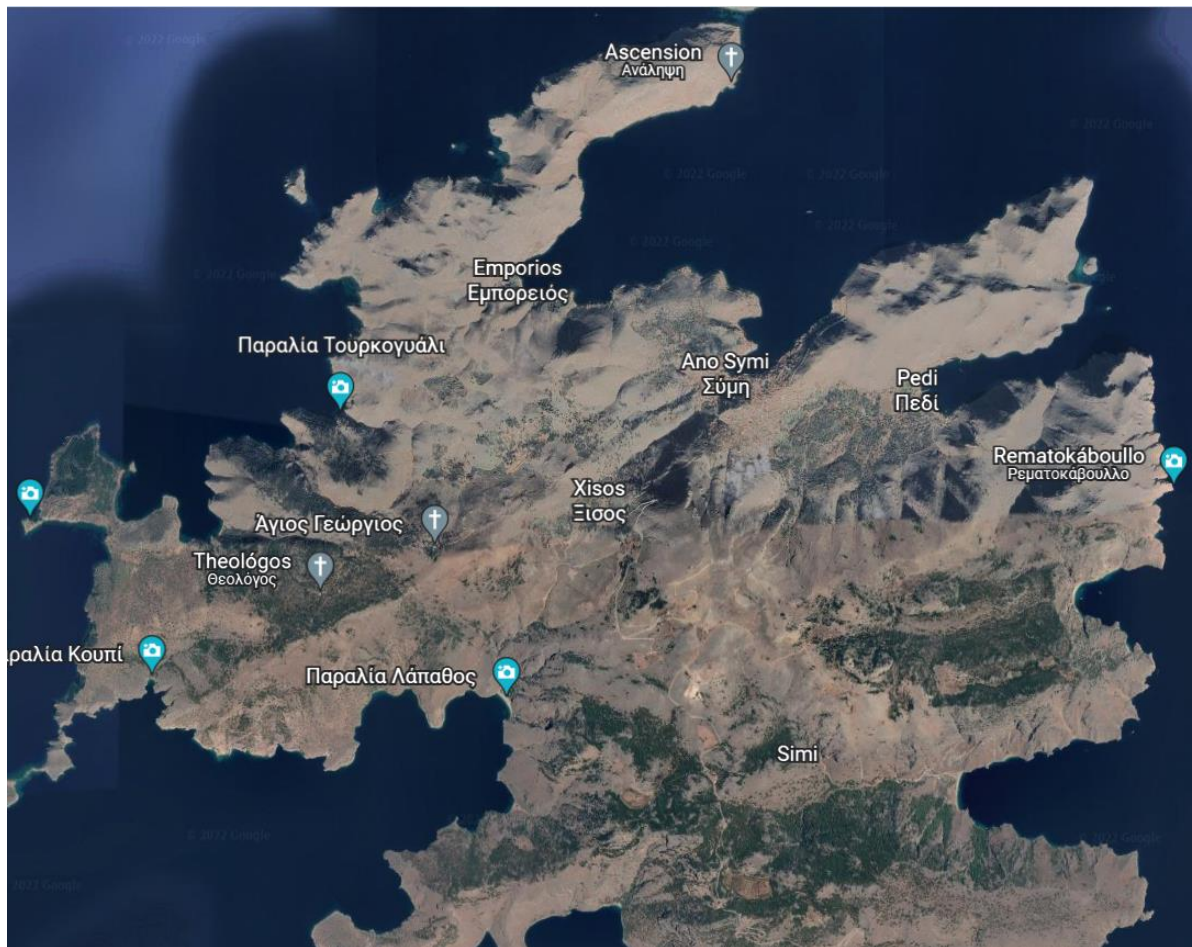
Το πρώτο και βασικό δίλημμα κατά την επιλογή μοντέλου φωτοβολταϊκού πλαισίου σχετίζεται με την επιλογή ανάμεσα σε πλαίσια που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικά και σε πλαίσια που αποτελούνται από πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Τα πρώτα συντίθενται από μεγάλου μεγέθους κρυστάλλους πυριτίου, ενώ τα δεύτερα από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλωμένου πυριτίου. Τα μονοκρυσταλλικά έχουν μεγαλύτερη απόδοση και υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με αυτό των πολυκρυσταλλικών. Επίσης, έχουν καλύτερη αντοχή σε θερμοκρασία, διότι τα πολυκρυσταλλικά έχουν πτώση απόδοσης σε υψηλές θερμοκρασίες [45]. Ως αποτέλεσμα, γίνεται αντιληπτό ότι η καλύτερη επιλογή για τη Σύμη, ένα νησί με υψηλές θερμοκρασίες και με σχετικά μικρή διαθέσιμη έκταση για εγκατάσταση, είναι πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Όσον αφορά τη διαφορά στη τιμή, η πλεονάζουσα ενέργεια που μπορούν να παράξουν καθιστά τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού

πυριτίου την ορθότερη επιλογή για τη μελέτη του υβριδικού συστήματος που διαρκεί 20 έτη, πραγματοποιώντας απόσβεση του πρόσθετου κόστους.

Οπότε, επιλέγεται φωτοβολταϊκή μονάδα μονοκρυσταλλικού πυριτίου, από την εταιρεία Luxor και ειδικότερα το μοντέλο LX-550M PERC HC Bifacial [46]. Με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, η μονάδα έχει μέγιστη ισχύ 550Wp με απόδοση 21,75%, ενώ η τάση και το ρεύμα στην ονομαστική ισχύ έχουν τιμές αντίστοιχα 41,39V και 13,29 A. Η ιδανική θερμοκρασία υπό την οποία επιτυγχάνεται ορθή λειτουργία των κυψελών θεωρούνται οι 45°C. Η εταιρεία παρέχει 15ετή εγγύηση για το συγκεκριμένο μοντέλο και 25ετή αναφορικά με την απόδοση παραγωγής η οποία θα ανέρχεται στο 85,5% της ονομαστικής.

Όπως αναφέρθηκε στο Υποκεφάλαιο 6.5 υπάρχουν διάφοροι τρόποι στήριξης, με το κόστος και την απόδοση να αυξάνονται αντίστοιχα. Οι μονάδες στηριζόμενες σε βάσεις κατασκευασμένες με ενσωματωμένους φωτοβολταϊκούς ιχνηλάτες είτε μονού είτε διπλού άξονα παρουσιάζουν υψηλότερη παραγωγική ικανότητα. Ωστόσο, ανάλογη με την παραγωγική ικανότητα είναι και η αύξηση του κόστους όχι μόνο στην αγορά, αλλά και τη συντήρησή τους. Γι' αυτό το λόγο από τη στιγμή που επιλέχθηκε ακριβότερο πλαίσιο, οδηγούμαστε στην επιλογή εγκατάστασης σταθερών βάσεων στήριξης αποσκοπώντας στη διατήρηση ενός οικονομικά βιώσιμου κόστους.

Αξίζει να τονιστεί ότι η τοποθεσία εγκατάστασης αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Θεωρείται απαραίτητο η τοποθεσία κατασκευαστής της εγκατάστασης να χαρακτηρίζεται από προσβασιμότητα, ώστε να μην αντιμετωπιστεί πρόβλημα στη μεταφορά του εξοπλισμού. Επιπλέον, είναι αναγκαίο να εκτιμηθεί η γεωμορφολογία της περιοχής. Μια βραχώδης περιοχή θεωρείται ανεπιθύμητη, διότι είναι απαιτητική η περάτωση της εγκατάστασης, ιδιαίτερα των βάσεων στήριξης. Παράλληλα, θα ήταν επιθυμητή η ύπαρξη σε μικρή απόσταση του ηλεκτρικού δικτύου, η οποία θα επιφέρει μειωμένο κόστος σύνδεσης. Όλοι οι παραπάνω λόγοι συντελούν στην επιλογή της περιοχής βορειοδυτικά του Εμπορείου, στο βόρειο κομμάτι του νησιού (Εικόνα 6.4), η οποία χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία του εδάφους.

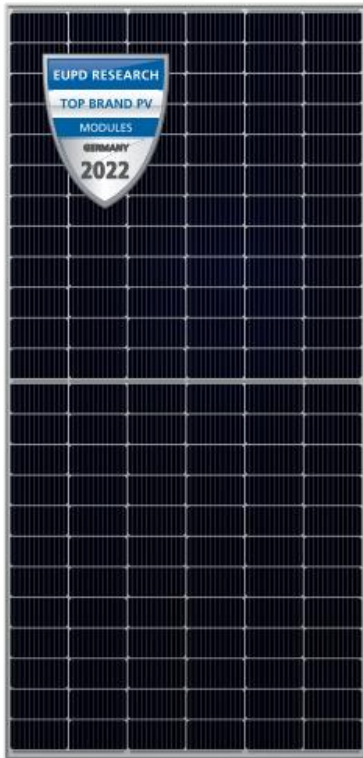


Εικόνα 6.4: Χωροθέτηση ΦΒ πάρκου στο βόρειο τμήμα του νησιού με χρήση Google Earth Pro

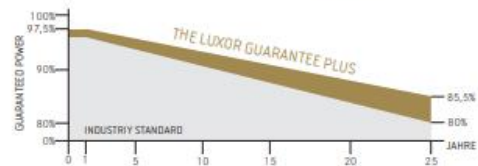
Παρακάτω εκτίθεται το τεχνικό φυλλάδιο της κατασκευάστριας εταιρείας με βασικές πληροφορίες της φωτοβολταϊκής μονάδας που επιλέχθηκε (Εικόνα 6.5). Εκτενέστερη μελέτη των οικονομικών δεδομένων και τεχνικών λεπτομερειών, θα πραγματοποιηθεί στο Κεφάλαιο 9 το οποίο εμπεριέχει την ανάλυση με τη χρήση του λογισμικού.

# LUXOR

solar module manufacturer since 2007



- + BIFACIAL: DOUBLE-SIDED POWER GENERATION FOR MORE YIELD
- + REDUCED LOSSES DURING PARTIAL SHADING
- + REDUCTION OF BALANCE-OF-SYSTEM-COSTS THROUGH HIGHER PERFORMANCE PER MODULE
- + ESPECIALLY ECONOMIC FOR COMMERCIAL SYSTEMS



## ECO LINE HALF CELL BIFACIAL

### M144 / 540 - 560 W

MONOCRYSTALLINE MODULE FAMILY, WHITE MESH



Longlife tested



Power proofed



Safety provided



Selection of components



Cross-linking degree test



Performance surplus of 0 Wp to 6.49 Wp



100% PID free cells



Special packing to avoid micro cracks in the cells



German warrantor

Luxor Solar GmbH | Kornbergstraße 29 | 70176 Stuttgart | Germany | T+49.711.88 888 - 999 | info@luxor-solar.com | www.luxor.solar

# ECO LINE HALF CELL BIFACIAL

## M144 / 540-560 W, WHITE MESH

Module type LX - XXXM/182-144+ BiF | XXX = Rated power Pmpp

### Electrical data at STC

Rated power Pmpp [Wp]	540.00	545.00	550.00	555.00	560.00
Pmpp range to	546.49	551.49	556.49	561.49	566.49
Rated current Imp [A]	13.15	13.22	13.29	13.37	13.44
Rated voltage Vmp [V]	41.10	41.25	41.39	41.54	41.69
Short-circuit current Isc [A]	13.89	13.96	14.03	14.12	14.19
Open-circuit voltage Uoc [V]	49.28	49.45	49.63	49.81	49.99
Efficiency at STC up to	21.36%	21.56%	21.75%	21.95%	22.14%
Efficiency at 200 W/m <sup>2</sup>	20.86%	21.05%	21.23%	21.44%	21.63%

### Electrical data at NOCT

Power at Pmpp [Wp]	400.90	404.61	408.32	412.03	415.74
Rated current Imp [A]	10.62	10.68	10.74	10.80	10.86
Rated voltage Vmp [V]	37.74	37.89	38.03	38.15	38.29
Short-circuit current Isc [A]	11.21	11.27	11.33	11.40	11.46
Open-circuit voltage Uoc [V]	45.48	45.66	45.84	46.02	46.20

Specification as per STC (Standard test conditions): irradiance 1000W/m<sup>2</sup> | module temperature 25°C | Air Mass = 1.5  
 NOCT (nominal operating cell temperature): irradiance 800W/m<sup>2</sup> | wind speed 1m/Sec | ambient temperature 20°C | cell operating temperature 45 +/-2°C | Air Mass = 1.5

### Bifacial Gain\* (e.g. 545Wp)

Backside power gain [Wp]	5%	10%	15%	20%	25%
Rated power Pmpp [Wp]	572.25	599.50	626.75	654.00	681.25
Rated current Imp [A]	13.89	14.55	15.21	15.87	16.53
Rated voltage Vmp [V]	41.25	41.25	41.25	41.25	41.25
Short-circuit current Isc [A]	14.66	15.36	16.05	16.75	17.45
Open-circuit voltage Uoc [V]	49.45	49.45	49.45	49.46	49.46

\*depending on the reflection of the underlying surface

### Limiting values

Max. system voltage   max. return current	1500 V   25 A
Safety class   Fire safety class	II   A (according to IEC 61730)
Operating Temperature	-40 bis 85°C
Max. tested pressure load-/tensile <sup>2</sup>	5400 Pa / 2400 Pa

### Temperature coefficient

Temperature coefficient [U]   [I]   [P]	-0.285% / °C   0.049% / °C   -0.360% / °C
---	---

### Specifications

Number of cells (matrix)	144 (6 x 24)   182 mm x 91 mm
Module dimensions (L x W x H) <sup>3</sup>   Weight	2279 mm x 1134 mm x 35 mm   29 kg
Bifaciality factor	75 +/- 5 %
Front-side	3,2 mm tempered, highly transparent, anti-reflection solar glass
Back-side	transparent foil
Frame	stable, anodised aluminium frame
Embedding material	POE/EVA
Junction Box	At least IP67
Cable	Symmetrical cable lengths > 1.4 m and 1.4 m, 4 mm <sup>2</sup> solar cable
Diodes	3 Schottky Diodes
Connectors	MC4 or equivalent with IP67
Hail test (max. hailstorm)	Ø 45 mm   impact velocity 23 m/s ± 83 km/h

The specifications and average values can vary slightly. Relevant is the corresponding data of the individual measurement. Specifications are subject to change without notice. Measurement tolerance depending on equipment: rated power +/- 3%, other values +/- 10%. All information given in this data sheet corresponds to DIN EN 50380. A potential light-induced degradation of the power after commissioning is not considered here.

Further information in the installation manuals.

1 The specific warranty conditions are given under [www.luxor.solar/downloads.html](http://www.luxor.solar/downloads.html)

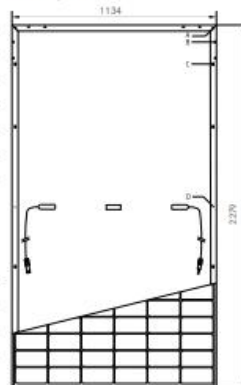
2 Horizontal mounted, for details please check mounting instruction

3 Tolerance L/W = +/- 3 mm, H +/- 2 mm, the dimensions given in the order confirmation will be decisive

4 Location and dimensions of holes on request

Luxor, your specialised company

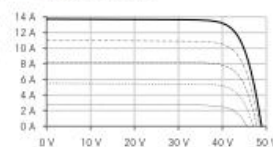
### Back - / Frontview<sup>3</sup>



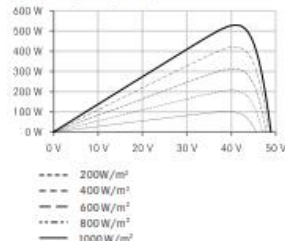
Drilled holes<sup>4</sup>:  
 A: 4 x drainage  
 B: 16 x ventilation  
 C: 8 x mounting  
 D: 2 x earthing

### Electrical characteristics

UI-diagram e.g. 540Wp



UP-diagram e.g. 540Wp



Guidelines:  
 93/68/EEC  
 2014/35/EU, (LVD)  
 2014/30/EU, (EMC)

The validity of the certificates/listings for a specific country has to be examined under:  
[www.luxor.solar/downloads.html](http://www.luxor.solar/downloads.html)

Eco Line HC\_Bifacial\_SW\_M144/540-560W\_L1/2022

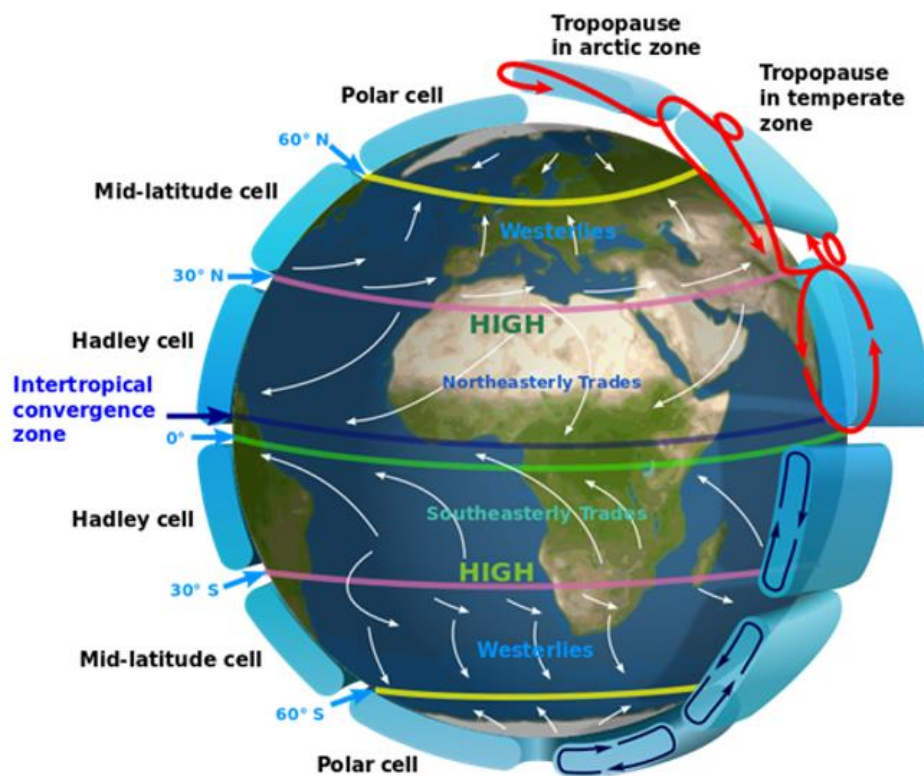
Εικόνα 6.5 : Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή LX-550M PERC HC Bifacial [46]

## Κεφάλαιο 7

### Αιολική Τεχνολογία

#### 7.1 Άνεμος

Ο άνεμος προσδιορίζεται ως μία οποιαδήποτε οριζόντια κίνηση του αέρα. Το γεγονός ότι ο αέρας παρουσιάζει διαφορετικές θερμοκρασίες προκαλεί σε συγκεκριμένες συνθήκες ανόμοιες βαρομετρικές πιέσεις ανάμεσα σε παρακείμενες τοποθεσίες με αποτέλεσμα τη δημιουργία του ανέμου. Σε περίπτωση που σε δύο γειτονικές περιοχές επικρατεί διαφορετική θερμοκρασία, τότε αέρια μάζα μετακινείται με αφετηρία τη πιο ψυχρή περιοχή καταλήγοντας στην πιο θερμή, διότι η πρώτη έχει μεγαλύτερη ατμοσφαιρική πίεση από τη δεύτερη [47]. Η διαφορά αυτή των πιέσεων κατά κύριο λόγο είναι αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης θέρμανσης των διαφορετικών τοποθεσιών της Γης (Εικόνα 7.1).

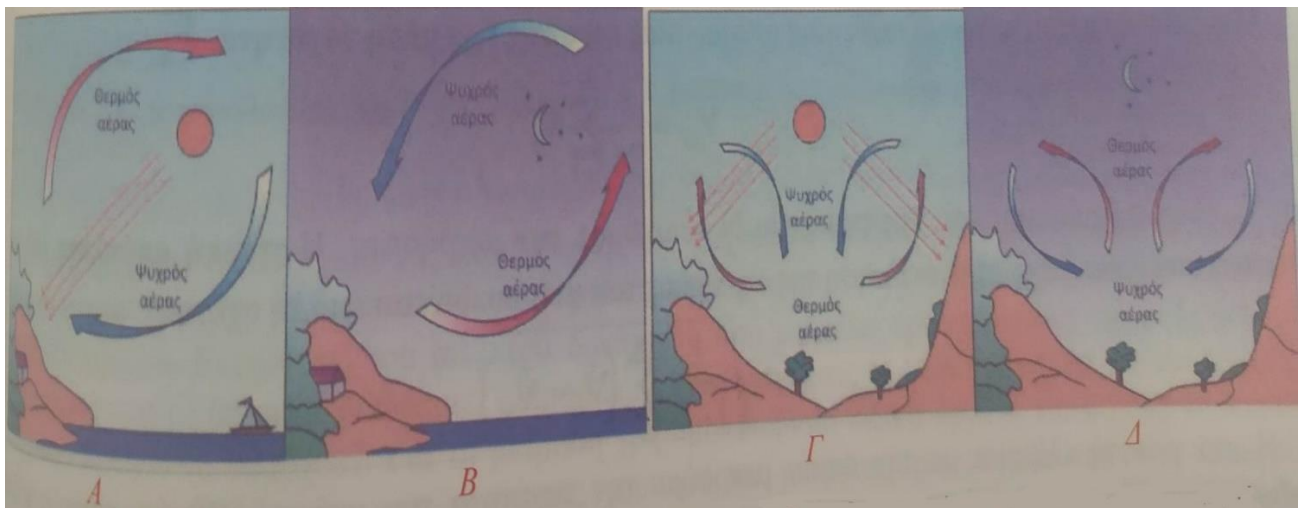


Εικόνα 7.1: Ατμοσφαιρική κυκλοφορία του αέρα [48]

Στην περίπτωση που μία μάζα αέρα έρθει σε αλληλεπίδραση με την επιφάνεια της Γης θερμαίνεται προσεγγίζοντας ένα ύψος περίπου 10km, διότι ο θερμότερος αέρας

χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη πυκνότητα σε σύγκριση με τον ψυχρότερο. Αυτή είναι η ανοδική κίνηση του ανέμου. Η αντίστροφη διαδικασία της καθοδικής κίνησης, πραγματοποιείται χάρη στη ψύξη του αέρα, κάνοντας τον πυκνότερο και βαρύτερο, με αποτέλεσμα την κάθοδό του. Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται κατακόρυφη μεταφορά.

Οι τοπικοί άνεμοι εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους είναι η μορφολογία του τόπου, το υψόμετρο και η ύπαρξη της θάλασσας. Η στεριά διαθέτει μικρότερου μεγέθους θερμοχωρητικότητα σε σχέση με τη θάλασσα έχοντας ως αποτέλεσμα τη ψύξη και τη θέρμανση με ταχύτερους ρυθμούς. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η στεριά είναι πιο θερμή σε σύγκριση με τη θάλασσα, οπότε δημιουργείται μετακίνηση ψυχρότερων αέριων μαζών ξεκινώντας από τη θάλασσα με κατεύθυνση προς τη στεριά. Η αντίθετη κίνηση γίνεται τη νύχτα, καθώς η θάλασσα τότε είναι θερμότερη. Η αντίστοιχη διαδικασία γίνεται με τα βουνά και τις γειτονικές κοιλάδες. Στην Εικόνα 7.2 απεικονίζονται οι τοπικοί άνεμοι για τις δύο περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν [37].



Εικόνα 7. 2: Τοπικοί άνεμοι Α. Παραλία ημέρα Β. Παραλία νύκτα Γ. Πεδιάδα ημέρα Δ. Πεδιάδα νύκτα [37]

Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου αποτελούν δύο βασικά στοιχεία του και πρέπει να εκτιμώνται με βάση μετρήσεις και υπολογιστικά μοντέλα. Η ταχύτητά του υπολογίζεται με τη χρήση του ανεμόμετρου, ενώ ακολουθεί ηλεκτρονική καταγραφή της σε συγκεκριμένο καταγραφικό. Για τη διεύθυνσή του χρησιμοποιούνται ανεμοδείκτες που καταγράφουν τη φορά του στο ειδικό καταγραφικό (Εικόνα 7.3).

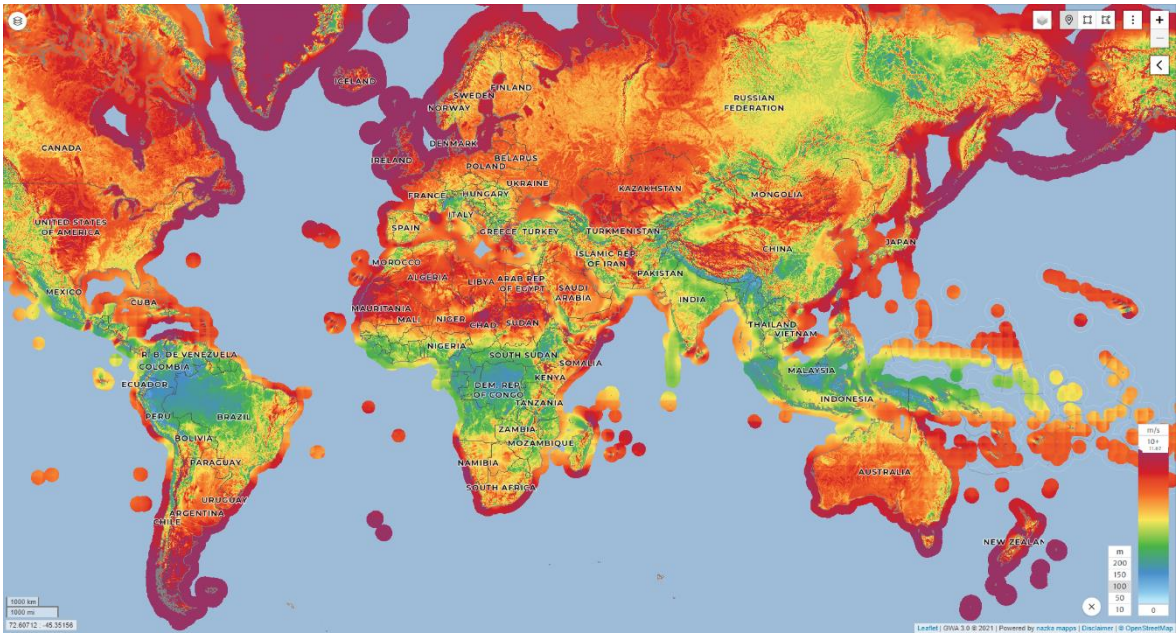


Εικόνα 7.3: Αριστερά ανεμόμετρο, δεξιά ανεμοδείκτης [49]

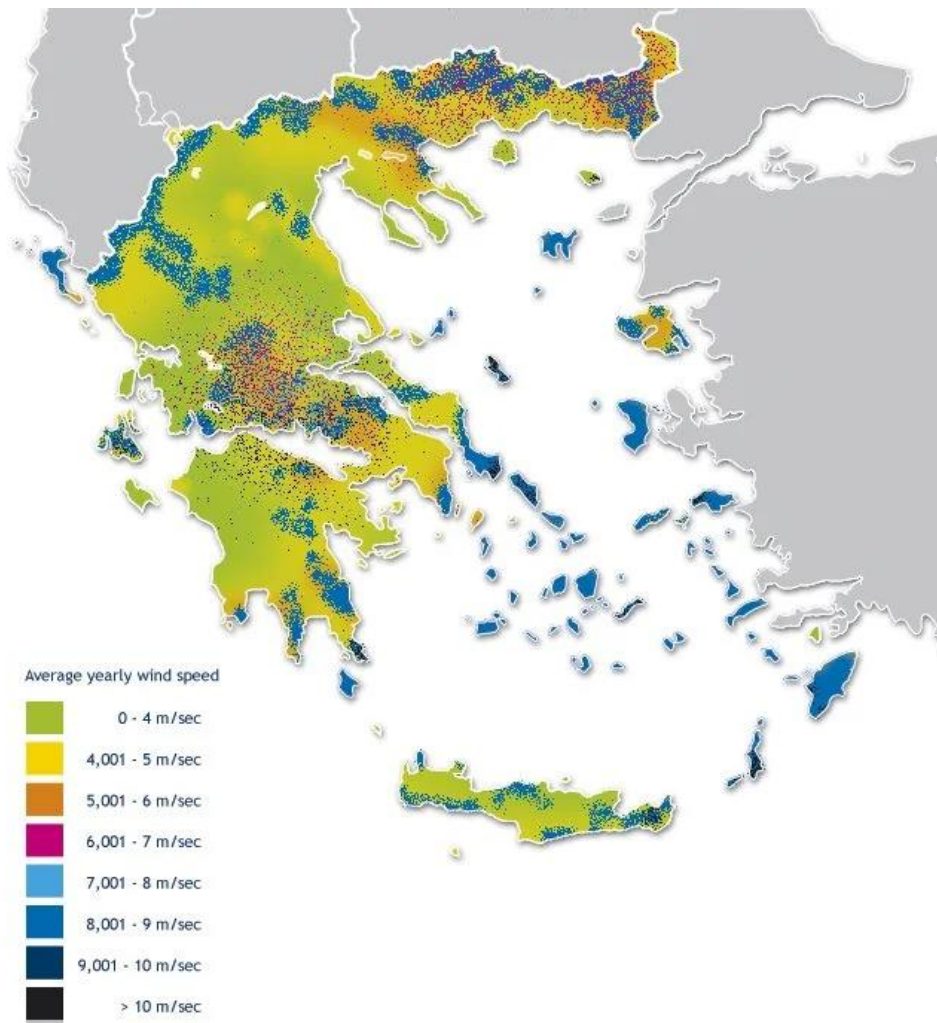
Αιολική ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που δημιουργείται από την αξιοποίηση του ανέμου, που είναι ανεξάντλητος. Αυτή η ενέργεια προσδιορίζεται ως μία καθαρή ενέργεια, καθώς δεν εκπέμπονται ρύποι κατά την παραγωγή της.

Επίσης, είναι ήπια μορφή ενέργειας, ενώ έχει σημαντικά μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση σε σύγκριση με την καύση ορυκτών πόρων, καθιστώντας την μια ιδεατή απάντηση στο σημερινό ενεργειακό ζήτημα. Η «πηγή» της είναι άφθονη, ανεξάντλητη και χωρίς χρηματικό αντίτιμο. Δεν υπάρχουν εκπομπές ή άλλες ρυπογόνες ουσίες και οι περιβαλλοντικές συνέπειες είναι ελάχιστες συγκριτικά με τους καθιερωμένους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτές πηγές. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτα τα οικονομικά κέρδη σε μια περιοχή χάρη στην εγκατάσταση του αιολικού τομέα [50].

Το ενδεχόμενο απόκτησης ενεργειακών ποσοτήτων αξιοποιώντας τους ανέμους που κινούνται σε μία τοποθεσία ονομάζεται αιολικό δυναμικό της τοποθεσίας αυτής (Εικόνες 7.4, 7.5). Για να θεωρείται εκμεταλλεύσιμο το αιολικό δυναμικό σε μία περιοχή, χρειάζεται η υπέρβαση των πέντε μέτρων ανά δευτερόλεπτο (5 m/s) από την μέση ταχύτητα του ανέμου, έτσι ώστε να λειτουργούν αποτελεσματικά οι ανεμογεννήτριες.



Εικόνα 7.4: Παγκόσμιο αιολικό δυναμικό [51]



Εικόνα 7.5: Ελληνικό αιολικό δυναμικό [52]

## 7.2 Ανεμογεννήτρια

### 7.2.1 Βασικά στοιχεία και λόγοι ευρείας χρήσης

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν αιολικές μηχανές υπεύθυνες για τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου αρχικά σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελούνται από μεγάλες λεπίδες, συνήθως κατασκευασμένες από υαλοβάμβακα, ξύλο ή ανθρακονήματα, που περιστρέφονται γύρω από μια κεντρική πλήμνη. Καθώς οι λεπίδες περιστρέφονται, περιστρέφουν μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ έχει την ικανότητα τροφοδότησης του ηλεκτρικού δικτύου ή παροχής ισχύος σε κοντινές κατοικίες ή επιχειρήσεις. Από το 1900 χρησιμοποιούνται ανεμόμυλοι μικρής ισχύος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στις ΗΠΑ. Ωστόσο, η ανάπτυξη των σύγχρονων ανεμογεννητριών συνέβη τη δεκαετία του 1970, απαντώντας στην ενεργειακή κρίση εκείνης της εποχής. Η ισχύς τους ξεκινάει από μερικά Watt και φτάνει μέχρι μερικά MW, έχοντας αυξητική τάση λόγω του συνεχούς μειωμένου κόστους κατασκευής [37]. Μερικά από τα κύρια πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών περιλαμβάνουν:

- ❖ Καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια: Η αιολική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ενέργειας η οποία δεν εκπέμπει ρυπογόνα αέρια στην ατμόσφαιρα, καθιστώντας την μια μέθοδο περιβαλλοντικά φιλικότερη σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.
- ❖ Οικονομικές: Μόλις εγκατασταθούν, οι ανεμογεννήτριες έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με σχετικά χαμηλό κόστος, καθιστώντας τις με αυτόν τον τρόπο μία ελκυστική επιλογή για την παραγωγή ενέργειας.
- ❖ Χαμηλή συντήρηση: Οι ανεμογεννήτριες έχουν σχετικά χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, ειδικά σε σχέση με διαφορετικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, με τρανταχτό παράδειγμα να αποτελούν τα συστήματα ενεργειακής παραγωγής από ορυκτά καύσιμα.
- ❖ Αποτελεσματικές στο χώρο: Κατασκευάζονται ακόμη και σε μικρά οικόπεδα, ενώ μπορούν να συγκεντρωθούν για να δημιουργήσουν αιολικά πάρκα που μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❖ Βιώσιμη δημιουργία θέσεων εργασίας: Η βιομηχανία αιολικής ενέργειας μπορεί να δημιουργήσει βιώσιμες θέσεις εργασίας, όχι μόνο κατασκευάζοντας και εγκαθιστώντας ανεμογεννήτριες αλλά και συντηρώντας τα αιολικά πάρκα [53].

### 7.2.2 Ταξινόμηση και χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών

Η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών παρουσιάζει μεγάλη οικονομική άνθηση τα τελευταία χρόνια. Γι' αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί διάφορες παραλλαγές των ανεμογεννητριών με σκοπό τη μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, προσπαθώντας παράλληλα να επιτύχουν το χαμηλότερο περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος. Επομένως, προέκυψε η ανάγκη κατηγοριοποίησης τους για να γίνει ευκολότερη η

μελέτη τους. Το κύριο κριτήριο ταξινόμησής τους αποτελεί η διεύθυνση του άξονα περιστροφής. Έτσι χωρίζονται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbines) και ανεμογεννήτριες με κάθετο άξονα (VAWT – Vertical Axis Wind Turbines).

Οι ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα που είναι παράλληλος προς το έδαφος και στις περισσότερες περιπτώσεις παράλληλος με τη ροή του ανέμου. Αυτές οι ανεμογεννήτριες απαρτίζονται από 2 ή 3 πτερύγια, αντίθετα από τους ανεμόμυλους οι οποίοι διαθέτουν μεγάλο αριθμό πτερυγίων (έως 30).

Παρακάτω ακολουθούν κάποια γενικά στοιχεία των προαναφερθέντων ανεμογεννητριών:

- ❖ Η τεχνογνωσία και η πείρα των HAWT υπερισχύει σε σημαντικό βαθμό από των VAWT.
- ❖ Απαιτούν υψηλότερη κατασκευή πύργου σε σχέση με τις κατακόρυφου άξονα με αποτέλεσμα την εκμετάλλευση ανέμων μεγαλύτερων ταχυτήτων.
- ❖ Έχουν ελαφρά μικρότερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τις VAWT.
- ❖ Εύκολη συναρμολόγηση.
- ❖ Χρειάζονται μεταβολή του σχήματος του πτερυγίου, ολική ή μερική, ώστε να επιτυγχάνεται σταθερή ταχύτητα και έλεγχος υπερφόρτωσης.
- ❖ Όταν λειτουργούν παράγουν αξιοσημείωτο θόρυβο.
- ❖ Έχουν κοστοβόρα κατασκευή και μεταφορά εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους τους.
- ❖ Ο μηχανισμός περιστροφής είναι απαραίτητος για τη διαδικασία προσανατολισμού των πτερυγίων [37].

Οι ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα εκμεταλλεύονται τον άνεμο ανεξαρτήτως διεύθυνσής του, οπότε δε χρειάζεται να ρυθμιστεί το στρόφειο αλλάζοντας την κατεύθυνση του ανέμου. Η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετακινείται διαμέσου του κατακόρυφου άξονα στην επιφάνεια της Γης, στην οποία τοποθετείται η γεννήτρια ηλεκτροπαραγωγής. Οι τελευταίες τεχνολογίας κατασκευές αυτού του άξονα που δημιουργήθηκαν είναι κυρίως της μορφής Darrieus και Savonius (Εικόνα 7.6). Πέρα από τις σχεδιαστικές διαφορές, η πρώτη είναι αποδοτικότερη αλλά εκκινεί δυσκολότερα, σε αντίθεση με την δεύτερη που διαθέτει ταχύτερη εκκίνηση και χαμηλότερη απόδοση. Επομένως, έχει δημιουργηθεί ένα "υβρίδιο" των δύο μορφών αποσκοπώντας στη γρήγορη εκκίνηση χάρη στις Savonius και στην αποδοτικότητα εξαιτίας της Darrieus. Παρακάτω ακολουθούν κάποια γενικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα:

- ❖ Έχουν χαμηλότερη απόδοση από τις HAWT.
- ❖ Τα μηχανικά της μέρη, όπως η γεννήτρια και τα συστήματα μετάδοσης και ελέγχου, τοποθετούνται σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια της Γης, με κίνητρο την ευκολότερη εγκατάσταση και συντήρηση.

- ❖ Δεν χρειάζονται ειδικό μηχανισμό προσανατολισμού για να δεχθούν ανέμους κάθε κατεύθυνσης.
- ❖ Εκπέμπουν μειωμένο θόρυβο, εξαιτίας του ότι λειτουργούν σε μικρότερες μέσες ταχύτητες ανέμου.
- ❖ Αντιμετωπίζουν περισσότερα προβλήματα με τις ροπές ανατροπής απ' ότι οι HAWT.
- ❖ Είναι αδύνατον να επωφεληθούν από ανέμους με υψηλές ταχύτητες εξαιτίας της μικρής κατασκευής τους.
- ❖ Έχουν ευρεία δυνατότητα τοποθέτησης λόγω μεγέθους.
- ❖ Ορισμένα μηχανικά μέρη είναι δύσκολο να συντηρηθούν
- ❖ Έχουν πιο απλή κατασκευή με αποτέλεσμα τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης να είναι χαμηλότερα συγκριτικά με αυτά των HAWT [37].



Εικόνα 7.6: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα Darrieus αριστερά [54] και Savonius δεξιά [55]

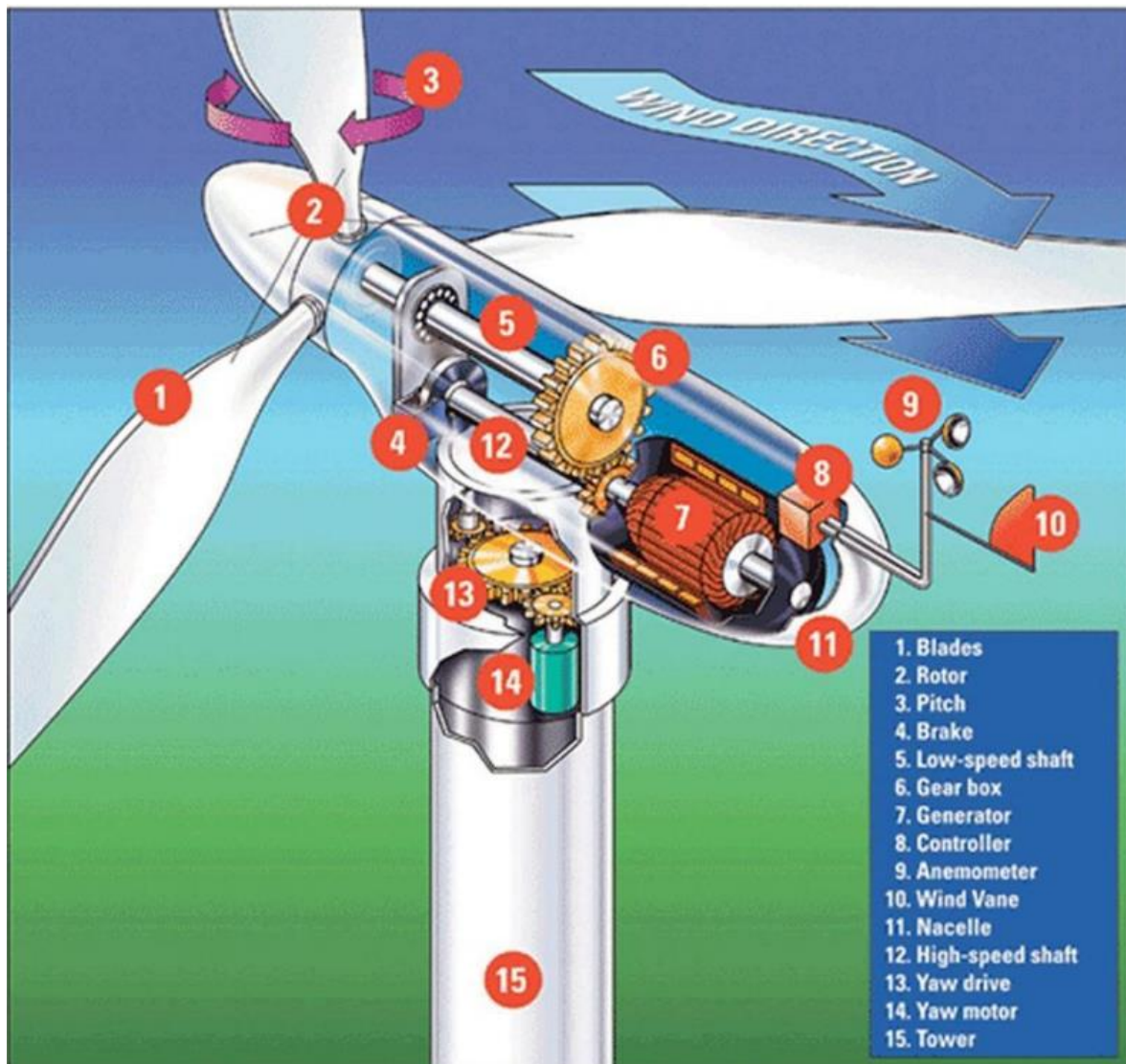
Τα αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από πολλές τοποθετημένες ανεμογεννήτριες σε περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού, αξιοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας εμπορικού τύπου. Σε αυτά εφαρμόζονται οι HAWT (Εικόνα 7.7) που διαθέτουν τρία πτερύγια. Εκτενέστερη ανάλυσή τους θα πραγματοποιηθεί στην παρακάτω υποενότητα, διότι αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες θα απαρτίζουν το υβριδικό σύστημα της Σύμης.



Εικόνα 7.7: Φωτογραφία αιολικού πάρκου στην Πύλο Μεσσηνίας [56]

### 7.2.3 Δομή ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Μία ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα ουσιαστικά αποτελείται από δύο κύρια μέρη: τον πύργο που είναι ο κορμός της και την πλήμνη η οποία τοποθετείται στην κορυφή του πύργου. Η πλήμνη απαρτίζεται από το ρότορα, το σύστημα μετάδοσης, τη γεννήτρια και πολλά ακόμη μέρη. Τα βασικά τμήματα μιας ανεμογεννήτριας απεικονίζονται αναλυτικότερα στην Εικόνα 7.8. Έπειτα ακολουθεί μία περιγραφή των λειτουργιών των κύριων τμημάτων που απαρτίζουν την ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 7.8: Θεμελίωση μίας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

1. Πτερύγια, 2. Δρομέας, 3. Κλίση πτερυγίου, 4. Φρένο, 5. Άξονας χαμηλών ταχυτήτων, 6. Κιβώτιο ταχυτήτων, 7. Γεννήτρια, 8. Ελεγκτής, 9. Ανεμόμετρο, 10. Ανεμοδείκτης, 11 Άτρακτος, 12. Άξονας υψηλών ταχυτήτων, 13. Μηχανισμός περιστροφής ατράκτου, 14. Κινητήρας μηχανισμού περιστροφής, 15. Πύργος [57]

- ❖ Ο πύργος ή πυλώνας: Αποτελεί τον κορμό της. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας εξυπηρετεί πολλές κύριες αρμοδιότητες στη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Πρώτον, υποστηρίζει το συγκρότημα ατράκτου και ρότορα, το οποίο στεγάζει τη γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων και τα πτερύγια. Ο πύργος παρέχει επίσης μια σταθερή βάση για τη λειτουργία της τουρμπίνας, διασφαλίζοντας ότι παραμένει σταθερή και ασφαλής σε ισχυρούς ανέμους. Επιπλέον, ο πύργος περιέχει την ηλεκτρική καλωδίωση και τα συστήματα ασφαλείας που επιτρέπουν στον στρόβιλο να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Τέλος, το ύψος του πύργου

παίζει σημαντικό ρόλο στη μεγιστοποίηση της ποσότητας ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από τον άνεμο, επιτρέποντας στα πτερύγια του ρότορα να λειτουργούν σε υψηλότερα υψόμετρα όπου οι ταχύτητες ανέμου είναι συνήθως ισχυρότερες και πιο σταθερές. Οι πύργοι επιλέγονται με βάση το κόστος αγοράς τους, τη δυσκολία μετακίνησής τους στην τοποθεσία εγκατάστασης αλλά και το πόσο εύκολα μπορούν να ανεγερθούν. Επιπλέον, σημαντικό χαρακτηριστικό της ανεμογεννήτριας είναι το ύψος της, διότι όσο αυτό αυξάνεται, τόσο ενισχύει την παραγωγή της λόγω μεγαλύτερων ταχυτήτων ανέμου. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μία αύξηση του κατασκευαστικού κόστους. Τέλος, ενδιαφέρουσα πληροφορία αναφορικά με το ύψος της είναι ότι μετριέται από το έδαφος έως και τον άξονα περιστροφής του ρότορα [37].

- ❖ Ο ρότορας ή δρομέας: Θεωρείται το πιο σημαντικό τμήμα μίας ανεμογεννήτριας καθώς σε αυτόν πραγματοποιείται μετατροπή ενός μέρους της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε περιστροφική μηχανική στον άξονα. Ο ρότορας εμπεριέχει συνήθως δύο ή τρία πτερύγια που συνδέονται με μια κεντρική πλήμνη, η οποία είναι τοποθετημένη στον κύριο άξονα του στροβίλου. Οι λεπίδες είναι συνήθως κατασκευασμένες από ελαφριά, ανθεκτικά υλικά, όπως υαλοβάμβακα, ανθρακονήματα ή ξύλο, και έχουν σχεδιαστεί για να μεγιστοποιούν την αεροδυναμική τους απόδοση. Καθώς οι λεπίδες περιστρέφονται, περιστρέφουν τον άξονα που συνδέεται με τη γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρισμό. Το σχήμα και το μέγεθος των πτερυγίων του ρότορα, καθώς και ο προσανατολισμός τους στον άνεμο, είναι κρίσιμοι παράγοντες για τον καθορισμό της συνολικής απόδοσης και της ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας.
- ❖ Η ηλεκτρική γεννήτρια: Θεωρείται ένα αναπόσπαστο κομμάτι μίας ανεμογεννήτριας καθώς είναι αυτή που μεταβάλλει τη μηχανική ενέργεια του δρομέα σε ηλεκτρική. Σε μικρές ανεμογεννήτριες, μερικών kW εγκατεστημένης ισχύος, χρησιμοποιούνται γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες είναι καθιερωμένες τριφασικές γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι παραπάνω γεννήτριες χωρίζονται στις εξής ομάδες: τις επαγωγικές μηχανές (ασύγχρονες) και τις σύγχρονες μηχανές [35]. Η γεννήτρια τοποθετείται στο εσωτερικό της ατράκτου της ανεμογεννήτριας.
- ❖ Το κιβώτιο ταχυτήτων: Είναι ένα κρίσιμο στοιχείο μιας ανεμογεννήτριας που είναι υπεύθυνο για την αύξηση της ταχύτητας του ρότορα σε ένα επίπεδο που είναι αρκετό για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Το κιβώτιο ταχυτήτων υπάρχει συνήθως μέσα στην άτρακτο. Το κιβώτιο ταχυτήτων περιέχει μια σειρά γραναζιών που αυξάνουν την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα, η οποία στη συνέχεια μεταδίδεται στη γεννήτρια μέσω ενός άξονα. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι σχεδιασμένο να αντέχει υψηλά επίπεδα καταπόνησης, καθώς υπόκειται σε συνεχείς και έντονες μηχανικές δυνάμεις κατά τη λειτουργία του στροβίλου. Τέλος, τα κιβώτια ταχυτήτων στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι συνήθως εξαιρετικά αξιόπιστα, αποδοτικά και έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τις απαιτήσεις συντήρησης και επισκευής.
- ❖ Αισθητήρια όργανα και μηχανισμός προσανατολισμού: Οι HAWT κατέχουν συστήματα μέτρησης της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, το ανεμόμετρο και τον ανεμοδείκτη αντίστοιχα (Εικόνα 7.3), τα οποία συντελούν στη μέγιστη δυνατή

παραγωγή ισχύος από τις μηχανές και την προστασία του εξοπλισμού από υψηλές ταχύτητες. Επίσης, η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου αποσκοπεί στην περιστροφή του δρομέα με σκοπό τον παραλληλισμό της διεύθυνσής του με αυτή του ανέμου, ενώ η μέτρηση της ταχύτητας γίνεται στοχεύοντας στη καλύτερη ρύθμιση παραμέτρων λειτουργίας όπως η γωνία βήματος των πτερυγίων [37].

- ❖ Συστήματα ελέγχου και ασφάλειας: Με αυτή την έννοια αποκαλούνται όλες οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις που είναι υπεύθυνες για την ομαλή της λειτουργία. Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιούν τα δεδομένα που παρέχουν τα ανεμόμετρα, η ηλεκτρογεννήτρια, το δίκτυο, τα ηλεκτρονικά συστήματα καταγραφής και τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.

#### 7.2.4 Ενεργειακές μετατροπές και απώλειες

Ο μετασχηματισμός της αιολικής κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική περιλαμβάνει σταδιακές ενεργειακές μετατροπές στα επιμέρους τμήματα της ανεμογεννήτριας, των οποίων η λειτουργία αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Τα πτερύγια του ρότορα συλλαμβάνουν την κινητική ενέργεια και τη μεταποιούν σε περιστροφική ενέργεια στο πρώτο βήμα. Όταν οι λεπίδες περιστρέφονται, περιστρέφουν έναν άξονα που είναι συνδεδεμένος σε ένα κιβώτιο ταχυτήτων, αυξάνοντας την ταχύτητα περιστροφής του.

Η γεννήτρια που μεταβάλλει τη μηχανική ενέργεια του περιστρεφόμενου άξονα σε ηλεκτρική, εμπλέκεται στο δεύτερο βήμα. Η γεννήτρια αποτελείται από έναν στάτορα και έναν ρότορα που συνεργάζονται για να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που μπορεί να σταλεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Δυστυχώς, υπάρχουν διάφορες απώλειες ενέργειας που συμβαίνουν σε όλη αυτή τη διαδικασία. Το δεύτερό της βήμα, το οποίο δεν είναι απόλυτα αποδοτικό, θεωρείται μία σημαντική πηγή ενεργειακών απωλειών. Μέρος της ενέργειας χάνεται ως θερμότητα λόγω της αντίστασης των αγωγών και άλλων εξαρτημάτων της γεννήτριας.

Ένας άλλος τύπος απώλειας ενέργειας είναι η αεροδυναμική οπισθέλκουσα στα πτερύγια του ρότορα, η οποία προκαλεί επιβράδυνση των πτερυγίων και μειώνει την απόδοση του στροβίλου. Αυτό μπορεί να επιδεινωθεί από τις αναταράξεις του ανέμου, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν στασιμότητα ή ανακίνηση των λεπίδων, με αποτέλεσμα περαιτέρω απώλειες ενέργειας.

Τέλος, υπάρχουν απώλειες που συνδέονται με τα μηχανικά εξαρτήματα της τουρμπίνας, όπως το κιβώτιο ταχυτήτων και τα ρουλεμάν, τα οποία φθείρονται και σχίζονται με το χρόνο και απαιτούν συντήρηση και αντικατάσταση. Αυτές οι απώλειες μπορεί να μειωθούν μέσω προσεκτικού σχεδιασμού και συντήρησης του στροβίλου, καθώς και με τη χρήση εξελιγμένων υλικών και τεχνολογίας.

Ως αποτέλεσμα των προαναφερθέντων απωλειών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι είναι πρακτικά αδύνατο να εκμεταλλευτούμε όλη τη διαθέσιμη ισχύ που μπορεί να προσφέρει ο άνεμος. Συντελεστής ισχύος  $C_p$  αποκαλείται το κλάσμα της μέγιστης ποσότητας ισχύος που μπορεί να αξιοποιηθεί δια τη συνολική και δε μπορεί να ξεπεράσει την τιμή 0,5926 που ονομάζεται όριο του Betz. Όμως, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι ο Betz υπέθεσε έναν ιδανικό ρότορα, δίχως μηχανικό εξοπλισμό στον άξονα περιστροφής, με απεριόριστο αριθμό πτερυγίων. Επομένως, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί από έναν δρομέα σε πραγματικές συνθήκες είναι μικρότερος από 59,26% [37].

### 7.2.5 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Αρκετοί διαφορετικοί παράγοντες επηρεάζουν το πιθανό αιολικό δυναμικό σε μια περιοχή. Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να βρίσκονται σε περιοχές με πολύ άνεμο σε τακτική βάση, κάτι που είναι πιο σημαντικό από το να έχουμε περιστασιακά ισχυρούς ανέμους. Οι τρεις κύριοι παράμετροι που επιδρούν στην απόδοση ισχύος ακολουθούν παρακάτω:

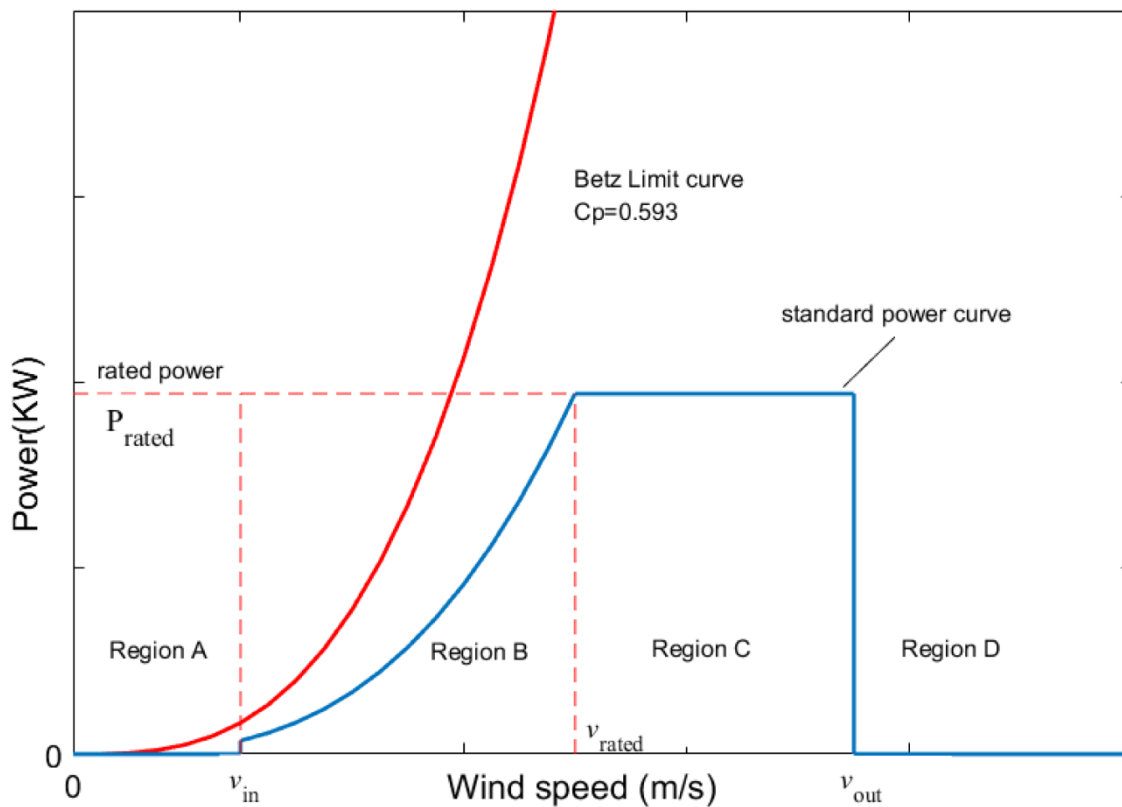
- ❖ Η ταχύτητα του ανέμου: Η ταχύτητα του ανέμου καθορίζει σε υψηλό ποσοστό την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια τουρμπίνα. Οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου παράγουν περισσότερη ισχύ, επειδή οι ισχυρότεροι άνεμοι επιτρέπουν στα πτερύγια να περιστρέφονται πιο γρήγορα. Η ταχύτερη περιστροφή μεταφράζεται σε περισσότερη μηχανική ισχύ και περισσότερη ηλεκτρική ισχύ από τη γεννήτρια.
- ❖ Η πυκνότητα του αέρα: Η ισχύς εξόδου σχετίζεται με την τοπική πυκνότητα αέρα, η οποία είναι συνάρτηση του υψομέτρου, της πίεσης και της θερμοκρασίας. Ο πυκνός αέρας ασκεί μεγαλύτερη πίεση στους ρότορες, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερη ισχύ εξόδου.
- ❖ Το μήκος των πτερυγίων: Η μεγαλύτερη επιφάνεια σάρωσης από τον αέρα για ένα πτερύγιο ισοδυναμεί με παράλληλη αύξηση της παραγωγής. Τα μεγαλύτερα πτερύγια επιτρέπουν στον στρόβιλο να συλλαμβάνει περισσότερη από την κινητική ενέργεια του ανέμου μετακινώντας περισσότερο αέρα μέσα από τους ρότορες [58].

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια παρέχεται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση [37]:  $P_{el} = \eta_e \eta_m \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 = \eta_{tot} \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$ , όπου:

- ❖  $\eta_e$ : Είναι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος μετατροπής μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική
- ❖  $\eta_m$ : Αποκαλείται ο μηχανικός βαθμός απόδοσης που περιλαμβάνει τις μηχανικές απώλειες στα μηχανικά εξαρτήματα της τουρμπίνας
- ❖  $\eta_{tot}$ : Ο ολικός βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας

- ❖  $C_p$ : όριο Betz ίσο με 0,5926
- ❖  $A$ : επιφάνεια που σαρώνουν τα πτερύγια
- ❖  $\rho$ : πυκνότητα του αέρα
- ❖  $v$ : ταχύτητα του ανέμου

Η γραφική παράσταση  $P_{el} = f(v)$ , παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ παραγόμενης ισχύος και ταχύτητας ανέμου, ονομάζεται καμπύλη ισχύος (Διάγραμμα 7.1) και προσφέρεται από την εκάστοτε κατασκευάστρια εταιρεία της ανεμογεννήτριας, υπολογισμένη σε καθορισμένες συνθήκες.



Διάγραμμα 7.1: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας [59]

Στην καμπύλη αυτή διακρίνονται 4 περιοχές:

Η περιοχή Α, στην οποία η ταχύτητα που κινείται ο άνεμος είναι χαμηλότερη από αυτή της έναρξης λειτουργίας  $v_{in}$ , ενώ δεν υπάρχει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ταχύτητα συνήθως ισούται με 3,5 – 4 m/s.

Η περιοχή Β, η ταχύτητα του ανέμου  $v$  είναι μεγαλύτερη της  $v_{in}$  και μικρότερη της ονομαστικής:  $v_{in} \leq v \leq v_{rated}$ . Η ονομαστική ταχύτητα συνήθως ισούται με 10 – 15 m/s. Η παραγωγή ισχύος αυξάνεται ανάλογα με την τρίτη δύναμη της ταχύτητας του ανέμου. Αυτή η περιοχή ονομάζεται επίσης ως περιοχή λειτουργίας σταθερής απόδοσης.

Το τμήμα C, όπου η ταχύτητα του ανέμου  $v$  υπερिशύει της ονομαστικής ταχύτητας, ενώ ταυτόχρονα είναι μικρότερη της ταχύτητας αποκοπής:  $v_{rated} \leq v \leq v_{out}$ , όπου η ταχύτητα αποκοπής ισούται με 25 m/s. Η ανεμογεννήτρια παραμένει στην ονομαστική ισχύ ανεξάρτητα από την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Αυτή η περιοχή χαρακτηρίζεται και ως περιοχή σταθερής αποδιδόμενης ισχύος.

Η περιοχή D, όπου ο άνεμος κινείται ταχύτερα από την ταχύτητα αποκοπής, η γωνία βήματος ρυθμίζεται στις 90°. Κατά συνέπεια, τα πτερύγια του στροβίλου σταματούν να περιστρέφονται και η αιολική ενέργεια δεν παράγεται πλέον, με σκοπό να αποφευχθεί σοβαρή ζημιά στον εξοπλισμό [59].

Για τις ταχύτητες έναρξης λειτουργίας και αποκοπής πρέπει να αναφερθεί ότι σχετίζονται με το σχεδιασμό και το μέγεθος του στροβίλου και αποφασίζονται πριν από την κατασκευή. Επίσης, η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας διαφέρει σε κάθε ανεμογεννήτρια.

#### 7.2.6 Συντελεστής εκμετάλλευσης ανεμογεννήτριας CF και μέθοδοι ελέγχου ισχύος

CF ονομάζουμε τον συντελεστή εκμετάλλευσής της και υπολογίζεται από το κλάσμα της πραγματικής παραγόμενης ενέργειας προς το γινόμενο της ονομαστικής ισχύος επί την ίδια χρονική περίοδο λειτουργίας. Ο CF δίδεται από τη σχέση:

$$CF = \frac{E}{\Delta t * P_n}$$

όπου  $E$  είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παρήγαγε η ανεμογεννήτρια σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , το οποίο συνήθως αφορά περίοδο ενός έτους, και  $P_n$  η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας. Ο συντελεστής εκμετάλλευσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την αιφορία ενός ενεργειακού εγχειρήματος. Ο συντελεστής εκμετάλλευσης λαμβάνει τιμές από 0,25 έως 0,35. Σε περίπτωση που υπερβεί το 0,35 προκύπτει το συμπέρασμα ότι η περιοχή χαίρει αποτελεσματικής αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού της.

Κάθε ανεμογεννήτρια περιλαμβάνει συστήματα ελέγχου ισχύος. Η κύρια δουλειά του μηχανισμού αυτού είναι να σταθεροποιεί τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν η ταχύτητα του ανέμου γίνει ίση με την ονομαστική. Όταν όμως την ξεπεράσει, ο ρότορας παράγει μηχανική ισχύ μεγαλύτερη από τη μέγιστη για την οποία έχει σχεδιαστεί όχι μόνο ο ρότορας αλλά και η ηλεκτρογεννήτρια. Επομένως στην περιοχή C του Διαγράμματος 7.1, απαιτείται ο περιορισμός της ισχύος στην ονομαστική τιμή.

Τα συστήματα μηχανικού ελέγχου διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου και της ταχύτητας του δρομέα της τουρμπίνας, διασφαλίζοντας ότι λειτουργεί αποτελεσματικά και με ασφάλεια σε μια σειρά ταχυτήτων ανέμου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων μηχανικού ελέγχου που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ανεμογεννήτριες, όπως ο παθητικός έλεγχος απώλειας στήριξης (passive stall), ο ενεργός έλεγχος απώλειας στήριξης (active stall) και ο έλεγχος γωνίας βήματος πτερυγίων (pitch control) [35].

Ο παθητικός έλεγχος απώλειας στήριξης είναι ένας απλός και στιβαρός μηχανισμός ελέγχου που βασίζεται στα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων του στροβίλου για την οριοθέτηση της ισχύος εξόδου. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, η γωνία προσβολής των πτερυγίων του στροβίλου αυξάνεται, προκαλώντας διακοπή της ροής αέρα και μειώνοντας την ανύψωση που παράγεται από τα πτερύγια. Αυτό επιφέρει την ελάττωση της ισχύος εξόδου και της ταχύτητας του ρότορα. Εφαρμόζεται σε ανεμογεννήτριες με ονομαστική ισχύ μικρότερη του 1MW.

Ο ενεργός έλεγχος απώλειας στήριξης είναι ένας πιο εξελιγμένος μηχανισμός ελέγχου που χρησιμοποιεί ένα σύστημα πτερυγίων ή σχισμών στα πτερύγια του στροβίλου για τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου. Όταν οι ταχύτητες ανέμου υπερβαίνουν την ονομαστική ταχύτητα ανέμου εξόδου, τα πτερύγια ή οι σχισμές ανοίγουν, επιτρέποντας σε μέρος της ροής αέρα να παρακάμψει τα πτερύγια και μειώνοντας την ανύψωση. Αυτό προκαλεί την ελάττωση της ισχύος εξόδου και της ταχύτητας του ρότορα. Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος μηχανισμός με αυξημένο κόστος.

Ο έλεγχος βήματος είναι ένας κοινός μηχανισμός ελέγχου που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων μηχανισμών. Περιλαμβάνει τη ρύθμιση της γωνίας προσβολής των πτερυγίων του στροβίλου αλλάζοντας τη γωνία κλίσης τους. Καθώς οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνονται, η γωνία βήματος προσαρμόζεται με κίνητρο τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας του ρότορα και τον περιορισμό της ισχύος εξόδου. Αυτό επιτρέπει στον στροβίλο να λειτουργεί σε πιο σταθερό και αποδοτικό επίπεδο σε ένα εύρος ταχυτήτων ανέμου.

Εκτός από τα συστήματα μηχανικού ελέγχου, οι ανεμογεννήτριες βασίζονται επίσης σε συστήματα ηλεκτρικού ελέγχου για τη διαχείριση της παραγωγής ισχύος και τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας. Τα συστήματα ηλεκτρικού ελέγχου περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά ισχύος για τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου του στροβίλου η οποία οδηγεί στην αύξηση αποδοτικότητας συστημάτων, ομαλότερη ένταξη

στο ηλεκτρικό δίκτυο και καλύτερη ποιότητα ενέργειας (σταθερότητα συχνότητας και τάσης).

Μία απαραίτητη συσκευή ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιείται στις ανεμογεννήτριες είναι ο ηλεκτρονικά ελεγχόμενος εκκινητής (soft starter), ο οποίος μειώνει τα μεταβατικά ρεύματα και διαταραχές στο δίκτυο. Ακόμη, σημαντικό ρόλο παίζει η συστοιχία πυκνωτών που παράγει άεργο ισχύ για να βελτιώσει το συντελεστή ισχύος και να αυξήσει την αποδοτικότητα του συστήματος [35].

Συνολικά, αυτά τα συστήματα ελέγχου διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας των ανεμογεννητριών και η χρήση τους μπορεί να συμβάλει στη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας και στην ελαχιστοποίηση της μηχανικής καταπόνησης στα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας.

#### 7.2.7 Αιολικά Πάρκα

Οι ανεμογεννήτριες έχουν δυνατότητα εγκατάστασης στη στεριά αλλά και στη θάλασσα, είτε ξεχωριστά είτε ομαδοποιημένα. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλο βαθμό, με σκοπό να αντικαταστήσει την παραγωγή από συμβατικούς σταθμούς, μπορεί να επιτευχθεί εγκαθιστώντας πολλές ανεμογεννήτριες σε τοποθεσίες με σημαντικό αιολικό δυναμικό, δημιουργώντας έτσι ένα αιολικό πάρκο (Εικόνα 7.9).

Οι βασικές μεταβλητές που επηρεάζουν την εκλογή της τοποθεσίας κατασκευής ενός αιολικού πάρκου παρατίθενται παρακάτω:

- ❖ Αιολικό δυναμικό: Είναι αναγκαία η ακριβής γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου σε μία περιοχή. Προτιμότερο είναι όσο μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό για περισσότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ❖ Περιβάλλον: Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Η επιλεγμένη τοποθεσία να τυγχάνει αποδοχής από τους κατοίκους και να είναι σύμφωνη με τους περιβαλλοντικούς όρους.
- ❖ Τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο: Η συμβατότητα της λειτουργίας του συστήματος, με αυτή του ηλεκτρικού δικτύου της περιοχής είναι απαραίτητη.
- ❖ Καιρικά φαινόμενα: Τα ενδεχόμενα ακραία καιρικά φαινόμενα της τοποθεσίας εγκατάστασης, όπως ο πάγος και οι θυελλώδεις άνεμοι, πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν.
- ❖ Μορφολογία εδάφους: Ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους επηρεάζεται σε ένα βαθμό η απόδοση της ανεμογεννήτριας. Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή του ύψους της και στη χωροθέτηση του αιολικού πάρκου. Ορισμένες περιπτώσεις διαφορετικής μορφολογίας αποτελούν το επίπεδο έδαφος, η θάλασσα, λόφοι ή βουνά, υψίπεδα και διάσελα (πέρασμα ανάμεσα σε δύο ορεινούς όγκους) [37].



Εικόνα 7.9: Αιολικό πάρκο στη Βοσνία και Ερζεγοβίνη [60]

Στον σχεδιασμό ενός αιολικού πάρκου, είναι απαραίτητο ο μηχανικός να γνωρίζει την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε αυτήν την τοποθεσία, τις ακραίες ριπές που είναι πιθανό να συμβούν μέσα σε μια περίοδο 50 ετών και πόσο ταραχώδης είναι ο άνεμος στην τοποθεσία.

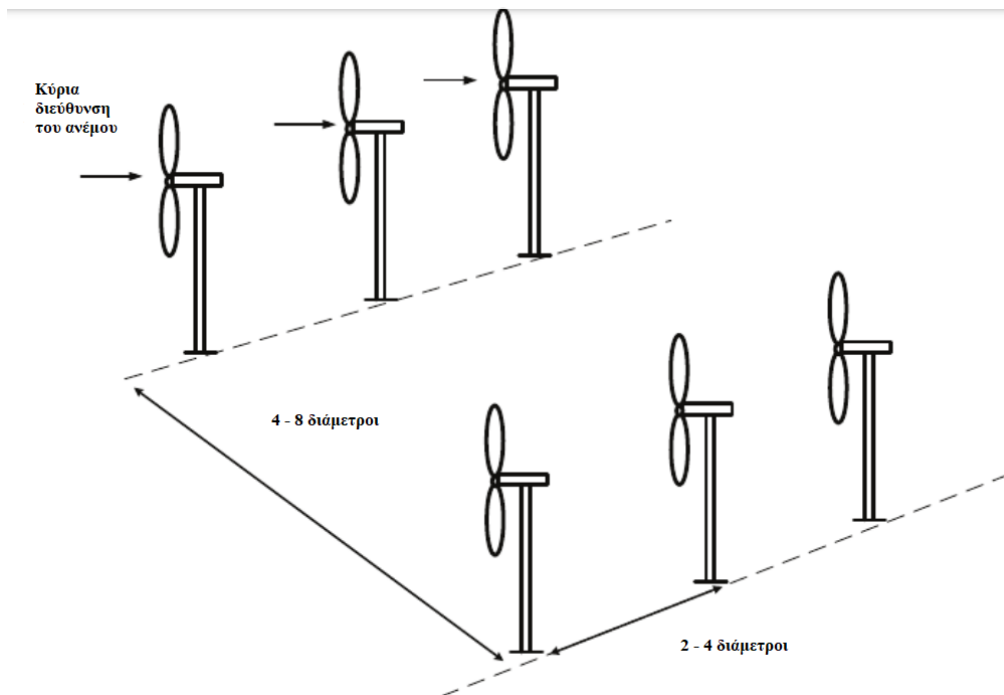
Η κλάση ανέμου μιας ανεμογεννήτριας περικλείεται από τρία χαρακτηριστικά, την ταχύτητα ανέμου, τις ακραίες ριπές και τις αναταράξεις. Κάθε κατηγορία είναι ικανή να αντέξει οριοθετημένες ταχύτητες από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC), όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 7.1 [61].

Πίνακας 7.1: Κατηγορίες ανέμου κατά IEC [61]

	<b>I (Ισχυρός Άνεμος) (m/s)</b>	<b>II (Μέτριος Άνεμος) (m/s)</b>	<b>III (Ασθενής Άνεμος) (m/s)</b>	<b>IV (Πολύ Ασθενής Άνεμος) (m/s)</b>
<b>Ταχύτητα ανέμου αναφοράς</b>	50	42,5	37,5	30
<b>Ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου (μέγιστη)</b>	10	8,5	7,5	6
<b>50ετή επιστροφή ρίπων</b>	70	59,5	52,5	42
<b>100ετή επιστροφή ρίπων</b>	52,5	44,6	39,4	31,5

Η στρατηγική χωροθέτησής τους σε ένα αιολικό πάρκο είναι ένα ακόμη σημαντικό αντικείμενο μελέτης της εγκατάστασης. Η διάταξή τους τους επηρεάζεται σημαντικά από την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου, τις νομοθετικές και περιβαλλοντικές δεσμεύσεις και τέλος τους φυσικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς όπως η μορφολογία του εδάφους, η πρόσβαση και τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί.

Οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται κάθετα σε σχέση με τη βασική διεύθυνση του ανέμου, σχηματίζοντας διατάξεις. Η χωροθέτησή τους μέσα στο πάρκο φέρει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με σκοπό τη βέλτιστη απόδοση. Όλες οι ανεμογεννήτριες δημιουργούν στροβιλισμούς αέρα επηρεάζοντας τις κοντινές τους ανεμογεννήτριες. Σύμφωνα με προσεγγιστικούς κανόνες, η απόσταση ανάμεσα σε δύο ανεμογεννήτριες στην ίδια σειρά κυμαίνεται μεταξύ 2 έως 4 διαμέτρους του ρότορα, ενώ ανάμεσα στις σειρές από 4 έως 8 διαμέτρους (Εικόνα 7.10).



Εικόνα 7.10: Χωροθέτηση ανεμογεννητριών σε αιολικό πάρκο [62]

#### 7.2.8 Υπεράκτια αιολικά πάρκα

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια αναφέρεται σε αιολικά πάρκα που βρίσκονται πάνω από ρηγά ανοιχτά νερά, συνήθως στον ωκεανό, όπου υπάρχουν υψηλότερες ταχύτητες ανέμου. Η πλειοψηφία των υπεράκτιων αιολικών πάρκων (Εικόνα 7.11) χρησιμοποιεί ανεμογεννήτριες με σταθερή βάση τοποθετημένες σε ρηγά νερά.

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα συγκρινόμενα με τα ηπειρωτικά:

- ❖ Παραγωγή περισσότερης ενέργειας: Οι υπεράκτιες ταχύτητες ανέμου τις περισσότερες φορές υπερσχύουν έναντι αυτών της ξηράς, με αποτέλεσμα αύξηση της ενεργειακής παραγωγής. Επομένως, απαιτούνται λιγότερες ανεμογεννήτριες για ισοδυναμία παραγωγής σε σύγκριση με ένα αιολικό πάρκο ξηράς.
- ❖ Περισσότερη συνοχή ανέμου: Οι ταχύτητες του ανέμου στην ανοικτή θάλασσα δεν ποικίλλουν τόσο πολύ και η κατεύθυνση του ανέμου δεν αλλάζει τόσο συχνά, οδηγώντας σε περισσότερη συνέπεια και αξιοπιστία παραγωγής ενέργειας.
- ❖ Λιγότερο οπτικό αντίκτυπο: Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες επιβαρύνουν λιγότερο οπτικά σε σχέση με αυτές της ξηράς, αφού βρίσκονται σε απόμερες θαλάσσιες περιοχές. Επίσης, δεν επεμβαίνουν σε εκτάσεις Γης και εκλείπουν τα φυσικά εμπόδια τα οποία είναι ικανά να παρεμποδίσουν την κίνηση του ανέμου. Ως αποτέλεσμα, παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας σε σχέση με αυτά της στεριάς, έχοντας σημαντικά μειωμένες φυσικές επιπτώσεις.
- ❖ Μεγαλύτερες τουρμπίνες: Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες μπορούν επίσης να κατασκευαστούν με μεγαλύτερο ύψος από εκείνες της ξηράς, οδηγώντας στην αξιοποίηση περισσότερης αιολικής ενέργειας [63].

Ωστόσο, η μελέτη και κατασκευή ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες όπως:

- ❖ Υψηλότερο κόστος: Η δημιουργία της υποδομής για υπεράκτια αιολικά πάρκα μπορεί να είναι δαπανηρή και περίπλοκη, ειδικά σε βαθύτερα νερά.
- ❖ Συντήρηση και επισκευές: Τα θαλάσσια κύματα και οι πολύ δυνατοί άνεμοι μπορούν να βλάψουν τους στρόβιλους, με αποτέλεσμα την ανάγκη συχνότερης συντήρησης συγκριτικά με αυτούς της ξηράς. Επιπλέον, η πρόσβαση σε αυτά είναι ιδιαίτερα δύσκολη, προκαλώντας περισσότερο χρόνο αναμονής για την εκάστοτε επισκευή.
- ❖ Θόρυβος και ορατότητα: Οι υποβρύχιοι θόρυβοι από τους στρόβιλους μπορούν να επηρεάσουν την πανίδα και την άλλη θαλάσσια ζωή. Επιπλέον, δεν κατασκευάζονται όλα τα υπεράκτια αιολικά πάρκα μακριά από τη δημόσια θέα. Επομένως μπορεί να εξακολουθούν να είναι ενοχλητικά για τους κατοίκους της περιοχής.
- ❖ Λιγότερες τοπικές θέσεις εργασίας: Σε αντίθεση με τα χερσαία αιολικά πάρκα, τα υπεράκτια έχουν περιορισμένη ικανότητα να ωφελήσουν τις τοπικές κοινότητες. Συνήθως οι εταιρείες κατασκευής εδράζονται σε μεγάλη απόσταση από τα υπεράκτια πάρκα, με αποτέλεσμα την έλλειψη δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας για τους κατοίκους της περιοχής και την παύση των επενδύσεων. [63].



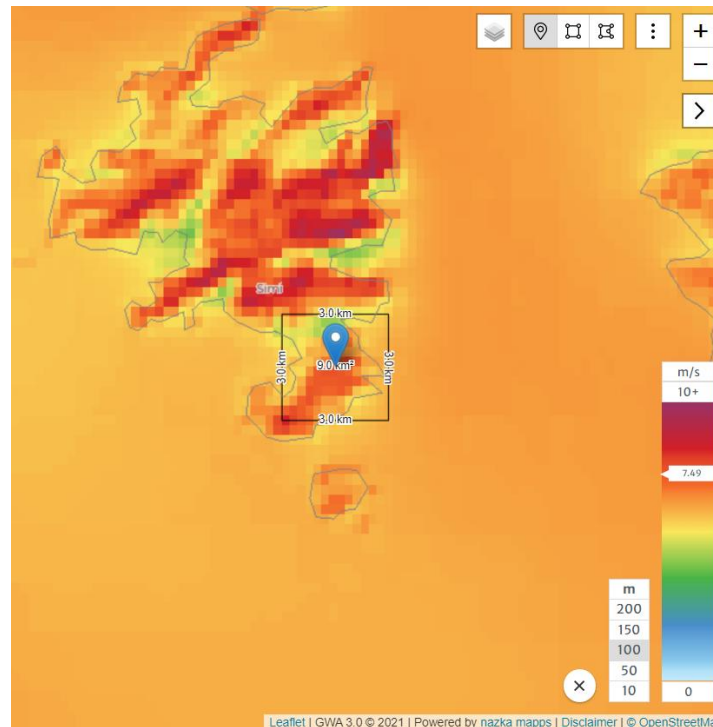
Εικόνα 7.11: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο [63]

### 7.3 Αιολική εγκατάσταση στη Σύμη

Η Σύμη διαθέτει μέτριο προς χαμηλό αιολικό δυναμικό και ανήκει στην τρίτη κατηγορία ανέμου κατά IEC. Οπότε, χρειάζεται μία ανεμογεννήτρια που να εκμεταλλεύεται ανέμους αυτών των ταχυτήτων για τη μέγιστη δυνατή παραγωγή. Για το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας της Σύμης επιλέχθηκε η ανεμογεννήτρια EWT-DW61 [64] ονομαστικής ισχύος 900 kW. Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια επιλέχθηκε γιατί είναι η ιδανικότερη επιλογή της αγοράς για μικροδίκτυα, καθώς διαθέτει σύγχρονους μηχανισμούς ελέγχου και μετατροπείς της παραγόμενης ισχύος. Αυτοί οι μετατροπείς καθιστούν τον στρόβιλο ιδιαίτερα κατάλληλο για ενσωμάτωση με άλλες πηγές παραγωγής, η οποία θα συνεισφέρει στην εύρυθμη λειτουργία του υβριδικού συστήματος. Επιπλέον, είναι σχεδιασμένη για τοποθεσίες που ανήκουν στην IIIA κλάση ανέμου, στην οποία ανήκει και η Σύμη. Το ύψος της πλήμνης είναι ίσο με 69 μέτρα ενώ τα πτερύγιά της έχουν διάμετρο ίση με 61 μέτρα. Παράλληλα, απαρτίζεται από 3 πτερύγια με την παραγωγή ισχύος να έχει ως αφετηρία την ταχύτητα ανέμου ίση με 3 m/s και ως λήξη τα 25 m/s, τα οποία αφού τα ξεπεράσει πραγματοποιεί διακοπή της λειτουργίας, για να προστατεύσει τον εξοπλισμό, ενώ αντέχει ταχύτητες ανέμου μέχρι 52,5 m/s. Η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας κατά την οποία παράγεται σταθερή ισχύς που ισούται με 900 kW ανέρχεται στα 11,5 m/s.

Από την παράγραφο 7.2.7, είναι προφανές ότι η επιλογή της θέσης είναι μία σημαντική διαδικασία που απαιτεί σχεδιασμό σε βάθος χρόνου. Έπειτα από ενδελεχή έρευνα κρίνεται κατάλληλη η περιοχή βορειοανατολικά του Πανορμίτη για τρεις κύριους λόγους. Αρχικά, είναι περιοχή με μεγάλη ποσότητα αιολικού δυναμικού σε σύγκριση με το υπόλοιπο νησί. Υπάρχουν ήδη δρόμοι στην περιοχή γεγονός που την καθιστούν προσβάσιμη

για την κατασκευή του αιολικού πάρκου, ενώ βρίσκεται κοντά στο λιμάνι του Πανορμίτη το οποίο θα βοηθήσει για τη μεταφορά των υλικών στο νησί. Τέλος, είναι πολύ μακριά από τη χώρα της Σύμης στην οποία κατοικεί το 90% των κατοίκων του νησιού [29], γεγονός που συνεπάγεται την αποφυγή της ενόχλησης των κατοίκων από το θόρυβο που προκαλεί η λειτουργία του αιολικού πάρκου. Η τοποθεσία της περιοχής στη Σύμη παρατηρείται στην Εικόνα 7.12.



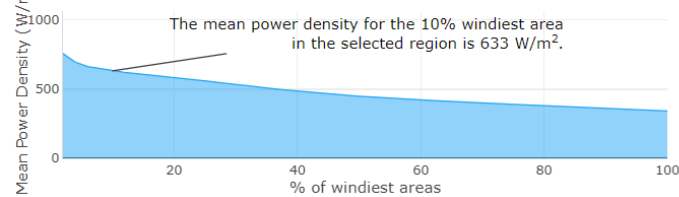
#### Data for 10% windiest areas

633 W/m<sup>2</sup>

7.58 m/s

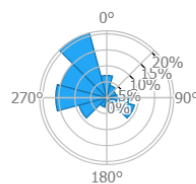
Height: 100m

#### Mean Power Density @Height 100m

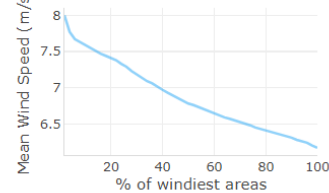


#### Wind Frequency Rose

1/3 next



#### Mean Wind Speed @Height 100m

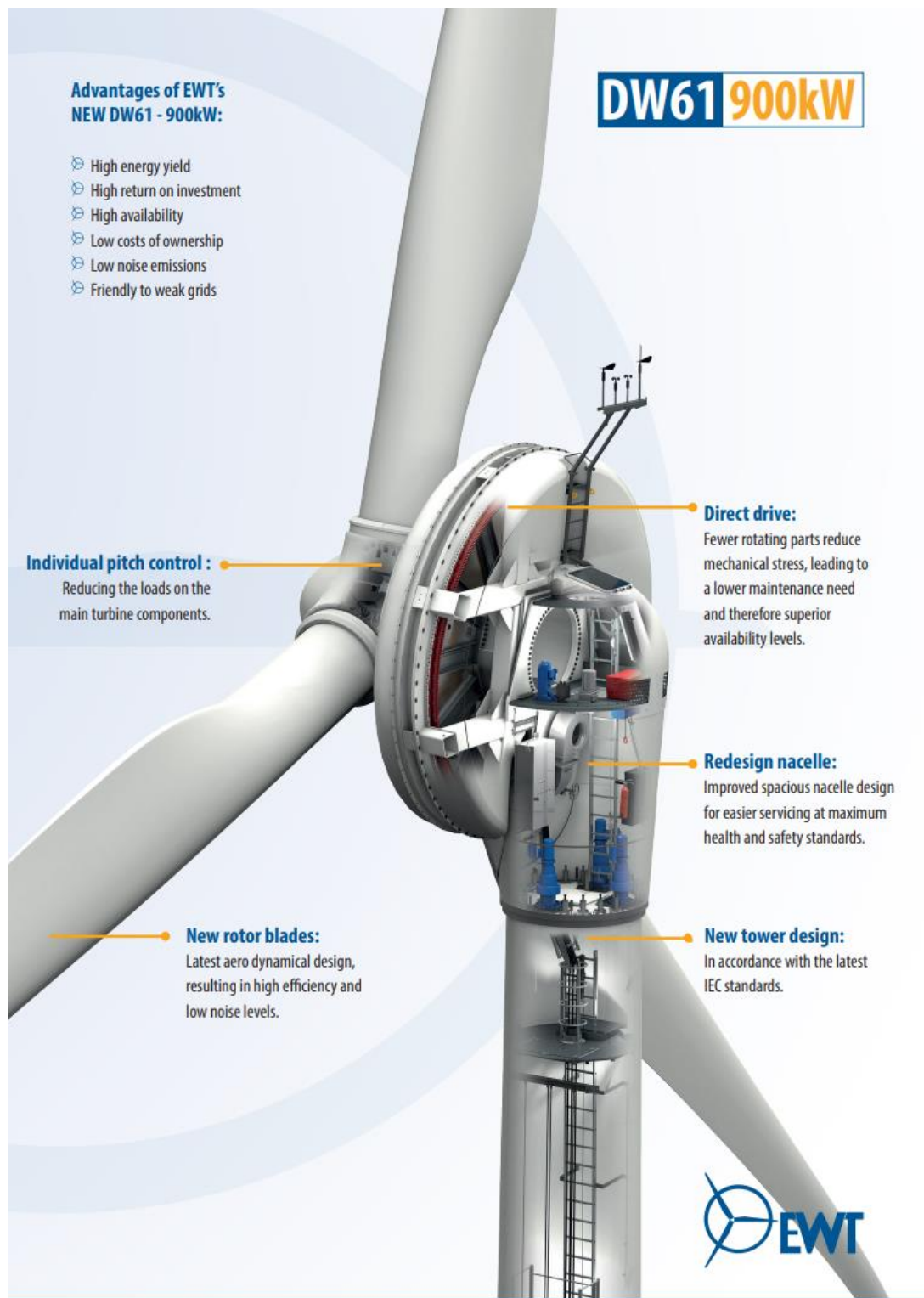


© 2023 DTU | Powered by WASP | Terms of use



Εικόνα 7.12: Τοποθεσία αιολικού πάρκου με βάση το αιολικό δυναμικό της Σύμης [51]

Παρακάτω ακολουθεί το τεχνικό φυλλάδιο του επιλεγμένου μοντέλου που περιέχει ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες για τη συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια (Εικόνα 7.13). Εκτενέστερη μελέτη της εγκατάστασης και των οικονομικών στοιχείων θα πραγματοποιηθεί στο Κεφάλαιο 9.



### The NEW DIRECTWIND-900kW with 61 m rotor

The DW61–900kW builds on the advantages of EWT's market leading DW54. The DW61 significantly increases kWh output through a larger rotor diameter, which is the result of the latest aero dynamical blade design and advanced control technologies. The DW61 is designed for wind class IEC IIIA conditions and retains the tip heights of 77 and 100 meters, which have proven favourable to planning authorities.

### Direct drive technology for optimum reliability

EWT offers a highly efficient product range based on direct drive technology with a high yield and low cost of energy. The combination of proven direct drive technology and advanced control features makes EWT's DIRECTWIND a first-class choice with regard to energy yield and reliability.

In the DIRECTWIND turbines, the rotor directly drives the synchronous generator without the use of a gearbox. Eliminating the gearbox means that the number of rotating components is reduced and therefore, the wear and tear on the parts, leading to a lower maintenance need.

### Perfect for weak grids and micro grids

Energy generated from the turbine is fed into the grid via a modern back-to-back full-power converter, which controls the power output.

### Specifications:

Rotor diameter:	61 m
IEC wind class:	IIIA
Rotor speed variable:	12 - 24 rpm
Nominal power output:	900 kW
Hub heights:	46 and 69 m
Cut-in wind speed:	2.5 m/s
Rated wind speed:	11,5 m/s
Cut-out wind speed:	25 m/s, 10 min. avg.
Survival wind speed:	52.5 m/s
Power output control:	Pitch controlled
Generator:	Synchronous multi-pole
Power converter:	IGBT-controlled

In addition, the turbine has a number of programmable functions, such as a capability to adjust the power factor and a capability to automatically control the voltage in order to comply with stringent grid requirements. This makes our turbine suitable to operate in weak grids and micro grids. The perfect choice for single wind turbine applications, and demanding locations where specific environmental demands must be met.

### Technically suited to integration with other generation

The flexibility that the direct drive and back-to-back full-power converter technology offers, makes the turbine highly suited for integration with other generation sources such as hybrid wind/diesel power systems.

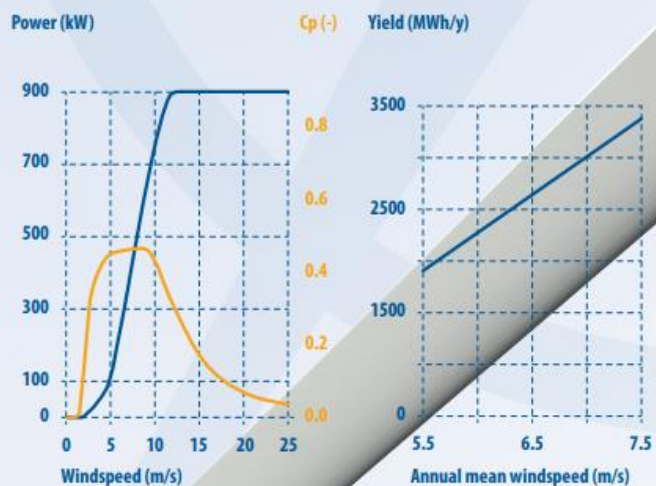
### Focused on medium and low wind regimes

Much of the world's turbine demand is in low-medium wind areas (IEC class II and III). EWT's turbines are designed to maximize yield from such sites relative to other turbines in our capacity range. This enables wind project owners to achieve high yields and, therefore, more attractive financial returns, even at sites with low wind conditions.

### DW61 - 900kW wind turbine

The new DIRECTWIND 61–900kW is an optimized pitch controlled variable speed wind turbine that combines continuous market driven innovation with highly advanced and proven direct drive technology. The DW61–900kW turbine boasts a track record of over 600 units based on our technology operating in the field.

### Power Curve:



Εικόνα 7.13: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή ανεμογεννήτριας EWT-DW61 [64]

## Κεφάλαιο 8

### Ηλεκτρονικά Ισχύος

#### 8.1 Τι είναι τα ηλεκτρονικά ισχύος

Τα ηλεκτρονικά ισχύος θεωρούνται μία ξεχωριστή κατηγορία ηλεκτρονικών διατάξεων, τα οποία χρησιμεύουν στον έλεγχο, την επεξεργασία και τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλεκτρονικά ισχύος αναφέρονται επίσης ως μετατροπείς ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας δε συμβαδίζει με τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου, τα οποία είναι αυστηρά καθορισμένα, μορφοποιώντας την τάση, την ένταση και την κυματομορφή του ρεύματος, ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του φορτίου. Είναι επίσης γνωστό ότι τα ηλεκτρικά φορτία έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τη μορφή της τάσης τροφοδοσίας, είτε DC είτε AC, αλλά και ως προς το μέγεθός της. Οι μετατροπείς ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζουν την τροφοδοσία του κάθε φορτίου με την επιθυμητή τάση, η οποία συχνά χρειάζεται να είναι ρυθμιζόμενη [65].

Τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ένας μετατροπέας είναι απαραίτητο μέρος του υβριδικού συστήματος προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία ενέργειας μεταξύ AC και DC. Τα συστήματα ΑΠΕ είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα, με αποτέλεσμα η βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους να είναι απαραίτητη. Αυτή η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση σύγχρονων διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος. Σήμερα, ένα ποσοστό της τάξης του 35% από τη συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, διαχειρίζεται από ηλεκτρονικά ισχύος [33].

## 8.2 Κατηγορίες των διατάξεων ισχύος

Οι διατάξεις των ηλεκτρονικών ισχύος, κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις βασικές ομάδες, με κριτήριο τα χαρακτηριστικά της ισχύος που εισέρχεται σε και εξέρχεται από αυτά:

- ❖ Μετατροπείς εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC) ή Ανορθωτές (Rectifiers). Ανορθωτές αποκαλούνται τα ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία πραγματοποιούν τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Με κριτήριο το ρεύμα που δέχονται ως είσοδο, κατατάσσονται σε μίας φάσης ή τριών φάσεων. Οι ανορθωτές με δυνατότητα ρύθμισης της εξόδου ονομάζονται ελεγχόμενοι, ενώ όταν η τάση εξόδου είναι σταθερή, οι ανορθωτές χαρακτηρίζονται ως μη ελεγχόμενοι.
- ❖ Μετατροπείς εναλλασσόμενου ρεύματος (AC-AC) ή Κυκλομετατροπείς (Cycloconverters). Αυτοί οι μετατροπείς είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου με σταθερό πλάτος και συχνότητα, σε εναλλασσόμενη της οποίας το πλάτος και η συχνότητα μπορούν να ρυθμιστούν. Μία ξεχωριστή υποκατηγορία των συγκεκριμένων μετατροπέων είναι οι χειριστές εναλλασσόμενης τάσης (AC voltage controllers), οι οποίοι προσφέρουν τη δυνατότητα μεταβολής μόνο του πλάτους της τάσης εξόδου. Παράλληλα, παρουσιάζουν αμετάβλητη συχνότητα από την είσοδο στην έξοδο.
- ❖ Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος (DC-DC converters ή choppers). Αυτή η κατηγορία μετατροπέων, υλοποιεί τη μετατροπή του πλάτους και ίσως της πολικότητας της συνεχούς τάσης εισόδου. Διαχωρίζονται στους μετατροπείς που υποβιβάζουν (step-down) και ανυψώνουν (step-up) την τάση, με κριτήριο το αποτέλεσμα της σύγκρισης των τάσεων εξόδου και εισόδου. Επίσης, διαχωρίζονται σε μετατροπείς με ή χωρίς γαλβανική απομόνωση της εξόδου.
- ❖ Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (DC-AC) ή Αντιστροφείς (Inverters). Οι inverters αναλαμβάνουν τη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, με ρυθμιζόμενη συχνότητα ή/και πλάτος. Χαρακτηρίζονται από έξοδο μίας ή τριών φάσεων. Οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις καθώς στις φωτοβολταϊκές μονάδες παράγεται συνεχές ρεύμα σε αντίθεση με το δίκτυο όπου χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο. Τέλος, μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα των συστημάτων αποθήκευσης και το διοχετεύουν στο δίκτυο σε εναλλασσόμενο ρεύμα [65].

### 8.3 Μετατροπείς του υβριδικού συστήματος της Σύμης

Το υβριδικό σύστημα της μελέτης, θα αποτελείται από δύο ζυγούς, έναν εναλλασσόμενου και έναν συνεχούς ρεύματος. Όλες οι μονάδες παραγωγής ενέργειας θα συνδεθούν στον AC ζυγό. Ειδικότερα, το φωτοβολταϊκό σύστημα, οι ανεμογεννήτριες και οι υπάρχουσες συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας με χρήση πετρελαίου θα συνδεθούν στον παραπάνω ζυγό. Αντίθετα, οι συσσωρευτές που θα αποτελούν το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας του υβριδικού συστήματος θα συνδεθούν στον DCζυγό.

Η ανεμογεννήτρια διαθέτει ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία παρέχουν καλύτερη ποιότητα ενέργειας λόγω της σταθερότητας της τάσης και της συχνότητας που τα χαρακτηρίζουν. Έτσι, κάνει ομαλότερη την ένταξη της στο δίκτυο και το ζυγό AC, παρόλο που διαθέτει ασταθή παραγωγή λόγω της εξάρτησής της από τον άνεμο.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι κατασκευασμένα ώστε να παράγουν συνεχές ρεύμα. Γι' αυτό το λόγο τα inverters που μετατρέπουν συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Οπότε στο υβριδικό σύστημα θα χρησιμοποιηθούν αντιστροφείς με σκοπό να συνδεθούν τα φωτοβολταϊκά στον AC ζυγό και να παρέχουν την ισχύ τους στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο αντιστροφέας που προτιμήθηκε είναι ο SG350HX [66] της κινέζικης εταιρείας Sungrowπρωτοπόρου στην κατασκευή μετατροπέων. Η υψηλή απόδοση, το χαμηλό κόστος και η διαπιστωμένη ασφάλεια αποτελούν ορισμένα από τα προτερήματα του συγκεκριμένου αντιστροφέα. Στην ονομαστική του λειτουργία έχει δυνατότητα σύνδεσης με 350kW παραγόμενης ισχύος από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, γεγονός που τον καθιστά ιδανική επιλογή για εγκαταστάσεις μεγάλου μεγέθους αλλά και οικονομικό. Επομένως, σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που επιλέχθηκε στο Υποκεφάλαιο 6.6, με ονομαστική ισχύ 550W, στον συγκεκριμένο αντιστροφέα μπορούν να συνδεθούν μέχρι 636 πλαίσια, ποσό που προκύπτει από την διαίρεση της ονομαστικής ισχύος του inverter προς του πλαισίου. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι ποτέ δε συνδέουμε τον μέγιστο αριθμό φωτοβολταϊκών μονάδων αποσκοπώντας στην ομαλή λειτουργία του συστήματος. Μερικά ακόμη χαρακτηριστικά του αντιστροφέα είναι η μέγιστη τάση εισόδου ίση με 1500V, μέγιστο εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου ίσο με 254A καθώς και η εξαιρετική του απόδοση που φτάνει ένα ποσοστό της τάξης του 98,8%. Παρακάτω στην Εικόνα 8.1 παρατίθεται το φυλλάδιο του κατασκευαστή του inverter.

# SG350HX

Multi-MPPT String Inverter for 1500 Vdc System



## ☀️ HIGH YIELD

- Up to 16 MPPTs with max. efficiency 99%
- 20A per string, compatible with 500Wp+ module
- Data exchange with tracker system, improving yield

## 👛 LOW COST

- Q at night function, save investment
- Power line communication (PLC)
- Smart IV Curve diagnosis, active O&M

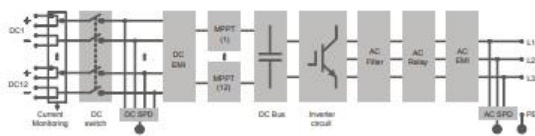
## 💡 GRID SUPPORT

- SCR $\geq$ 1.15 stable operation in extremely weak grid
- Reactive power response time <30ms
- Compliant with global grid code

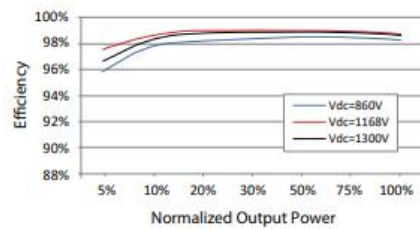
## 🛡️ PROVEN SAFETY

- 2 strings per MPPT, no fear of string reverse connection
- Integrated DC switch, automatically cut off the fault
- 24h real-time AC and DC insulation monitoring

## CIRCUIT DIAGRAM



## EFFICIENCY CURVE



Type designation	SG350HX
<b>Input (DC)</b>	
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	500 V / 550 V
Nominal PV input voltage	1080 V
MPP voltage range	500 V – 1500 V
No. of independent MPP inputs	12 (optional: 16)
Max. number of input connector per MPPT	2
Max. PV input current	12 * 40 A (Optional: 16 * 30 A)
Max. DC short-circuit current per MPPT	60 A
<b>Output (AC)</b>	
AC output power	352 kVA @ 30°C / 320 kVA @40 °C / 295 kVA @50°C
Max. AC output current	254 A
Nominal AC voltage	3 / PE, 800 V
AC voltage range	640 – 920V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / Connection phases	3 / 3
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European efficiency	99.02 % / 98.8 %
<b>Protection</b>	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Ground fault monitoring	Yes
DC switch / AC switch	Yes / No
PV string current monitoring	Yes
Q at night function	Yes
Anti-PID and PID recovery function	Optional
Surge protection	DC Type II / AC Type II
<b>General Data</b>	
Dimensions (W*H*D)	1136 * 870 * 361 mm
Weight*	≤116 kg
Isolation method	Transformerless
Degree of protection	IP66
Power consumption at night	< 6 W
Operating ambient temperature range	-30 to 60°C
Allowable relative humidity range	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+APP
Communication	RS485 / PLC
DC connection type	MC4-Evo2 (Max. 6 mm <sup>2</sup> , optional 10mm <sup>2</sup> )
AC connection type	Support OT/DT terminal (Max. 400 mm <sup>2</sup> )
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, EN 50549-1 / 2, UNE 206007-1:2013, P.O.12.3, UTE C15-712-1:2013
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control, Q-U control, P-f control

\*Due to the multi-supplier for some key components, the actual weight may have a ±8% deviation, please refer to the actually delivered product.



Εικόνα 8.1: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή SUNGROW SG350HX [66]

Έπειτα από την προσθήκη του inverter στο σύστημα, το φωτοβολταϊκό πάρκο είναι συνδεδεμένο στον AC ζυγό, μαζί με τις ανεμογεννήτριες, τις συμβατικές μονάδες και τη ζήτηση φορτίου, ενώ στον DC ζυγό παρέμειναν οι συσσωρευτές του συστήματος. Το σύστημα, για να μπορέσει να συντονίσει την παραγόμενη ενέργεια και τη ζήτησή της απαιτεί έναν μετατροπέα που θα διαχειρίζεται τη ροή ενέργειας στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, χρειάζεται ένας υβριδικός μετατροπέας (hybrid inverter), ο οποίος είναι όχι μόνο αντιστροφέας (inverter) που μετατρέπει το ρεύμα από DC σε AC, αλλά και ανορθωτής (rectifier) που πραγματοποιεί την αντίστροφη διαδικασία. Έτσι, όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη του ηλεκτρικού φορτίου, ο υβριδικός μετατροπέας χρησιμοποιεί την πλεονάζουσα ενέργεια για τη φόρτιση των μπαταριών. Αντίθετα, όταν η παραγωγή δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του φορτίου, είτε λόγω εκτεταμένης ζήτησης, είτε ανεπάρκειας παραγωγής των ΑΠΕ εξαιτίας των καιρικών διακυμάνσεων, ο μετατροπέας εκφορτίζει τους συσσωρευτές και χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια για να ικανοποιήσει τη ζήτηση.

Ο υβριδικός τριφασικός μετατροπέας που επιλέγεται να αποτελέσει την καρδιά του συστήματος είναι ο Solis RHI-6K-48ES-5G [67], ο οποίος αποτελεί προϊόν της εταιρείας Solis, γνωστή για την κατασκευή αξιόπιστων και ανθεκτικών μετατροπέων. Χαρακτηρίζεται από αδιάκοπη παροχή ενέργειας, ενεργειακή ανεξαρτησία, έξυπνη διαχείριση και εύκολη εγκατάσταση. Η ονομαστική του ισχύς είναι 6kW, ενώ η απόδοσή του για τα ευρωπαϊκά πρότυπα φτάνει το 96,8%.

Παρακάτω παρουσιάζεται το τεχνικό φυλλάδιο που περιέχει σημαντικά δεδομένα του υβριδικού μετατροπέα (Εικόνα 8.2). Περισσότερες πληροφορίες αναφορικά με το κόστος του και τη χρήση του στο σύστημα θα παρατεθούν στο Κεφάλαιο 9.

## Solis Residential Energy Storage Inverters

### » RHI-(3-6)K-48ES-5G



360 degree

#### Features:

- ▶ Uninterrupted power supply, 20ms reaction
- ▶ 5kW backup power to support more important loads
- ▶ Multiple working modes to make maximize self-consumption, increase benefit
- ▶ Higher charge-discharge efficiency, improving the economic benefits
- ▶ AFCI protection, proactively reduces fire risk
- ▶ Fanless design, long lifespan
- ▶ Compatible with lithium & lead-acid batteries, increased more choice in different markets
- ▶ Intelligent EMS function, improving battery's reliability
- ▶ With high-frequency isolation technology, making system safer and long lifespan
- ▶ 24-hour fully intelligent energy management, Real-time grasp of PV plant status
- ▶ Remotely control & upgrade function, making digital power plant maintenance at your fingertips



#### Model:

RHI-3K-48ES-5G	RHI-3.6K-48ES-5G
RHI-4.6K-48ES-5G	RHI-5K-48ES-5G
RHI-6K-48ES-5G	

## Datasheet

Model Name	RHI-3K-48ES-5G	RHI-3.6K-48ES-5G	RHI-4.6K-48ES-5G	RHI-5K-48ES-5G	RHI-6K-48ES-5G
<b>Input DC (PV side)</b>					
Recommended max. PV power	7 kW	7 kW	8 kW	8 kW	8 kW
Max. input voltage			600 V		
Rated voltage			330 V		
Start-up voltage			120 V		
MPPT voltage range			90-520 V		
Max. input current			11 A / 11 A		
Max. short circuit current			17.2 A / 17.2 A		
MPPT number/Max. input strings number			2/2		
<b>Battery</b>					
Battery type			Li-ion / Lead-acid		
Battery voltage range			42 - 58 V		
Battery capacity			50 - 2000 Ah		
Max. charge / discharge power	3 kW			5 kW	
Max. charge / discharge current	62.5 A			100 A	
Communication			CAN		
<b>Output AC (Back-up)</b>					
Rated output power	3 kW			5 kW	
Max. apparent output power	4 kVA			6 kVA	
Back-up switch time			<20 ms		
Rated output voltage			1/N/PE, 220 V / 230 V		
Rated frequency			50 Hz / 60 Hz		
Rated output current	13.6 A / 13 A			22.7 A / 22 A	
THDv (@linear load)			<2%		
<b>Input AC (Grid side)</b>					
Input voltage range			184-264 V		
Max. input current			26.1 A		
Frequency range			45-55 Hz / 55-65 Hz		
<b>Output AC (Grid side)</b>					
Rated output power	3 kW	3.6 kW	4.6 kW	5 kW	6 kW
Max. apparent output power	3.3 kVA	4 kVA	4.6 kVA	5.5 kVA	6 kVA
Operation phase			1/N/PE		
Rated grid voltage			220 V / 230 V		
Rated grid frequency			50 Hz / 60 Hz		
Rated grid output current	13.6 A / 13 A	16.3 A / 15.7 A	20.9 A / 20 A	22.7 A / 21.7 A	27.2 A / 26.1 A
Max. output current	15.7 A	17.3 A	23 A	23.9 A	26.1 A
Power Factor			>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)		
THDi			<2%		
<b>Efficiency</b>					
Max. efficiency			>97.5%		
EU efficiency			>96.8%		
<b>Protection</b>					
DC reverse-polarity protection			Yes		
Short circuit protection			Yes		
Output over current protection			Yes		
Surge protection			DC Type II / AC Type II		
Ground fault monitoring			Yes		
Integrated AFCI (DC arc-fault circuit protection)			Yes <sup>(1)</sup>		
Protection class/Over voltage category			I/III		
<b>General Data</b>					
Dimensions (W*H*D)			333*505*249 mm		
Weight			18.3 kg		
Topology			High frequency isolation (for battery)		
Operating ambient temperature range			-25 ~ +60°C		
Ingress protection			IP65		
Cooling concept			Natural convection		
Max. operation altitude			2000 m		
Grid connection standard			G98 or G99, VDE-AR-N 4105 / VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126 / UTE C 15 / VFR:2019, RD 1699 / RD 244 / UNE 206006 / UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, TOR, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530, MEA, PEA		
Safety/EMC standard			IEC/EN 62109-1/-2, EN 61000-6-2/-3		
<b>Features</b>					
DC connection			MC4 connector		
AC connection			Quick connection plug		
Display			7.0"LCD color screen display		
Communication			RS485, Optional: Wi-Fi, GPRS		

(1) Activation required.

Εικόνα 8.2: Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή Solis RHI-6K-48ES-5G [67]

## Κεφάλαιο 9

### Μοντελοποίηση του υβριδικού συστήματος

#### 9.1 Οι λειτουργίες του λογισμικού HOMER Pro

Το λογισμικό μικροδικτύων HOMER Pro (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) από την HOMER Energy αποτελεί ένα ευρέως καθιερωμένο λογισμικό το οποίο σχεδιάζει, προσομοιώνει και βελτιστοποιεί αυτόνομα ή διασυνδεδεμένα μικρά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου, μικρά υδροηλεκτρικά, βιομάζα, μετατροπείς, συσσωρευτές και συμβατικές μονάδες αποτελούν διάφορες πηγές που είναι μοντελοποιήσιμες μέσω του λογισμικού. Επίσης, εξετάζει τις HRES (Υβριδικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) σε συστήματα ενέργειας είτε εντός είτε εκτός του ηλεκτρικού δικτύου Το HOMER Pro διαθέτει τρεις ισχυρές λειτουργίες που συνδέουν τον τεχνικό με τον οικονομικό τομέα, οι οποίες είναι η Προσομοίωση, η Βελτιστοποίηση και η Ανάλυση ευαισθησίας [68]. Παρακάτω ακολουθούν περισσότερες πληροφορίες για την κάθε μία:

❖ Προσομοίωση (Simulation):

Μπορεί να προσομοιώσει την απόδοση ενός ευρέος φάσματος ενεργειακών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων μικροδικτύων, συστημάτων εκτός δικτύου και υβριδικών συστημάτων. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να αξιολογούν την απόδοση των ενεργειακών τους συστημάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες, όπως διαφορετικά επίπεδα ζήτησης ενέργειας, μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες και διαφορετικές διαμορφώσεις εξοπλισμού.

Η μηχανή προσομοίωσης του HOMER Pro βασίζεται σε εξελιγμένα μαθηματικά μοντέλα λαμβάνοντας υπόψιν πολυάριθμους παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά απόδοσης διαφορετικών πηγών ενέργειας, τη συμπεριφορά των συσκευών αποθήκευσης και μετατροπής ενέργειας και τις επιπτώσεις περιβαλλοντικών παραγόντων στην απόδοση του συστήματος. Μπορεί επίσης να προσομοιώσει τη συμπεριφορά των αγορών ενέργειας και άλλων εξωτερικών παραγόντων που ίσως επηρεάσουν την αποδοτικότητα του συστήματος.

Οι χρήστες μπορούν να δουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με διάφορους τρόπους, όπως γραφήματα, διαγράμματα και πίνακες. Αυτό τους

επιτρέπει να βλέπουν την απόδοση των διαφορετικών στοιχείων του συστήματος και να προσδιορίζουν περιοχές όπου θα μπορούσαν να γίνουν βελτιώσεις. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά των αγορών ενέργειας και άλλων εξωτερικών παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση του συστήματος.

Συνολικά, οι δυνατότητες προσομοίωσης του HOMER Pro το καθιστούν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για τα υβριδικά συστήματα ενέργειας. Επιτρέπουν στους χρήστες να αξιολογούν την απόδοση των ενεργειακών τους συστημάτων υπό διαφορετικές συνθήκες, να εντοπίζουν ευκαιρίες για βελτιστοποίηση και βελτίωση και να αποφασίζουν με εμπεριστατωμένα κριτήρια αναφορικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος.

❖ Βελτιστοποίηση (Optimization):

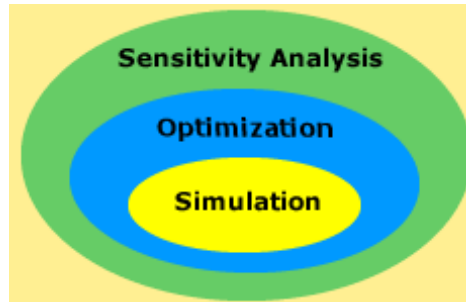
Μετά την προσομοίωση όλων των πιθανών συνδυασμών ενεργειακών συστημάτων, ξεκινά η διαδικασία βελτιστοποίησης και το HOMER εμφανίζει μια λίστα επιλογών ομαδοποιημένων κατά το NPC (καθαρό παρόν κόστος). Μια συγκεκριμένη λίστα χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τις διερευνημένες επιλογές με σκοπό να επιλεγεί το καλύτερο ενεργειακό σύστημα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ιεράρχηση των ενεργειακών συστημάτων είναι ολοκληρωμένη, γεγονός που σημαίνει ότι έχουν μελετηθεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί και έχουν αποτυπωθεί πρακτικά συστήματα. Σύμφωνα με το λογισμικό, το βέλτιστο σύστημα είναι αυτό που πληροί τους περιορισμούς του χρήστη και αποφέρει το χαμηλότερο συνολικό NPC, το οποίο απαρτίζεται από όλες τις δαπάνες κατά την περίοδο μελέτης του έργου. Η επιλογή του ιδανικού συστήματος μπορεί να προκύψει από τη συνδυασμένη χρήση των επιμέρους στοιχείων που έχουν προσομοιωθεί, το μέγεθος ή την ποσότητα τους, τα οποία αποτελούν κομμάτια του συστήματος.

❖ Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis):

Η ανάλυση ευαισθησίας παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού πολλαπλών εισόδων για μία μεταβλητή η οποία έχει εναλλασσόμενη τιμή κατά τη διάρκεια της μελέτης για να αποφευχθούν τυχόν αποκλίσεις των εισόδων του προσομοιωτή από την πραγματικότητα. Έτσι, ο μηχανικός μπορεί να εξετάσει και να δοκιμάσει το προς μελέτη σύστημα με ποικιλία αρχικών τιμών και συνθηκών ώστε να ελέγξει τις αλλαγές που προκύπτουν σε αυτό. Δηλαδή επιτρέπει στους χρήστες να δουν τον αντίκτυπο των μεταβλητών που δεν μπορούν να ελέγξουν, όπως η ταχύτητα του

ανέμου, το κόστος καυσίμου κλπ, και να κατανοήσουν τις αλλαγές που πραγματοποιούνται ανάμεσα στα προσομοιωμένα συστήματα.

Στην Εικόνα 9.1 προβάλλονται οι τρεις βασικές διεργασίες του λογισμικού HOMER Pro, καθώς και η σχέση που τις συνδέει.



Εικόνα 9.1: Αλληλεπίδραση μεταξύ των λειτουργιών του λογισμικού HOMER Pro [69]

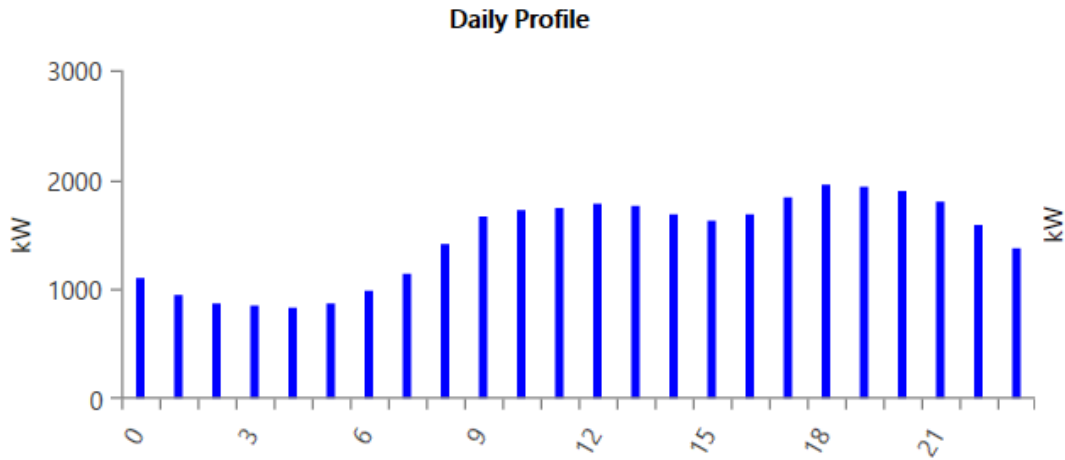
## 9.2 Το ηλεκτρικό φορτίο της Σύμης

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της Σύμης αποτελεί το πρώτο και πιο σημαντικό δεδομένο το οποίο εισάγεται στο λογισμικό προσομοίωσης. Ειδικότερα εισήχθη η ωριαία χρονολογική σειρά για το ηλεκτρικό φορτίο της Σύμης από το 2021, δεδομένα που παρασχέθηκαν από τη Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ.

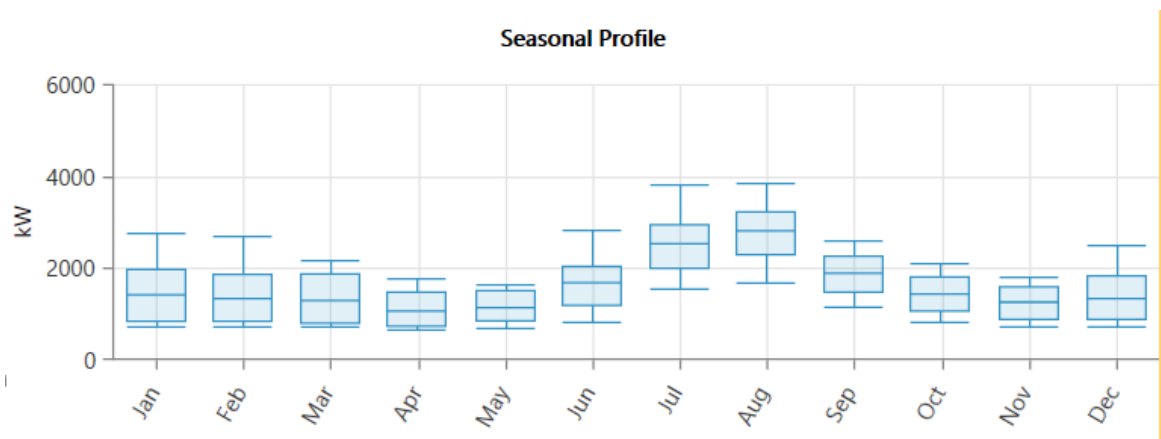
Οι ώρες μεγιστοποίησης της ζήτησης παρατηρούνται το μεσημέρι και το απόγευμα προς βράδυ ανεξάρτητα από την εποχή. Από τα ωριαία δεδομένα εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο Αύγουστος έχει την υψηλότερη ζήτηση ενέργειας. Παράλληλα, το καλοκαίρι παρουσιάζεται υψηλότερο φορτίο διότι η Σύμη κατακλύζεται από πολλούς τουρίστες. Ειδικότερα, το μέσο ηλεκτρικό φορτίο ισούται με 1.617,9 kW, ενώ σε ημερήσια βάση η μέση ζητούμενη ενέργεια φτάνει τις 38.830 kWh. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι η αιχμή ζήτησης του 2021 καταχωρήθηκε την Πέμπτη 5 Αυγούστου στις 22:00 και ισούταν με 3.880 kW. Παρατηρώντας το Διάγραμμα 9.1 παρατηρείται το γεγονός ότι ο παράγοντας φορτίου (load factor) προκύπτει από τη διαίρεση της μέσης ζήτησης προς την αιχμή, αναλυτικότερα:

$$\text{Load factor} = \frac{\text{Average (kW)}}{\text{Peak (kW)}} = \frac{1.617,9}{3.880} = 0,416984 \approx 0,42$$

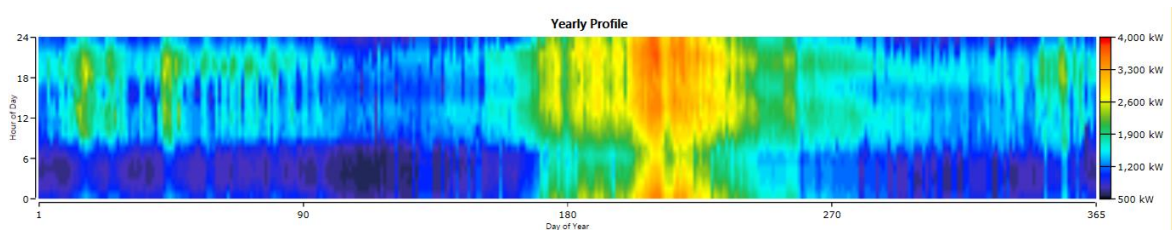
Στο Διάγραμμα 9.2 αναπαρίσταται το μηνιαίο φορτίο του νησιού. Παράλληλα, στο Διάγραμμα 9.3 απεικονίζεται το ωριαίο φορτίο για το 2021, ενώ στον Πίνακα 9.1 προβάλλονται τα πιο σημαντικά δεδομένα αναφορικά με το ηλεκτρικό φορτίο.



Διάγραμμα 9.1: Απεικόνιση μέσης ωριαίας ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος [HOMER]



Διάγραμμα 9.2: Διακύμανση του μηνιαίου ηλεκτρικού φορτίου (ελάχιστο, μέσο ημερήσιο ελάχιστο, μέσο, μέσο ημερήσιο μέγιστο, μέγιστο) [HOMER]



Διάγραμμα 9.3: Αναπαράσταση του ηλεκτρικού φορτίου για κάθε ώρα του 2021 [HOMER]

Πίνακας 9.1: Σημαντικά δεδομένα του ηλεκτρικού φορτίου του 2021 για τη Σύμη  
[HOMER]

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	38,830.	38,830.
Average(kW)	1,617.9	1,617.9
Peak (kW)	3,880	3,880
Load factor	.42	.42

Load Type:  AC  DC

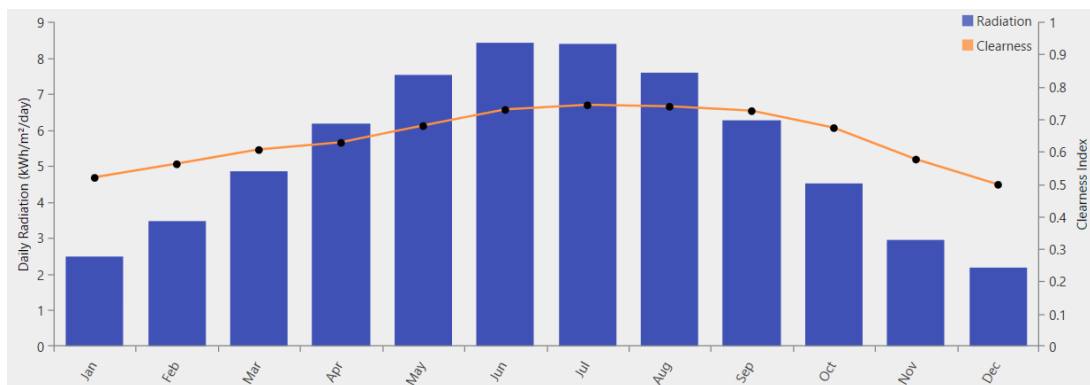
Scaled Annual Average (kWh/day):

38,830.80



### 9.3 Κλιματικά δεδομένα του νησιού

Το επόμενο βήμα της τεχνοοικονομικής μελέτης, μετά την εισαγωγή του φορτίου της Σύμης, είναι η εισαγωγή των κλιματικών δεδομένων της περιοχής. Το λογισμικό περιέχει πληροφορίες από τη βάση δεδομένων της NASA. Αρχικά αντλούνται πληροφορίες αναφορικά με την ημερήσια ακτινοβολία του ηλίου (kWh/m<sup>2</sup> /day) που εκπέμπεται κάθε μήνα στη Σύμη και την καθαρότητα του ουρανού (καθαρός αριθμός) αντίστοιχα ανά μήνα (Διάγραμμα 9.4 και Πίνακας 9.2). Τα δεδομένα προέρχονται από μελέτη που υλοποίησε η NASA από τον Ιούλιο του 1983 έως τον Ιούνιο του 2005.



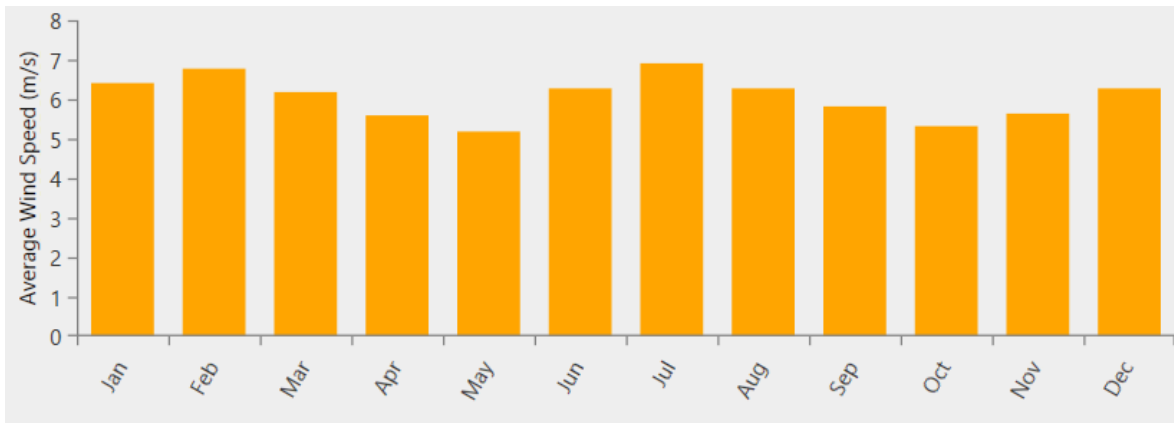
Διάγραμμα 9.4: Απεικόνιση μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας (μπλε) και μέσης μηνιαίας καθαρότητας του ουρανού (πορτοκαλί) [HOMER]

Πίνακας 9.2: Διακύμανση των μηνιαίων τιμών της μέσης καθαρότητας του ουρανού, της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας και τιμή της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας [HOMER]

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)
Jan	0.519	2.500
Feb	0.561	3.460
Mar	0.605	4.860
Apr	0.627	6.180
May	0.679	7.520
Jun	0.728	8.420
Jul	0.743	8.390
Aug	0.738	7.590
Sep	0.725	6.260
Oct	0.672	4.510
Nov	0.575	2.940
Dec	0.498	2.190

**Annual Average (kWh/m<sup>2</sup>/day): 5.40**

Ύστερα, από την ίδια βάση δεδομένων αντλούνται δεδομένα σχετικά με το αιολικό δυναμικό του νησιού (Διάγραμμα 9.5 και Πίνακας 9.3). Τα παρακάτω στοιχεία είναι επακόλουθο έρευνας που πραγματοποίησε η NASA, σε υψόμετρο 50 μέτρων, την περίοδο Ιανουάριος 1984 – Δεκέμβριος 2013.



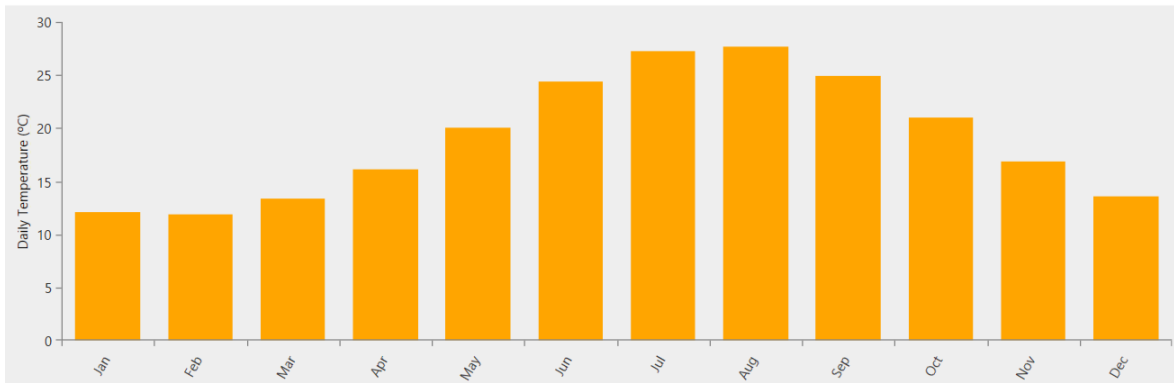
Διάγραμμα 9.5: Μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου [HOMER]

Πίνακας 9.3: Διακύμανση τιμών της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου και τιμή ετήσιας ταχύτητας του ανέμου [HOMER]

Month	Average (m/s)
Jan	6.410
Feb	6.760
Mar	6.180
Apr	5.590
May	5.200
Jun	6.280
Jul	6.900
Aug	6.290
Sep	5.840
Oct	5.320
Nov	5.640
Dec	6.270

**Annual Average (m/s): 6.06**

Τέλος, παρουσιάζονται τα στοιχεία σχετικά με τη θερμοκρασία του νησιού (Διάγραμμα 9.6 και Πίνακας 9.4). Η αντίστοιχη έρευνα της NASA πραγματοποιήθηκε από τον Ιανουάριο του 1984 έως το Δεκέμβριο του 2013.



Διάγραμμα 9.6: Μέση μηνιαία θερμοκρασία [HOMER]

Πίνακας 9.4: Διακύμανση των τιμών της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και μέση ετήσια τιμή θερμοκρασίας [HOMER]

Month	Daily Temperature (°C)
Jan	12.090
Feb	11.890
Mar	13.380
Apr	16.090
May	20.010
Jun	24.370
Jul	27.250
Aug	27.700
Sep	24.860
Oct	21.030
Nov	16.900
Dec	13.590

**Annual Average (°C): 19.10**

## 9.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος κάθε στοιχείου του υβριδικού συστήματος

### 9.4.1 Ανάλυση συμβατικών μονάδων

Όπως αναφέρθηκε και στο Υποκεφάλαιο 3.3 ο το υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα της Σύμης αποτελείται από εννιά ηλεκτρογεννήτριες με καύσιμο πετρέλαιο και συνολική εγκατεστημένη ισχύ ίση με 6,6 MW. Τρεις από τις ήδη υπάρχουσες συμβατικές μονάδες θα συμμετάσχουν και στη διαμόρφωση του νέου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος για τις γεννήτριες MITSUBISHI S16R-PTA (1000 kW), MTU 12V 4000G60 (700kW) και CEGIELSKI 6AL20/24 (300 kW). Στόχος της μελέτης αποτελεί η υποβάθμιση του ρόλου των συμβατικών μονάδων και η αντικατάστασή τους με ΑΠΕ σε πολύ μεγάλο ποσοστό. Γι' αυτό το λόγο, ο ρόλος τους στο σύστημα θα είναι εφεδρικός κυρίως για τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η παραγωγή ισχύος από τις ΑΠΕ δε θα επαρκεί ώστε να καλύψει τη ζήτηση, θα ενεργοποιείται η λειτουργία των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών με σκοπό την πλήρη εξυπηρέτηση του φορτίου. Οι τρεις γεννήτριες πετρελαίου διατηρούνται στο υβριδικό σύστημα, με σκοπό τη δημιουργία μίας δικλείδας ασφαλείας για την αποφυγή ενδεχόμενης αδυναμίας του συστήματος να ανταποκριθεί στη ζήτηση λόγω βλάβης σε κάποια συμβατική μονάδα.

Όλα τα δεδομένα για τις συμβατικές μονάδες, τα οποία είναι απαραίτητα για τη μελέτη και θα εισάγουμε στο HOMER, αντλήθηκαν από την αρμόδια υπηρεσία του ΔΕΔΔΗΕ. Αρχικά, τα συγκεκριμένα ζεύγη δεν ανήκουν στη βιβλιοθήκη του λογισμικού επομένως θα εισαχθούν χειροκίνητα. Αναφορικά με τα κόστη, δεν απαιτείται αρχικό κεφάλαιο, καθώς οι γεννήτριες είναι ήδη εγκατεστημένες και σε λειτουργία στον ΤΣΠ Σύμης. Εκτός αυτού, δεν υπάρχει κόστος αντικατάστασης διότι σε περίπτωση σημαντικής βλάβης κάποιας συμβατικής μονάδας που βρίσκεται σε λειτουργία, θα υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασής της από κάποια εκ των 4 MITSUBISHI, 1 CEGIELSKI και 1 MTU, του τωρινού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, των οποίων η λειτουργία θα έχει ανασταλεί. Επιπλέον, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας ορίζεται το ίδιο για όλες τις συμβατικές μονάδες από τον ΔΕΔΔΗΕ και έχει τιμή 2,63€ ανά ώρα λειτουργίας, ενώ η μέση τιμή του πετρελαίου για το 2021, το καύσιμο που καταναλώνει ο τοπικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, ανέρχεται στα 0,86628€ ανά λίτρο.

Επιπρόσθετα, το τεχνικό ελάχιστο των γεννητριών αποτελεί ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό το οποίο χρειάζεται να εισάγουμε στο λογισμικό. Η συγκεκριμένη μεταβλητή αντιπροσωπεύει την ελάχιστη ισχύ που είναι ικανή να παράξει μία συμβατική

μονάδα. Στο HOMER θα εισαχθεί με τη μορφή ποσοστού (%) του τεχνικού ελαχίστου διά της εγκατεστημένης ισχύος κάθε μονάδας. Πιο συγκεκριμένα:

❖ Για την MITSUBISHI S16R-PTA:

$$\text{Minimum load ratio}(\%) = \frac{0,637 \text{ MW}}{1 \text{ MW}} * 100\% = 63,7\%$$

❖ Για την MTU 12V 4000G60:

$$\text{Minimum load ratio}(\%) = \frac{0,6 \text{ MW}}{0,7 \text{ MW}} * 100\% = 85,71\%$$

❖ Για την CEGIELSKI 6AL20/24:

$$\text{Minimum load ratio}(\%) = \frac{0,275 \text{ MW}}{0,3 \text{ MW}} * 100\% = 91,66\%$$

Η τεχνικοοικονομική μελέτη του ΔΕΔΔΗΕ περιέχει ένα ακόμη ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό των μονάδων. Ειδικότερα, παρέχεται η ειδική κατανάλωση πετρελαίου κάθε μονάδας, σε kg/MWh, σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις παραγωγής ισχύος (50%, 75% και 100%). Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες, εξάγεται η κατανάλωση πετρελαίου σε λίτρα ανά ώρα λειτουργίας. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μετατροπής της ειδικής κατανάλωσης από kg/MWh σε L/hr, για την γεννήτρια MITSUBISHI, για παραγωγή ισχύος στο 100% της, δηλαδή 1MW, ειδική κατανάλωση = 217,6 kg/MWh και πυκνότητα ( $\rho$ ) του πετρελαίου = 0,82 kg/L :

$$217,6 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} = 217,6 \frac{\text{kg}}{1 \text{ MW} * 1 \text{ hr}} = 217,6 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} = \frac{217,6 \text{ L}}{0,82 \text{ hr}} = 265,365854 \text{ L/hr}$$

Ομοίως υπολογίστηκαν οι καταναλώσεις για τα τρία στάδια λειτουργίας για όλες τις γεννήτριες και δημιουργήθηκαν από το λογισμικό οι καμπύλες καυσίμου για την κάθε μία. Όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία εισάγονται στο HOMER όπως φαίνεται στις Εικόνες 9.2 μέχρι 9.7.

GENERATOR

Name: MITSUBISHI S16R-PTA

Abbreviation: :UBISHI

**Properties**

Name: MITSUBISHI S16R-PTA

Abbreviation: MITSUBISHI

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/op. hr)
1	€0.0	€0.0	€2.63

**Site Specific Input**

Minimum Load Ratio (%):

Minimum Runtime (Minutes):

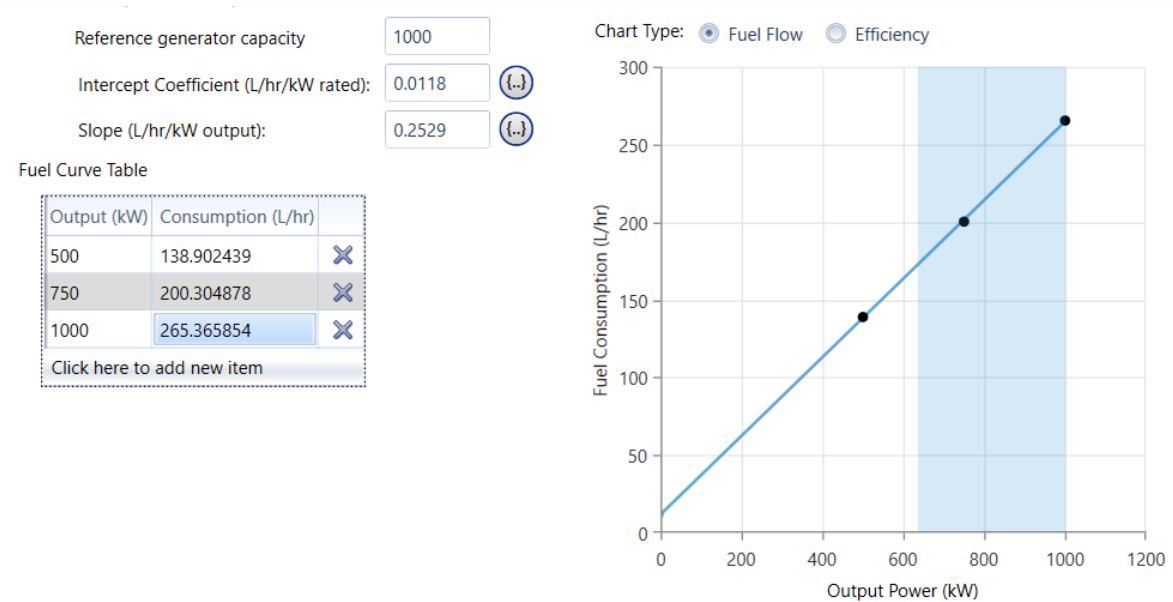
CHP Heat Recovery Ratio (%):

Diesel Fuel Price (€/L):

**Electrical Bus**  AC  DC

**Sizing** Size (kW)  
1000

Εικόνα 9.2: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας MITSUBISHI S16R-PTA [HOMER]



Εικόνα 9.3: Εισαγωγή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης (δεξιά) για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος MITSUBISHI S16R-PTA [HOMER]

**GENERATOR** Name: MTU 12V 4000G60 Abbreviation: MTU

**Properties**  
Name: MTU 12V 4000G60  
Abbreviation: MTU

**Costs**

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/op. hr)
1	€0.0	€0.0	€2.63

**Site Specific Input**

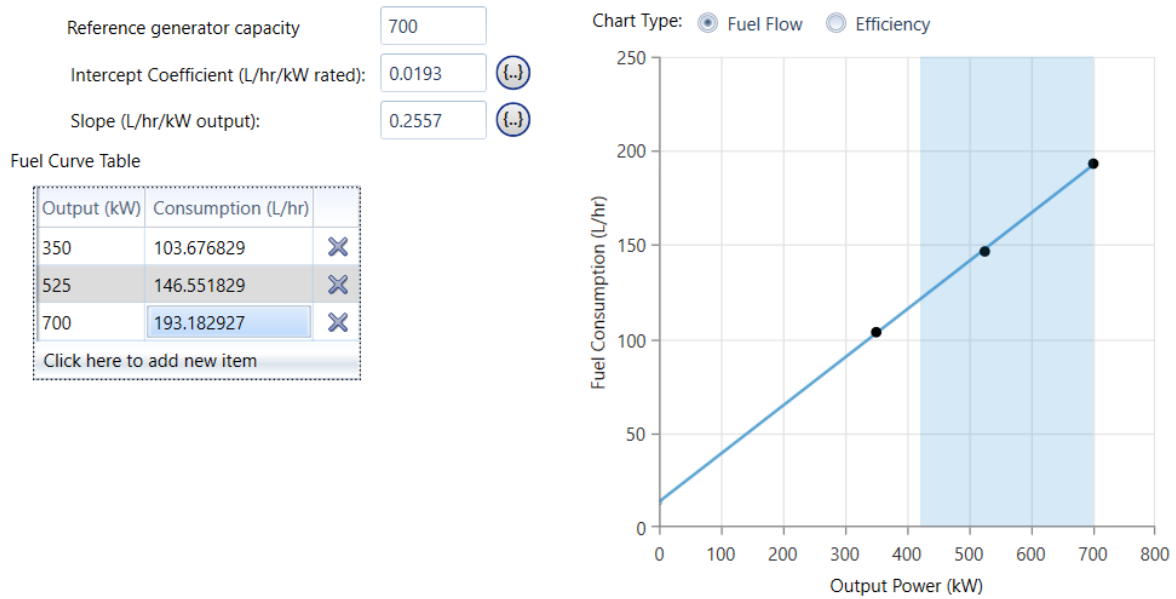
Minimum Load Ratio (%): 85.71  CHP Heat Recovery Ratio (%): 0.00

Minimum Runtime (Minutes): 0.00  Diesel Fuel Price (€/L): 0.866

**Electrical Bus**  AC  DC

**Sizing** Size (kW)  
700

Εικόνα 9.4: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας MTU 12V 4000G60 [HOMER]



Εικόνα 9.5: Εισαγωγή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης (δεξιά) για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος MTU 12V 4000G60 [HOMER]

**GENERATOR** Name:  Abbreviation:

**Properties**  
Name: CEGIELSKI 6AL20/24  
Abbreviation: CEGIELSKI

**Costs**

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/op. hr)
1	€0.0	€0.0	€2.63

**Site Specific Input**

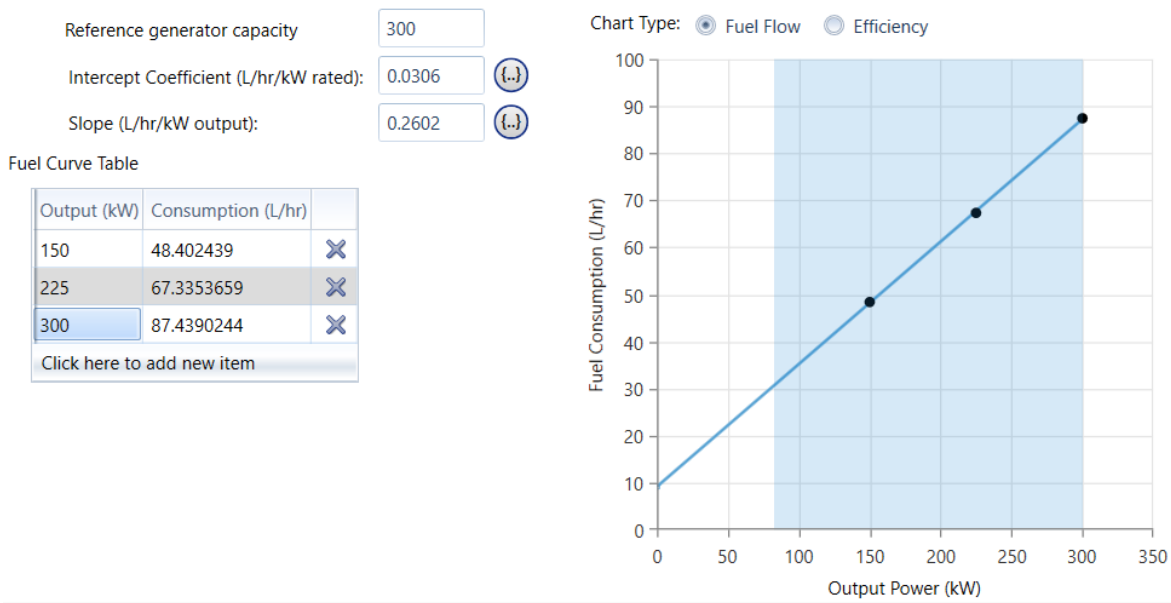
Minimum Load Ratio (%):  (..) CHP Heat Recovery Ratio (%):

Minimum Runtime (Minutes):  (..) Diesel Fuel Price (€/L):

**Electrical Bus**  AC  DC

**Sizing**  Size (kW)

Εικόνα 9.6: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας CEGIELSKI 6AL20/24 [HOMER]



Εικόνα 9.7: Εισαγωγή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης (δεξιά) για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος CEGIELSKI 6AL20/24 [HOMER]

#### 9.4.2 Ανάλυση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης


Στο Υποκεφάλαιο 6.5 επιλέχθηκε το μοντέλο LX-550M PERC HC Bifacial, που κατασκευάζεται από την εταιρεία Luxor Solar, η οποία έχει έδρα τη Γερμανία και ξεχωρίζει στην σχεδίαση και στην παραγωγή φωτοβολταϊκών μονάδων. Γενικά, τα φωτοβολταϊκά πάνελ αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντάς την σε συνεχές ρεύμα DC, ωστόσο στο υβριδικό σύστημα θα χρησιμοποιηθούν inverters ώστε να το μετατρέψουν σε εναλλασσόμενο. Ειδικότερα, θα χρησιμοποιηθεί ο αντιστροφέας SG350HX, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 8, της Sungrow που είναι ο κορυφαίος ειδικός στον τομέα των αντιστροφέων στον κόσμο.

Το κόστος της επιλεγμένης φωτοβολταϊκής μονάδας ανέρχεται στα 155,5€, ενώ του μετατροπέα στα 9.362€. Αυτές οι τιμές προέρχονται έπειτα από επικοινωνία με εκπροσώπους από την εταιρεία Krannich Solar [70] τους οποίους ευχαριστώ ιδιαίτερα. Το HOMER, έτσι ώστε να προβεί στην τεχνικοοικονομική μελέτη, ζητά ως εισόδο το κεφάλαιο που απαιτείται ανά kW. Με απλούς υπολογισμούς προκύπτει πως, αφού τα 550 W κοστίζουν 155,5€, το 1 kW θα έχει κόστος 282,72€ ευρώ. Σε αυτή την τιμή χρειάζεται η προσθήκη του κόστους του μετατροπέα, επίσης ανά kW. Ο inverter SG350HX έχει μέγιστη ισχύ εισόδου 350 kW. Επομένως, το κόστος ανά kW ανέρχεται στα 26,75€. Επιπρόσθετα, μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση για να θεωρείται ολοκληρωμένη απαιτεί βάσεις στήριξης,

συνδέσεις και διάφορα ακόμη στοιχεία όπως ένα έξυπνο κουτί επικοινωνίας και περίφραξη. Η αγορά αυτού του απαραίτητου εξοπλισμού διαμορφώνει το τελικό ποσό των 400€/kW. Το κόστος συντήρησης του φωτοβολταϊκού πάρκου ανέρχεται στο 1-2% της συνολικής επένδυσης. Έτσι, θέτουμε ως είσοδο στο HOMER το ποσό των 4€/kW/έτος.

Αναφορικά με την απόδοση, η μέγιστη που δύναται να πετύχει το επιλεγμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι 21,75% [46]. Ακόμη, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η απόδοση του μετατροπέα, της οποίας η τιμή μπορεί να φτάσει το 98,8%. Ως αποτέλεσμα, η συνολική απόδοση που ορίζουμε ως είσοδο στο HOMER έχει τιμή 21,49% (21,75% \* 98,8%). Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας της φωτοβολταϊκής μονάδας είναι οι 45°C, ενώ ο συντελεστής με τον οποίο η θερμοκρασία επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ είναι - 0,36%/°C. Σχετικά με τον προσανατολισμό, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε κλίση 36,61°, που ισούται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, η γωνία αζιμουθίου πρέπει να πάρει την τιμή 0° για να έχει η σταθερή εγκατάσταση τη μέγιστη απόδοση, ενώ η ανάκλαση του εδάφους είναι 20%. Τέλος, ο συντελεστής απόδοσης (derating factor), ο οποίος λαμβάνει υπόψη την ελαττωμένη απόδοση της μονάδας σε ρεαλιστικές λειτουργικές συνθήκες, η οποία οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες συγκριτικά με τις ιδανικές συνθήκες μέτρησης, η απόδοση της μονάδας, έχει τιμή 85,5%. Εισάγουμε τα παραπάνω δεδομένα στο λογισμικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.8.

PV



Name:

**Properties**

Name: **LX-550M**

Abbreviation: **LX-550M**

Panel Type: **Flat plate**

Rated Capacity (kW): **1**

Temperature Coefficient: **-0.36**


Operating Temperature (°C): **45.00**

Efficiency (%): **21.49**

**Cost**

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
<input style="width: 30px;" type="text" value="1"/>	<input style="width: 150px;" type="text" value="400.00"/>	<input style="width: 150px;" type="text" value="400.00"/>	<input style="width: 150px;" type="text" value="4.00"/>

Lifetime

time (years):  

[More...](#)

**Site Specific Input**

**Electrical Bus**

Derating Factor (%):  {..}

AC  DC

🌐 PV Advanced Properties

Inverter
Orientation
Temperature

Ground Reflectance (%):  {..}

Tracking System: No Tracking v

Use default slope

Panel Slope (degrees):  {..}

Use default azimuth

Panel Azimuth (degrees West of South):  {..}

🌐 PV Advanced Properties

Inverter
Orientation
Temperature

Consider temperature effects?  
Using ambient temperature defined in the temperature resource.

Temperature effects on power (%/°C):  {..}

Nominal operating cell temperature (°C):  {..}

Efficiency at standard test conditions (%):  {..}

Εικόνα 9.8: Δεδομένα φωτοβολταϊκής εγκατάστασης [HOMER]

#### 9.4.3 Ανάλυση ανεμογεννήτριας

Στο Υποκεφάλαιο 7.3 έγινε η επιλογή της ανεμογεννήτριας EWT-DW61, ονομαστικής χωρητικότητας 900 kW. Το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 950.000€. Σε αυτό το ποσό περιλαμβάνεται η κατασκευή της στο εργοστάσιο, η μεταφορά της σε κάποιο κεντρικό λιμάνι και εν συνεχεία η μεταφορά της στη Σύμη στη θέση εγκατάστασής της. Επίσης στο ποσό αυτό συμπεριλαμβάνεται η εγκατάστασή της και όλες οι εργασίες έως ότου να είναι έτοιμη για λειτουργία. Οι εργασίες θα πραγματοποιηθούν από τους έμπειρους και καταρτισμένους μηχανικούς της EWT, με χρόνια εξειδίκευσης σε αυτές τις εγκαταστάσεις.

Η EWT παρέχει πλήρη συντήρηση, με αδιάκοπη επίβλεψη και εξυπηρέτηση. Ένα ρεαλιστικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανέρχεται στα 30.000€ ανά έτος.

Οι τεχνικές παράμετροι που χρειάζεται να εισαχθούν από τον χρήστη είναι η διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας και το ύψος της πλήμνης. Το συγκεκριμένο μοντέλο DW61 καθορίζεται από την EWT πως έχει διάρκεια ζωής ίση με 20 χρόνια, όσο δηλαδή και η διάρκεια της μελέτης, με αποτέλεσμα οι ανεμογεννήτριες να μην χρειαστούν αντικατάσταση στην παρούσα μελέτη. Η πλήμνη τους τοποθετείται στα 69 μέτρα από τη Γη. Τέλος, για να μπορέσει το λογισμικό να πραγματοποιήσει τους απαραίτητους υπολογισμούς για τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος, χρειάζεται την εισαγωγή της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας. Στην Εικόνα 9.9 απεικονίζονται τα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα της ανεμογεννήτριας που εισήχθησαν στο λογισμικό, και στην Εικόνα 9.10 τα δεδομένα της καμπύλης ισχύος.

**WIND TURBINE**

Name:

Abbreviation:

---

**Properties**

Name: **EWT DW 61 [900kW]**

Abbreviation: **EWT61**

Rated Capacity (kW): **900.00**

Manufacturer: **EWT**

---

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (\$/year)
1	€950,000.00	€950,000.00	€30,000.00

---

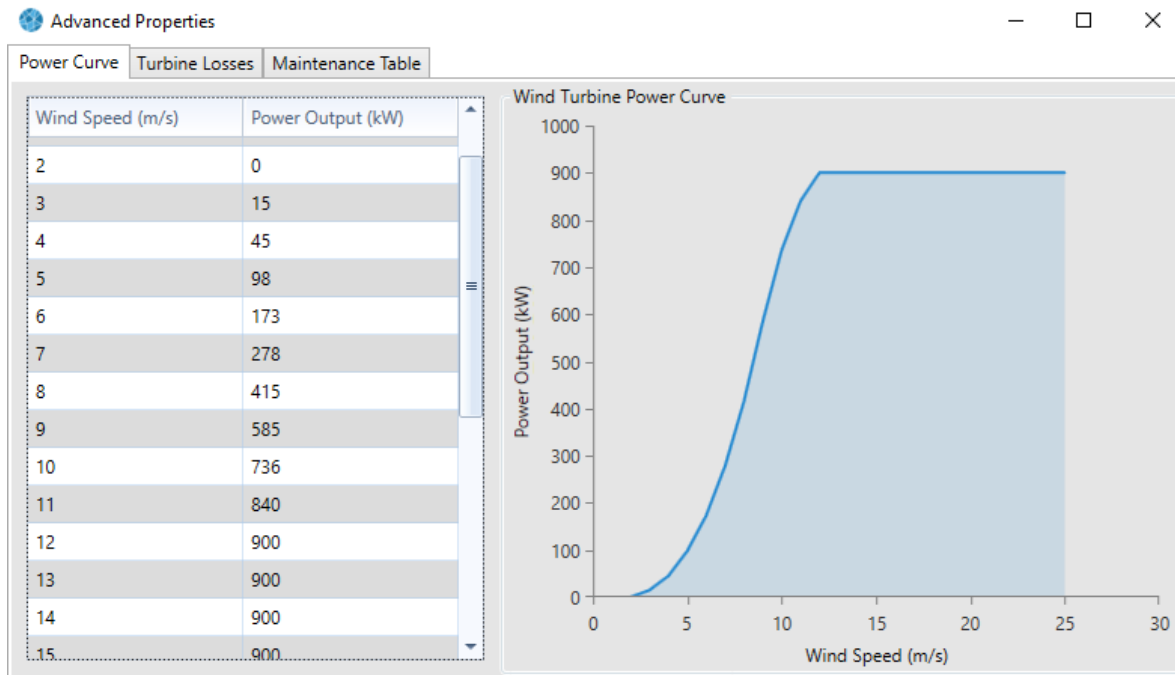
**Site Specific Input**

Lifetime (years):   Hub Height (m):

**Electrical Bus**

AC  DC

Εικόνα 9.9: Δεδομένα ανεμογεννήτριας EWT-DW61 [HOMER]



Εικόνα 9.10: Εισαγωγή κλιμακωτής παραγωγής (αριστερά) και εξαγωγή καμπύλης ισχύος (δεξιά) για την ανεμογεννήτρια EWT-DW61 [HOMER]

#### 9.4.4 Ανάλυση συστήματος αποθήκευσης

Το σύστημα αποθήκευσης που επιλέχθηκε στο Υποκεφάλαιο 5.7 για το υβριδικό σύστημα της Σύμης είναι το LG Chem RESU 10. Το κόστος αγοράς και μεταφοράς του συγκεκριμένου τύπου συσσωρευτή, ανέρχεται στα 4.320€ στην ευρωπαϊκή αγορά. Επίσης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ισούται με 15€/έτος και εξαιτίας του ότι έχει διάρκεια ζωής μία δεκαετία, σημαίνει ότι οι μπαταρίες θα χρειαστούν αντικατάσταση μέσα στα 20 χρόνια της μελέτης.

Σχετικά με τον τρόπο σύνδεσης, το σύστημα αποθήκευσης θα συνδεθεί με τους συμβατούς, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, υβριδικούς μετατροπείς Solis RHI-6K-48ES-5G που επιλέχθηκαν στο Υποκεφάλαιο 8.3 για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο και για την εξυπηρέτηση του ηλεκτρικού φορτίου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, η ονομαστική τάση εισόδου του μετατροπέα Solis RHI-6K-48ES-5G, όσο και η ονομαστική τάση του συσσωρευτή LG Chem RESU 10 έχουν τιμή 48 V, οπότε δεν τοποθετούμε συσσωρευτές σε σειρά, αλλά μόνο παράλληλα (string size=1). Επίσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.11, εισάγονται στο λογισμικό όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά για την πραγματοποίηση των υπολογισμών, όπως το ελάχιστο ποσοστό φόρτισης του συσσωρευτή ίσο με 10,2%.

STORAGE

Name: LGChem RESU10 [9.8kWh]

Abbreviation: LGChen

**Properties**

**Idealized Battery Model**

Nominal Voltage (V): 48  
 Nominal Capacity (kWh): 9.07  
 Nominal Capacity (Ah): 189  
 Roundtrip efficiency (%): 95  
 Maximum Charge Current (A): 119  
 Maximum Discharge Current (A): 119

**Cost**

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	4,320.00	4,320.00	10.00

Lifetime

time (years):

throughput (kWh):

**Sizing**

HOMER Optimizer™

Search Space

Advanced

**Site Specific Input**

String Size:  Voltage: 48 V

Initial State of Charge (%):

Minimum State of Charge (%):

Εικόνα 9.11: Δεδομένα συσσωρευτή LG Chem RESU 10 [HOMER]

#### 9.4.5 Ανάλυση μετατροπέων

Στο Υποκεφάλαιο 8.3 επιλέχθηκε ο υβριδικός μετατροπέας SolisRHI-6K-48ES-5G για να αναλάβει το ρόλο του εγκεφάλου του συστήματος, διαχειριζόμενος με έξυπνο τρόπο τις ροές ενέργειας του νησιού. Το συνολικό κόστος αγοράς του μετατροπέα, μαζί με το μεταφορικό κόστος για να έρθει στη Σύμη, είναι ίσο με 1440€. Το γεγονός ότι ο μετατροπέας έχει ονομαστική ισχύ 6 kW, ανάγει το προηγούμενο κόστος σε 240 €/kW. Παράλληλα, οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας τους αγγίζουν τα 20 €/kW. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20 χρόνια με σωστή λειτουργία και συντήρηση ενώ ο αντιστροφέας (inverter) αλλά και ο ανορθωτής (rectifier) είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί με ποσοστό ίσο με 96,8%. Για τη διεξαγωγή της μελέτης, εισάγουμε τις παραπάνω πληροφορίες στο λογισμικό (Εικόνα 9.12)

Costs				Capacity Optimization	
Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)	<input checked="" type="radio"/> HOMER Optimizer™	<input type="radio"/> Search Space
1	€240.00	€240.00	€20.00	<input checked="" type="checkbox"/> Advanced	

**Inverter Input**

Lifetime (years):

Efficiency (%):

Parallel with AC generator?

**Rectifier Input**

Relative Capacity (%):

Efficiency (%):

Εικόνα 9.12: Δεδομένα υβριδικού μετατροπέα Solis RHI-6K-48ES-5G

## 9.5 Οικονομικά δεδομένα

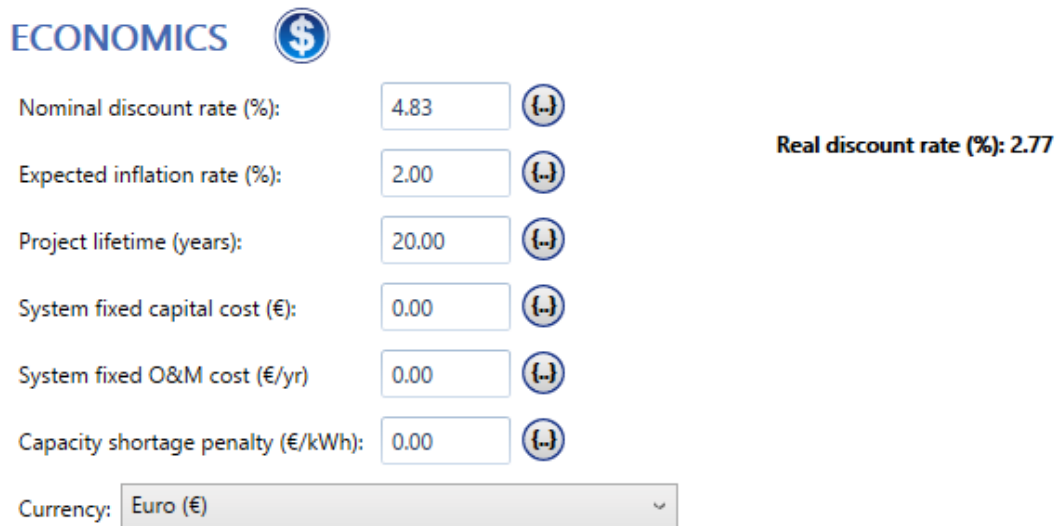
Προκειμένου να προβεί στην τεχνικοοικονομική μελέτη, το λογισμικό χρειάζεται ορισμένες παραμέτρους εισόδου που θα καθορίσουν το τελικό αποτέλεσμα. Αρχικά, το χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η έρευνα ορίζεται στα 20 χρόνια. Στη συνέχεια, είναι αρκετά σημαντικό να εισαχθούν κάποια οικονομικά δεδομένα όπως ο πληθωρισμός (inflation rate), το προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate) και τα σταθερά κόστη του συστήματος.


Το κόστος σταθερού κεφαλαίου συστήματος, το σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και η ποινή έλλειψης χωρητικότητας ορίζονται σε μηδενική τιμή λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουν καμία επίδραση στην κατάταξη των συστημάτων.







Σε μία οικονομία οι τιμές των αγαθών και υπηρεσιών παρουσιάζουν συνεχόμενες διακυμάνσεις. Πληθωρισμό ονομάζουμε την αύξηση του γενικού επιπέδου τιμών σε μια οικονομία. Αναφορικά με τον πληθωρισμό, η Κομισιόν θεωρεί ότι στην Ελλάδα ανήλθε στο 9,3% το 2022 και εκτιμά ότι θα πέσει στο 4,5% το 2023 και στο 2,4% το 2024 [71]. Ωστόσο, οι τιμές για το 2022 και 2023 δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές, διότι τη δεδομένη χρονική περίοδο η παγκόσμια και εγχώρια οικονομία βρίσκονται σε ύφεση, εξαιτίας της ενεργειακή κρίσης. Οπότε στο λογισμικό θα εισαχθεί τιμή του πληθωρισμού ίση με 2%, η οποία θεωρείται σταθερή και προβλέψιμη.

Επιτόκιο δανεισμού ορίζεται ως η ποσοστιαία απόδοση που εγγυάται ένας δανειζόμενος στον πιστωτή του. Σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά στοιχεία της Τράπεζας της Ελλάδος, το σταθερό ετήσιο επιτόκιο για τις μη χρηματοπιστωτικές επιχειρήσεις για δάνεια άνω του ενός εκατομμυρίου ευρώ, είχε τιμή 4,83% τον Ιανουάριο του 2023 [72].

Το προεξοφλητικό επιτόκιο υπολογίζεται από το HOMER χρησιμοποιώντας τον πληθωρισμό και το επιτόκιο δανείου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί τη σχέση:  $i = \frac{i' - f}{1 + f}$ , όπου το  $i$  συμβολίζει το προεξοφλητικό επιτόκιο, το  $i'$  αντιπροσωπεύει το επιτόκιο δανείου και το  $f$  εκφράζει τον πληθωρισμό. Επομένως, αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στον παραπάνω τύπο, προκύπτει πως το προεξοφλητικό επιτόκιο έχει τιμή 2,77% (Εικόνα 9.13).



**ECONOMICS** 

Nominal discount rate (%):	<input type="text" value="4.83"/>		<b>Real discount rate (%): 2.77</b>
Expected inflation rate (%):	<input type="text" value="2.00"/>		
Project lifetime (years):	<input type="text" value="20.00"/>		
System fixed capital cost (€):	<input type="text" value="0.00"/>		
System fixed O&M cost (€/yr):	<input type="text" value="0.00"/>		
Capacity shortage penalty (€/kWh):	<input type="text" value="0.00"/>		
Currency:	<input type="text" value="Euro (€)"/>		

Εικόνα 9.13: Οικονομικά δεδομένα και χρονική διάρκεια της μελέτης [HOMER]

Σύμφωνα με την τεχνικοοικονομική μελέτη που χορηγήθηκε από τον ΔΕΔΔΗΕ, δεν αποδίδεται κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ρυπογόνων ουσιών αφού το μέγεθος του συστήματος είναι μικρό. Οπότε και με τη δημιουργία ενός νέου υβριδικού συστήματος δεν θα καταβληθεί το κόστος αγοράς εκπεμπόμενων ρύπων (Εικόνα 9.14) διότι η διείσδυση των ΑΠΕ θα είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη.

Emissions Penalties	
Carbon dioxide (€/t):	0.00
Carbon monoxide (€/t):	0.00
Unburned hydrocarbons (€/t):	0.00
Particulate matter (€/t):	0.00
Sulfur dioxide (€/t):	0.00
Nitrogen oxides (€/t):	0.00

Εικόνα 9.14: Κόστος εκπομπής ρυπογόνων ουσιών [HOMER]

## 9.6 Στρατηγική λειτουργίας συστήματος


Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές στρατηγικές λειτουργίας για τη βελτιστοποίηση του υβριδικού συστήματος και κάθε στρατηγική έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το λογισμικό HOMER έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης με διάφορους ελεγκτές και δίνει τα αποτελέσματα που είναι κατάλληλα για συγκρίσεις. Σε αυτή τη μελέτη οι κύριες στρατηγικές Load Following (LF) και Cycle Charging (CC) επιλέχθηκαν για τα σενάρια. Στη στρατηγική Load Following, οι ντιζελογεννήτριες τίθενται σε λειτουργία και παράγουν μόνο αρκετή ισχύ για την κάλυψη της ζήτησης φορτίου όταν οι ΑΠΕ αδυνατούν να το κάνουν. Οι ΑΠΕ είναι υπεύθυνες για τη φόρτιση των μπαταριών και για την εξυπηρέτηση του φορτίου.


Από την άλλη πλευρά, στη στρατηγική «Cycle Charging» οι συμβατικές γεννήτριες πετρελαίου λειτουργούν σε πλήρη ισχύ εξόδου για την εξυπηρέτηση του κύριου φορτίου. Μόλις εξυπηρετηθεί το φορτίο, η περίσσεια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιείται για να καλύψει τα δευτερεύοντα φορτία και να φορτίσει τις μπαταρίες. Σε αυτή την περίπτωση, είναι προφανές ότι υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και συνήθως είναι πιο κοστοβόρα σε σχέση με τη Load Following.

## 9.7 Περιορισμοί

Η καρτέλα περιορισμών στο λογισμικό HOMER είναι ένα σύνολο περιορισμών που ορίζονται από τον μηχανικό, τους οποίους πρέπει να πληροί το υβριδικό σύστημα. Σημαντικό ρόλο στην κατανόησή και οριοθέτησή τους διαδραμάτισε η έρευνα [15]. Λαμβάνεται υπόψη η έλλειψη χωρητικότητας η οποία είναι ένα έλλειμμα που δημιουργείται από την απαιτούμενη λειτουργική ικανότητα και το πραγματικό ποσό χωρητικότητας που μπορεί να παρέχει το σύστημα σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επίσης, η λειτουργική ικανότητα αποτελείται από την πλεονάζουσα ζήτηση και τα λειτουργικά αποθεματικά φορτία. Το λειτουργικό αποθεματικό είναι μια δικλείδα ασφαλείας σε περίπτωση υπερβολικής ικανότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που διασφαλίζει την ομαλή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας παρά τις ανισοροπίες του φορτίου, της ηλιακής και αιολικής παραγωγής. Δημιουργείται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της διακοπτόμενης φύσης των ΑΠΕ όταν παράγουν πλεονάζουσα ενέργεια σε συνδυασμό με την αδυναμία της μπαταρίας να αποθηκεύσει περίσσεια ενέργειας επειδή είναι πλήρως φορτισμένη. Για τη μελέτη αυτή ορίζεται η μέγιστη ετήσια έλλειψη χωρητικότητας σε 0%, το μικρότερο ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ορίζεται σε 60%, το λειτουργικό αποθεματικό ορίζεται ως ποσοστό του ωριαίου φορτίο 10% και ετήσιο φορτίο αιχμής 0%. Τέλος, το ανανεώσιμο κλάσμα ηλιακής ενέργειας ορίζεται στο 25% γεγονός που σημαίνει ότι το σύστημα πρέπει να διατηρεί αρκετή πλεονάζουσα χωρητικότητα σε λειτουργία για να εξυπηρετεί το φορτίο ακόμα κι αν η έξοδος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μειωθεί ξαφνικά κατά 25%, ενώ αντίστοιχα το κλάσμα αιολικής ενέργειας τέθηκε στο 50% (Εικόνα 9.15).


## CONSTRAINTS


Maximum annual capacity shortage (%):  

Minimum renewable fraction (%):  


Operating Reserve


As a percentage of load

Load in current time step (%):  

Annual peak load (%):  

As a percentage renewable output

Solar power output (%):  

Wind power output (%):  

Εικόνα 9.15: Εισαγωγή περιορισμών για το υβριδικό σύστημα [HOMER]

## Κεφάλαιο 10

### Τεχνοοικονομική ανάλυση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος

#### 10.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Αφού στο Κεφάλαιο 9 εισήχθησαν όλες οι απαραίτητες παράμετροι εισόδου για το υβριδικό σύστημα και τέθηκε το γενικό πλαίσιο των περιορισμών, ακολουθεί η προσομοίωση από το λογισμικό κατά την οποία διερευνεί όλα τους πιθανά συστήματα που πληρούν τα παραπάνω κριτήρια. Τα αποτελέσματα ταξινομούνται σε μία λίστα με αύξουσα σειρά βασιζόμενα στο καθαρό παρόν κόστος (NPC). Το συνολικό NPC είναι το άθροισμα των εξόδων εγκατάστασης, αντικατάστασης, του συνολικού κόστους καυσίμου και το κόστος για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση του υβριδικού συστήματος. Οπότε, το πρώτο σύστημα της λίστας αποτελεί την οικονομικότερη επιλογή σε βάθος εικοσαετίας.

Στην προκειμένη τεχνοοικονομική μελέτη, το HOMER συνιστεί ως καλύτερη επιλογή ένα υβριδικό σύστημα με συνολικό NPC ίσο με 35.064.158,08€. Επίσης, έχει η κάθε kWh που παράγει το σύστημα του κοστίζει μόλις 0,1629€. Το συγκεκριμένο σύστημα πετυχαίνει διείσδυση ΑΠΕ σε ποσοστό 96,2%. Ακολουθεί τη στρατηγική Load Following που αναφέρθηκε στο Υποκεφάλαιο 9.6. Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα αποτελείται από:

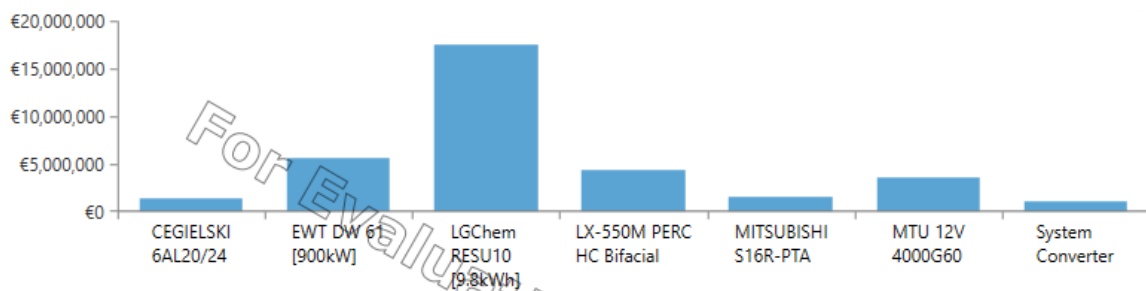
- ❖ Φωτοβολταϊκό πάρκο με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 10.419 kW. Το πάρκο απαρτίζεται από φωτοβολταϊκά πλαίσια LX-550M PERC HC Bifacial συνδεδεμένα σε συστοιχίες. Συνολικά θα υπάρχουν 18960 ΦΒ πλαίσια καταναμεμένα σε 32 αντιστροφείς SUNGROW SG350HX οι οποίοι πραγματοποιούν τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Οι 24 αντιστροφείς θα συνδεθούν με 600 ΦΒ πλαίσια (20 συστοιχίες των 30 ΦΒ μονάδων συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους), ενώ οι 8 αντιστροφείς θα συνδεθούν με 570 ΦΒ πλαίσια (19 συστοιχίες των 30 ΦΒ μονάδων συνδεδεμένες παράλληλα).
- ❖ 4 ανεμογεννήτριες EWT-DW61 (900 kW) με συνολική χωρητικότητα 3,6 MW.
- ❖ Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με 2.235 συσσωρευτές LG Chem RESU10.
- ❖ Σύστημα μετατροπής ενέργειας με συνολική χωρητικότητα ίση με 2017 kW.
- ❖ 3 ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη diesel από το υπάρχον σύστημα: 1 MITSUBISHI S16R-PTA (1MW), 1 MTU 12V 4000G60 (700kW) και 1 CEGIELSKI 6AL20/24 (300kW).

## 10.2 Οικονομική ανάλυση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος

Οι παρακάτω Πίνακες 10.1 και 10.2 και τα Διαγράμματα 10.1 και 10.2 επεξηγούν αναλυτικά τη διαδικασία διαχωρισμού του συνολικού κόστους του συστήματος σε κατηγορίες ανάλογα με το είδος κόστους, για την εικοσαετία που διαρκεί η μελέτη καθώς και για κάθε έτος. Πιο συγκεκριμένα οι Πίνακες 10.1 και 10.2 αποτελούνται από 7 στήλες. Η πρώτη στήλη (Component) απαρτίζεται από τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος, ενώ οι υπόλοιπες από αριστερά προς τα δεξιά περιέχουν τα κόστη: αρχικού κεφαλαίου που είναι το κόστος εγκατάστασης των συστημάτων, αντικατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, καυσίμου, αξία απόσβεσης (Salvage) και το συνολικό ανά στοιχείο. Η στήλη “Salvage” υποδηλώνει την αξία του κάθε στοιχείου στο τέλος της μελέτης, η οποία ισούται με 482.163,55€, και είναι αποτέλεσμα της διάρκειας ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι 25 έτη. Οπότε αφού παρέλθει η εικοσαετία της μελέτης, τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα έχουν την παραπάνω αξία. Τέλος, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι οι συμβατικές μονάδες παρουσιάζουν μηδενικό κόστος εγκατάστασης και αντικατάστασης διότι ήδη υπήρχαν στο αυτόνομο σύστημα της Σύμης, και σε ενδεχόμενο ανεπανόρθωτης ζημιάς βρίσκονται σε εφεδρεία ακόμη 4 γεννήτριες MITSUBISHI , 1 MTU και 1 CEGIELSKI.

Πίνακας 10.1: Ανάλυση συνολικού κόστους, ανά είδος και στοιχείο [HOMER]

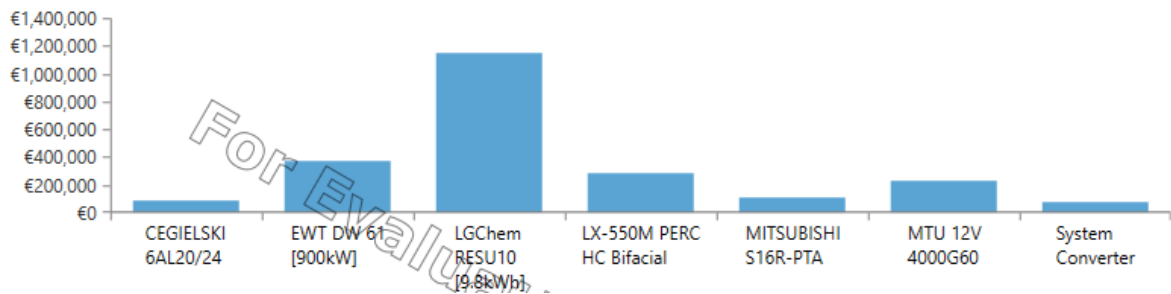
Component	Capital (€)	Replacement (€)	Operation (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
▷ CEGIELSKI 6AL20/24	€0.00	€0.00	€1,270,603.84	€114,247.89	€0.00	€1,384,851.73
▷ EWT DW 61 [900kW]	€3,800,000.00	€0.00	€1,823,091.82	€0.00	€0.00	€5,623,091.82
▷ LGChem RESU10 [9.8kWh]	€9,655,200.00	€7,343,568.22	€509,326.28	€0.00	€0.00	€17,508,094.50
▷ LX-550M PERC HC Bifacial	€4,167,471.71	€0.00	€633,140.34	€0.00	-€482,163.55	€4,318,448.50
▷ MITSUBISHI S16R-PTA	€0.00	€0.00	€26,850.50	€1,568,964.97	€0.00	€1,595,815.47
▷ MTU 12V 4000G60	€0.00	€0.00	€3,272,404.24	€264,362.59	€0.00	€3,536,766.83
▷ System Converter	€484,144.64	€0.00	€612,944.59	€0.00	€0.00	€1,097,089.23
System	€18,106,816.35	€7,343,568.22	€8,148,361.60	€1,947,575.46	-€482,163.55	€35,064,158.08



Διάγραμμα 10.1: Αντιπαραβολή του συνολικού κόστους των στοιχείων [HOMER]

Πίνακας 10.2: Ανάλυση ετήσιου κόστους ανά είδος και στοιχείο [HOMER]

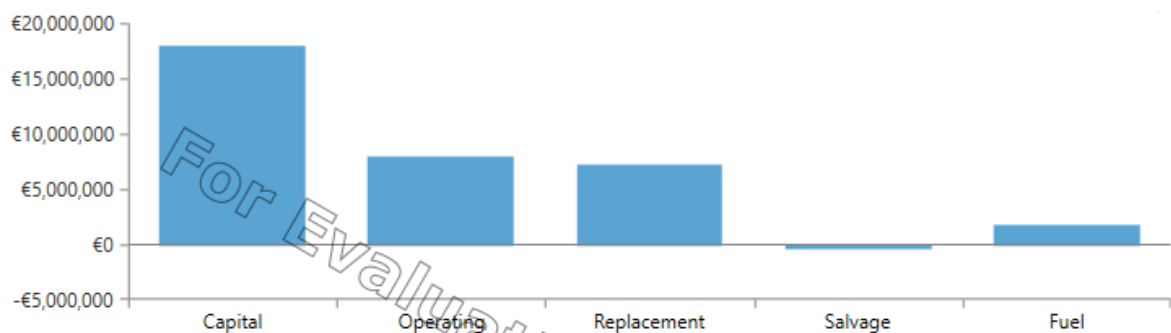
Component	Capital (€)	Replacement (€)	OSM (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
▷ CEGIELSKI 6AL20/24	€0.00	€0.00	€83,634.00	€7,520.05	€0.00	€91,154.05
▷ EWT DW 61 [900kW]	€250,124.54	€0.00	€120,000.00	€0.00	€0.00	€370,124.54
▷ LGChem RESU10 [9.8kWh]	€635,526.96	€483,370.16	€33,525.00	€0.00	€0.00	€1,152,422.12
▷ LX-550M PERC HC Bifacial	€274,312.35	€0.00	€41,674.72	€0.00	-€31,737.09	€284,249.98
▷ MITSUBISHI S16R-PTA	€0.00	€0.00	€1,767.36	€103,272.80	€0.00	€105,040.16
▷ MTU 12V 4000G60	€0.00	€0.00	€215,397.00	€17,400.94	€0.00	€232,797.94
▷ System Converter	€31,867.49	€0.00	€40,345.39	€0.00	€0.00	€72,212.88
System	€1,191,831.34	€483,370.16	€536,343.47	€128,193.79	-€31,737.09	€2,308,001.68



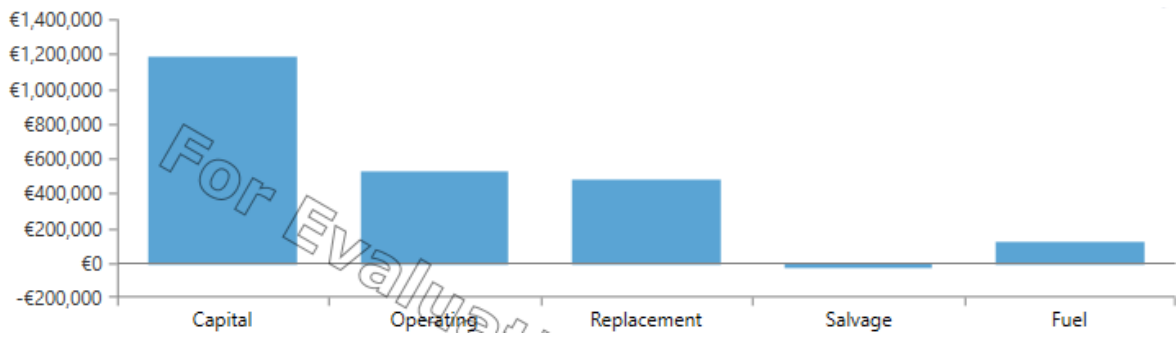
Διάγραμμα 10.2: Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου [HOMER]

Είναι προφανές ότι το μεγαλύτερο χρηματικό ποσό διατίθεται στους συσσωρευτές. Αυτό γίνεται διότι είναι το μόνο στοιχείο του συστήματος το οποίο χρειάζεται αντικατάσταση κατά τη διάρκεια της μελέτης, καθώς έχουν διάρκεια ζωής ίση με 10 έτη. Ακόμη, η αποθήκευση ενέργειας δεν είναι τόσο εξελιγμένη όσο οι υπόλοιπες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη μελέτη ενεργειακής αυτονομίας της Σύμης, με αποτέλεσμα να είναι πιο ακριβή. Τέλος, όσο μεγαλύτερη η διείσδυση των ΑΠΕ, τόσο αναγκαία είναι η αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας σε ένα σύστημα με αποτέλεσμα το λογισμικό να μοντελοποιεί υβριδικό σύστημα με εκτενή αριθμό μπαταριών.

Ακολουθούν τα Διαγράμματα 10.3 και 10.4 που παρουσιάζουν πως διαχωρίζεται το συνολικό κόστος ανά είδος στο NPC, αλλά και σε διάρκεια ενός έτους.

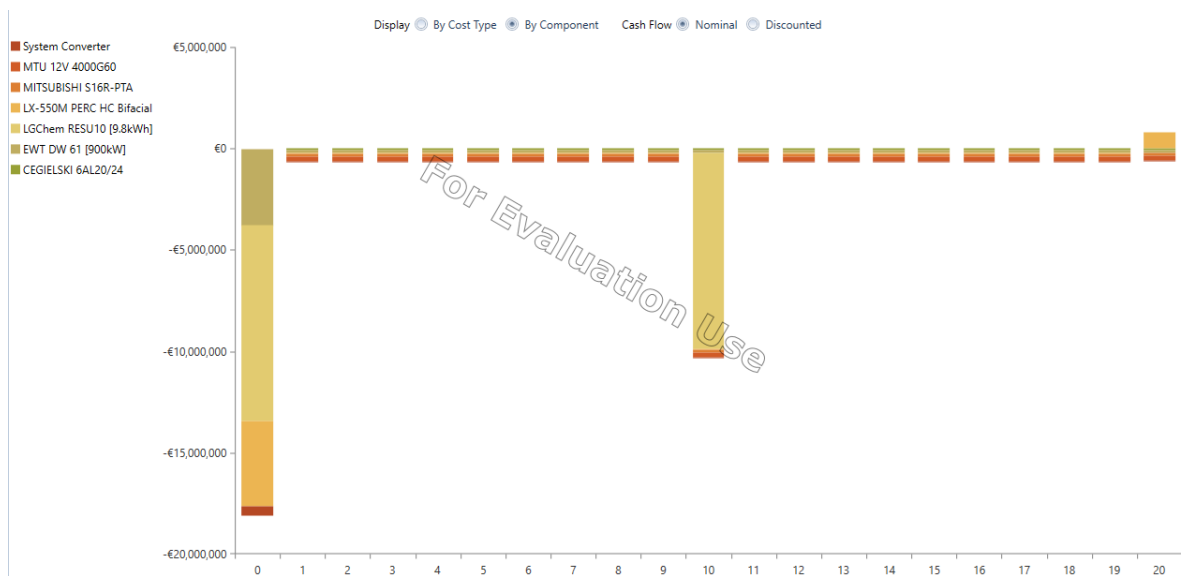


Διάγραμμα 10.3: Αντιπροβολή ειδών κόστους στο NPC [HOMER]

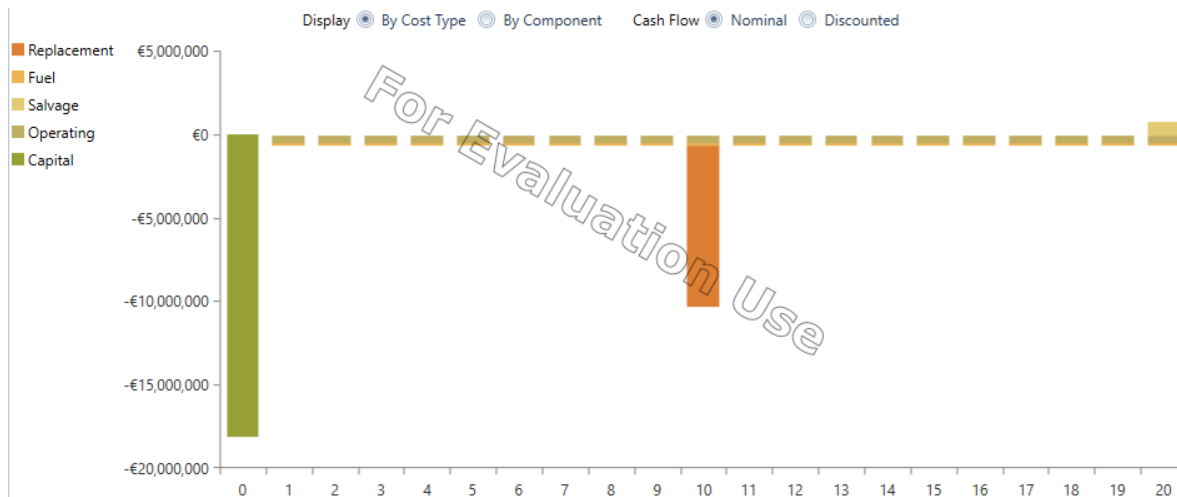


Διάγραμμα 10.4: Μερίδιο κάθε είδους κόστους στο NPC ανά έτος [HOMER]

Στη συνέχεια, τα Διαγράμματα 10.5 και 10.6 προβάλλουν τη ροή κόστους για τη περίοδο που διαρκεί η μελέτη, για κάθε στοιχείο που αποτελεί κομμάτι του υβριδικού συστήματος αλλά και για κάθε είδος κόστους.



Διάγραμμα 10.5: Ροή κόστους για κάθε στοιχείο του συστήματος [HOMER]



Διάγραμμα 10.6: Ροή κόστους για κάθε είδος κόστους του συστήματος [HOMER]

### 10.3 Λειτουργία συμβατικών μονάδων

Οι συμβατικές μονάδες που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του υβριδικού συστήματος είναι 1 MITSUBISHI S16R-PTA (1MW), 1 MTU 12V 4000G60 (700kW) και 1 CEGIELSKI 6AL20/24 (300kW). Για τη κάθε γεννήτρια παρατίθενται τρεις πίνακες και ένα διάγραμμα που περιέχουν αναλυτικά δεδομένα από τη λειτουργία τους στο σύστημα, ξεκινώντας από τη MITSUBISHI, έπειτα η MTU και στο τέλος η CEGIELSKI. Οι Πίνακες 10.3, 10.6 και 10.9 περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία της κάθε γεννήτριας όπως ο αριθμός των εκκινήσεων λειτουργίας τους σε διάστημα ενός έτους (Number of Starts), ο συντελεστής ισχύος, το ωριαίο κόστος λειτουργίας της γεννήτριας (Fixed Generation Cost) και το κόστος παραγωγής ανά kWh (Marginal Generation Cost). Ακόμη, οι Πίνακες 10.4, 10.7 και 10.10, παρουσιάζουν την κατανάλωση καυσίμου των πετρελαιογεννητριών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αναφερόμενοι στη συνολική ετήσια κατανάλωση πετρελαίου (Fuel Consumption) και στην ειδική κατανάλωση για την παραγωγή μίας κιλοβατώρας (Specific Fuel Consumption). Τέλος, οι Πίνακες 10.5, 10.8 και 10.11, προβάλλουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε μονάδας.

Πίνακας 10.3: Στοιχεία λειτουργίας μονάδας MITSUBISHI [HOMER]

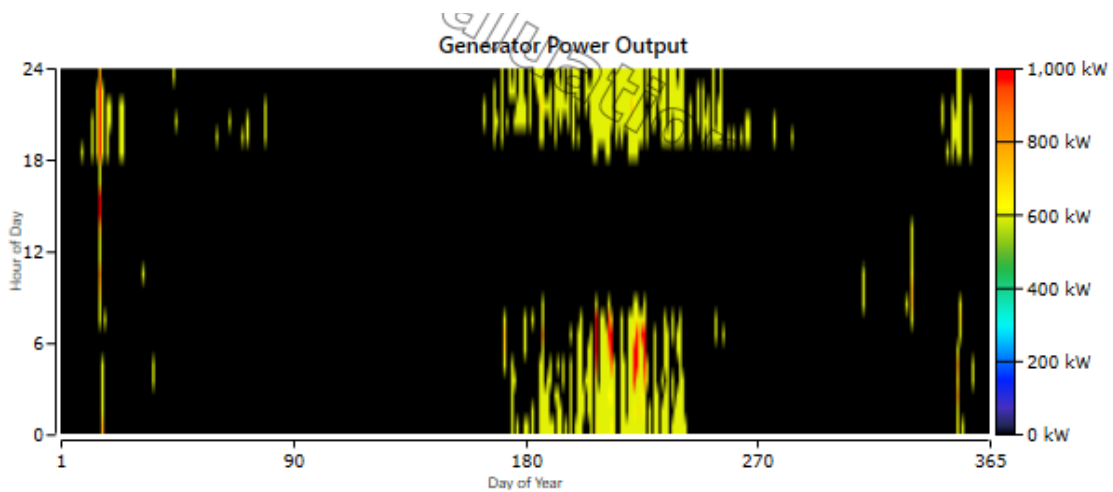
Quantity	Value	Units
Hours of Operation	672	hrs/yr
Number of Starts	143	starts/yr
Operational Life	22.3	yr
Capacity Factor	5.03	%
Fixed Generation Cost	13.5	€/hr
Marginal Generation Cost	0.218	€/kWh

Πίνακας 10.4: Κατανάλωση καυσίμου μονάδας MITSUBISHI [HOMER]

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	119,253	L
Specific Fuel Consumption	0.271	L/kWh
Fuel Energy Input	1,173,446	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	37.6	%

Πίνακας 10.5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας MITSUBISHI [HOMER]

Quantity	Value	Units
Electrical Production	440,775	kWh/yr
Mean Electrical Output	656	kW
Minimum Electrical Output	637	kW
Maximum Electrical Output	1,000	kW



Διάγραμμα 10.7: Ετήσια ωριαία παραγόμενη ισχύς της συμβατικής μονάδας MITSUBISHI [HOMER]

Πίνακας 10.6: Στοιχεία λειτουργίας μονάδας MTU [HOMER]

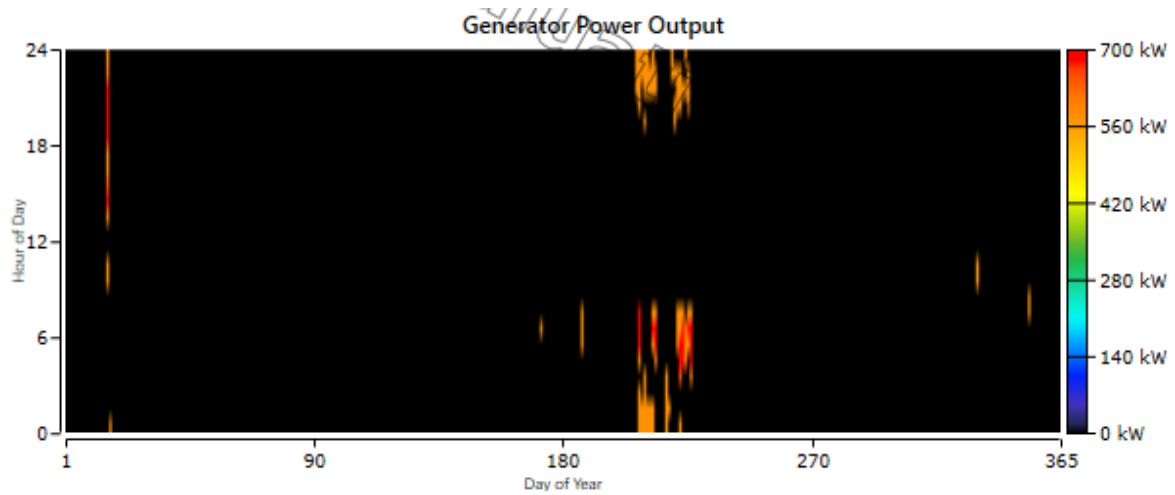
Quantity	Value	Units
Hours of Operation	117	hrs/yr
Number of Starts	37.0	starts/yr
Operational Life	128	yr
Capacity Factor	1.18	%
Fixed Generation Cost	1,853	€/hr
Marginal Generation Cost	0.221	€/kWh

Πίνακας 10.7: Κατανάλωση καυσίμου μονάδας MTU [HOMER]

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	20,093	L
Specific Fuel Consumption	0.278	L/kWh
Fuel Energy Input	197,720	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	36.6	%

Πίνακας 10.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας MTU [HOMER]

Quantity	Value	Units
Electrical Production	72,376	kWh/yr
Mean Electrical Output	619	kW
Minimum Electrical Output	600	kW
Maximum Electrical Output	700	kW



Διάγραμμα 10.8: Ετήσια ωριαία παραγόμενη ισχύς της συμβατικής μονάδας MTU [HOMER]

Πίνακας 10.9: Στοιχεία λειτουργίας μονάδας CEGIELSKI [HOMER]

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	106	hrs/yr
Number of Starts	56.0	starts/yr
Operational Life	142	yr
Capacity Factor	1.13	%
Fixed Generation Cost	797	€/hr
Marginal Generation Cost	0.225	€/kWh

Πίνακας 10.10: Κατανάλωση καυσίμου μονάδας CEGIELSKI [HOMER]

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	8,684	L
Specific Fuel Consumption	0.293	L/kWh
Fuel Energy Input	85,447	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	34.7	%

Πίνακας 10.11: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας CEGIELSKI [HOMER]

Quantity	Value	Units
Electrical Production	29,632	kWh/yr
Mean Electrical Output	280	kW
Minimum Electrical Output	275	kW
Maximum Electrical Output	300	kW



Διάγραμμα 10.9: Ετήσια ωριαία παραγόμενη ισχύς της συμβατικής μονάδας CEGIELSKI [HOMER]

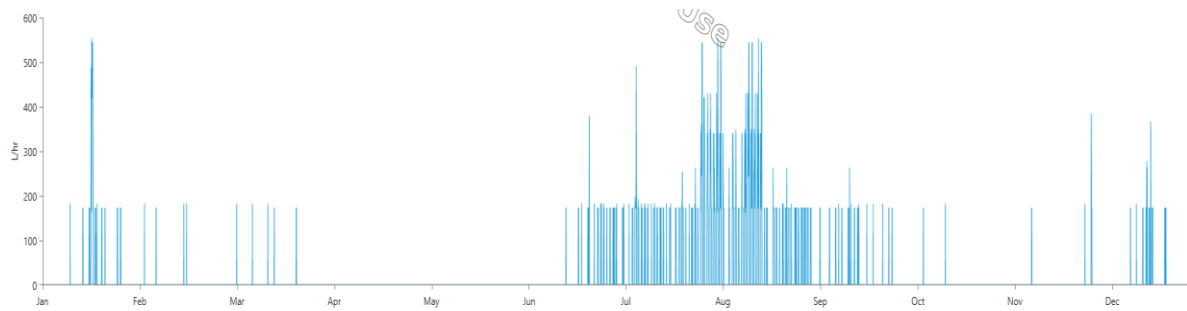
Παρατηρώντας τη μορφή των Διαγραμμάτων 10.7 - 10.9, διακρίνουμε ότι οι γεννήτριες λειτουργούν κυρίως τις ημέρες του καλοκαιριού, τις απογευματινές και βραδινές ώρες, στις οποίες η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη λόγω τουρισμού και η κάλυψή της είναι ακατόρθωτη αποκλειστικά από τις μονάδες ΑΠΕ που περιέχει το υβριδικό σύστημα. Επίσης, η γεννήτρια MITSUBISHI λειτουργεί και κάποιες βραδινές ώρες του χειμώνα στις οποίες υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας για θέρμανση των μόνιμων κατοίκων του νησιού.

Στον Πίνακα 10.12, αναφέρεται η συνολική κατανάλωση καυσίμου του συστήματος (Total fuel consumed) που είναι αποτέλεσμα του αθροίσματος των επιμέρους καταναλώσεων των γεννητριών. Επίσης, παραθέτει τις μέσες καταναλώσεις καυσίμου ανά ημέρα (Avg fuel per day) και ώρα (Avg fuel per hour).

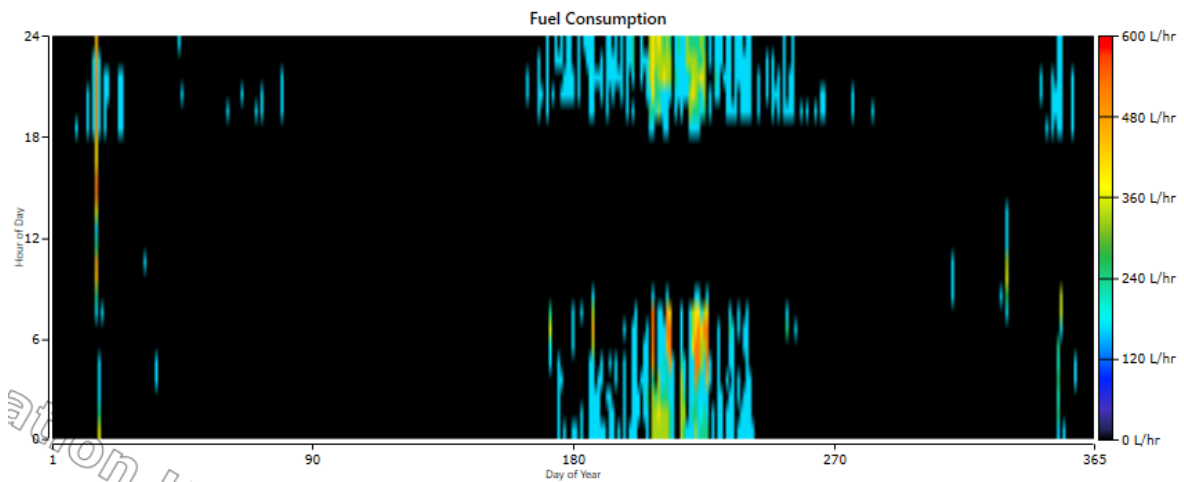
Πίνακας 10.12: Συγκεντρωτικά στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου από τις συμβατικές μονάδες στο υβριδικό σύστημα [HOMER]

Quantity	Value	Units
Total fuel consumed	148,030	L
Avg fuel per day	406	L/day
Avg fuel per hour	16.9	L/hour

Αντίστοιχα, τα Διαγράμματα 10.10, 10.11, απεικονίζουν αναλυτικότερα την κατανάλωση καυσίμου του συστήματος σε λίτρα ανά ώρα, σε διάστημα ενός έτους, επιβεβαιώνοντας την προηγούμενη παρατήρηση, αναφορικά με την κατακόρυφη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου τη θερινή περίοδο του έτους.



Διάγραμμα 10.10: Ωριαία κατανάλωση πετρελαίου των συμβατικών μονάδων σε μηνιαία κλίμακα [HOMER]



Διάγραμμα 10.11: Ωριαία κατανάλωση πετρελαίου των συμβατικών μονάδων σε ετήσια βάση [HOMER]

## 10.4 Λειτουργία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Το HOMER συνιστά μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με συνολική ισχύ 10.419 kW. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια LX-550MPERC HC Bifacial, τα οποία θα στηρίζονται από σταθερές βάσεις, αντιστροφείς SG350HX οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος των πλαισίων σε εναλλασσόμενο με σκοπό την απόδοσή του στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού και κανάλια καλωδιώσεων για τη σύνδεση της εγκατάστασης. Στους Πίνακες 10.13 και 10.14 που ακολουθούν εκτίθενται ορισμένες ενδιαφέρουσες πληροφορίες όπως για παράδειγμα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του πάρκου (Rated Capacity), η μέση παραγωγή ισχύος (Mean Output) σε kW, η μέση ημερήσια ηλεκτροπαραγωγή (Mean Output σε kWh/d). Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι ο παράγοντας χωρητικότητας (Capacity Factor) που είναι το αποτέλεσμα της διαίρεσης της μέσης παραγωγής ισχύος προς τη συνολική ικανότητα παραγωγής της. Παράλληλα, διατίθεται το συνολικό νούμερο της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής (Total Production) και το κόστος για κάθε kWh που παράγει (Levelized Cost), το οποίο είναι εξαιρετικά χαμηλό (0,015 €/kWh), σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες, στις οποίες κυμαίνεται στα 0,22€. Άρα πέρα από φιλικότερη προς το περιβάλλον, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποδεικνύεται σημαντικά οικονομικότερη από την ηλεκτροπαραγωγή με γεννήτριες πετρελαίου, που μέχρι σήμερα αποτελεί το μόνο σύστημα παραγωγής ενέργειας του νησιού.

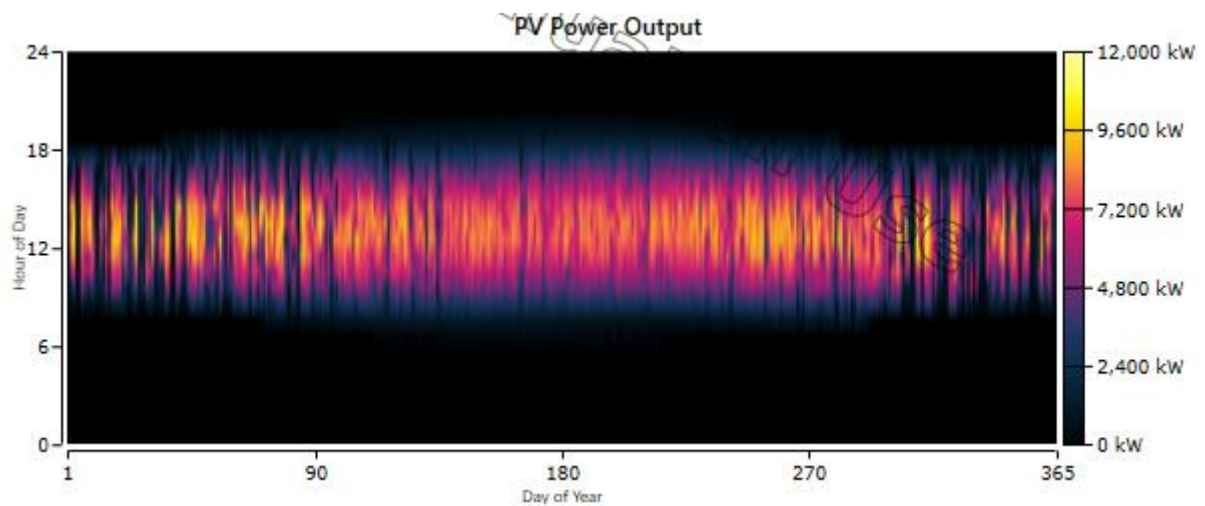
Πίνακας 10.13: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση [HOMER]

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	10,419	kW
Mean Output	2,149	kW
Mean Output	51,577	kWh/d
Capacity Factor	20.6	%
Total Production	18,825,480	kWh/yr

Πίνακας 10.14: Λειτουργία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης [HOMER]

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	10,504	kW
PV Penetration	133	%
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Levelized Cost	0.0151	€/kWh
Clipped production	0	kWh

Στη συνέχεια παρατίθεται το Διάγραμμα 10.12, το οποίο αντικατοπτρίζει την ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους. Είναι ήδη γνωστό πως οι φωτοβολταϊκές μονάδες παράγουν ενέργεια μόλις ανατείλει μέχρι να δύσει ο ήλιος, κάτι το οποίο γίνεται αντιληπτό και από το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 10.12: Ωριαία παραγόμενη ισχύς της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε ετήσια κλίμακα [HOMER]

## 10.5 Λειτουργία αιολικού πάρκου

Το βέλτιστο υβριδικό σύστημα που προτείνει το λογισμικό αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες EWT DW61 με ονομαστική ισχύ 900 kW. Στον Πίνακα 10.15 που ακολουθεί εκθέτονται πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται η συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα (Total Rated Capacity) του αιολικού πάρκου και η παραγωγή ενέργειας σε χρονικό διάστημα ενός

έτους (Total Production). Παράλληλα στον πίνακα παρατίθενται η μέση ισχύς παραγωγής (Mean Output) και ο παράγοντας χωρητικότητας (Capacity Factor), ο οποίος είναι το αποτέλεσμα της διαίρεσης:  $\frac{Mean\ Output}{Total\ Rated\ Capacity} = \frac{1.608\ kW}{3.600\ kW} \approx 0,447 = 44,7\%$ .

Πίνακας 10.15: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου [HOMER]

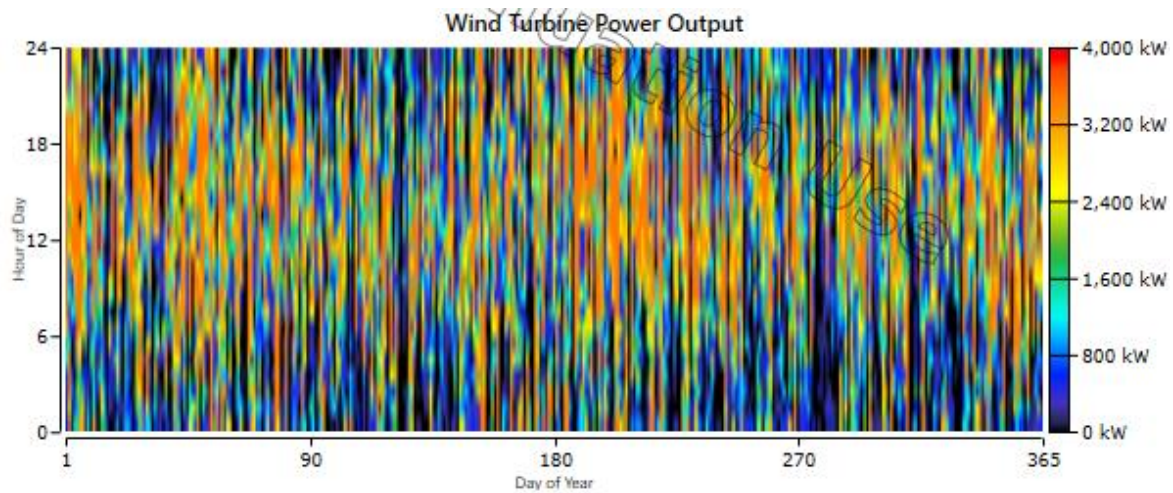
Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	3,600	kW
Mean Output	1,608	kW
Capacity Factor	44.7	%
Total Production	14,082,666	kWh/yr

Επιπλέον, στον Πίνακα 10.16, παρουσιάζεται η λειτουργία των ανεμογεννητριών. Αντίστοιχα με τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, το αιολικό πάρκο διαθέτει εξαιρετικά μικρό κόστος για κάθε kWh που παράγει (Levelized Cost).

Πίνακας 10.16: Λειτουργία αιολικού πάρκου [HOMER]

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	3,600	kW
Wind Penetration	99.4	%
Hours of Operation	8,293	hrs/yr
Levelized Cost	0.0263	€/kWh

Το Διάγραμμα 10.13 αντικατοπτρίζει την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος από το αιολικό πάρκο καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους. Εύκολα διακρίνουμε ότι αρκετές ώρες του χρόνου η παραγωγή είναι πολύ υψηλή.



Διάγραμμα 10.13: Ωριαία παραγόμενη ισχύς από το αιολικό πάρκο σε ετήσια κλίμακα [HOMER]

## 10.6 Λειτουργία συστήματος αποθήκευσης

Το υβριδικό σύστημα θα περιέχει σύστημα αποθήκευσης με 2235 συσσωρευτές τύπου LG Chem RESU 10 (9.8kWh). Ο Πίνακας 10.17 που ακολουθεί μας πληροφορεί για το πλήθος των συσσωρευτών, οι οποίοι συνδέονται παράλληλα καθώς κάθε συστοιχία περιέχει ένα συσσωρευτή (String Size) ενώ στο σύνολο έχουμε 2235 συστοιχίες (Strings in Parallel). Η τάση του συστήματος (Bus Voltage) απορρέει από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας και είναι ίση με 48V.

Πίνακας 10.17: Αρχιτεκτονική του συστήματος αποθήκευσης [HOMER]

Quantity	Value	Units
Batteries	2,235	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	2,235	strings
Bus Voltage	48.0	V

Στη συνέχεια, ο Πίνακας 10.18 παραθέτει ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης. Ειδικότερα, αναφέρεται η αυτονομία του σε ώρες (Autonomy). Η αυτονομία προκύπτει διαιρώντας την αξιοποιήσιμη ονομαστική του χωρητικότητα (Usable Nominal Capacity) με το μέσο ζητούμενο φορτίο. Στη συνέχεια

αναγράφεται το κόστος για κάθε kWh που παράγει (Storage Wear Cost) που είναι αρκετά χαμηλότερο από αυτό των συμβατικών μονάδων. Τέλος, αποτυπώνεται η συνολική ενέργεια που δύναται να αποθηκευτεί στο σύστημα (Lifetime Throughput) κατά το χρονικό διάστημα λειτουργίας των συσσωρευτών (Expected Life).

Πίνακας 10.18: Λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης [HOMER]

Quantity	Value	Units
Autonomy	11.3	hr
Storage Wear Cost	0.148	€/kWh
Nominal Capacity	20,276	kWh
Usable Nominal Capacity	18,208	kWh
Lifetime Throughput	29,127,966	kWh
Expected Life	10.0	yr

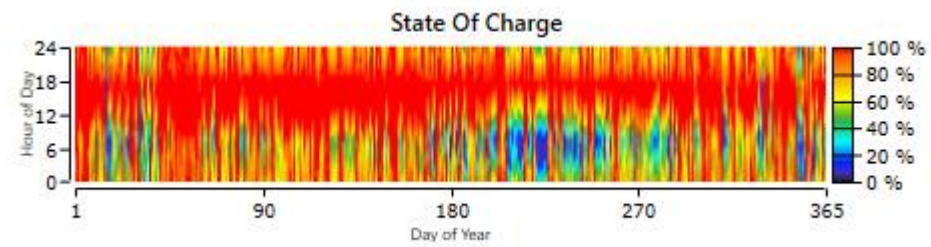
Ο τελευταίος Πίνακας 10.19, περιλαμβάνει την ετήσια ποσότητα της ενέργειας που εισάγεται (Energy in) και εξάγεται (Energy Out) στο σύστημα όταν φορτίζονται και εκφορτίζονται αντίστοιχα. Ας υπενθυμίσουμε ότι το μοντέλο συσσωρευτή που χρησιμοποιείται στο σύστημα έχει απόδοση 95%, κάτι που επιβεβαιώνεται εάν διαιρέσουμε την ποσότητα της ενέργειας που εξάγεται από το σύστημα αποθήκευσης (2.839.043 kWh/yr) με αυτήν που εισάγεται σε αυτό (2.988.466 kWh/yr). Ακόμη, παρουσιάζει τη διαφορά του ποσού της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στους συσσωρευτές από την αρχή έως το τέλος ενός χρόνου (Storage Depletion), οι ετήσιες απώλειες (Losses) αλλά και η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στο σύστημα κατά τη διάρκεια ενός έτους (Annual Throughput).

Πίνακας 10.19: Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που διαχειρίζεται το σύστημα αποθήκευσης [HOMER]

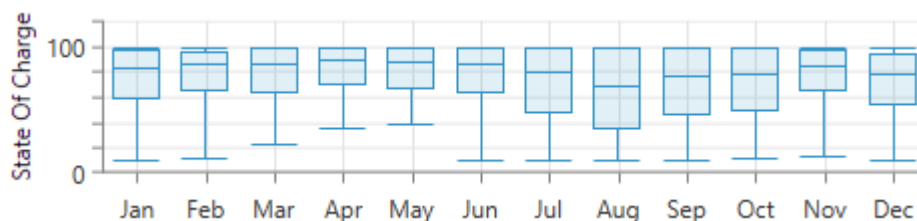
Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	€/kWh
Energy In	2,988,466	kWh/yr
Energy Out	2,839,043	kWh/yr
Storage Depletion	0	kWh/yr
Losses	149,423	kWh/yr
Annual Throughput	2,912,797	kWh/yr

Στα Διαγράμματα 10.14 και 10.15 που έπονται αντικατοπτρίζεται η κατάσταση του ποσοστού φόρτισης των μπαταριών. Αναλυτικότερα, στο Διάγραμμα 10.14 φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι συσσωρευτές είναι ιδιαίτερα φορτισμένοι σε όλο το έτος. Έτσι αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ στο υβριδικό σύστημα.

Επιπλέον, αυτά τα διαγράμματα φανερώνουν πως το ποσοστό φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης είναι χαμηλότερο τους χειμερινούς μήνες και τους μήνες του θερινού τουρισμού συγκριτικά με τους υπόλοιπους. Αυτό οφείλεται στο ότι το χειμώνα η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά είναι περιορισμένη, λόγω των άσχημων καιρικών συνθηκών αλλά και λόγω της μικρότερης διάρκειας της ημέρας, ενώ το καλοκαίρι η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται κατακόρυφα με αποτέλεσμα την εκφόρτιση των συσσωρευτών για να μπορέσει το σύστημα να τις ικανοποιήσει. Ωστόσο το ποσοστό φόρτισης είναι συνεχώς ανώτερο του 10,2%, το οποίο είναι το ελάχιστο ποσοστό φόρτισης ορισμένο από την εταιρεία κατασκευής. Στο Διάγραμμα 10.15 προβάλλεται η διακύμανση του ποσοστού της μηνιαίας κατάστασης φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης σε διάφορα σημαντικά σημεία.



Διάγραμμα 10.14: Διακύμανση της ετήσιας ωριαίας κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών [HOMER]



Διάγραμμα 10.15: Αναπαράσταση της μηνιαίας κατάστασης φόρτισης των συσσωρευτών (ελάχιστη, μέση ημερήσια ελάχιστη, μέση, μέση ημερήσια μέγιστη, μέγιστη) [HOMER]

Τέλος, στο Διάγραμμα 10.16 επαληθεύεται η παρατήρηση για υψηλή φόρτιση των συσσωρευτών, διότι κατά την πλειονότητα της λειτουργίας τους φορτίζονται σε ποσοστό που ξεπερνάει το 64%.



Διάγραμμα 10.16: Η συχνότητα φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης και το ποσοστό αυτής της φόρτισης [HOMER]

## 10.7 Λειτουργία μετατροπέων

Για τη δημιουργία του προτεινόμενου συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε τους υβριδικούς μετατροπείς Solis RHI-6K-48ES-5G, συνολικής χωρητικότητας (Capacity) 2.017 kW. Θα έχουν διπλό ρόλο στη λειτουργία του συστήματος, ως αντιστροφείς (inverter) και ανορθωτές (rectifier). Στους Πίνακες 10.20 και 10.21 αναπαρίστανται βασικές πληροφορίες αναφορικά με τη λειτουργία των μετατροπέων. Ο Πίνακας 10.20 παραθέτει πληροφορίες για την χωρητικότητα του συστήματος (Capacity), τη μέση έξοδο (Mean Output), την ελάχιστη (Minimum Output) και μέγιστη (Maximum Output) έξοδο, οι οποίες ισούνται με 0 και με τη συνολική χωρητικότητα αντίστοιχα, καθώς και τον συντελεστή χωρητικότητας (Capacity Factor).

Πίνακας 10.20: Χωρητικότητα μετατροπέων [HOMER]

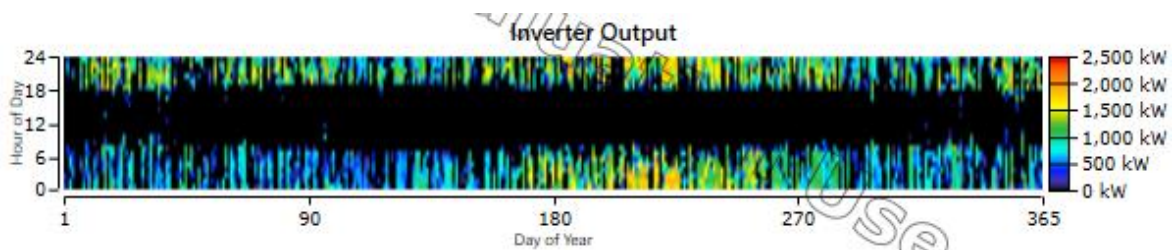
Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	2,017	2,017	kW
Mean Output	314	341	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	2,017	2,017	kW
Capacity Factor	15.6	16.9	%

Ο Πίνακας 10.21 αποτυπώνει στοιχεία αναφορικά με τη λειτουργία των μετατροπέων (Hours of Operation), την ετήσια ποσότητα της ενέργειας που εισέρχεται (Energy in) και εξέρχεται (Energy Out) στο σύστημα. Διαιρώντας την ενέργεια που αποδίδουν οι μετατροπείς (2.748.194 kWh ως αντιστροφείς και 2.988.466 kWh ως ανορθωτές) προς αυτή που καταναλώνουν (2.839.043 kWh ως αντιστροφείς και 3.087.259 kWh ως ανορθωτές), επαληθεύεται η απόδοση που δίνει ο κατασκευαστής του ίση με 96,8%. Τέλος, ο Πίνακας 10.21 αναφέρει και τις απώλειες (Losses) των μετατροπέων, οι οποίες ισούνται με το πλεόνασμα της ενέργειας εισόδου που δεν μετατρέπεται σε ενέργεια εξόδου.

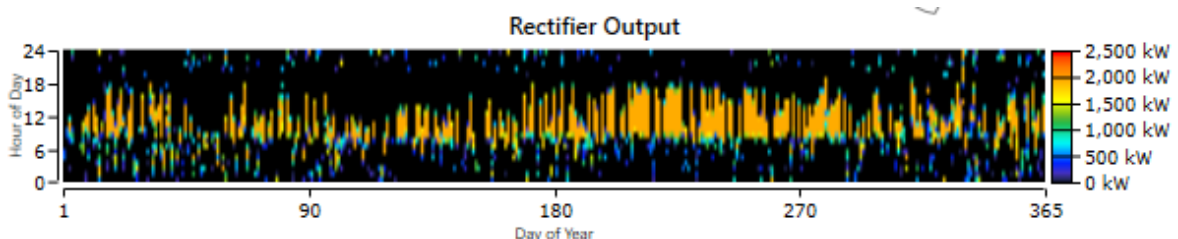
Πίνακας 10.21: Λειτουργία και ενέργεια που διαχειρίζονται οι μετατροπείς [HOMER]

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	3,102	2,199	hrs/yr
Energy Out	2,748,194	2,988,466	kWh/yr
Energy In	2,839,043	3,087,259	kWh/yr
Losses	90,849	98,792	kWh/yr

Στα Διαγράμματα 10.17 και 10.18 αναπαρίστανται η ισχύς εξόδου των μετατροπέων όταν λειτουργούν ως αντιστροφείς (inverter) και ανορθωτές (rectifier) αντίστοιχα.



Διάγραμμα 10.17: Διακύμανση της ωριαίας ισχύος εξόδου του αντιστροφέα κατά τη διάρκεια ενός έτους [HOMER]



Διάγραμμα 10.18: Διακύμανση της ωριαίας ισχύος εξόδου του ανορθωτή κατά τη διάρκεια ενός έτους [HOMER]

Σύμφωνα με το Υποκεφάλαιο 8.2, ο αντιστροφέας είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, σε αντίθεση με τον ανορθωτή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Συνεπώς έχουν αντίστροφους ρόλους σε ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα παραπάνω διαγράμματα επιβεβαιώνουν αυτή την παρατήρηση, καθώς οι μορφές τους είναι συμπληρωματικές. Ο αντιστροφέας συντελεί στη διαδικασία εκφόρτισης των συσσωρευτών, ενώ ο ανορθωτής στη διαδικασία φόρτισής τους.

Η χρήση του αντιστροφέα σύμφωνα με το Διάγραμμα 10.17 πραγματοποιείται από τις 18:00 έως τις 6:00 της ακόλουθης ημέρας. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε εκείνη τη χρονική περίοδο δεν είναι ικανή να παράξει ισχύ και το ηλεκτρικό φορτίο τροφοδοτείται από τις ανεμογεννήτριες και το σύστημα αποθήκευσης, ενώ σε μικρό βαθμό συμβάλλουν και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Ωστόσο, τους καλοκαιρινούς μήνες κατά τους οποίους ο τουρισμός προκαλεί ραγδαία αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου, ο αντιστροφέας λειτουργεί σε υψηλές τιμές ισχύος, με στόχο την κάλυψη των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων. Παράλληλα, σε αυτή τη διαδικασία εκφορτίζονται οι συσσωρευτές.

Σχετικά με το Διάγραμμα 10.18, ο ανορθωτής λειτουργεί συχνότερα και σε μεγαλύτερες τιμές ισχύος από το Μάιο έως τον Οκτώβρη, από τις 6:00 μέχρι τις 18:00, συμπληρώνοντας έτσι το Διάγραμμα 10.17. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, οι καιρικές συνθήκες ευνοούν την ηλεκτροπαραγωγή με χρήση των ανεμογεννητριών και της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. καθώς τους υπόλοιπους μήνες παρατηρούνται πιο συχνά φαινόμενα νεφώσεων και βροχοπτώσεων, ενώ τις υπόλοιπες ώρες δεν υπάρχει ηλιοφάνεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό πάρκο. Επομένως, ο ανορθωτής λειτουργεί τα χρονικά διαστήματα που υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας στο σύστημα, το οποίο αποθηκεύσει στους συσσωρευτές φορτίζοντάς τους.

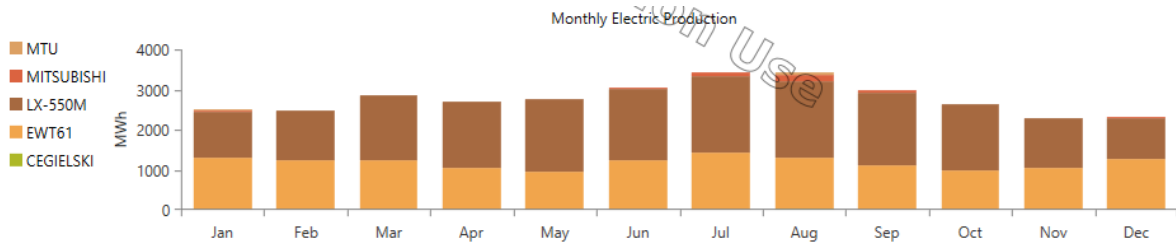
## **10.8 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος**

Ο Πίνακας 10.22 παραθέτει την παραγωγή του κάθε στοιχείου του συστήματος σε kWh ανά έτος και σε ποσοστό της συνολικής παραγωγής. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι για το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής είναι υπεύθυνες οι φωτοβολταϊκές μονάδες και οι ανεμογεννήτριες, ενώ μόλις το 1,6246% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας απορρέει από τις πετρελαιογεννήτριες, οι οποίες λειτουργούν επικουρικά, κυρίως τη θερινή περίοδο όπου παρατηρείται έντονη αύξηση της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 10.22: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά στοιχείο του συστήματος  
[HOMER]

Production	kWh/yr	%
LX-550M PERC HC Bifacial	18,825,480	56.3
MITSUBISHI S16R-PTA	440,775	1.32
CEGIELSKI 6AL20/24	29,632	0.0886
MTU 12V 4000G60	72,376	0.216
EWT DW 61 [900kW]	14,082,666	42.1
Total	33,450,929	100

Αντίστοιχα στο Διάγραμμα 10.19, απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος, με διαφορετικό χρώμα για κάθε στοιχείο. Πάλι ξεχωρίζει η παραγωγή που προέρχεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες και τις ανεμογεννήτριες.



Διάγραμμα 10.19: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά στοιχείο του συστήματος  
[HOMER]

Στη συνέχεια, ο Πίνακας 10.23 αντικατοπτρίζει το ποσοστό της περίσσειας ενέργειας που παρήγαγε το σύστημα (Excess Electricity), το φορτίο που δεν κατάφερε να τροφοδοτήσει (Unmet Electric Load) και την έλλειψη χωρητικότητας του (Capacity Shortage) κατά τη διάρκεια της μελέτης σε kWh ανά έτος και σε ποσοστό της συνολικής παραγωγής. Παρατηρούμε ότι το ποσοστό του φορτίου που ήταν ανίκανο να τροφοδοτήσει είναι μικρότερο του 0,05%, ένα πολύ μικρό ποσοστό, που σημαίνει ότι το υβριδικό σύστημα είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 10.23: Περίσσεια ενέργειας, ανεκπλήρωτο φορτίο, έλλειψη χωρητικότητας του συστήματος [HOMER]

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	18,944,913	56.6
Unmet Electric Load	6,290	0.0444
Capacity Shortage	13,867	0.0978

Στο Υποκεφάλαιο 10.1 αναφέραμε ότι το ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα είναι ίσο με 96,2%. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Πίνακα 10.22, είναι εύκολο να βγει το συμπέρασμα ότι το προηγούμενο ποσοστό ισούται με 98,4% (56,3% + 42,1%). Αυτή η διαφορά προκύπτει από το γεγονός ότι ο Πίνακας 10.22 καταγράφει τις τιμές της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε στοιχείου, αγνοώντας τις απώλειες που πηγάζουν από τη χρήση του συστήματος αποθήκευσης και των μετατροπέων. Το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ προκύπτει από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\text{Διείσδυση} = 1 - \frac{\text{Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες}}{\text{Συνολικό απαιτούμενο φορτίο}}$$

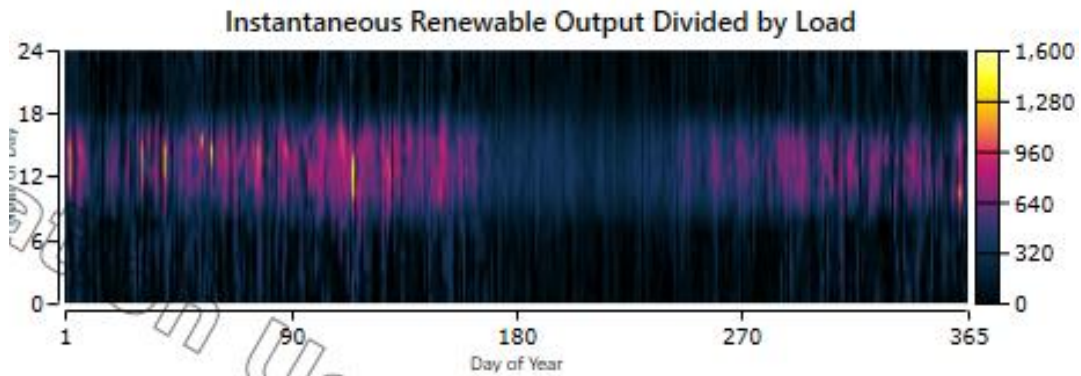
Ο Πίνακας 10.24 παραθέτει το κλάσμα της διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα, το ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής που προέχεται από ΑΠΕ, και το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ διαιρούμενο με το συνολικό απαιτούμενο φορτίο.

Πίνακας 10.24: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ΑΠΕ [HOMER]

Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	232	%
Total renewable production divided by generation	98.4	%
One minus total nonrenewable production divided by load	96.2	%

Τα παρακάτω Διαγράμματα 10.20, 10.21 και 10.22 αντικατοπτρίζουν τις μεταβολές των τιμών που αναφέρει ο Πίνακας 10.24. Στο Διάγραμμα 10.20 προβάλλεται η στιγμιαία ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ και διαιρείται με το απαιτούμενο φορτίο του νησιού. Οι υψηλότερες τιμές του διαγράμματος παρατηρούνται τις ώρες που υπάρχει ηλιοφάνεια οδηγώντας σε υψηλή παραγωγή από τις φωτοβολταϊκές μονάδες. Η μόνη

διαφοροποίηση που παρατηρείται είναι τους θερινούς μήνες, όπου αυτό το κλάσμα έχει μικρότερες τιμές εξαιτίας της αύξησης του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου, το οποίο σύμφωνα με τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τον ΔΕΔΔΗΕ μεγιστοποιείται την καλοκαιρινή περίοδο.

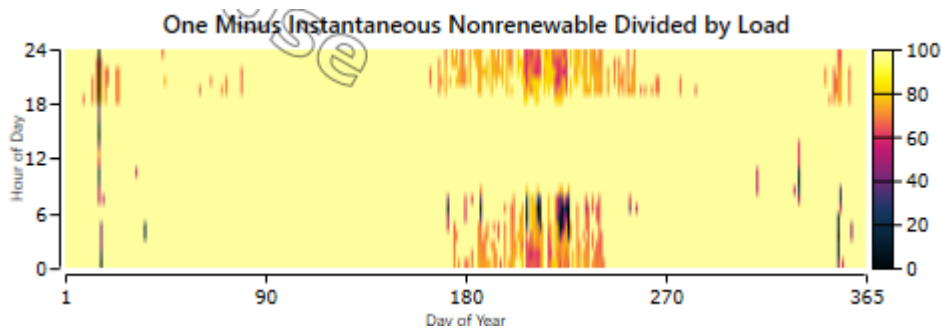


Διάγραμμα 10.20: Ωριαία αναπαράσταση της στιγμιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που διαιρείται με το στιγμιαίο ηλεκτρικό φορτίο κατά τη διάρκεια ενός έτους [HOMER]

Έπειτα, ακολουθούν τα Διαγράμματα 10.21 και 10.22 τα οποία είναι παραπλήσια διότι το ποσοστό της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ και αυτό της διείσδυσής τους έχουν ελάχιστη απόκλιση. Στο Διάγραμμα 10.22 αναπαρίσταται το στιγμιαίο ποσοστό της διείσδυσης των ΑΠΕ για ένα έτος. Τα σημεία με πιο σκούρο χρώμα που υποδεικνύουν χαμηλότερο ποσοστό διείσδυσης, ταυτίζονται με τις χρονικές περιόδους που λειτουργούν οι πετρελαιογεννήτριες για να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό το υβριδικό σύστημα να ανταποκριθεί στην ενισχυμένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι το Διάγραμμα 10.22 έχει πανομοιότυπη μορφή με το Διάγραμμα 10.11 που σχετίζεται με την κατανάλωση πετρελαίου από τις συμβατικές μονάδες του συστήματος, καθώς οι χρονικές στιγμές λειτουργίας των γεννητριών συνεπάγονται κατανάλωση πετρελαίου στο υβριδικό σύστημα.



Διάγραμμα 10.21: Ωριαία αναπαράσταση της στιγμιαίας ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ που διαιρείται με τη συνολική στιγμιαία ηλεκτροπαραγωγή κατά τη διάρκεια ενός έτους [HOMER]



Διάγραμμα 10.22: Ωριαία αναπαράσταση της διαφοράς του αριθμού 1, με τη στιγμιαία ηλεκτροπαραγωγή από τις πετρελαιογεννήτριες που διαιρείται με το στιγμιαίο ζητούμενο φορτίο σε ετήσια βάση [HOMER]

## 10.9 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Το περιβάλλον είναι αναγκαίο για την επιβίωση της ανθρωπότητας. Ωστόσο, οι ανθρώπινες ενέργειες όπως η ρύπανση και η υπερβολική χρήση των φυσικών πόρων ασκούν τεράστια πίεση στο περιβάλλον, οδηγώντας σε καταστροφικές συνέπειες όπως η κλιματική αλλαγή. Ως εκ τούτου, η προστασία του περιβάλλοντος είναι κρίσιμη για τη μακροπρόθεσμη ευημερία της ανθρωπότητας.

Σε αυτήν στοχεύει και το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα, μειώνοντας στο ελάχιστο την παραγωγή από συμβατικές μονάδες, σε ποσοστό 3,8%. Η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου αγγίζει τα 148.030 λίτρα, πολύ μικρότερη από την σημερινή κατανάλωση που η ηλεκτροπαραγωγή στηρίζεται αποκλειστικά σε συμβατικές μονάδες. Ως αποτέλεσμα, οι

εκλυόμενοι ρύποι στο περιβάλλον που παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.25, είναι σημαντικά μειωμένοι χάρη στο υβριδικό σύστημα.

Πίνακας 10.25: Ετήσιες εκπομπές ρύπων του υβριδικού συστήματος [HOMER]

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	388,110	kg/yr
Carbon Monoxide	2,045	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	107	kg/yr
Particulate Matter	16.8	kg/yr
Sulfur Dioxide	949	kg/yr
Nitrogen Oxides	375	kg/yr

### 10.10 Αξιολόγηση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος

Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από συνολικό καθαρό κόστος 35.064.158,08€ και ποσοστό διείδυσης ΑΠΕ 96,2%. Το εν λόγω ποσοστό κρίνεται κάτι παραπάνω από ικανοποιητικό, καθώς πετυχαίνει την αντικατάσταση των πόρων που προσφέρουν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πετρέλαιο σε καθαρές πηγές, σε πολύ μεγάλο βαθμό. Το ερώτημα που απομένει αφορά το εάν η οικονομική επένδυση για τη διαμόρφωση του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος είναι βιώσιμη σε βάθος εικοσαετίας

Σύμφωνα με τη μελέτη του ΔΕΔΔΗΕ, το μέσο ετήσιο μεταβλητό κόστος των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών του υφιστάμενου συστήματος της Σύμης του 2021, συμπεριλαμβάνοντας το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και το κόστος καυσίμου, αγγίζει τα 236,64€/MWh. Επίσης, η συνολική ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το ίδιο έτος ανήλθε στις 14.178,12 MWh. Ως αποτέλεσμα, το ετήσιο κόστος για να μπορέσει το σύστημα ανταποκριθεί στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται παρακάτω:

$$\text{Κόστος (2021)} = \text{Μέσο μεταβλητό κόστος (2021)} * \text{Ζήτηση ενέργειας (2021)} = 236,64 * 14.178,12 = 3.355.110,3168\text{€}.$$

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του ΔΕΔΔΗΕ, η ζήτηση φορτίου στο νησί θα είναι αυξανόμενη και κυμαίνεται από 15.463 MWh το 2023 έως 16.410 το 2026. Επειδή οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου, κάτι που

επιβεβαιώνεται και από τις εκτιμήσεις του ΔΕΔΔΗΕ, για το διάστημα της εικοσαετίας θέτουμε μία μέση ετήσια ζήτηση της τάξης των 17.000 MWh. Επιπλέον, θεωρούμε ότι το κόστος καυσίμου και το μέσο μεταβλητό κόστος των πετρελαιογεννητριών θα παραμείνουν σε πανομοιότυπες τιμές. Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζεται ότι το συνολικό κόστος για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες της Σύμης σε βάθος εικοσαετίας από το υπάρχον σύστημα ανέρχεται στα 80.457.600€. Αντίστοιχα, το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα κοστίζει μόλις 35.064.158,08€ σε σύγκριση με το υφιστάμενο, ενώ εξοικονομούνται 45.393.441,92€.

Ως επακόλουθο, η συγκρότηση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος κρίνεται ζωτικής σημασίας, διότι συνεισφέρει στην προστασία του περιβάλλοντος και εξοικονομεί ένα τεράστιο χρηματικό ποσό.

## Κεφάλαιο 11

### Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την τεχνοοικονομική μελέτη του υβριδικού συστήματος ενέργειας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μετάβαση στην εποχή της καθαρής ενέργειας δεν αποτελεί απλώς έναν ιδεαλιστικό στόχο, αλλά είναι επίσης οικονομικά επωφέλης. Αποδεικνύεται ότι πέρα από τους σημαντικούς περιβαλλοντικούς λόγους, υπάρχουν και οικονομικοί λόγοι που αποτελούν κίνητρο για την εφαρμογή μιας πράσινης ενεργειακής πολιτικής στην Ευρώπη. Επιτυγχάνονται παράλληλα οι στόχοι του ΕΣΕΚ, οι οποίοι περιλαμβάνουν την ενεργειακή ανεξαρτησία, την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος.

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος είναι μόλις 43,58% σε σύγκριση με το υφιστάμενο σύστημα. Η παραπάνω εξοικονόμηση οφείλεται στο γεγονός ότι η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση έχει κόστος ανά παραγόμενη κιλοβατώρα που είναι εξαιρετικά χαμηλό (0,015 €/kWh), ενώ παράγει το 56,3% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχα, οι ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν εξίσου χαμηλό κόστος (0,0263 €/kWh), συνεισφέροντας στο 42,1% της παραγωγής. Αντίθετα, οι υπάρχουσες ντιζελογεννήτριες, οι οποίες έχουν εφεδρικό ρόλο στο υβριδικό σύστημα παράγοντας μόλις το υπόλοιπο 1,6% της ηλεκτρικής ενέργειας, κοστίζουν 0,22 € ανά παραγόμενη κιλοβατώρα.

Παράλληλα, το ηλιακό και αιολικό δυναμικό των νησιών της Ελλάδας αντιπροσωπεύει μια πηγή ενέργειας που είναι ουσιαστικά ανεξάντλητη, με διάρκεια και οικονομικά προσιτή. Η δημιουργία ενός οικονομικά αποδοτικού και τεχνολογικά προηγμένου υβριδικού συστήματος, το οποίο θα αποθηκεύει το πλεόνασμα της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες σε συσσωρευτές και θα την αποδίδει στο δίκτυο κατά τις περιόδους χαμηλής παραγωγής ή υψηλής ζήτησης, έχει γίνει πια εφικτός στόχος. Αξιοσημείωτη είναι ακόμη η συμβολή του συστήματος μετατροπής καθώς η διαμεσολάβησή του ανάμεσα στους συσσωρευτές και το υπόλοιπο δίκτυο κρίνεται αναγκαία για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος.

Ακόμη και με την προοπτική μελλοντικών αυξήσεων στην κατανάλωση ενέργειας ή στην τιμή του πετρελαίου, το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα θεωρείται αξιόπιστο και οικονομικό. Η αύξηση του συνολικού κόστους του υβριδικού συστήματος που προκαλείται

από τις προαναφερθείσες μελλοντικές αλλαγές είναι μικρότερη από αυτή που παρατηρείται σε ανάλογο γεγονός κατά το οποίο η νήσος ηλεκτροδοτείται χρησιμοποιώντας το υπάρχον σύστημα που αποτελείται από συμβατικές μονάδες.

Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι τα ΜΔΝ που τροφοδοτούνται από τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής με καύση πετρελαίου, έχουν ακριβότερο κόστος παραγωγής ενέργειας σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ελλάδα. Αυτό προκαλεί την οικονομική επιβάρυνση όλων των Ελλήνων πολιτών, η οποία θα σταματήσει με τη συγκρότηση υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν, ότι η υλοποίηση ενός υβριδικού συστήματος έχει τεράστια οικονομικά οφέλη.

Αξίζει να τονιστεί ότι, εκτός από τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που περιγράφονται παραπάνω, η αξιοποίηση του ηλιακού και αιολικού δυναμικού των νησιών συνδράμει στη βαθμιαία αποδέσμευση της Ελλάδας από το εισαγόμενο πετρέλαιο.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί η ανάγκη αυξημένης αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε εκείνους τους τομείς που είναι οικονομικά και τεχνολογικά εφικτοί, τόσο σε εθνικό επίπεδο, όσο και σε διεθνές επίπεδο, αποσκοπώντας στην ελάττωση της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από την εκμετάλλευση συμβατικών πηγών ενέργειας. Η προοδευτική ελάττωση του κόστους αλλά και η συνεχής ενίσχυση της απόδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σημαντικές μεταβλητές για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου.

Εν κατακλείδι, θεωρείται επιτακτική ανάγκη η αντικατάσταση των υπαρχόντων συστημάτων παραγωγής ενέργειας στα ΜΔΝ, ιδιαίτερα σε αυτά που είναι πρακτικά αδύνατο να συνδεθούν με το ηπειρωτικό δίκτυο όπως η Σύμη, με υβριδικά συστήματα αντίστοιχα με αυτό της παρούσας διπλωματικής. Έτσι θα πραγματοποιηθεί ένα σημαντικό βήμα προς την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας μας, με τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

## Βιβλιογραφία

- [1] Ενέργεια. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/03/2023.
- [2] Energy Production and Consumption. Ανακτήθηκε από: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/03/2023.
- [3] Electricity Mix. Ανακτήθηκε από: <https://ourworldindata.org/electricity-mix#where-does-our-electricity-come-from>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/03/2023.
- [4] Πρωτόκολλο του Κιότο. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 03/04/2023.
- [5] 2030 climate & energy framework. Ανακτήθηκε από: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework\\_en..](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en..) Ημερομηνία ανάκτησης: 03/04/2023.
- [6] European Green Deal. Ανακτήθηκε από: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). Ημερομηνία ανάκτησης: 03/04/2023.
- [7] Renewable energy statistics. Ανακτήθηκε από: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?> Ημερομηνία ανάκτησης: 07/04/2023.
- [8] Share of energy consumption from renewable sources in Europe. Ανακτήθηκε από: <https://www.eea.europa.eu/ims/share-of-energy-consumption-from>. Ημερομηνία ανάκτησης: 07/04/2023.
- [9] Electricity production, consumption and market overview. Ανακτήθηκε από: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?> Ημερομηνία ανάκτησης: 07/04/2023.
- [10] Ενέργεια στην Ελλάδα. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 10/0/2023.
- [11] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, «Κύρωση του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)» ΦΕΚ 4893 τεύχος δεύτερο, 31/12/2019.

- [12] Κατάλογος ελληνικών νησίδων ανά νομό. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 12/04/2023.
- [13] ΔΕΔΔΗΕ, Ηλεκτρικά Συστήματα ΜΔΝ. Ανακτήθηκε από: <https://deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-mi-diasundedemenwn-nisiwn/agora-mdn/ilektrika-systimata-mdn/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 12/04/2023.
- [14] ΔΕΔΔΗΕ, «Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για τον Δεκέμβριο 2022». Ανακτήθηκε από: <https://deddie.gr/el/kentro-enhmerwsis/nea-anakoinwseis/miniaia-deltia-ape-december-2022/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 12/04/2023.
- [15] Katsivelakis, M. (2020). *Techno-economic analysis of a stand-alone hybrid system: Application in Donoussa island, Greece* (Μεταπτυχιακή εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [16] Μπόζιαρης, Φ. (2021). *Τεχνικο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη νήσο Καστελόριζο* (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [17] Αλεξίου, Α. (2022). *Μελέτη ενεργειακής αυτονομίας μη διασυνδεδεμένου νησιού* (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [18] Giatrakos, G.P., Tsoutsos, T.D., Mouchtaropoulos, P.G., Naxakis, G.D. and Stavrakakis, G. (2009). Sustainable energy planning based on a stand-alone hybrid renewable energy/hydrogen power system: Application in Karpathos island, Greece. *Renewable Energy*, 34, 2562–2570.
- [19] Thomas, D., Deblecker, O., Ioakimidis, C.S. (2016). Optimal design and techno-economic analysis of an autonomous small isolated microgrid aiming at high RES penetration. *Energy*, 116, 364–379.
- [20] Katsoulakos, N.M. (2019). An overview of the Greek Islands' Autonomous Electrical Systems: Proposals for a Sustainable Energy Future. *Smart Grid and Renewable Energy*, 10, 55-82.
- [21] Al-Badi, A., Al Wahaibi, A., Ahshan, R., Malik ,A. (2022). Techno-Economic Feasibility of a Solar-Wind-Fuel Cell Energy System in Duqm, Oman. *Energies*, 15, 5379-5393.

- [22] Ma, T., Yang, H., Lu, L. (2014). A feasibility study of a stand-alone hybrid solar–wind–battery system for a remote island. *Applied Energy*, 121, 149–158.
- [23] Gautam, J., Irfan Ahmed, Md., Kumar P. (2018). Optimization and Comparative Analysis of Solar-Biomass Hybrid Power Generation System using Homer. *2018 International Conference on Intelligent Circuits and Systems (ICICS)*, Phagwara, India.
- [24] Cartland, R., Sendegeya, A.-M., Hakizimana, J.d.D.K. (2023). Performance Analysis of a Hybrid of Solar Photovoltaic, Genset, and Hydro of a Rural-Based Power Mini-Grid: Case Study of Kisiizi Hydro Power Mini-Grid, Uganda. *Processes*, 11, 175.
- [25] Hoarcă, I.C., Bizon, N., Șorlei, I.S., Thounthong, P. (2023). Sizing Design for a Hybrid Renewable Power System Using HOMER and iHOGA Simulators. *Energies*, 16, 1926.
- [26] Peirow, S., Razi Astaraei, F., Saifoddin Asl, A. (2023). Techno-Economic and Environmental Assessment of a Hybrid Renewable Energy System for a Hospital Using Multi-Criteria Decision-Making Method. *Energies*, 16, 1916.
- [27] Arunachalam, R.K., Chandrasekaran, K., Rusu, E., Ravichandran, N., Fayek, H.H. (2023). Economic Feasibility of a Hybrid Microgrid System for a Distributed Substation. *Sustainability*, 15, 3133.
- [28] Chakraborty, S., Mukherjee, D., Guchhait, P.K., Bhattacharjee, S., Abdelaziz, A.Y., El-Shahat, A. (2023). Optimum Design of a Renewable-Based Integrated Energy System in Autonomous Mode for a Remote Hilly Location in Northeastern India. *Energies*, 16, 1588.
- [29] Σύμη. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/11/2022.
- [30] ΔΕΔΔΗΕ, «Τεχνικά και οικονομικά στοιχεία του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος Σύμης», Αθήνα 2022.
- [31] ΔΕΔΔΗΕ. Ανακτήθηκε από: <https://deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-mi-diasundedemenwn-nisiwn/agora-mdn/stoixeia-ekkathariseon-kai-minaion-deltion-mdn/stoixeia-ekkathariseis-mdn/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 02/12/2022.
- [32] Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki>. Ημερομηνία ανάκτησης: 26/09/2022.

- [33] Κιοσκερίδης Ιορ. Ν. (2021). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Ισχύος*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- [34] Buchholz, B. M. & Styczynski, Z. (2014). *Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Berlin: Springer.
- [35] Πιπής Κωνσταντίνος, «Ευφυή Δίκτυα Μεταφοράς Ενέργειας», Διδακτικές σημειώσεις.
- [36] Ellaban, O., Haitham, A., Frede, B. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- [37] Πολυζάκης Απ. (2020). *Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος*. Πτολεμαΐδα: Εκδόσεις PowerHeatCool.
- [38] Marine Energy. Ανακτήθηκε από: <https://www.marineenergywales.co.uk>. Ημερομηνία ανάκτησης: 26/09/2022.
- [39] Advantages and disadvantages of renewable energy. Ανακτήθηκε από: <https://news.energysage.com/advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy/> Ημερομηνία ανάκτησης : 30/09/2022.
- [40] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Νόμος 3468/2006, «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις», ΦΕΚ 129 τεύχος πρώτο, 27/06/2006.
- [41] Molina, M. (2017). Energy Storage and Power Electronics Technologies: A Strong Combination to Empower the Transformation to the Smart Grid. *Proceedings of the IEEE*, 105 (11), 2191-2219.
- [42] Oulis Rousis, A., Tzelepis, D., Konstantelos, I., Booth, C., and Strbac, G.(2018). Design of a hybrid AC/DC microgrid using HOMER Pro: case study on an islanded residential application. *Inventions*, 3(3), 55.
- [43] Ιστοσελίδα: <https://lghomebatteryblog.eu/en/lges-portfolio-en/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 25/02/2023.
- [44] Solar Radiation Basics. Ανακτήθηκε από: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>. Ημερομηνία ανάκτησης: 19/10/2022.

- [45] Monocrystalline and polycrystalline solar panels. Ανακτήθηκε από: <https://news.energysage.com/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 02/12/2022.
- [46] Ιστοσελίδα: <https://www.luxor.solar/en/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 21/02/2023.
- [47] Άνεμος. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%86%>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/02/2023.
- [48] Εικόνα από ιστοσελίδα: <https://www.ecoweather.gr/pagkosmia-kykloforia-anemon>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/02/2023.
- [49] Εικόνα από ιστοσελίδα: <https://gr.dreamstime.com/-image44598993>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/02/2023.
- [50] Αιολική ενέργεια. Ανακτήθηκε από: <https://el.wikipedia.org/wiki/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/02/2023.
- [51] Ιστοσελίδα: <https://globalwindatlas.info/en>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/02/2023.
- [52] Εικόνα από ιστοσελίδα: <https://www.reddit.com/r/greece/comments/625iog/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 16/02/2023.
- [53] Πλεονεκτήματα αιολικής ενέργειας. Ανακτήθηκε από: <https://www.windengineering.gr/el/articles/pleonektimata-aiolikis-energeias>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/02/2023.
- [54] Εικόνα από ιστοσελίδα: <https://www.flickr.com/photos/jever06/26292264963>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/02/2023.
- [55] Εικόνα από ιστοσελίδα: <https://www.archiexpo.com/prod/windside/product-88530-959470.html>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/02/2023.
- [56] Εικόνα από ιστοσελίδα: <http://www.elperes.gr/wp-content/uploads/2013/11/SUNSET-AT-PYLOS-WIND-PARK.jpg>. Ημερομηνία ανάκτησης: 28/02/2023.
- [57] Γαλέτσας Χ. (2015). *Μελέτη της αεροελαστικότητας και ανάλυση της δυναμικής απόκρισης ανεμογεννητριών* (Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
- [58] Wind power. Ανακτήθηκε από: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind\\_power](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_power). Ημερομηνία ανάκτησης: 03/03/2023.

- [59] Zhiao, X., Qiancheng, Z., Xuebing, Y., AnFeng, Z.A. (2020). Power Performance Online Assessment Method of a Wind Turbine Based on the Probabilistic Area Metric. *Applied Sciences*, 10(9), 3268.
- [60] Εικόνα από ιστοσελίδα: <https://balkangreenenergynews.com/bih-has-wind-farms-in-pipeline-with-2-2-gw-in-total-capacity/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 04/03/2023.
- [61] What is a wind class? Ανακτήθηκε από: <https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/learn-about-wind/what-is-a-wind-class>. Ημερομηνία ανάκτησης: 21/02/2023.
- [62] Neeraj, G. (2016). A review on the inclusion of wind generation in power system studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 530–543.
- [63] The pros and cons of onshore & offshore wind. Ανακτήθηκε από: <https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/onshore-offshore-wind>. Ημερομηνία ανάκτησης: 04/03/2023.
- [64] Ιστοσελίδα: <https://ewtdirectwind.com/products/dw61/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 07/03/2023.
- [65] Κιοσκερίδης Ιορ. Ν. (2019). *Ηλεκτρονικά Ισχύος*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- [66] Ιστοσελίδα: <https://en.sungrowpower.com/productDetail/2305>. Ημερομηνία ανάκτησης: 22/02/2023.
- [67] Ιστοσελίδα: [https://www.ginlong.com/rhi\\_inverter1/1952.html](https://www.ginlong.com/rhi_inverter1/1952.html). Ημερομηνία ανάκτησης: 08/03/2023.
- [68] Ιστοσελίδα: <https://www.HOMERenergy.com/products/pro/index.html>. Ημερομηνία ανάκτησης: 15/02/2023.
- [69] Ιστοσελίδα: [https://www.HOMERenergy.com/products/pro/docs/3.10/solving\\_problems\\_with\\_HOMER.html](https://www.HOMERenergy.com/products/pro/docs/3.10/solving_problems_with_HOMER.html). Ημερομηνία ανάκτησης: 15/02/2023.
- [70] Ιστοσελίδα: <https://krannich-solar.com/gr-gr/>. Ημερομηνία ανάκτησης: 21/02/2023.
- [71] Χειμερινές προβλέψεις Κομισιόν για Ελλάδα: [https://www.imerisia.gr/oikonomia/65527\\_heimerines-problepseis-komision-gia-ellada-anaptyxi-12-kai-plithorismos-45-2023](https://www.imerisia.gr/oikonomia/65527_heimerines-problepseis-komision-gia-ellada-anaptyxi-12-kai-plithorismos-45-2023). Ημερομηνία ανάκτησης: 09/03/2023.

[72] Επιτόκια καταθέσεων και δανείων:  
<https://www.bankofgreece.gr/statistika/nomismatikh-kai-trapezikh-statistiki/epitokia-katathesewn-kai-daneiwn>. Ημερομηνία ανάκτησης: 09/03/2023.