



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ  
ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΚΑΣΤΕΛΛΟΡΙΖΟ**

Διπλωματική Εργασία

Φώτιος Μπόζιαρης

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Βόλος 2021



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ  
ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΚΑΣΤΕΛΛΟΡΙΖΟ**

Διπλωματική Εργασία

Φώτιος Μπόζιαρης

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Βόλος 2021





**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**TECHNICAL AND ECONOMICAL STUDY OF INSTALLATION  
OF HYBRID ELECTRICITY PRODUCTION SYSTEM IN THE  
ISLAND OF KASTELLORIZO**

Diploma Thesis

Fotios Boziaris

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

Volos 2021

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

|           |  |
|-----------|--|
| Επιβλέπων | <b>Δημήτριος Μπαργιώτας</b><br>Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και<br>Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  |
| Μέλος     | <b>Ελευθέριος Τσουκαλάς</b><br>Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών<br>Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας |
| Μέλος     | <b>Γεώργιος Σταμούλης</b><br>Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών<br>Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας   |

Ημερομηνία έγκρισης: 09-02-2021

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω την απέραντη ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για όλα όσα μου έχουν προσφέρει στη διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων καθώς και για την αμέριστη υποστήριξή τους σε κάθε μου επιλογή.

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Δημήτρη Μπαργιώτα, τόσο για την ανάθεση της εργασίας, όσο και για τη συνεργασία, την καθοδήγηση και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωσή της.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την έμπρακτη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

**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, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει 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. 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/Η Δηλών/ούσα

(Υπογραφή)

Φώτιος Μπόζιαρης

2021

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσπάθεια για βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου εντάθηκε κατά τη βιομηχανική επανάσταση και προκάλεσε την ευρεία κατανάλωση ενέργειας, η οποία παραγόταν κατά κύριο λόγο μέσω της καύσης των ορυκτών καυσίμων. Η συγκεκριμένη μέθοδος παραγωγής ενέργειας επιφέρει δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς οι εκπεμπόμενες ρυπογόνες ουσίες αποτελούν την αιτία πρόκλησης σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κατόπιν των ανωτέρω, καθίσταται αδήριτη η ανάγκη για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς είναι ανεξάντλητες και δεν παράγουν ρύπους. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η εγκατάσταση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Καστελλόριζο, καθώς λόγω της μεγάλης απόστασης του νησιού από την ηπειρωτική χώρα, η διασύνδεσή του με το εθνικό δίκτυο κρίνεται ασύμφορη. Αρχικά αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για τη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής και ακολούθως πραγματοποιείται η τεχνικο-οικονομική για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του αντίστοιχου προτεινόμενου συστήματος για το νησί. Η επιλογή της βέλτιστης διαμόρφωσης του συστήματος γίνεται με τη χρήση του λογισμικού Homer, το οποίο κατατάσσει όλες τις πιθανές διαμορφώσεις που ικανοποιούν τις προδιαγραφές με βάση οικονομικά κριτήρια.

## **ABSTRACT**

The attempt for the improvement of the quality of people's lives enhanced during the industrial revolution and caused widespread energy consumption which mainly was produced by fossil fuel combustion. This energy production method provokes negative environmental consequences, as the emitted polluting substances constitute the reason why important environmental problems occur, such as the greenhouse effect. Following the above points, the requirement for a renewable energy sources exploit becomes imperative, on condition that they are unlimited and don't produce pollutants. In the present assignment, a setup of an electric energy production hybrid system in Kastellorizo is examined, as due to the big distance of the island from the mainland, its connection with the national network is considered wasteful. Initially, the theoretical background, which is required for the creation of an electric production hybrid system, is analysed and afterwards, the techno- economic design and improvement of the certain suggested system for the island is accomplished. The selection of the best system set-up is realized with the use of Homer software, which classifies all the possible forms that fulfill the standards according to economic criteria.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....  | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>viii</b> |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</b> .....                                      | <b>xii</b>  |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....   | <b>xv</b>   |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....   | <b>xvii</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....  | <b>18</b>   |
| <b>Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΟΥΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ</b> .....           | <b>18</b>   |
| 1.1    Η αξιοποίηση της ενέργειας από την αρχαιότητα ως σήμερα .....     | <b>18</b>   |
| 1.2    Το ενεργειακό σκηνικό της Ευρωπαϊκής Ένωσης .....                 | <b>21</b>   |
| 1.3    Το ενεργειακό σκηνικό στην Ελλάδα.....                            | <b>24</b>   |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....  | <b>32</b>   |
| <b>ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....                                 | <b>32</b>   |
| 2.1    Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....                           | <b>32</b>   |
| 2.2    Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ..... | <b>38</b>   |
| 2.3    Υβριδικά συστήματα ενέργειας .....                                | <b>39</b>   |
| 2.4    Μη διασυνδεδεμένα νησιά.....                                      | <b>41</b>   |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....  | <b>46</b>   |
| <b>Η ΝΗΣΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗ (ΚΑΣΤΕΛΛΟΡΙΖΟ)</b> .....                              | <b>46</b>   |
| 3.1    Γενικά στοιχεία .....   | <b>46</b>   |
| 3.2    Ιστορικές αναφορές .....  | <b>47</b>   |
| 3.3    Γεωπολιτική σημασία .....   | <b>49</b>   |
| 3.4    Η σημερινή ενεργειακή κατάσταση .....                             | <b>50</b>   |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....  | <b>51</b>   |
| <b>ΑΙΟΛΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ</b> .....  | <b>51</b>   |
| 4.1    Περί ανέμων.....  | <b>51</b>   |
| 4.2    Συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας .....                     | <b>54</b>   |
| 4.2.1    Βασικές αρχές και λόγοι ευρείας εφαρμογής .....                 | <b>54</b>   |
| 4.2.2    Τεχνική περιγραφή .....   | <b>54</b>   |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 4.2.3   | Ενεργειακή αλυσίδα μετατροπών και απώλειες.....                                  | 62         |
| 4.2.4   | Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας .....                              | 63         |
| 4.2.5   | Συντελεστής χρησιμοποίησης ανεμογεννήτριας $C_f$ .....                           | 66         |
| 4.2.6   | Έλεγχος ισχύος.....  | 66         |
| 4.2.7   | Αιολικά πάρκα .....  | 67         |
| 4.2.8   | Υπεράκτια αιολικά πάρκα .....  | 68         |
| <b>4.3</b>  | <b>Επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας και τοποθεσίας εγκατάστασης.....</b>         | <b>70</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>                              |  | <b>74</b>  |
| <b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ .....</b>                |  | <b>74</b>  |
| <b>5.1</b>  | <b>Ηλιακή ακτινοβολία .....</b>  | <b>74</b>  |
| <b>5.2</b>  | <b>Φωτοβολταϊκή τεχνολογία .....</b>   | <b>75</b>  |
| 5.2.1   | Βασικές αρχές και λόγοι ευρείας εφαρμογής .....                                  | 75         |
| 5.2.2   | Φωτοβολταϊκά στοιχεία .....  | 76         |
| 5.2.3   | Φωτοβολταϊκό πλαίσιο .....   | 79         |
| 5.2.4   | Φωτοβολταϊκό σύστημα – Φωτοβολταϊκή συστοιχία .....                              | 81         |
| <b>5.3</b>  | <b>Επιλογή μοντέλου φωτοβολταϊκού πλαισίου και τοποθεσίας εγκατάστασης .....</b> | <b>84</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>                              |  | <b>88</b>  |
| <b>ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ .....</b>                     |  | <b>88</b>  |
| <b>6.1</b>  | <b>Βασικές κατηγορίες μετατροπέων ισχύος.....</b>                                | <b>88</b>  |
| <b>6.2</b>  | <b>Επιλογή κατάλληλων μετατροπέων για το σύστημα .....</b>                       | <b>89</b>  |
| 6.2.1   | Επιλογή μετατροπέα φωτοβολταϊκών.....  | 89         |
| 6.2.2   | Η καρδιά του συστήματος .....  | 93         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>                              |  | <b>100</b> |
| <b>ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....</b> |  | <b>100</b> |
| <b>7.1</b>  | <b>Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....</b>                         | <b>100</b> |
| <b>7.2</b>  | <b>Συσσωρευτές υβριδικού συστήματος.....</b>                                     | <b>101</b> |
| <b>7.3</b>  | <b>Επιλογή μοντέλου συσσωρευτή.....</b>  | <b>103</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>                              |  | <b>105</b> |
| <b>ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....</b>              |  | <b>105</b> |
| <b>8.1</b>  | <b>Το λογισμικό Homer .....</b>  | <b>105</b> |
| <b>8.2</b>  | <b>Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό Homer.....</b>                               | <b>107</b> |
| 8.2.1   | Το ηλεκτρικό φορτίο του Καστελλόριζου .....                                      | 107        |
| 8.2.2   | Κλιματικά δεδομένα του Καστελλόριζου .....                                       | 108        |
| 8.2.3   | Μεταβλητές εισόδου ανεμογεννήτριας .....   | 112        |
| 8.2.4   | Μεταβλητές εισόδου φωτοβολταϊκών .....   | 114        |
| 8.2.5   | Μεταβλητές εισόδου μετατροπέα .....  | 116        |
| 8.2.6   | Μεταβλητές εισόδου συσσωρευτή .....  | 117        |
| 8.2.7   | Μεταβλητές εισόδου συμβατικών μονάδων .....                                      | 119        |
| 8.2.8   | Λοιπές μεταβλητές εισόδου .....  | 123        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>8.3 Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα.....</b>                        | <b>124</b> |
| 8.3.1 Διαμόρφωση του υβριδικού συστήματος και βασικά του στοιχεία ..... | 124        |
| 8.3.2 Οικονομική ανάλυση του υβριδικού συστήματος .....                 | 126        |
| 8.3.3 Ανάλυση λειτουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου .....                    | 130        |
| 8.3.4 Ανάλυση λειτουργίας ανεμογεννήτριας.....                          | 131        |
| 8.3.5 Ανάλυση λειτουργίας συστήματος αποθήκευσης.....                   | 133        |
| 8.3.6 Ανάλυση λειτουργίας συστήματος μετατροπής.....                    | 136        |
| 8.3.7 Ανάλυση λειτουργίας συμβατικών μονάδων .....                      | 139        |
| 8.3.8 Ανάλυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....                  | 144        |
| <b>8.4 Αξιολόγηση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος .....</b>      | <b>148</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....</b>  | <b>149</b> |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....</b>  | <b>149</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>151</b> |

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Διάγραμμα 1.1:</b> Ραγδαία αύξηση των ενεργειακών αναγκών κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα.....  | 20  |
| <b>Διάγραμμα 1.2:</b> Συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου.....  | 20  |
| <b>Διάγραμμα 1.3:</b> Μεριδίο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (σε ποσοστό % ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης)...                  | 23  |
| <b>Διάγραμμα 1.4:</b> Προβολή της παραγωγής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά είδος καυσίμου.....   | 24  |
| <b>Διάγραμμα 1.5:</b> Σύγκριση συμμετοχής καυσίμων στη καθαρή ηλεκτροπαραγωγή για το έτος 2030, του αρχικού ΕΣΕΚ και του τελικού ΕΣΕΚ.....   | 28  |
| <b>Διάγραμμα 1.6:</b> Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ για Ηλεκτροπαραγωγή έως το έτος 2030.....  | 28  |
| <b>Διάγραμμα 1.7:</b> Χρονικές απεικονίσεις του μεριδίου ηλεκτροπαραγωγής από αιολικούς και φωτοβολταϊκούς σταθμούς στο σύνολο της διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας.....                      | 29  |
| <b>Διάγραμμα 1.8:</b> Σύγκριση των μεριδίων ΑΠΕ για το έτος 2030, του αρχικού σχεδίου ΕΣΕΚ και του τελικού.....  | 29  |
| <b>Διάγραμμα 1.9:</b> Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη στην Τελική Κατανάλωση Ενέργειας έως το έτος 2030.....  | 30  |
| <b>Διάγραμμα 2.1:</b> Εγκατεστημένη Ισχύς Μονάδων ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (2018-2020).....   | 44  |
| <b>Διάγραμμα 2.2:</b> Παραγωγή Ενέργειας Μονάδων ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (2018-2020).....  | 44  |
| <b>Διάγραμμα 4.1:</b> Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας.....  | 64  |
| <b>Διάγραμμα 5.1:</b> Ηλιακό φάσμα εκπομπής.....   | 74  |
| <b>Διάγραμμα 8.1:</b> Μέση ωριαία ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου.....   | 107 |
| <b>Διάγραμμα 8.2:</b> Μηνιαία απεικόνιση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (μέγιστη ζήτηση, μέγιστη μέση ημερήσια ζήτηση, μέση ζήτηση, ελάχιστη μέση ημερήσια ζήτηση, ελάχιστη ζήτηση)..... | 108 |
| <b>Διάγραμμα 8.3:</b> Απεικόνιση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για όλες τις ώρες του 2019.....  | 108 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Διάγραμμα 8.4:</b> Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας, της μέσης μηνιαίας καθαρότητας του ουρανού και της μέσης ετήσιας τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας στο Καστελλόριζο.....                    | 110 |
| <b>Διάγραμμα 8.5:</b> Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου και της μέσης ετήσιας τιμής της ταχύτητας του ανέμου στο Καστελλόριζο.....  | 111 |
| <b>Διάγραμμα 8.6:</b> Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και της μέσης ετήσιας τιμής της θερμοκρασίας στο Καστελλόριζο.....  | 112 |
| <b>Διάγραμμα 8.7:</b> Εισαγωγή στο Homer της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας.....  | 114 |
| <b>Διάγραμμα 8.8:</b> Απεικόνιση συνολικού κόστους για κάθε συστατικό του συστήματος....   | 127 |
| <b>Διάγραμμα 8.9:</b> Απεικόνιση ετήσιου κόστους για κάθε συστατικό του συστήματος.....  | 128 |
| <b>Διάγραμμα 8.10:</b> Απεικόνιση μεριδίου στο συνολικό καθαρό κόστος για κάθε τύπο κόστους.....   | 128 |
| <b>Διάγραμμα 8.11:</b> Απεικόνιση μεριδίου στο συνολικό ετήσιο κόστος για κάθε τύπο κόστους.....   | 128 |
| <b>Διάγραμμα 8.12:</b> Απεικόνιση ροής κόστους για κάθε τύπο κόστους.....  | 129 |
| <b>Διάγραμμα 8.13:</b> Απεικόνιση ροής κόστους για κάθε συστατικό του συστήματος.....  | 129 |
| <b>Διάγραμμα 8.14:</b> Ποσότητα παραγόμενης ισχύος από το φωτοβολταϊκό πάρκο καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....  | 131 |
| <b>Διάγραμμα 8.15:</b> Ποσότητα παραγόμενης ισχύος από την ανεμογεννήτρια καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....   | 132 |
| <b>Διάγραμμα 8.16:</b> Απεικόνιση του ποσοστού φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης για όλη τη διάρκεια ενός έτους.....   | 135 |
| <b>Διάγραμμα 8.17:</b> Απεικόνιση του μέγιστου, του μέγιστου μέσου ημερήσιου, του μέσου, του ελάχιστου μέσου ημερήσιου και του ελάχιστου ποσοστού φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης για κάθε μήνα του έτους..... | 135 |
| <b>Διάγραμμα 8.18:</b> Απεικόνιση της συχνότητας κάθε ποσοστού φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης.....  | 135 |
| <b>Διάγραμμα 8.19:</b> Απεικόνιση των τιμών της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα (inverter) καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....  | 137 |
| <b>Διάγραμμα 8.20:</b> Απεικόνιση των τιμών της ισχύος εξόδου του ανορθωτή (rectifier) καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....  | 138 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Διάγραμμα 8.21:</b> Απεικόνιση των τιμών της παραγόμενης ισχύος από τη γεννήτρια Cummins VT 1710G καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....   | 140 |
| <b>Διάγραμμα 8.22:</b> Απεικόνιση των τιμών της παραγόμενης ισχύος από τη γεννήτρια Volvo PENTA TAD 1345GE καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....   | 141 |
| <b>Διάγραμμα 8.23:</b> Απεικόνιση των τιμών της παραγόμενης ισχύος από τη γεννήτρια Hyundai KD8AX καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....  | 142 |
| <b>Διάγραμμα 8.24:</b> Απεικόνιση της κατανάλωσης πετρελαίου καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....   | 144 |
| <b>Διάγραμμα 8.25:</b> Απεικόνιση της κατανάλωσης πετρελαίου καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....   | 144 |
| <b>Διάγραμμα 8.26:</b> Απεικόνιση της συνεισφοράς των συστατικών του υβριδικού συστήματος στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα ενός έτους...  | 145 |
| <b>Διάγραμμα 8.27:</b> Απεικόνιση της στιγμιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαιρεμένη με τη στιγμιαία ζήτηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....                                  | 146 |
| <b>Διάγραμμα 8.28:</b> Απεικόνιση της στιγμιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαιρεμένη με τη συνολική στιγμιαία παραγωγή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.....                       | 147 |
| <b>Διάγραμμα 8.29:</b> Απεικόνιση της διαφοράς του αριθμού 1 με τη στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις συμβατικές μονάδες, διαιρεμένη με τη στιγμιαία ζήτηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους..... | 147 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 1.1: Ανεμόμυλοι στο Αιγαίο πέλαγος.....   | 18 |
| Εικόνα 1.2: Ατμάμαξα στο Βόλο.....   | 19 |
| Εικόνα 2.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα.....  | 33 |
| Εικόνα 2.2: Εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας μέσω ανεμογεννητριών.....  | 33 |
| Εικόνα 2.3: Συσσωματώματα βιομάζας, φτιαγμένα από πριονίδι.....  | 34 |
| Εικόνα 2.4: Υδροηλεκτρικό φράγμα «Three Gorges Dam» στην Κίνα.....   | 35 |
| Εικόνα 2.5: Γεννήτρια που αξιοποιεί την παλίρροια στη Βόρεια Ιρλανδία.....   | 36 |
| Εικόνα 2.6: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων.....  | 36 |
| Εικόνα 2.7: Γεωθερμικό πεδίο.....  | 37 |
| Εικόνα 3.1: Καστελλόριζο.....  | 46 |
| Εικόνα 3.2: Σύμπλεγμα Καστελλόριζου.....   | 47 |
| Εικόνα 3.3: Γεωγραφική θέση Καστελλόριζου.....   | 49 |
| Εικόνα 4.1: Ο Πύργος των Ανέμων.....   | 51 |
| Εικόνα 4.2: Κίνηση ατμοσφαιρικού αέρα, τοπικά συστήματα επικλινούς εδάφους.....  | 52 |
| Εικόνα 4.3: Κίνηση ατμοσφαιρικού αέρα, παράκτια τοπικά συστήματα.....  | 52 |
| Εικόνα 4.4: Ανεμοδείκτης (δείχνει τη διεύθυνση του ανέμου).....  | 53 |
| Εικόνα 4.5: Ανεμόμετρο (μετρά την ένταση του ανέμου).....  | 53 |
| Εικόνα 4.6: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα Savonius.....  | 55 |
| Εικόνα 4.7: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα Darrieus.....   | 56 |
| Εικόνα 4.8: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.....  | 57 |
| Εικόνα 4.9: Τα βασικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. 1. Θεμελίωση, 2. Σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, 3. Πύργος, 4. Σκάλα πρόσβασης στο ανώτερο τμήμα της ανεμογεννήτριας, 5. Μηχανισμός ρύθμισης διεύθυνσης της πλήμνης, 6. Πλήμνη, 7. Γεννήτρια, 8. Ανεμόμετρο, 9. Φρένα, 10. Κιβώτιο ταχυτήτων, 11. Πτερύγια ρότορα, 12. Μηχανισμός ρύθμισης πτερυγίων, 13. Κεφαλή ρότορα..... | 58 |
| Εικόνα 4.10: Ανεμογεννήτρια με φτερωτή για άντληση νερών και άρδευση.....  | 59 |
| Εικόνα 4.11: Αιολικό πάρκο στην Καλιφόρνια.....  | 68 |
| Εικόνα 4.12: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο στο Ηνωμένο Βασίλειο.....   | 70 |
| Εικόνα 4.13: Δορυφορική απεικόνιση του Καστελλόριζου.....  | 71 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Εικόνα 4.14:</b> Φυλλάδιο κατασκευαστή ανεμογεννήτριας Enercon E-53 800 kW.....       | 73  |
| <b>Εικόνα 5.1:</b> Σχηματική αναπαράσταση τρόπου λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου.... | 77  |
| <b>Εικόνα 5.2:</b> Στάδια για την κατασκευή φωτοβολταϊκού συστήματος.....                | 78  |
| <b>Εικόνα 5.3:</b> Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....   | 79  |
| <b>Εικόνα 5.4:</b> Φωτοβολταϊκό σύστημα.....   | 82  |
| <b>Εικόνα 5.5:</b> Φωτοβολταϊκό πάρκο 100kW στην Αγιά Λάρισας.....                       | 82  |
| <b>Εικόνα 5.6:</b> Δορυφορική απεικόνιση του Καστελλόριζου.....                          | 85  |
| <b>Εικόνα 5.7:</b> Φυλλάδιο κατασκευαστή Amerisolar AS-6P30.....                         | 87  |
| <b>Εικόνα 6.1:</b> Φυλλάδιο κατασκευαστή μετατροπέα Sunny Tripower 15000LT.....          | 92  |
| <b>Εικόνα 6.2:</b> Φυλλάδιο κατασκευαστή μετατροπέα Sunny Island 8.0H.....               | 96  |
| <b>Εικόνα 6.3:</b> Φυλλάδιο κατασκευαστή κυτίου Multicluster Box 36.....                 | 99  |
| <b>Εικόνα 7.1:</b> Φυλλάδιο κατασκευαστή συσσωρευτή LG Chem RESU 10.....                 | 104 |
| <b>Εικόνα 8.1:</b> Εισαγωγή δεδομένων ανεμογεννήτριας στο Homer.....                     | 113 |
| <b>Εικόνα 8.2:</b> Εισαγωγή δεδομένων φωτοβολταϊκού πλαισίου στο Homer.....              | 116 |
| <b>Εικόνα 8.3:</b> Εισαγωγή δεδομένων συστήματος μετατροπής στο Homer.....               | 117 |
| <b>Εικόνα 8.4:</b> Εισαγωγή δεδομένων συσσωρευτή στο Homer.....                          | 118 |
| <b>Εικόνα 8.5:</b> Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας Cummins VT 1710G στο Homer.....         | 121 |
| <b>Εικόνα 8.6:</b> Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας Volvo Penta Tad 1345GE στο Homer.....   | 122 |
| <b>Εικόνα 8.7:</b> Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας Hyundai KD8AX στο Homer.....            | 123 |
| <b>Εικόνα 8.8:</b> Εισαγωγή οικονομικών δεδομένων στο Homer.....                         | 124 |
| <b>Εικόνα 8.9:</b> Εισαγωγή κόστους εκπομπών ρυπογόνων ουσιών στο Homer.....             | 124 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|  |     |
|--|-----|
| Πίνακας 1.1: Σύνοψη εθνικών στόχων στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ.....   | 26  |
| Πίνακας 1.2: Βασικοί στόχοι του ενεργειακού συστήματος για το έτος 2030.....                                     | 27  |
| Πίνακας 1.3: Πλάνο υλοποίησης διασυνδέσεων.....  | 31  |
| Πίνακας 2.1: Αυτόνομα δίκτυα ηλεκτροδότησης μη διασυνδεδεμένων νησιών.....                                       | 42  |
| Πίνακας 2.2: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ (Ιούνιος 2020).....                                 | 45  |
| Πίνακας 8.1: Βασικά στοιχεία της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2019 στο Καστελλόριζο.....             | 108 |
| Πίνακας 8.2: Μέσες μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και της καθαρότητας του ουρανού.....                  | 109 |
| Πίνακας 8.3: Μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου.....  | 110 |
| Πίνακας 8.4: Μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας.....  | 111 |
| Πίνακας 8.5: Συνολικά κόστη του συστήματος και των συστατικών του.....   | 127 |
| Πίνακας 8.6: Ετήσια κόστη του συστήματος και των συστατικών του.....   | 127 |
| Πίνακας 8.7: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πάρκου.....                                       | 130 |
| Πίνακας 8.8: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.....  | 132 |
| Πίνακας 8.9: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης.....                                     | 134 |
| Πίνακας 8.10: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος μετατροπής.....                                     | 137 |
| Πίνακας 8.11: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της γεννήτριας Cummins VT 1710G.....                               | 139 |
| Πίνακας 8.12: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της γεννήτριας Volvo PENTA TAD 1345GE.....                         | 140 |
| Πίνακας 8.13: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της γεννήτριας Hyundai KD8AX.....                                  | 141 |
| Πίνακας 8.14: Στοιχεία για την κατανάλωση πετρελαίου.....  | 143 |
| Πίνακας 8.15: Συνεισφορά των συστατικών του υβριδικού συστήματος στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας..... | 145 |
| Πίνακας 8.16: Ποσοστά σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.....                    | 146 |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΟΥΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ

### 1.1 Η αξιοποίηση της ενέργειας από την αρχαιότητα ως σήμερα

Η ενέργεια είναι το φυσικό μέγεθος που συνοδεύει άρρηκτα κάθε μεταβολή στο φυσικό μας κόσμο, από την πιο απλή και ανεπαίσθητη έως την πιο πολύπλοκη και έντονα αντιληπτή. Γίνεται κυρίως αισθητή εκ του αποτελέσματος της που είναι γνωστό ως έργο και ευθύνεται για τις διάφορες μεταβολές που παρατηρούνται στον υλικό κόσμο.

Η ενέργεια σε όλες τις μορφές της αποτελεί κοινωνικό αγαθό συμβάλλοντας στην εξέλιξη της ανθρωπότητας, όσον αφορά στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης αλλά και στην κοινωνική και οικονομική ανέλιξη του ανθρώπου στο διάβα των αιώνων. Από τη χρήση της φωτιάς για θέρμανση, φωτισμό και μαγείρεμα, τη χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας για την κίνηση των πλοίων αλλά και την άλεση δημητριακών (Εικόνα 1.1), την αξιοποίηση της ενέργειας των ποταμών για την άλεση των σπόρων και την άρδευση μπορεί κανείς να αντιληφθεί ότι ο άνθρωπος από την αρχαιότητα αξιοποιούσε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες του.



Εικόνα 1.1: Ανεμόμυλοι στο Αιγαίο πέλαγος

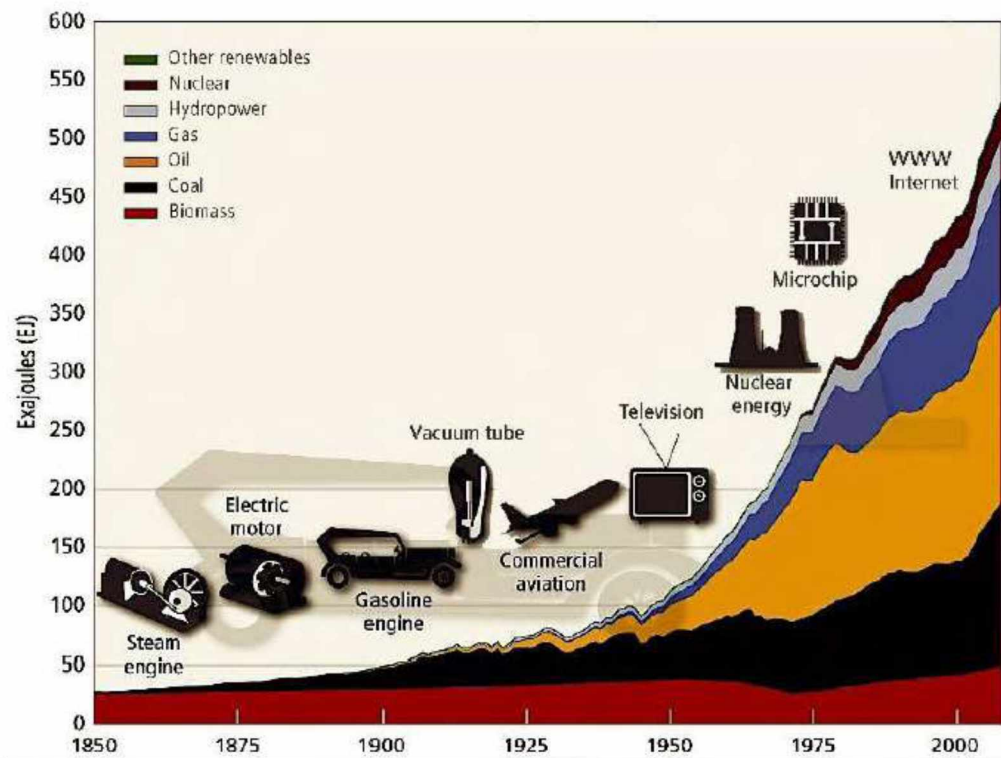


Στα μέσα του 17ου αιώνα ξεκίνησε εκτεταμένα η εξόρυξη άνθρακα για κάλυψη ενεργειακών αναγκών και με την ανακάλυψη της ατμομηχανής στο τέλος του 18ου αιώνα η οποία χρησιμοποιήθηκε στη ναυτιλία, στο σιδηρόδρομο (Εικόνα 1.2) και στις βιομηχανίες, οδήγησε στην ουσία την οικονομία της βορειοδυτικής Ευρώπης στη βιομηχανική επανάσταση. Η τεχνολογική πρόοδος μετέπειτα εξελίχθηκε με γοργούς ρυθμούς και το 1880 λειτούργησε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα. Η ανακάλυψη των κοιτασμάτων πετρελαίου οδήγησε στην κατασκευή μηχανών εσωτερικής καύσης προκειμένου να αξιοποιηθεί το καινούριο καύσιμο δίνοντας περαιτέρω δυναμική ώθηση.

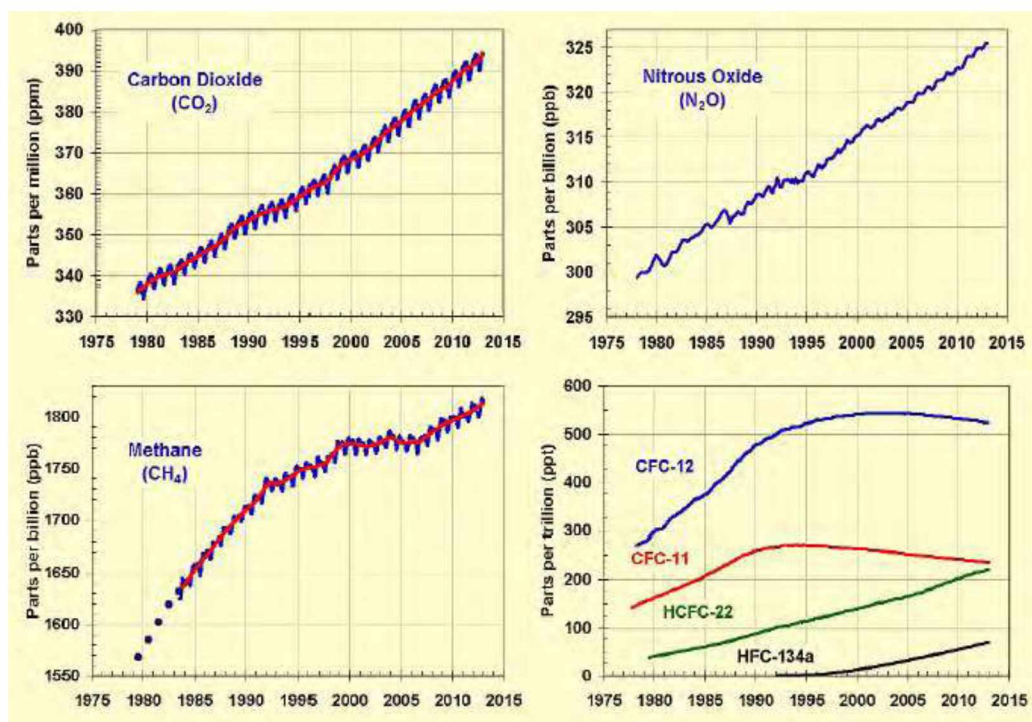


Εικόνα 1.2: Ατμάμαξα στο Βόλο

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.1, κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα σημειώθηκε υπερβολική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, γεγονός που επέφερε σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της συνεχόμενα αυξανόμενης εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (Διάγραμμα 1.2). Επομένως, η μεγαλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται αναγκαία για την προστασία του περιβάλλοντος και την αποφυγή της εξάντλησης των φυσικών πόρων.



Διάγραμμα 1.1: Ραγδαία αύξηση των ενεργειακών αναγκών κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα



Διάγραμμα 1.2: Συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου

## 1.2 Το ενεργειακό σκηνικό της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μέχρι και το τέλος του προηγούμενου αιώνα η καθ' ολοκληρία εξάρτηση των σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τα ορυκτά καύσιμα προκαλούσε κατά καιρούς αστάθεια τόσο στην οικονομία, γεγονός που αναδείχθηκε στις πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και 1979, όσο και στην πολιτική, προκαλώντας γεωπολιτικές συγκρούσεις όπως ο πόλεμος του Κόλπου το 1990, καθ' όσον οι δυτικές οικονομίες προσπαθούσαν να ελέγξουν πολιτικά τις χώρες της Μέσης Ανατολής όπου υπάρχει φθινό πετρέλαιο.

Τη δεκαετία του 1980 με την υπέρμετρη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων αναδείχθηκαν τα σοβαρά παγκόσμια προβλήματα που προκαλούσε η αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας, όπως η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση των μεγαλουπόλεων, η όξινη βροχή, η θαλάσσια ρύπανση κ.α.

Τα περιβαλλοντικά κυρίως προβλήματα, μέσω πιέσεων φορέων, διεθνών οργανισμών και μικρών νησιωτικών κρατών που κινδυνεύουν με εξαφάνιση, οδήγησαν τελικά πολλά κράτη να υπογράψουν το «Πρωτόκολλο του Κιότο» το 1997 που αποτέλεσε στην ουσία ένα οδικό χάρτη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από την αύξηση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου, δεσμεύοντας τα κράτη που υπέγραψαν τη συνθήκη να περιορίσουν σταδιακά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

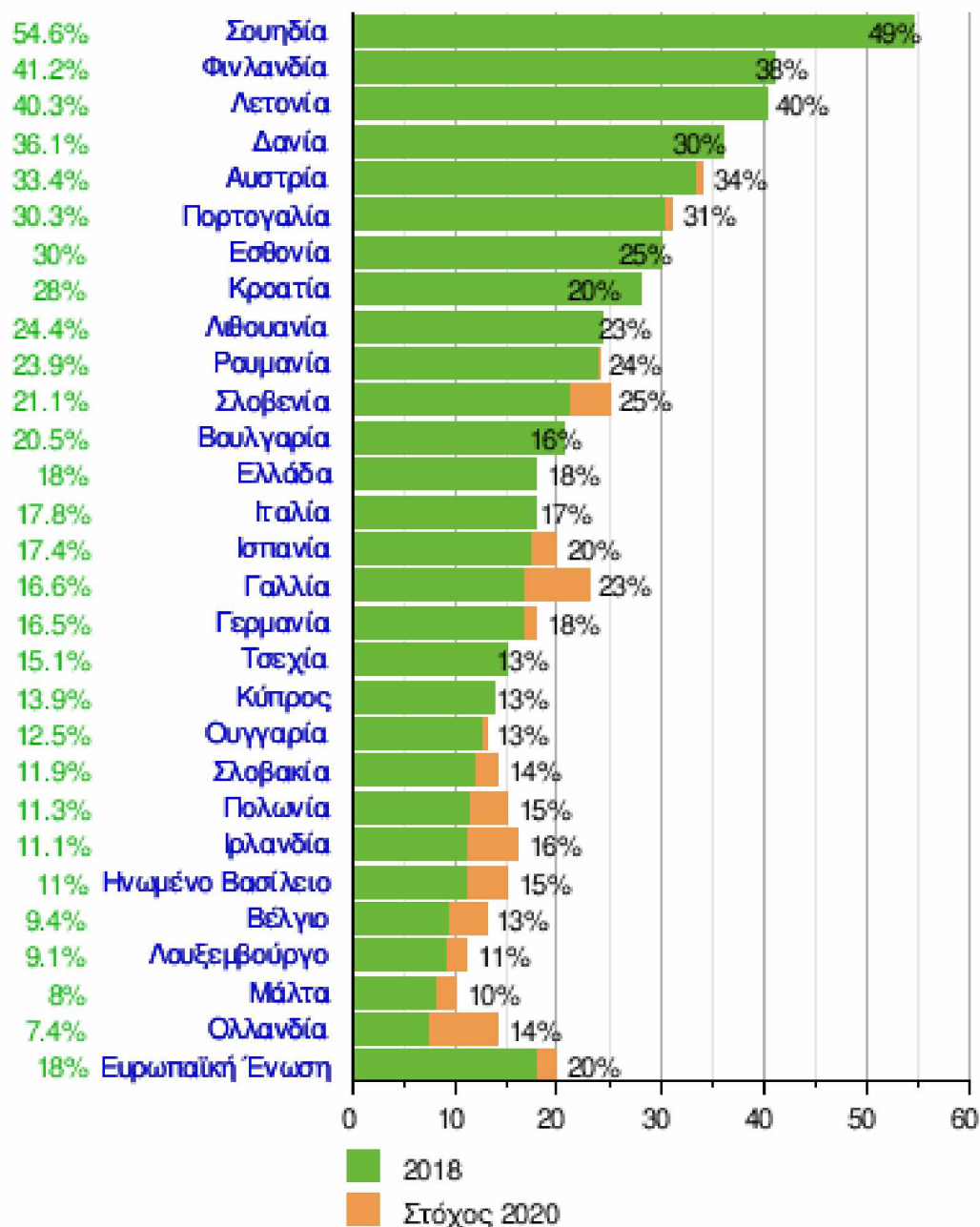
Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενσωμάτωσε το πρωτόκολλο του Κιότο στη νομοθεσία της και μεταγενέστερα, με τη «Συνθήκη της Λισαβόνας» που υπεγράφη στις 13 Δεκεμβρίου 2007 μεταξύ των μελών της Ε.Ε., έβαλε την ενέργεια στο επίκεντρο θέτοντας ως στόχους [22, 36]:

- Τη μείωση αερίων του θερμοκηπίου κατά ποσοστό 20% τουλάχιστον σε σχέση με το 1990.
- Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στην ενεργειακή κατανάλωση σε ποσοστό 20%.
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%.

Στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2018 οι ΑΠΕ αντιπροσώπευσαν το 18% του συνολικού ενεργειακού μείγματος το οποίο υπερδιπλασιάστηκε στην τελευταία δεκαπενταετία όπως δείχνουν τα στοιχεία της Eurostat [7].

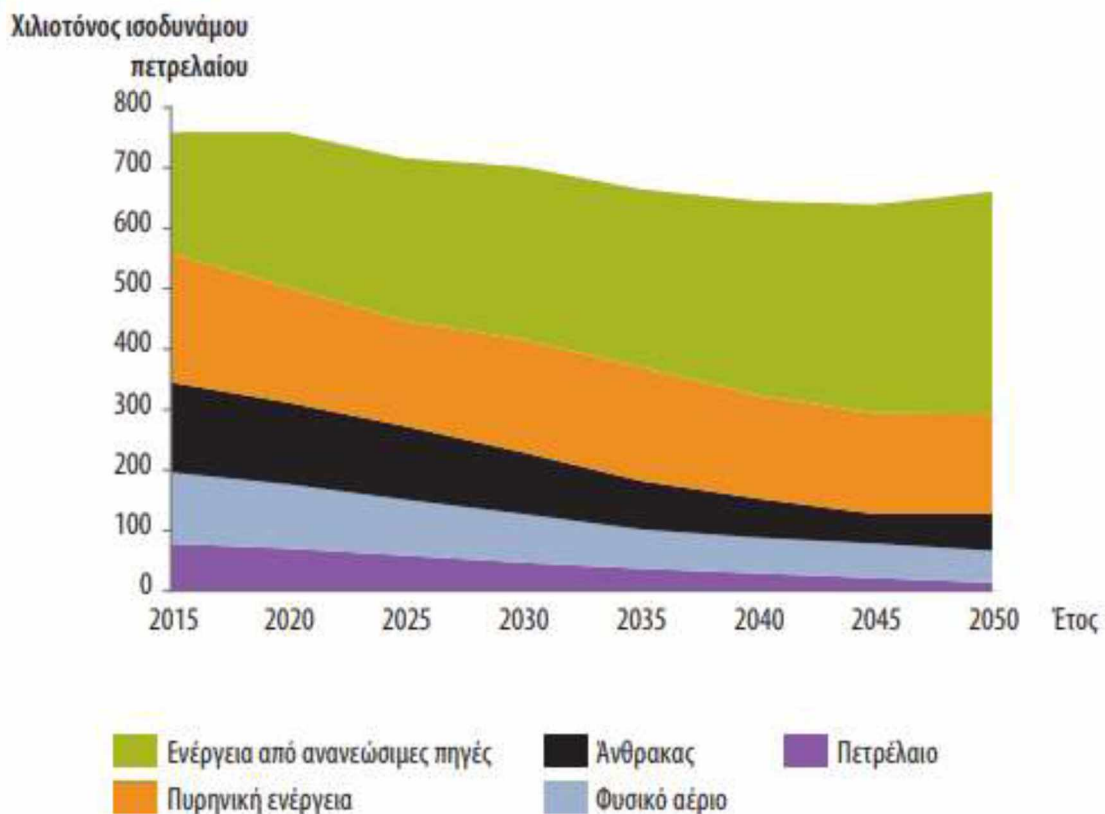
Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.3, η Ελλάδα συγκαταλεγόταν μεταξύ των 12 χωρών μελών που είχαν ήδη εκπληρώσει τους εθνικούς δεσμευτικούς στόχους του 2020 για τη χρήση των ΑΠΕ αντιπροσωπεύοντας το 18% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Οι υπόλοιπες χώρες που είχαν ήδη πετύχει ή ξεπεράσει τους εθνικούς στόχους ήταν οι Βουλγαρία, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Κροατία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Κύπρος, Φινλανδία, Αυστρία και Σουηδία. Η Σουηδία κατείχε τα σκήπτρα, με το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης ΑΠΕ (54,6%), ενώ ακολουθούσε η Φινλανδία (41,2%) και η Λετονία (40,3%). Στον αντίποδα τα χαμηλότερα ποσοστά εμφάνισαν οι Ολλανδία (7,4%), Μάλτα (8%) και Λουξεμβούργο (9,1%) [7].

Το 2018 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έθεσε νέο στόχο αναφορικά με το μερίδιο των ΑΠΕ στην τελική ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ειδικότερα, το εν λόγω ποσοστό θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 32% έως το 2030. Ο συγκεκριμένος στόχος πρόκειται να επανεξεταστεί μέχρι το 2023 και το ποσοστό θα μπορεί μόνο να αυξηθεί [7, 31]. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό πως το ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης προβλέπεται να αλλάξει μέσω της έντονης μείωσης της εκμετάλλευσης όλων των ορυκτών καυσίμων και τη μετατόπιση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Διάγραμμα 1.4).



Διάγραμμα 1.3: Μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (σε ποσοστό % ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης) [29]





Διάγραμμα 1.4: Προβολή της παραγωγής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά είδος καυσίμου, [21]

### 1.3 Το ενεργειακό σκηνικό στην Ελλάδα

Κάνοντας μία ιστορική αναδρομή αξίζει να αναφερθεί ότι η πρώτη προσπάθεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα έγινε με το νόμο N 1379/1918 «περί εκμεταλλεύσεως της δυνάμεως των ρεόντων υδάτων» που έδωσε τη δυνατότητα δημιουργίας υδροηλεκτρικών σταθμών. Ο ιδρυτικός νόμος της ΔΕΗ 1468/1950 είχε ως έναν απ' τους στόχους του την ανάπτυξη των εγχώριων ενεργειακών πόρων συμπεριλαμβανομένων κ των υδατοπτώσεων. Ακολούθως, η ψήφιση του νόμου 1559/1985 (ΦΕΚ 185 τεύχος Α) αποτέλεσε την πρώτη νομοθετική προσπάθεια της χώρας μας για «ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». Ο νόμος έδινε τη δυνατότητα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ και σύμφωνα με το άρθρο 3 παράγραφος 2 τη δυνατότητα «αυτοπαραγωγής» καθόσον η περίσσεια ενέργεια διοχετεύονταν στο τοπικό δίκτυο σε

προκαθορισμένη τιμή από τη ΔΕΗ [24]. Διάφορα προβλήματα τα οποία δεν καλύπτονταν από τον προηγούμενο νόμο ήρθε να καλύψει ο νόμος 2244/1994 (ΦΕΚ 168 τεύχος Α), με τον όποιον εισάγονται ουσιαστικά για πρώτη φορά ειδικές ρυθμίσεις για εκμετάλλευση ΑΠΕ [25]. Μεταγενέστερα η χώρα μας εναρμονίζει κατά βάση τη νομοθεσία της με τις αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Ελλάδα, λοιπόν, εντάσσεται στη συνολική προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, με την τελευταία ευρωπαϊκή οδηγία που υποχρεωτικά ενσωματώνεται στην ελληνική νομοθεσία (Ν. 4893/31-12-2019 τεύχος Β), προβλέπεται δεσμευτικά για την Ελλάδα η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές να καταλαμβάνει το 35% του συνολικού ενεργειακού μείγματος έως το 2030, ουσιαστικά διπλασιάζοντας το ποσοστό σε μια δεκαετία [23].

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) [23] αποτελεί για τη χώρα μας ένα οδικό χάρτη για την επίτευξη συγκεκριμένων ενεργειακών και κλιματικών στόχων έως και το 2030, λαμβάνοντας υπόψιν τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αλλά και τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ. Εμβληματικό στόχο για το ΕΣΕΚ αποτελεί η δραστική και οριστική μείωση του μεριδίου του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, δηλαδή η οριστική απολιγνιτοποίηση έως και το 2028. Ο λιγνίτης θα αντικατασταθεί από καθαρές μορφές ενέργειας στο νέο ενεργειακό μείγμα του 21ου αιώνα.

Στο ΕΣΕΚ ενσωματώνονται προτεραιότητες όπως η επιτάχυνση των ηλεκτρικών διασυνδέσεων των νησιών στα οποία λειτουργούν αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα βασιζόμενα κυρίως σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο πετρέλαιο. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.3, έως το 2030 θα έχουν διασυνδεθεί σχεδόν όλα τα νησιά του Αιγαίου. Οι διασυνδέσεις των νησιών θα επιτρέψουν την πιο αξιόπιστη τροφοδότησή τους με πιο οικονομικό μίγμα καυσίμων και άρα την αποφυγή των χρεώσεων ΥΚΩ, εξοικονομώντας έως και 450 εκατομμύρια ευρώ κατ' έτος. Η μείωση της χρήσης του πετρελαίου στα νησιά που θα διασυνδεθούν μέχρι το 2030 θα συνεισφέρει πρόσθετα στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης κατά 3%, με αντίστοιχα οφέλη σε επίπεδο μείωσης εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Για τα νησιά που προβλέπεται να παραμείνουν μη διασυνδεδεμένα για αρκετό διάστημα προωθείται επίσης μεγάλη μείωση της χρήσης πετρελαίου για

ηλεκτροπαραγωγή, με την εγκατάσταση σύγχρονων μονάδων ΑΠΕ σε συνδυασμό με τεχνολογίες αποθήκευσης.

Το ΕΣΕΚ δημοσιεύτηκε το Δεκέμβριο του 2019 θέτοντας αρκετά πιο υψηλούς στόχους σε σχέση με το αρχικό που είχε δημοσιευτεί τον Ιανουάριο του ίδιου έτους. Πιο αναλυτικά θα παρουσιαστεί μέσω Πινάκων 1.1, 1.2 και 1.3 και των Διαγραμμάτων 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 και 1.9 που αντλήθηκαν από την Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (Αριθμός Φύλλου 4893).

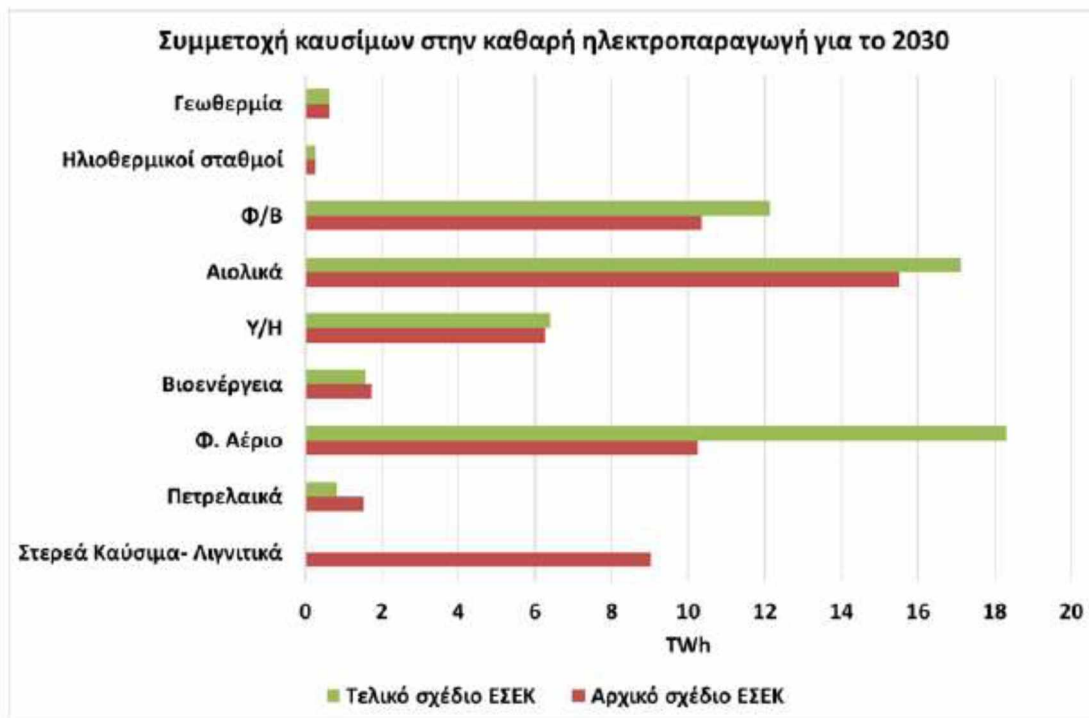
Πίνακας 1.1: Σύνοψη εθνικών στόχων στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ [23]

| 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                                  | 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, ≥55% σε σχέση με 2005    | 32% σε σχέση με 1990, 48% σε σχέση με 2005 | Σε ταύτιση με κεντρικούς Ευρωπαϊκούς στόχους και υπεραπόδοση σε σχέση με εθνικές δεσμεύσεις στους τομείς εκτός ΣΕΔΕ   |

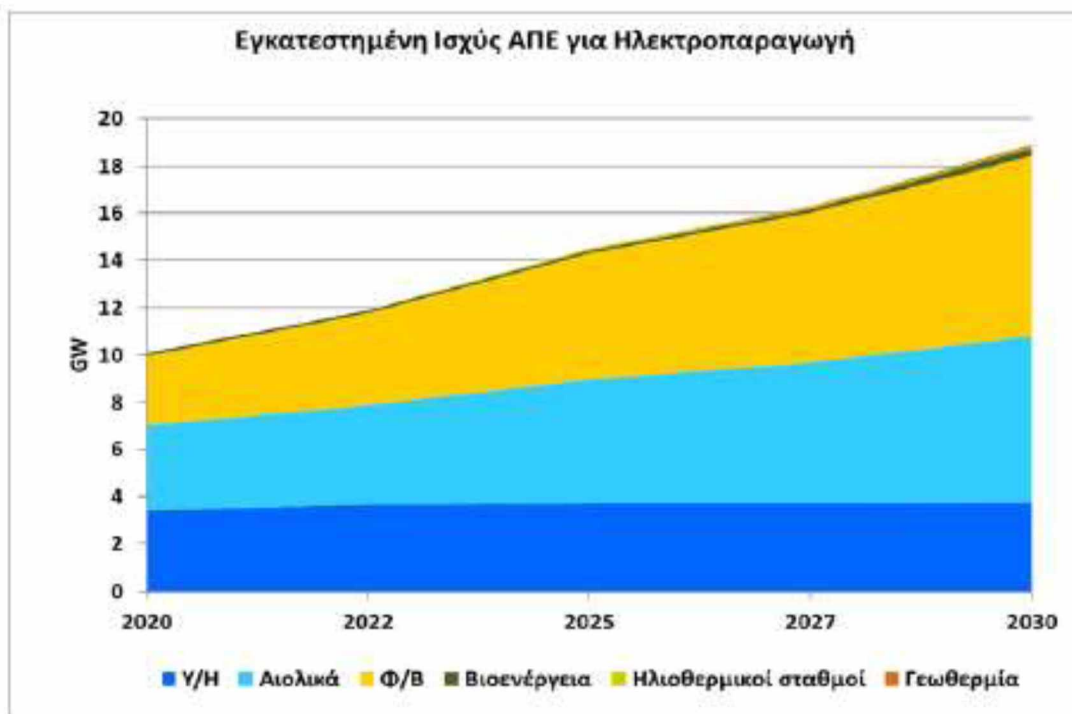


Πίνακας 1.2: Βασικοί στόχοι του ενεργειακού συστήματος για το έτος 2030 [23]

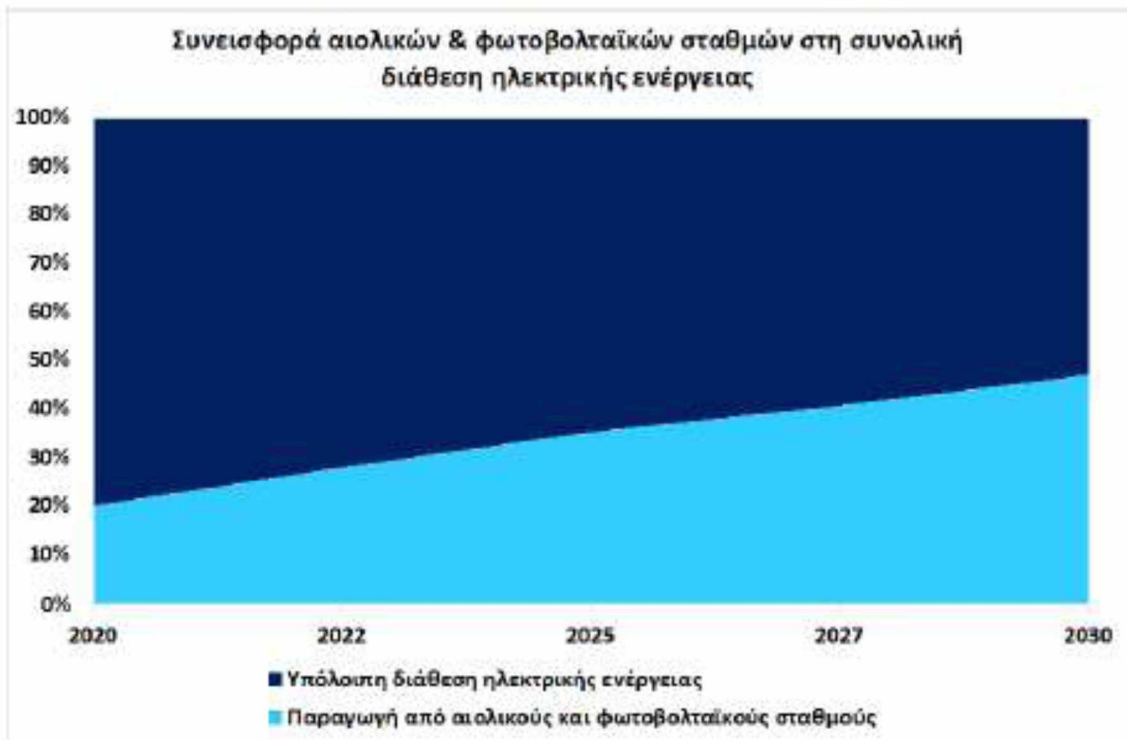
| Συγκριτικός πίνακας  | Αρχικό ΕΣΕΚ | Τελικό ΕΣΕΚ       |
|--|-------------|-------------------|
| <b>Βασικοί δείκτες</b>   |             |                   |
| Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (MtCO <sub>2</sub> eq)   | 71          | 60,6              |
| Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική 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>5</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             |
| <b>Καθαρές εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]</b>                | 4,16        | 4,58              |
| <b>Συνολική διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]<sup>6</sup></b>     | 59,72       | 61,80             |
| <b>Τελική Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [TWh]</b>                | 54,32       | 56,4              |
| <b>Κτιριακός τομέας</b>  |             |                   |
| Συνολικός αριθμός ανακαίνισης κατοικιών έως το έτος 2030           | 400.000     | 600.000           |



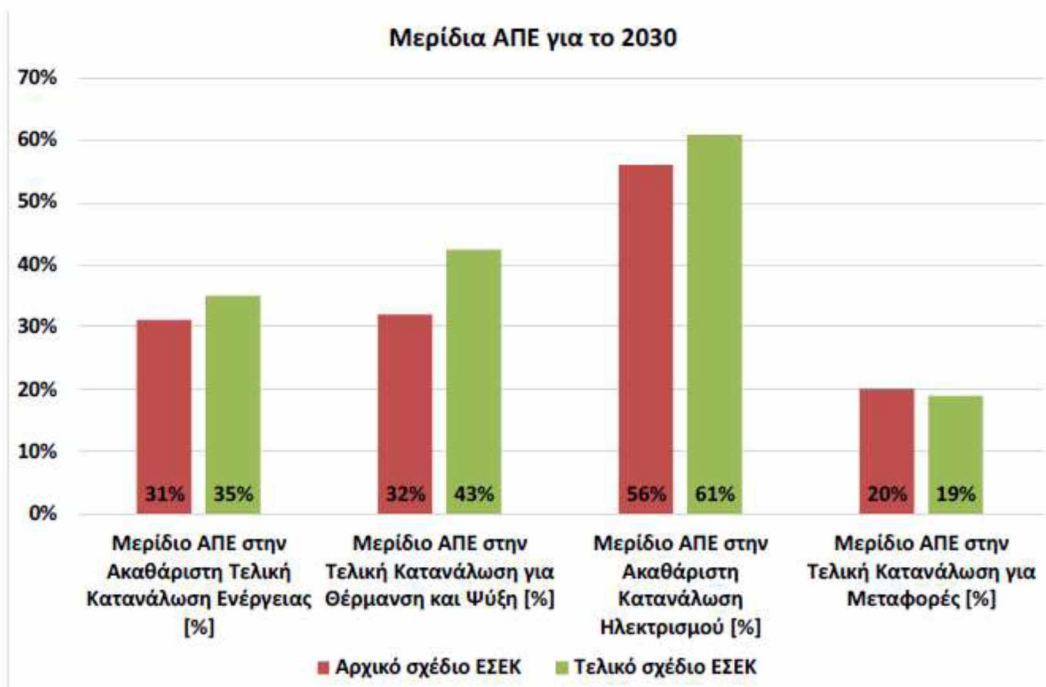
Διάγραμμα 1.5: Σύγκριση συμμετοχής καυσίμων στη καθαρή ηλεκτροπαραγωγή για το έτος 2030, του αρχικού ΕΣΕΚ και του τελικού ΕΣΕΚ [23]



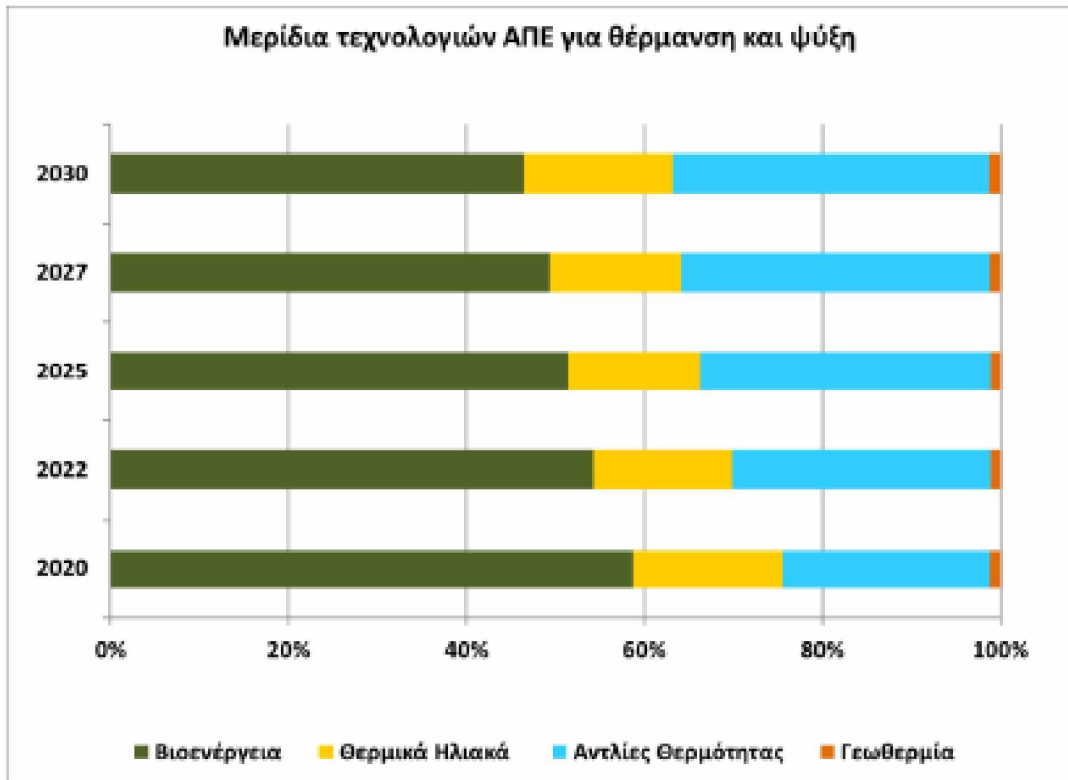
Διάγραμμα 1.6: Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ για Ηλεκτροπαραγωγή έως το έτος 2030 [23]



Διάγραμμα 1.7: Χρονικές απεικονίσεις του μεριδίου ηλεκτροπαραγωγής από αιολικούς και φωτοβολταϊκούς σταθμούς στο σύνολο της διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας [23]



Διάγραμμα 1.8: Σύγκριση των μεριδίων ΑΠΕ για το έτος 2030, του αρχικού σχεδίου ΕΣΕΚ και του τελικού [23]



Διάγραμμα 1.9: Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη στην Τελική Κατανάλωση Ενέργειας έως το έτος 2030 [23]

Πίνακας 1.3: Πλάνο υλοποίησης διασυνδέσεων [23]

|                         |                                    |   |   |
|-------------------------|------------------------------------|---|---|
| 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<br>2025: Έτος πλήρους λειτουργίας |
|                         | Διασύνδεση Κρήτης                  | Φάση I: 150kV, 2x200 MVA                                      | 2020: Διασύνδεση<br>2021: Έτος πλήρους λειτουργίας      |
|                         |                                    | Φάση II (Αριάδνη): ΕΣΜΗΕ αναλαμβάνει όλο το φορτίο της Κρήτης | 2022: Διασύνδεση<br>2023: Έτος πλήρους λειτουργίας      |
|                         |                                    |   | 2027: Διασύνδεση<br>2028: Έτος πλήρους λειτουργίας      |
|                         | Διασύνδεση Δωδεκάνησα*             |   | 2028: Διασύνδεση<br>2029: Έτος πλήρους λειτουργίας      |
| Διασύνδεση Β. Αιγαίο ** |                                    | 2023: Έτος πλήρους λειτουργίας                                |   |
| Διεθνείς Διασυνδέσεις   | 2η Διασύνδεση με Βουλγαρία, 600 MW |   | 2023: Έτος πλήρους λειτουργίας                          |

\* 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, Τέλενος, 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 2.1 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ενέργεια που αντλούμε από τις επαναλαμβανόμενες ροές ενέργειας που εμφανίζονται διαρκώς στο φυσικό μας περιβάλλον αποτελεί την ανανεώσιμη ενέργεια, σύμφωνα με όσα ανέφεραν ο Twidell και ο Weir το 2006 [17]. Ο Boyle το 2004 έδωσε ένα διαφορετικό ορισμό. Σύμφωνα με αυτόν, η ανανεώσιμη ενέργεια είναι η ενέργεια που αναπληρώνεται με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο καταναλώνεται [2]. Με άλλα λόγια, σύμφωνα όσα ανέφερε ο Kaltschmitt το 2007, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι πηγές που είναι ανεξάντλητες σε χρονικούς όρους της ανθρώπινης ζωής [10].

Σήμερα ως τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας θεωρούνται οι εξής:

##### 1 Ηλιακή ενέργεια

Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο δεσμεύεται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Ενεργητικά ηλιακά συστήματα: Συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν και στη συνέχεια τη διανέμουν αξιοποιώντας τον αέρα ή κάποιο ρευστό σα μέσο μεταφοράς θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση οικιακής χρήσης, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση κλπ.
- Παθητικά ηλιακά συστήματα: Εστιάζουν στην κατάλληλη διαχείριση των δομικών στοιχείων του κτιρίου και αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν ηλιακή ενέργεια, την οποία αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη κατανέμουν στο χώρο.
- Φωτοβολταϊκά συστήματα (Εικόνα 2.1): Σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, οι ημιαγωγοί μόλις φωτιστούν από τον ήλιο, παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι μόλις ο ήλιος προσπέσει σε ηλιακά κύτταρα, τα οποία αποτελούνται από ημιαγωγούς, δημιουργείται σε αυτά χαμηλή τάση και ρεύμα, μετατρέποντας με αυτόν τον τρόπο την ηλιακή ακτινοβολία άμεσα σε ηλεκτρισμό. Όταν όλα αυτά μαζί προστεθούν, μπορεί να συλληφθεί αρκετή ηλεκτρική ενέργεια που είτε διοχετεύεται



στο ηλεκτρικό σύστημα είτε χρησιμοποιείται για άμεση κατανάλωση από τον παραγωγό (ηλιακοί θερμοσίφωνες κλπ).



Εικόνα 2.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα

## 2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται από τη διαρκή κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα ο οποίος προκαλείται από παράγοντες όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η ανομοιογένεια του ανάγλυφου του εδάφους και η περιστροφική κίνηση της γης γύρω από τον άξονά της. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση των ανεμογεννητριών (Εικόνα 2.2), όπου μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική.



Εικόνα 2.2: Εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας μέσω ανεμογεννητριών

### 3 Βιομάζα

Με το συγκεκριμένο όρο αναφερόμαστε στην ύλη που προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς όπως είναι τα φυτικά και τα δασικά υπολείμματα (Εικόνα 2.3), τα απορρίμματα και τα αστικά απόβλητα. Η ύλη αυτή αν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο υλικό τότε παράγονται:

- Καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- Πρώτες ύλες για παραγωγή αιθανόλης και βιοντίζελ για μηχανές εσωτερικής καύσης.
- Πρώτες ύλες για παραγωγή βιοαερίου ή φυσικού αερίου, το οποίο αποτελεί άριστη καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.



Εικόνα 2.3: Συσσωματώματα βιομάζας, φτιαγμένα από πριονίδι

### 4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Αποτελεί την ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των υδάτινων μαζών. Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια που δημιουργείται κατά τις υδατοπτώσεις μετατρέπεται σε υδροηλεκτρική μέσα από τη χρήση υδραυλικών τουρμπινών.

Τα μεγάλης ισχύος υδροηλεκτρικά εργοστάσια απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και μεγάλων δεξαμενών κάτι που επιφέρει περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Εικόνα 2.4). Αντίθετα, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, με ισχύ μικρότερη των 30Mw, έχουν μικρή επίπτωση στο περιβάλλον και θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές.



Η τοποθέτησή τους γίνεται σε ορεινές περιοχές δίπλα σε ποτάμια και κανάλια με στόχο την εξασφάλιση σημαντικής υψομετρικής διαφοράς. Το νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα και περνώντας μέσα από τούνελ περιστρέφει τις τουρμπίνες δημιουργώντας μηχανική ενέργεια. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή μετατρέπεται μέσω ηλεκτρογεννήτριας σε ηλεκτρική.



Εικόνα 2.4: Υδροηλεκτρικό φράγμα «Three Gorges Dam» στην Κίνα

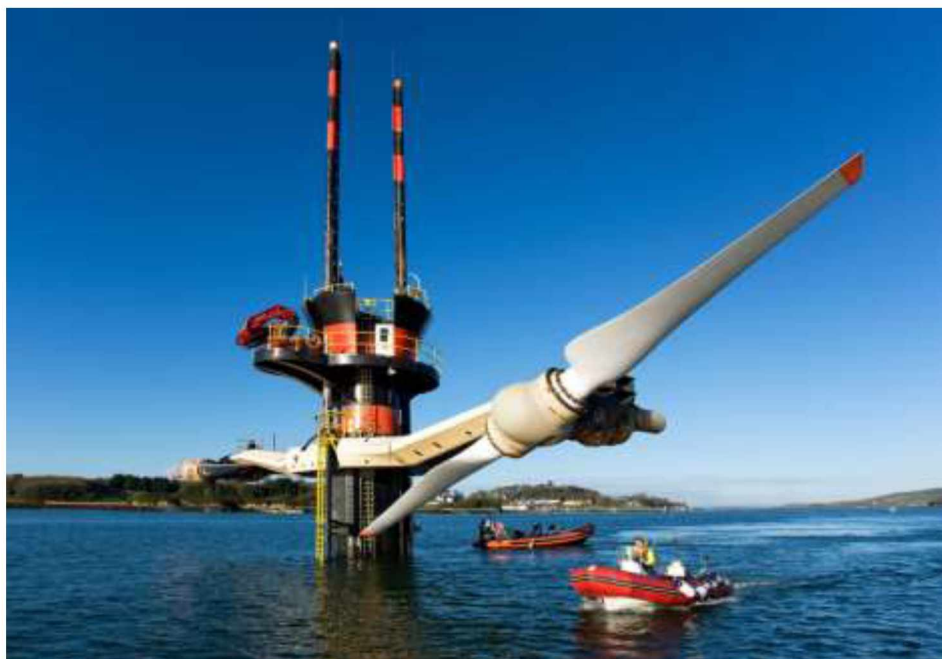
## 5 Ενέργεια από τη θάλασσα

Η θάλασσα περιέχει τεράστια αποθέματα ενέργειας, η εκμετάλλευση των οποίων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Οι σημαντικότεροι είναι οι εξής:

- Ενέργεια από παλίρροιες: Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Καθώς ανεβαίνει το νερό αποθηκεύεται και ύστερα για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα παράγοντας ηλεκτρισμό (Εικόνα 2.5).
- Ενέργεια κυμάτων: Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας. Πιο συγκεκριμένα, ο πλωτήρας καθώς δέχεται πλευρικά τη δύναμη των κυμάτων τίθεται σε περιστροφική κίνηση την οποία μπορεί με κατάλληλη διάταξη να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια. Παρόμοιοι πλωτήρες είναι ανοικτοί στο κάτω μέρος, το οποίο

βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού και περιέχουν αέρα. Με τις κινήσεις αυτές των πλωτήρων που προκαλούνται από πλευρικές κρούσεις των κυμάτων, η πίεση του παγιδευμένου αέρα αυξομειώνεται ρυθμικά με τη βοήθεια κατάλληλης βαλβίδας και με τον πεπιεσμένο αέρα λειτουργεί ο στρόβιλος που μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια (Εικόνα 2.6).

- Ενέργεια από ωκεανούς: Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων.



Εικόνα 2.5: Γεννήτρια που αξιοποιεί την παλίρροια στη Βόρεια Ιρλανδία



Εικόνα 2.6: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων

## 6 Γεωθερμία

Η γεωθερμία είναι η θερμότητα, η οποία εμπεριέχεται στα πετρώματα της γης, τους υπόγειους υδροφορείς και στα αέρια, τα οποία βρίσκονται εγκλωβισμένα σε κοιλότητες στο εσωτερικό της γης. Θεωρείται ότι παράγεται από τη διάσπαση ραδιενεργών ισοτόπων και εξαιτίας της μεγάλης μάζας της γης σε συνδυασμό με τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της γης. Η συσσωρευμένη θερμότητα εξέρχεται στην επιφάνεια της γης μέσω γεωλογικών φαινομένων, όπως είναι οι ηφαιστειακές εκροές και οι γεωλογικές ασυνέχειες και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού (Εικόνα 2.7). Οι εκμεταλλεύσιμες μορφές γεωθερμικής ενέργειας είναι οι εξής:

- Η μορφή θερμού νερού που αναβλύζει από τις θερμές πηγές και χρησιμοποιείται για οικιακές κυρίως εφαρμογές .
- Η μορφή ατμού, που χρησιμοποιείται σε στροβιλογεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.
- Η μορφή ατμού, εκμεταλλεύσιμου για την παραγωγή ενέργειας, που προκύπτει από τη μετατροπή νερού που στέλνεται με πίεση στα θερμά στρώματα του υπεδάφους.



Εικόνα 2.7: Γεωθερμικό πεδίο

## 2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής:

- Αποτελούν ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δίνουν λύση στο ενεργειακό πρόβλημα που αφορά τη σταθεροποίηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές όπως είναι τα οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Αποτελούν εγχώριες πηγές ενέργειας επομένως συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Το γεγονός πως είναι διάσπαρτες γεωγραφικά ενισχύει την αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι καθίσταται εφικτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες που προκύπτουν κατά τη μεταφορά ενέργειας.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές καθώς μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του πληθυσμού αξιοποιώντας ορθολογικά τους ενεργειακούς πόρους.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις, ενώ οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό ειδικά για τις οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένες περιοχές.
- Ο εξοπλισμός έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και είναι σχετικά απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση.

Ενώ τα κύρια μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής:

- Ο συντελεστής απόδοσής τους είναι αρκετά μικρός, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερος. Επομένως απαιτείται αρκετά μεγάλο κεφάλαιο για την



εφαρμογή τους σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας, μη μπορώντας να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες μεγάλων αστικών κέντρων.

- Η παροχή και η απόδοση της ηλιακής, της υδροηλεκτρικής και της αιολικής ενέργειας δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την εποχή του έτους, το κλίμα και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις ανεμογεννήτριες θεωρείται ότι υποβαθμίζουν την ομορφιά ενός φυσικού τοπίου, αλλά και ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### **2.3 Υβριδικά συστήματα ενέργειας**

Ως υβριδικό σύστημα ορίζουμε ένα δυναμικό σύστημα ισχύος το οποίο χρησιμοποιεί πάνω από μία μεθόδους παραγωγής ενέργειας για να καλύπτει την απαιτούμενη ενέργεια. Αυτό μπορεί να επιτυγχάνεται είτε με την εκμετάλλευση δύο ή περισσότερων διαφορετικών μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είτε με συνδυασμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμβατικών πηγών, όπως είναι οι γεννήτριες diesel.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το άρθρο 2 του νόμου 3468/2006 [26], ως υβριδικό σύστημα ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Χρησιμοποιεί μία τουλάχιστον μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο Υβριδικός Σταθμός από το Δίκτυο, κατά το προηγούμενο εδάφιο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο Δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο Δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού Α.Π.Ε. δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

Ο βασικός λόγος εφαρμογής του υβριδικού συστήματος είναι η αστάθμητη παραγωγή ενέργειας που χαρακτηρίζει τις ανεμογεννήτριες, λόγω μη προβλεψιμότητας του ανέμου, και τα φωτοβολταϊκά λόγω της περιορισμένης διάρκειας της ηλιοφάνειας. Πλέον των ανωτέρω, η ζήτηση ενέργειας δεν είναι σταθερή τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο κατά τη διάρκεια του έτους, κάτι που ισχύει ιδιαίτερα στα νησιά λόγω του τουρισμού.

Οι διακυμάνσεις στη ζήτηση ενέργειας σε συνδυασμό με τη μη προβλέψιμη παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέχει τον κίνδυνο οι ενεργειακές ανάγκες να μην μπορούν να καλυφθούν όταν η ζήτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την προσφορά.

Ενδεδειγμένη λύση για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος αποτελεί ο σχεδιασμός υβριδικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής που εκμεταλλεύονται τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την παρουσία κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης και περιλαμβάνουν συμβατικές μονάδες για την πλήρη κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης.

Εδώ και αρκετά χρόνια ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης του ενεργειακού τομέα. Πολυάριθμες επιστημονικές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί και μερικές από αυτές αξιοποιήθηκαν για το σκοπό της συγγραφής της παρούσας εργασίας. Οι συγκεκριμένες μελέτες έγιναν από τους M.K. Deshmukh & S.S. Deshmukh [4], Jose L. Bernal-Agustin & Rodolfo Dufo-Lopez [1] και Yuan-Kang Wu & Shih-

Ming Chang [18], ενώ πιο λεπτομερής αναφορά σε αυτές γίνεται στη βιβλιογραφία.

## **2.4 Μη διασυνδεδεμένα νησιά**

Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 6.000 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες. Από το σύνολο αυτών των νησιών μόνο τα 117 κατοικούνται εκ των οποίων μόνο τα 79 έχουν πληθυσμό άνω των 100 κατοίκων [29].

Όσα από αυτά βρίσκονται πλησίον την ηπειρωτικής χώρας έχουν διασυνδεθεί με το βασικό ηλεκτρικό δίκτυο μέσω υποβρυχίων καλωδίων. Ως μη διασυνδεδεμένα νησιά ορίζονται τα νησιά της ελληνικής επικράτειας των οποίων το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δε συνδέεται με το κεντρικό σύστημα διανομής της ηπειρωτικής χώρας λόγω τεχνικών δυσκολιών και του μεγάλου οικονομικού κόστους διασύνδεσης. Τα μη διασυνδεδεμένα νησιά σήμερα ηλεκτροδοτούνται κατά κύριο λόγο από αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο και με σταθμούς ΑΠΕ. Η ηλεκτροδότηση των μη διασυνδεδεμένων νησιών εξυπηρετείται από 29 αυτόνομα δίκτυα και ορισμένα εξ αυτών εξυπηρετούν συμπλέγματα νησιών, όπως φαίνεται αναλυτικότερα στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Αυτόνομα δίκτυα ηλεκτροδότησης μη διασυνδεδεμένων νησιών,  
[ΔΕΔΔΗΕ]

| <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                    | ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ     |
| 11   | ΘΗΡΑ                         | ΘΗΡΑ          |
|  |                              | ΘΗΡΑΣΙΑ       |
| 12   | ΙΚΑΡΙΑ                       | ΙΚΑΡΙΑ        |
| 13   | ΚΑΡΠΑΘΟΣ                     | ΚΑΡΠΑΘΟΣ      |
|  |                              | ΚΑΣΟΣ         |
| 14   | ΚΡΗΤΗ                        | ΚΡΗΤΗ         |
| 15   | ΚΥΘΝΟΣ                       | ΚΥΘΝΟΣ        |
| 16   | ΚΩΣ - ΚΑΛΥΜΝΟΣ               | 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          |

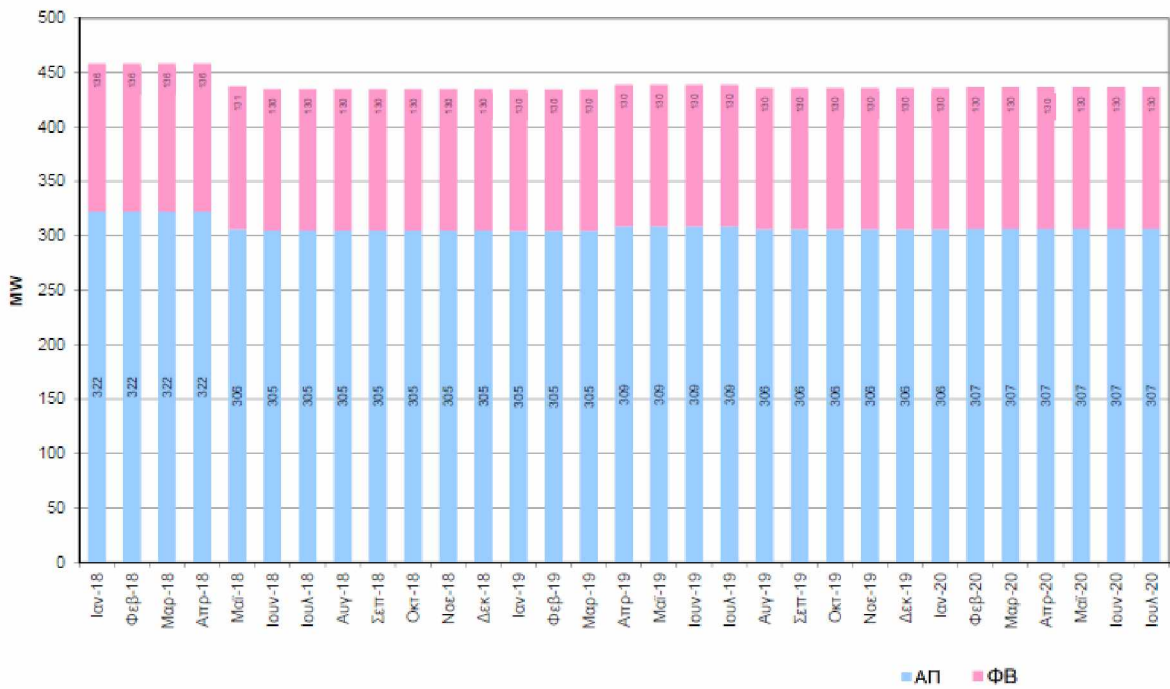


Η λειτουργία και η διαχείριση των μη διασυνδεδεμένων νησιών γίνεται από τη διεύθυνση διαχείρισης νήσων της ΔΕΔΔΗΕ. Είναι αυτονόητο ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά έχει διακυμάνσεις ανάλογα με τον πληθυσμό του νησιού, από ορισμένες MWh στα μικρότερα νησιά όπως είναι οι Οθωνοί έως και TWh στην Κρήτη.

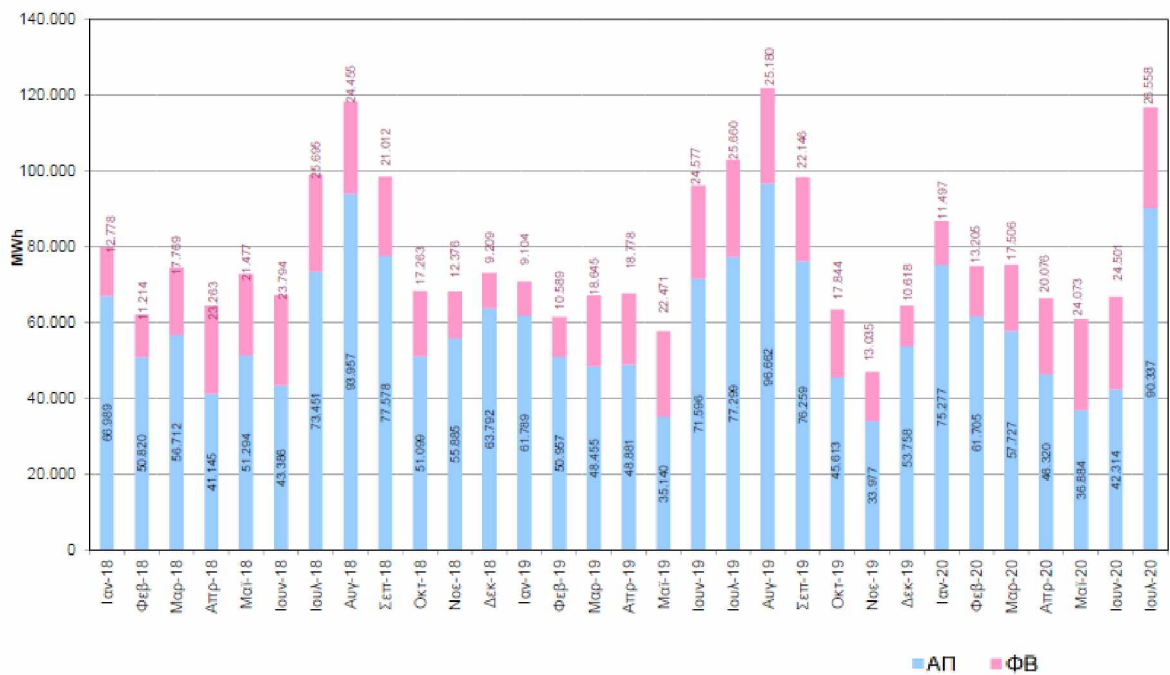
Όπως έχει προαναφερθεί, τα μη διασυνδεδεμένα νησιά παραγάγουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας απ' το δαπανηρό και μη φιλικό προς το περιβάλλον diesel, παρ' ότι διαθέτουν άριστες συνθήκες για την εκμετάλλευση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας. Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά υπόκειται σε συγκεκριμένους τεχνικούς περιορισμούς που καθορίζουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ωριαία διείσδυση των μη ελεγχόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ηλεκτρικό φορτίο. Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του 2019 από το Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE) [28], οι συγκεκριμένοι περιορισμοί καθιστούν αρκετά δύσκολη την αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η σημερινή τιμή του εν λόγω ποσοστού είναι 24,89% (Ιούλιος 2020) [19] και σύμφωνα με το IENE δύναται να αυξηθεί κυρίως μέσω της διασύνδεσης των νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα ή με την εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων αποθήκευσης σε αυτά.

Ως λύση, κατόπιν τεχνικο-οικονομικής μελέτης και εφόσον είναι οικονομικά βιώσιμη, ενδείκνυται η χρήση υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας, κυρίως στα μικρότερα μη διασυνδεδεμένα νησιά, καθόσον η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και η τεχνολογία αποθήκευσης εξελίσσονται με γοργούς ρυθμούς.

Ακολούθως, για την πιο σαφή απεικόνιση της ενεργειακής κατάστασης στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, παρατίθεται ο Πίνακας 2.2 και τα Διαγράμματα 2.1 και 2.2 που αντλήθηκαν από το «Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά» για τον Ιούλιο 2020, που δημοσιεύτηκε από το Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) [19].



Διάγραμμα 2.1: Εγκατεστημένη Ισχύς Μονάδων ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (2018-2020) [19]



Διάγραμμα 2.2: Παραγωγή Ενέργειας Μονάδων ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (2018-2020) [19]

Πίνακας 2.2: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ (Ιούλιος 2020) [19]

| ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΔΝ | ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ 2019 (MW) | ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΙΧΜΗ ΖΗΤΗΣΗΣ 2019 (MW) <sup>*</sup> | ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ (MWh) <sup>***</sup> | ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh) | ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh) | ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh) | ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ |
|-----------------------|---|---|---|---------------------------------|------------------|-----------------|---|
| ΚΡΗΤΗ                 | 819,42                                  | 676,40  | 83.284,55                                 | 196.018,77                      | 176,31           | 143,58          | 29,82%                                      |
| ΡΟΔΟΣ                 | 326,96                                  | 215,90  | 15.663,22                                 | 54.307,77                       | 197,78           | 110,45          | 22,39%                                      |
| ΛΕΣΒΟΣ                | 102,60                                  | 65,38   | 5.534,16                                  | 21.620,70                       | 139,67           | 103,16          | 20,38%                                      |
| ΚΩΣ-ΚΑΛΥΜΝΟΣ          | 138,74                                  | 100,60  | 6.239,13                                  | 29.108,98                       | 124,44           | 95,20           | 17,65%                                      |
| ΛΗΜΝΟΣ                | 26,15                                   | 14,00   | 1.033,15                                  | 4.616,78                        | 177,47           | 117,05          | 18,29%                                      |
| ΜΗΛΟΣ                 | 22,98                                   | 12,72   | 990,55                                    | 4.209,41                        | 90,53            | 103,15          | 19,05%                                      |
| ΧΙΟΣ                  | 77,78                                   | 45,30   | 2.933,81                                  | 16.373,23                       | 142,11           | 102,07          | 15,20%                                      |
| ΣΑΜΟΣ                 | 49,63                                   | 29,90   | 3.799,33                                  | 8.235,67                        | 194,09           | 110,03          | 31,57%                                      |
| ΚΑΡΠΑΘΟΣ              | 19,05                                   | 11,46   | 608,50                                    | 2.705,93                        | 187,48           | 115,62          | 18,36%                                      |
| ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΗΣ**         | 169,98                                  |   | 1.671,62                                  | 30.318,88                       |                  |                 | 5,23%                                       |
| <b>ΣΥΝΟΛΟ</b>         | <b>1.753,29</b>                         |   | <b>121.758,02</b>                         | <b>367.516,32</b>               |                  |                 | <b>24,89%</b>                               |

Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό πως η εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά αποτελεί θέμα υψίστης σημασίας τόσο για οικονομικούς, όσο και για οικολογικούς λόγους. Σχετικές επιστημονικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για το νησί της Αστυπάλαιας από τους Δημήτρη Κατσαπρακάκη & Δημήτρη Χρηστάκη [11], αλλά και τη Μαρία Χαλακατεβάκη κ.α [3], παρείχαν σημαντικά γνωστικά εφόδια για τη διαμόρφωση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Καστελλόριζου και αναγράφονται πιο λεπτομερώς στη βιβλιογραφία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Η ΝΗΣΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗ (ΚΑΣΤΕΛΛΟΡΙΖΟ)

#### 3.1 Γενικά στοιχεία

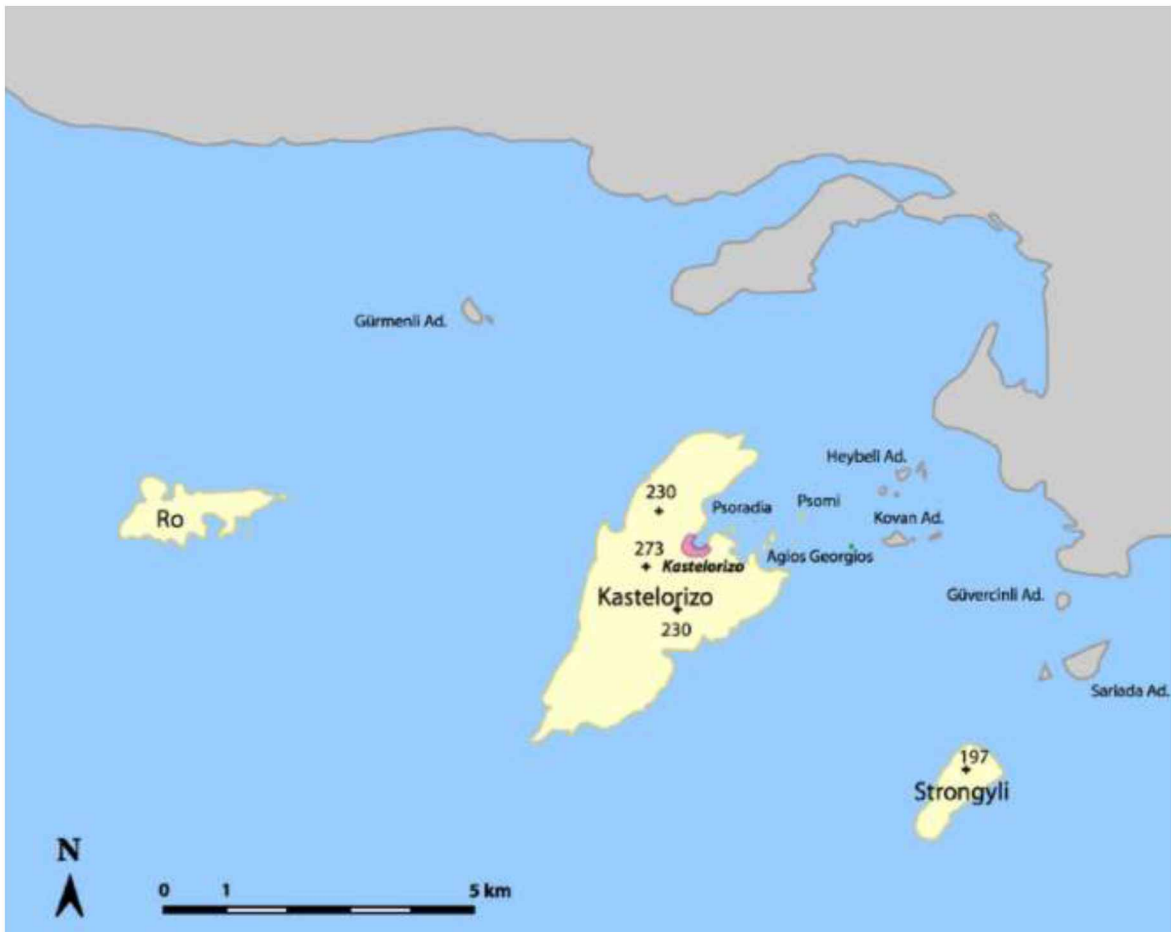
Το Καστελλόριζο (Εικόνα 3.1), το οποίο επίσημα ονομάζεται Μεγίστη, αποτελεί νησί των Δωδεκανήσων που απέχει μόλις 1,25 ναυτικά μίλια από τις νοτιοδυτικές Μικρασιατικές ακτές και 72 ναυτικά μίλια από τη Ρόδο. Υπάγεται διοικητικά στην Αποκεντρωμένη Διοίκηση Αιγαίου στην περιφερειακή ενότητα Ρόδου. Καταλαμβάνει έκταση 9,125 τετραγωνικών χιλιομέτρων, ενώ έχει μήκος ακτών 19,5 χιλιόμετρα και μέγιστο υψόμετρο τα 273 μέτρα. Σύμφωνα με την τελευταία επίσημη απογραφή, ο πληθυσμός του νησιού ανέρχεται στους 492 κατοίκους. Τη θερινή περίοδο λόγω της τουριστικής δραστηριότητας ο πληθυσμός ξεπερνάει του 1.200 κατοίκους. Οι κάτοικοι του νησιού ασχολούνται με την αλιεία και τις υπηρεσίες που έχουν σχέση με τον τουρισμό. Το νησί επικοινωνεί ακτοπλοϊκά και αεροπορικά με τη Ρόδο. Διαθέτει δημοτικό σχολείο, γυμνάσιο και λύκειο.



Εικόνα 3.1: Καστελλόριζο



Η Μεγίστη είναι η μεγαλύτερη νήσος ενός μικρού συμπλέγματος που ονομάζεται σύμπλεγμα Καστελλόριζου που περιλαμβάνει νησίδες και βραχονησίδες όπως είναι ο Άγιος Γεώργιος, η Ρω και η Στρογγυλή που ανήκουν στην Ελλάδα, καθώς και κάποιες άλλες νησίδες που ανήκουν στην Τουρκία (Εικόνα 3.2). Οι ελληνικές νησίδες του συμπλέγματος συγκροτούν το Δήμο Μεγίστης, με τη Στρογγυλή να αποτελεί το ανατολικότερο άκρο της ελληνικής επικράτειας. [29]



Εικόνα 3.2: Σύμπλεγμα Καστελλόριζου

### 3.2 Ιστορικές αναφορές

Αν και μικρό το Καστελλόριζο, έχει μεγάλη ιστορία καθώς κατοικείται από τη νεολιθική εποχή, ενώ κάποιο διάστημα αποικίστηκε από Δωριείς, όπως όλα τα Δωδεκάνησα. Αυτοί έδωσαν στο νησί το όνομα Μεγίστη, ενώ την ονομασία Καστελλόριζο την έλαβε από τους Ιωαννίτες ιππότες από το κάστρο που κτίστηκε στον κόκκινο βράχο πάνω απ' τον οικισμό.

Το νησί φαίνεται να είχε ανεπτυγμένο πολιτισμό αν κρίνει κανείς από τα αρχαία ευρήματα, τις επιγραφές, τους Μυκηναϊκούς τάφους, τα κυκλώπεια τείχη αλλά και ερείπια του ναού του Απόλλωνα. Κατά βάση το νησί ακολουθούσε στους ελληνικούς, ρωμαϊκούς αλλά και βυζαντινούς χρόνους την ακμή της Ρόδου. Το 1306 καταλαμβάνεται από τους Ιωαννίτες ιππότες της Ρόδου και ακολούθως περνάει διαδοχικά στην εξουσία Αιγυπτίων, Καταλανών, στο βασίλειο της Νάπολης, στους Ενετούς πριν καταλήξει στους Οθωμανούς.

Κατά την τουρκοκρατία πληρώνοντας ένα μικρό ετήσιο φόρο, κατορθώνει και διατηρεί προνόμια θρησκείας και γλώσσας και αναπτύσσει αξιόλογο εμπορικό στόλο. Με την επανάσταση του 1821 συμμετέχει στον αγώνα προσφέροντας τα πλοία της, αλλά με το πρωτόκολλο του Λονδίνου το 1830 το Καστελλόριζο παρέμεινε υπό τουρκική κυριαρχία. Το 1913 οι κάτοικοι επαναστάτησαν και κήρυξαν την ένωση με την Ελλάδα η οποία δεν έγινε αποδεκτή. Αυτοδιοικήθηκε για 2 χρόνια, πέρασε ακολούθως στην κατοχή Τούρκων, Γάλλων και Ιταλών έως και το 1947 που επίσημα ενσωματώθηκε στην Ελλάδα.

Στο διάβα του 20ου αιώνα ο ναυτικός εμπορικός στόλος του Καστελλόριζου βρισκόταν στη μεγαλύτερη ακμή. Το νησί αριθμούσε περίπου 12.000 κατοίκους και αναπτύχθηκε ιδιαίτερα η πνευματική εκπαίδευση. Ιδρύθηκαν σχολεία, παρθεναγωγεία, εκκλησίες αλλά και μοναδικά σπίτια χτισμένα αμφιθεατρικά που αγκαλιάζουν το λιμάνι στον οικισμό του νησιού σε θεατρικό σκηνικό. Δίπατα ή τρίπατα καπετανόσπιτα χτισμένα κλιμακωτά από τη θάλασσα ως τις ρίζες του βουνού με συνεχή δόμηση είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία στραμμένα προς τη θάλασσα και αποτελούν παραδοσιακά στοιχεία ανάπτυξης και πλούτου για τους Καστελλοριζιούς.

Στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο οι Γερμανοί βομβαρδίζουν το νησί, οι Άγγλοι το καίνε και το ληστεύουν αφήνοντας καμένα σπίτια και λίγες ψαρόβαρκες στο λιμάνι που κάποτε έσφυζε από ζωή. Ήταν μοιραίο οι κόποι των Καστελλοριζιτών καπετάνιων να βουλιάζουν για πάντα. Ακολούθησε περίοδος παρακμής και οι πιο πολλοί ξενιτεύτηκαν σε Ελλάδα και Αίγυπτο, αλλά η μεγαλύτερη παροικία Καστελλοριζιτών είναι στην Αυστραλία που αριθμεί 50.000 Καστελλοριζιούς με έντονη πολιτιστική παράδοση και αγάπη για τον τόπο τους. [29, 30]

### 3.3 Γεωπολιτική σημασία

Το Καστελλόριζο είναι το νησί με την πλέον εξέχουσα γεωπολιτική και γεωστρατηγική σημασία λόγω της κρίσιμης γεωγραφικής θέσης του (Εικόνα 3.3), με προφανή εθνικά και κυριαρχικά δικαιώματα και συμφέροντα, καθόσον καθορίζει την Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Ελλάδος.

Σύμφωνα με τη «Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας» του 1982 (άρθρα 55-75) [20], με την οποία θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η αποκλειστική οικονομική ζώνη (ΑΟΖ), αυτή περιλαμβάνει το θαλάσσιο βυθό, το υπέδαφός του και εκτείνεται πέρα των χωρικών υδάτων, μέχρι δυνητικά την απόσταση των 200 ναυτικών μιλίων από την ακτογραμμή της χώρας. Στην ΑΟΖ το κράτος δεν ασκεί πλήρη κυριαρχία, αλλά έχει ειδικά κυριαρχικά δικαιώματα (έρευνα, εκμετάλλευση φυσικών πόρων κ.α.). ΑΟΖ έχουν τα νησιά, οι νησίδες και βραχονησίδες, μόνο εφόσον μπορούν να συντηρήσουν ανθρώπινη διαβίωση και δική τους οικονομική ζωή. Επομένως, τα νησιά διαθέτουν δικαιώματα υφαλοκρηπίδας και ΑΟΖ εξαιρουμένων μόνο των βραχονησίδων που δεν μπορούν να συντηρήσουν ανθρώπινη ζωή και κατ' επέκταση να αναπτύξουν οικονομική δραστηριότητα.



Εικόνα 3.3: Γεωγραφική θέση Καστελλόριζου

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι η περίπτωση των νησιών του δήμου Μεγίστης αποτελεί για τη χώρα μας μέγιστο εθνικό θέμα, καθόσον, λόγω της γεωγραφικής του θέσης, το Καστελλόριζο διευρύνει την ΑΟΖ της χώρας μας, συρρικνώνοντας αντίστοιχα την ΑΟΖ της Τουρκίας.

### **3.4 Η σημερινή ενεργειακή κατάσταση**

Οι πληροφορίες για την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση παρασχέθηκαν από τον τομέαρχη ανάπτυξης και διαχείρισης παραγωγής της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ, κύριο Ανδρέα Ρέππα, τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαίτερως.

Το Καστελλόριζο καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες μέσα από τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμικού σταθμού παραγωγής, του ΤΣΠ Μεγίστης. Παράλληλα, δεν υπάρχει κάποιος σταθμός ηλεκτροπαραγωγής που να εκμεταλλεύεται τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Το μέσο ετήσιο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων του συστήματος παραγωγής ενέργειας του Καστελλόριζου για το έτος 2019, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος καυσίμου και το πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, προέκυψε από τα προσωρινά στοιχεία των μηνιαίων εκκαθαρίσεων ίσο με 282,89 ευρώ/MWh. Πρόσθετα, το ετήσιο κόστος αγοράς πετρελαίου diesel για το 2019 κυμάνθηκε στα 949,70 ευρώ/κlt, ενώ το μέσο ετήσιο πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης εκτιμάται ίδιο για κάθε μονάδα και ίσο με 5,94 ευρώ/MWh. Σημειώνεται, επίσης, ότι λόγω του μικρού μεγέθους του συστήματος της Μεγίστης, δεν καταβάλλεται κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών ρυπογόνων ουσιών.

Ο ΤΣΠ Μεγίστης αποτελείται από επτά συμβατικές μονάδες συνολικής μέγιστης δυναμικότητας 1,45 MW. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει δύο συμβατικές μονάδες Hyundai KD8AX (180 kW), δύο Doosan P158LE-2 (220 kW), μία Cummins VT 1710G (400 kW) και μία Volvo PENTA TAD 1345GE (250 kW). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όλες οι παραπάνω γεννήτριες καταναλώνουν πετρέλαιο diesel.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι κάτοικοι του νησιού έχουν κάνει ορισμένες προσπάθειες ώστε να μπορέσουν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά πλαίσια, όμως η παρούσα νομοθεσία για την προστασία του παραδοσιακού χαρακτήρα του οικισμού αποτρέπει κάθε επέμβαση στα κτηριακά κελύφη. Παρ' όλ' αυτά, οι παρεμβάσεις σε τοποθεσίες μακριά από τον οικισμό δεν απαγορεύονται από το νόμο.

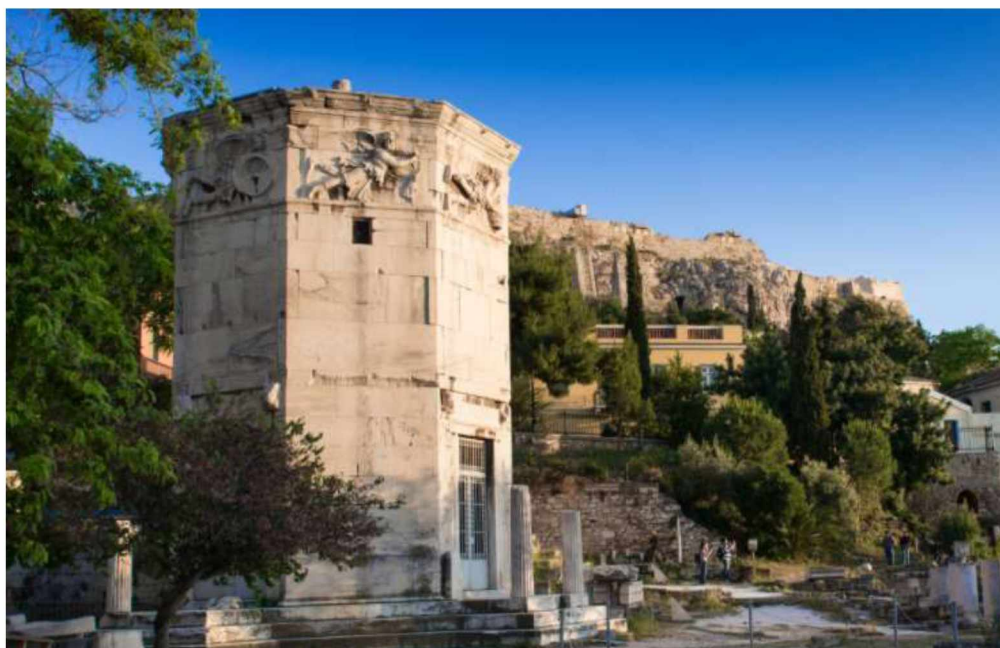


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΙΟΛΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

#### 4.1 Περί ανέμων...

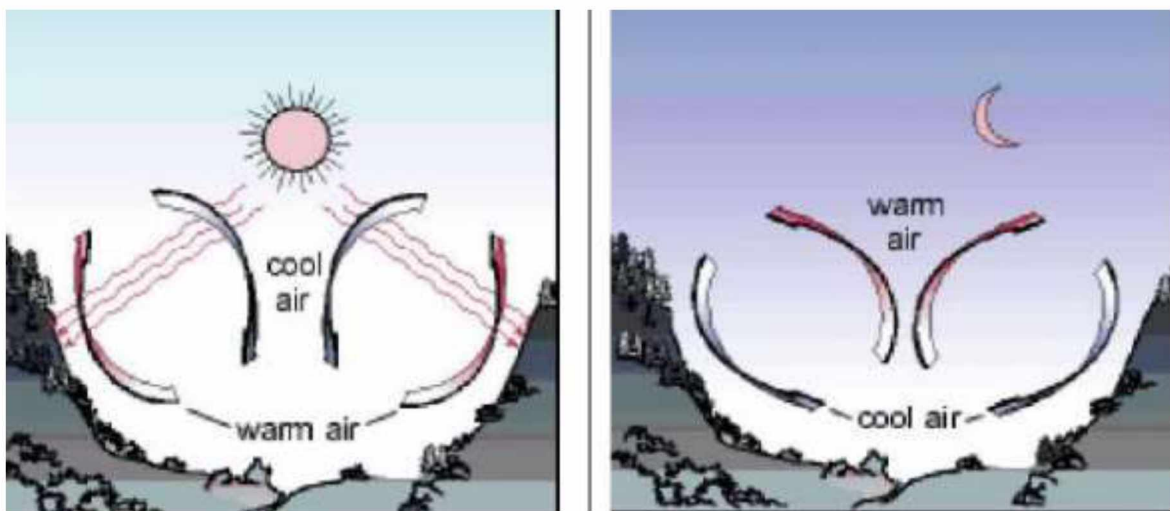
Ο άνεμος. Αυτός που υπήρχε πριν από τον άνθρωπο και θα υπάρχει και μετά. Αυτός που έφερε Αχαιούς, Δαναούς και άλλους Έλληνες πολεμιστές από την Αυλίδα στις μικρασιατικές ακτές για να υποτάξουν την Τροία, αυτός που εμπόδιζε την εκστρατεία τους έως ότου ο πρώτος τη τάξει βασιλιάς θυσίασε την κόρη του. Η δύναμη των ανέμων εκφράστηκε στον αρχαίο κόσμο με ένα από τα σημαντικότερα μνημεία της Αθήνας, ορόσημο για την πόλη, τον Πύργο των Ανέμων, γνωστό και ως «Αέρηδες» ή «το Ωρολόγιο του Ανδρονίκου Κυρήστου», που δεσπόζει στη Ρωμαϊκή Αγορά και φέρει στις μετόπες του ανάγλυφα τους οκτώ κυριότερους ανέμους (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Ο Πύργος των Ανέμων

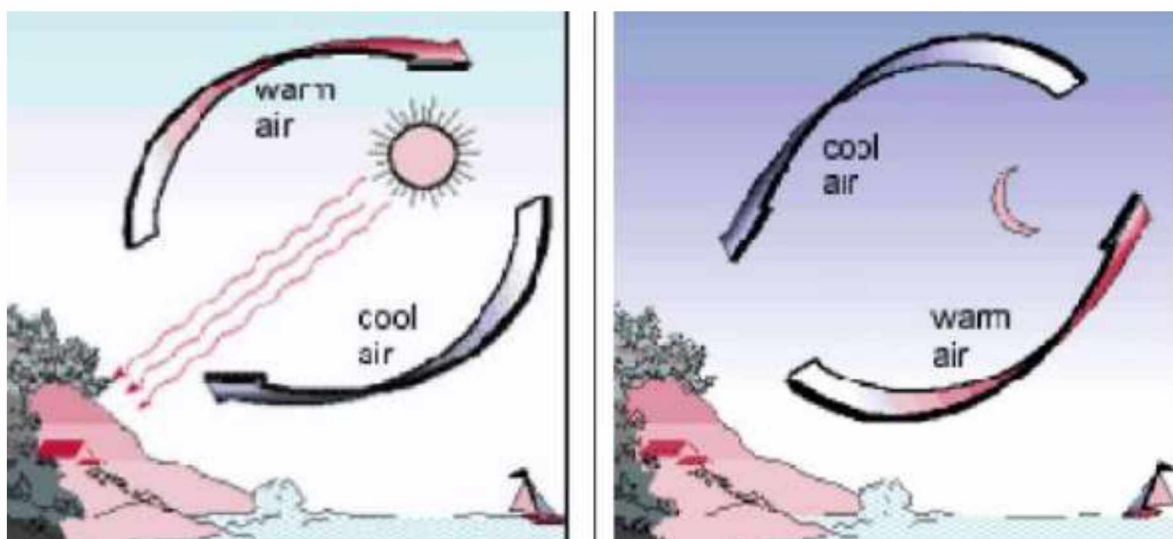
Τον άνεμο μπορεί κανείς να τον ορίσει ως την οποιαδήποτε αισθητή οριζόντια κίνηση του αέρα. Πρωταρχική γενεσιουργός αιτία του ανέμου είναι η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρος που με τη σειρά της δημιουργεί υπό ορισμένες προϋποθέσεις διαφορές βαρομετρικής πίεσης μεταξύ παρακείμενων τόπων. Στην περίπτωση, λοιπόν, που δύο συνεχόμενες περιοχές δεν έχουν μεταξύ τους την ίδια

θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση της περισσότερο ψυχρής θα είναι μεγαλύτερη από της θερμότερης περιοχής, με αποτέλεσμα να μετακινείται αέρια μάζα από την ψυχρότερη προς τη θερμότερη περιοχή. Ειδικότερα, όταν μια μάζα αέρα θερμαίνεται γίνεται πιο αραιή και πιο ελαφριά από τις άλλες μάζες που βρίσκονται γύρω της και τείνει να ανεβεί ψηλότερα από εκείνες. Επομένως, άλλες, πιο ψυχρές και βαριές αέριες μάζες θα κινηθούν και θα πάρουν τη θέση της. Αντίθετα, όταν μια μάζα αέρα ψύχεται γίνεται πιο πυκνή και πιο βαριά και τείνει να κατέβει. Για να το πετύχει «σπρώχνει» τις πιο θερμές και πιο αραιές μάζες του αέρα και παίρνει τη θέση τους (Εικόνες 4.2, 4.3).



Εικόνα 4.2: Κίνηση ατμοσφαιρικού αέρα, τοπικά συστήματα επικλινούς εδάφους

[38]



Εικόνα 4.3: Κίνηση ατμοσφαιρικού αέρα, παράκτια τοπικά συστήματα [38]

Στοιχεία του ανέμου θεωρούνται η διεύθυνση και η ένταση του. Και τα δυο μπορούν να προσδιοριστούν από τα ανεμομετρικά όργανα που είναι οι ανεμοδείκτες (Εικόνα 4.4) και τα ανεμόμετρα (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.4: Ανεμοδείκτης (δείχνει τη διεύθυνση του ανέμου)



Εικόνα 4.5: Ανεμόμετρο (μετρά την ένταση του ανέμου)

## 4.2 Συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας

### 4.2.1 Βασικές αρχές και λόγοι ευρείας εφαρμογής

Η ανεμογεννήτρια είναι τεχνική διάταξη που αξιοποιεί μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου μετατρέποντας την αρχικά σε κινητική ενέργεια περιστροφής των πτερυγίων και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εποχή των σύγχρονων ανεμογεννητριών άρχισε στα τέλη του 19ου αιώνα σε Ευρώπη και ΗΠΑ. Σήμερα ο τομέας της αιολικής ενέργειας είναι ταχέως αναπτυσσόμενος και αυτός με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ απ' όλες τις ΑΠΕ. Η ταχύτατη ανάπτυξη των ανεμογεννητριών στηρίχθηκε σε μια σειρά από πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η αιολική ενέργεια ως ΑΠΕ, αλλά και σε κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, τα οποία έγιναν φανερά βαθμιαία, ιδιαίτερα από το 1980 και μετά. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν:

- Ο άνεμος αποτελεί διαθέσιμη ΑΠΕ σε πάρα πολλές χώρες.
- Η λειτουργία των ανεμογεννητριών μειώνει τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου.
- Η τεχνολογία κατασκευής ανεμογεννητριών ωρίμασε γρήγορα και μπόρεσε να δημιουργήσει μεγάλης ισχύος ανεμογεννήτριες που ενσωματώνονται σχετικά εύκολα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.
- Η αξιοπιστία των ανεμογεννητριών συνεχώς μεγαλώνει, ενώ βελτιώνονται και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά τους (π.χ. παραγωγή λιγότερου θορύβου).
- Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες μειώνεται συνεχώς.

### 4.2.2 Τεχνική περιγραφή

Η πρώτη κατηγοριοποίηση των ανεμογεννητριών γίνεται ανάλογα με το είδος της συνιστώσας δύναμης του αέρα που αξιοποιούν και έτσι διαχωρίζονται σε μηχανές αντίστασης και μηχανές ανύψωσης. Οι πρώιμοι ανεμόμυλοι που αναπτύχθηκαν στην Περσία ήταν μηχανές αντίστασης. Οι ανεμογεννήτριες της κατηγορίας των μηχανών ανύψωσης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα περιστροφής των πτερυγίων τους σε ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα και ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.



Οι πρώτες που περιλαμβάνουν τις μηχανές Savonius (Εικόνα 4.6) και τις μηχανές Darrieus (Εικόνα 4.7), αναπτύχθηκαν εμπορικά από τη δεκαετία του 1970 έως το τέλος της δεκαετίας του 1980, όμως στη συνέχεια η ανάπτυξή τους σταμάτησε λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσίαζαν σε σχέση με του οριζόντιου άξονα. Σοβαρά προβλήματα όπως η μεγάλη διακύμανση της ωφέλιμης ροπής σε κάθε περιστροφή ή η μικρή δυνατότητα επιλογών για τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των πτερυγίων σε υψηλές ταχύτητες ανέμων, δημιούργησαν προβλήματα στην αποτελεσματική ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών κυρίως σε μεγάλα αιολικά πάρκα που συνδέονται με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 4.6: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα Savonius



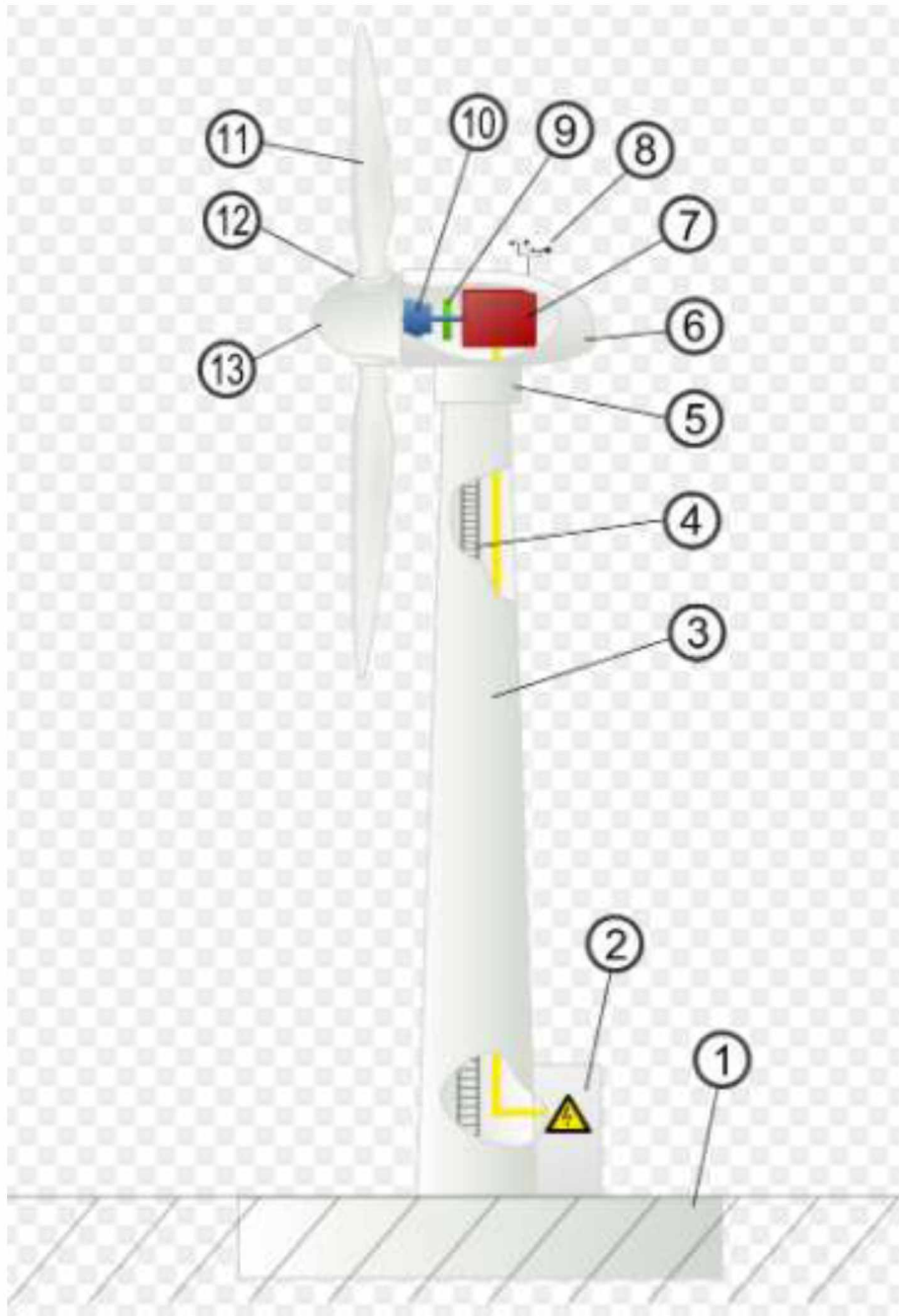
Εικόνα 4.7: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα Darrieus

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (Εικόνα 4.8) κυριάρχησαν τις τελευταίες δεκαετίες στις εμπορικές εφαρμογές και σήμερα η συντριπτική πλειοψηφία των ανεμογεννητριών που είναι εγκατεστημένες σε αιολικά πάρκα είναι αυτού του τύπου. Το ενδιαφέρον στην έρευνα και την ανάπτυξη της τεχνολογίας διεθνώς επικεντρώνεται στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και έχει προκαλέσει σημαντική τεχνολογική ανάπτυξη στην κατασκευή και τα χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 4.8: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Μία ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται ουσιαστικά από τον πύργο και την πλήμνη η οποία τοποθετείται στην κορυφή του πύργου. Η πλήμνη αποτελείται από το ρότορα, τη γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων. Τα βασικά τμήματα μίας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα φαίνονται πιο λεπτομερώς στην Εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9: Τα βασικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.

1. Θεμελίωση, 2. Σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, 3. Πύργος, 4. Σκάλα πρόσβασης στο ανώτερο τμήμα της ανεμογεννήτριας, 5. Μηχανισμός ρύθμισης διεύθυνσης της πλήμνης, 6. Πλήμνη, 7. Γεννήτρια, 8. Ανεμόμετρο, 9. Φρένα, 10. Κιβώτιο ταχυτήτων, 11. Πτερύγια ρότορα, 12. Μηχανισμός ρύθμισης πτερυγίων, 13. Κεφαλή ρότορα

Υπάρχουν διαφορετικοί μηχανισμοί, έτσι ώστε να κατευθύνουν την πλήμνη προς τη ροή του αέρα ή να την απομακρύνουν σε περίπτωση ισχυρών ανέμων. Ο αριθμός



πτερυγίων του ρότορα εξαρτάται από τον εξειδικευμένο σκοπό που υπηρετεί η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και από το συνολικό σχεδιασμό της εγκατάστασης. Για την ηλεκτροπαραγωγή συνήθως χρησιμοποιούνται φτερωτές με δύο ή τρία πτερύγια. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που οι ανεμογεννήτριες αξιοποιούνται για άντληση νερών ή για αρδευτικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται φτερωτές με αρκετά μεγαλύτερο αριθμό πτερυγίων (Εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.10: Ανεμογεννήτρια με φτερωτή για άντληση νερών και άρδευση

Παρακάτω θα γίνει μία σύντομη περιγραφή των βασικών συστατικών μερών μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.

- Ρότορας

Ρότορας ονομάζεται το τμήμα της ανεμογεννήτριας όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια περιστροφής των πτερυγίων. Αποτελείται από την κεφαλή του ρότορα και τα πτερύγια. Περισσότερο από το 95% των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών διαθέτουν τρία πτερύγια εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με ανεμογεννήτριες ενός ή δύο πτερυγίων.

Τα πτερύγια συνήθως κατασκευάζονται από πλαστικά υψηλής ποιότητας ενδυναμωμένα με ίνες γυαλιού, άνθρακα κ.λπ. για να αντέχουν στις υψηλές καταπονήσεις του ανέμου.

Η κεφαλή του ρότορα είναι εξοπλισμένη με μηχανισμό ρύθμισης των πτερυγίων. Αυτός ο μηχανισμός μετακινεί τα πτερύγια ανάλογα με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου με σκοπό τη μέγιστη απόδοση της ανεμογεννήτριας και την προστασία της σε περίπτωση μεγάλης ταχύτητας ανέμων.

- Κιβώτιο ταχυτήτων

Η συχνότητα περιστροφής του ρότορα μιας τυπικής ανεμογεννήτριας είναι περίπου 30-50 r/min. Στις περισσότερες ανεμογεννήτριες όμως η συχνότητα στην οποία λειτουργεί η γεννήτρια είναι 1.000-1.500 r/min. Συνεπώς χρειάζεται διάταξη η οποία να συγχρονίζει τις δυο διαφορετικές συχνότητες, έτσι ώστε να γίνεται ομαλά η μεταφορά της μηχανικής ισχύος από το ρότορα στη γεννήτρια.

Η απόδοση του κιβωτίου βρίσκεται μεταξύ 95-98% όσον αφορά τη μετάδοση της ενέργειας, εξαιτίας κυρίως των απωλειών θερμότητας λόγω τριβής. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ανεμογεννήτριες χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων, ώστε να αυξηθεί η απόδοση και να μειωθούν προβλήματα θορύβου που συνδέονται με την παρουσία του κιβωτίου.

- Γεννήτρια

Η γεννήτρια είναι από τα πιο σημαντικά τμήματα της ανεμογεννήτριας, καθώς μετατρέπει την κινητική-μηχανική ενέργεια περιστροφής του ρότορα

σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε μικρές ανεμογεννήτριες, της τάξεως των kW, χρησιμοποιούνται γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Σε μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο οι γεννήτριες είναι τριφασικές εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτές οι γεννήτριες στηρίζουν τη λειτουργία τους στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, γι' αυτό ονομάζονται επαγωγικές γεννήτριες. Οι δύο βασικότερες κατηγορίες επαγωγικών γεννητριών είναι οι σύγχρονες γεννήτριες και οι ασύγχρονες γεννήτριες.

- Μηχανισμός ρύθμισης διεύθυνσης της πλήμνης

Η πλήμνη της ανεμογεννήτριας συνδέεται στον πύργο μέσω μηχανισμού που επιτρέπει τη μετακίνηση της πλήμνης ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να είναι υδραυλικός ή ηλεκτρομηχανικός και διαθέτει σύστημα πέδησης σε περίπτωση που χρειάζεται η σταθεροποίηση της πλήμνης.

- Πύργος

Η κύρια λειτουργία του πύργου είναι η στήριξη της πλήμνης στο ιδανικό ύψος από το έδαφος, καθώς και η απορρόφηση της πίεσης και των κραδασμών που δέχεται το σύστημα από τον άνεμο. Η κατασκευή και η στήριξη του πύργου είναι θεμελιώδους σημασίας γιατί από την ορθή λειτουργία του πύργου εξαρτάται όλη η εγκατάσταση. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται τόσο στο σχεδιασμό του Πύργου όσο και στη θεμελίωσή του, έτσι ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα συντονισμού εξαιτίας του ανέμου που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ομαλή απόδοση της ανεμογεννήτριας ή ακόμα και να την καταστρέψουν.

Οι περισσότεροι πύργοι κατασκευάζονται από χάλυβα ή/και σκυρόδεμα. Όσον αφορά το είδος της κατασκευής οι δύο κυριότεροι τύποι είναι ο σωληνοειδής και ο πλεγματικός-δικτυωτός. Το ελάχιστο ύψος του πύργου καθορίζεται από την ακτίνα των πτερυγίων του ρότορα. Συμπληρωματικά, για το μέγιστο ύψος του πύργου συνυπολογίζονται τόσο ο παράγοντας της μέγιστης ενεργειακής απόδοσης του συστήματος όσο και ο παράγοντας κόστους και λαμβάνεται η βέλτιστη απόφαση. Αυτός είναι ο βασικός λόγος που το ύψος του πύργου μιας ανεμογεννήτριας ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία της εγκατάστασης και το κόστος του σχεδίου. Οι τιμές του ύψους των πύργων κυμαίνονται μεταξύ 40 και 80 m, όμως, καθώς η ισχύς των

ανεμογεννητριών μεγαλώνει συνεχώς, πύργοι ύψους 90-100 m και μεγαλύτερο δεν είναι πια ασυνήθιστο φαινόμενο.

- Θεμελιώσεις του πύργου

Ο τύπος της θεμελίωσης του πύργου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως οι τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, ο τύπος του εδάφους, το κόστος, το μέγεθος της εγκατάστασης κ.λπ. Ο βασικός διαχωρισμός μιας θεμελίωσης είναι μεταξύ ρηχής και βαθιάς θεμελίωσης. Και οι δύο τύποι θεμελίωσης είναι τεχνολογικά αναπτυγμένοι αλλά διαφέρουν στο κόστος. Στις ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε αιολικά πάρκα μέσα στη θάλασσα η θεμελίωση των πύργων είναι πολύ πιο κοστοβόρα και μπορεί να είναι πλωτή ή να είναι σταθερή στον πυθμένα, σε βάθη θάλασσας μικρότερα από 50 m.

- Σύνδεση στο δίκτυο

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο είτε μέσω άμεσης, είτε μέσω έμμεσης σύνδεσης. Το είδος της σύνδεσης εξαρτάται από το είδος των γεννητριών που έχει το σύστημα (σύγχρονες ή ασύγχρονες) και το γενικό σχεδιασμό της εγκατάστασης. Και τα δύο είδη σύνδεσης έχουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα στην έμμεση σύνδεση η αεροδυναμική απόδοση του ρότορα της ανεμογεννήτριας είναι ιδανική για εύρος περιστροφών που αντιστοιχεί στο 50-120% του ονομαστικού αριθμού περιστροφών, αλλά ταυτόχρονα υπάρχει μεγαλύτερο κόστος και περισσότερες ηλεκτρικές απώλειες ενέργειας.

#### 4.2.3 Ενεργειακή αλυσίδα μετατροπών και απώλειες

Κατά τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική, πραγματοποιούνται σταδιακές ενεργειακές μετατροπές που συμβαίνουν στα επιμέρους τμήματα της ανεμογεννήτριας. Αρχικά η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται πάνω στα πτερύγια του ρότορα σε κινητική ενέργεια περιστροφής των πτερυγίων. Στη συνέχεια μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων (όταν υπάρχει), μεταφέρεται η κινητική ενέργεια περιστροφής από το ρότορα στη γεννήτρια, που μετατρέπει την κινητική ενέργεια περιστροφής σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος από τη γεννήτρια μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τις περισσότερες φορές αυτό γίνεται μέσω ηλεκτρικού μετατροπέα, καθώς τα χαρακτηριστικά (ένταση, τάση

και συχνότητα ρεύματος) της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει η γεννήτρια δεν είναι τα ίδια μ' αυτά του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου.

Κατά τη διάρκεια των ενεργειακών μετατροπών που συμβαίνουν στην ανεμογεννήτρια, εμφανίζονται διάφοροι μηχανισμοί απώλειας ενέργειας. Οι απώλειες ενέργειας που προκαλούνται από τους μηχανισμούς μπορούν να καταταχθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Αεροδυναμικές απώλειες  
Οφείλονται σε παράγοντες που αφορούν τον αεροδυναμικό σχεδιασμό των πτερυγίων, τον πιθανό στροβιλισμό του ανέμου κ.λπ. και εμφανίζονται κατά την αλληλεπίδραση του ανέμου με τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας.
- Μηχανικές απώλειες  
Οφείλονται κυρίως στις τριβές που εμφανίζονται σε όλα τα μηχανικά κινούμενα μέρη της ανεμογεννήτριας (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, γεννήτρια, μηχανισμοί κατεύθυνσης κ.λπ.) και οι οποίες μετατρέπουν ένα μέρος της ενέργειας σε θερμότητα.
- Ηλεκτρικές απώλειες  
Οφείλονται στις μετατροπές της ηλεκτρικής ενέργειας που συμβαίνουν είτε στη γεννήτρια είτε στους μετατροπείς μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου.

Ο συνδυασμός αυτών των τριών κατηγοριών απωλειών μειώνει πολύ περισσότερο την απόδοση μιας ανεμογεννήτριας (δηλαδή το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που τελικά μετατρέπεται σε ηλεκτρική) από το μέγιστο συντελεστή απόδοσης ισχύος Betz (59,3%), ο οποίος αφορά μόνο τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια περιστροφής των πτερυγίων το μου ρότορα.

#### 4.2.4 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Η ηλεκτρική ισχύς  $P_{el}$  που παράγει μια ανεμογεννήτρια είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του ανέμου, όπως φαίνεται και από την παρακάτω σχέση:

$$P_{el} = \eta c_p \frac{1}{2} \rho A V^3$$

όπου:

$\rho$ : πυκνότητα αέρα

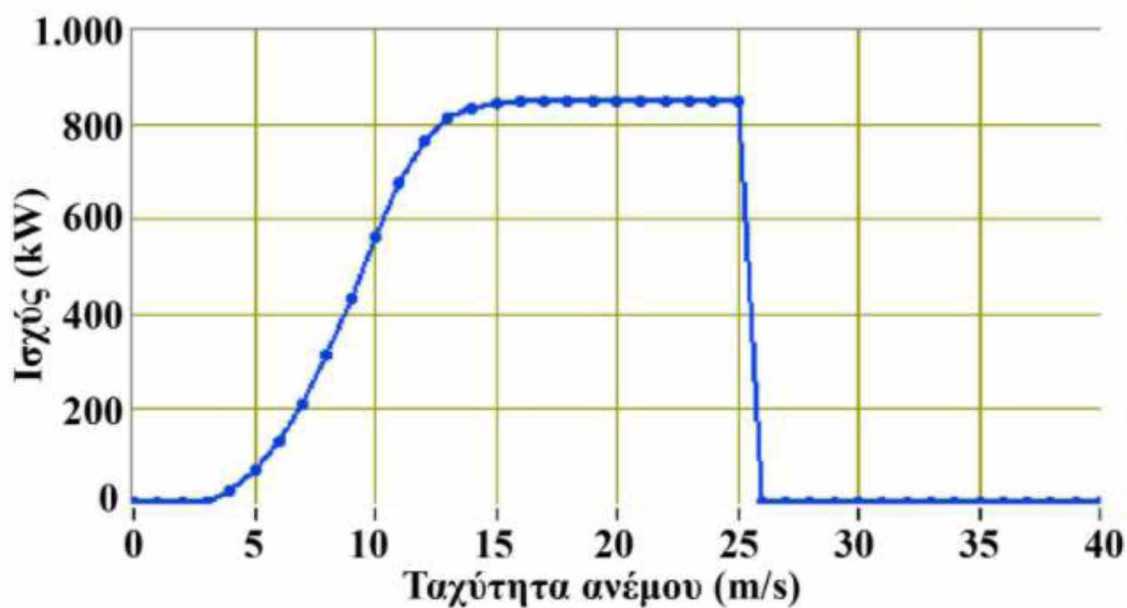
A: επιφάνεια (για μια ανεμογεννήτρια αντιστοιχεί στην επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων της)



$V$ : ταχύτητα του ανέμου

$\eta$ : ηλεκτρομηχανικός συντελεστής απόδοσης της ανεμογεννήτριας που συνήθως έχει τιμή γύρω στο 0,9. Εκφράζει το ποσοστό της μηχανικής ισχύος που μπορεί να μετατρέψει σε ηλεκτρική ισχύ η ανεμογεννήτρια.

Σε κάθε ανεμογεννήτρια αντιστοιχεί καμπύλη  $P_{el} = f(v)$  που εκφράζει την πραγματική εξάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει η ανεμογεννήτρια από την ταχύτητα  $v$  του ανέμου. Αυτή η καμπύλη ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας και μια τυπική μορφή της φαίνεται στο Διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Στην καμπύλη αυτή διακρίνονται 4 φάσεις:

Στην πρώτη φάση οι ταχύτητες του ανέμου είναι αρκετά μικρές (στο συγκεκριμένο παράδειγμα 0-3m/s) για να μπορέσουν να θέσουν σε κίνηση τα πτερύγια του ρότορα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ανυψωτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια δεν είναι ικανές να υπερνικήσουν τις δυνάμεις τριβής και την αδράνεια που υπάρχει λόγω της μάζας του ρότορα.

Στη δεύτερη φάση η γεννήτρια αρχίζει να παράγει ηλεκτρική ισχύς, η οποία, όπως έχει αναφερθεί, είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του ανέμου. Στην πραγματικότητα όμως η μαθηματική σχέση είναι λίγο πιο πολύπλοκη, καθώς οι απώλειες που υπάρχουν δεν είναι ανάλογες με την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό

έχει ως αποτέλεσμα μικρή απόκλιση της πραγματικής καμπύλης από τη θεωρητική καμπύλη. Όπως φαίνεται στη γραφική παράσταση, η ηλεκτρική ισχύς αυξάνεται μέχρι μια τιμή της ταχύτητας του ανέμου και στη συνέχεια παραμένει σταθερή. Αυτή η τιμή της ταχύτητας του ανέμου ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα και αντιστοιχεί στη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ που μπορεί να μας δώσει η ανεμογεννήτρια, η οποία ονομάζεται και ονομαστική ισχύς. Στις συνηθισμένες εμπορικές ανεμογεννήτριες η δεύτερη φάση αρχίζει από ταχύτητες ανέμου 3-4 m/s (ταχύτητα έναρξης λειτουργίας) και φτάνει μέχρι 12-14 m/s (ονομαστική ταχύτητα).

Στην τρίτη φάση η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς παραμένει σταθερή παρ' όλη την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό γίνεται καθώς η ανεμογεννήτρια έχει φτάσει στο ανώτατο όριο της ισχύος που μπορεί να παράξει (ονομαστική ισχύς) σύμφωνα με το σχεδιασμό της και τις προδιαγραφές της γεννήτριάς της. Καθώς λοιπόν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, ενεργοποιείται ηλεκτρονικός μηχανισμός ελέγχου της ισχύος της ανεμογεννήτριας, που ελέγχει την περιστροφή του ρότορα και τη μεταφορά μηχανικής ενέργειας από το ρότορα στη γεννήτρια, ώστε η ηλεκτρική ισχύς να παραμένει σταθερή. Η φάση 3 διαρκεί μέχρι μια ταχύτητα ανέμου που ονομάζεται ταχύτητα αποκοπής και στην οποία η ανεμογεννήτρια παύει να παράγει ηλεκτρική ισχύ. Η ταχύτητα αποκοπής στις εμπορικές ανεμογεννήτριες είναι της τάξης του 24-26 m/s.

Στην Τετάρτη φάση (πάνω από την ταχύτητα αποκοπής) η ανεμογεννήτρια σταματάει να παράγει ηλεκτρική ισχύ, καθώς σ' αυτές τις ταχύτητες του ανέμου τα μηχανικά μέρη της καταπονούνται τόσο που δημιουργούνται προβλήματα λειτουργίας στην ανεμογεννήτρια.

Η χαρακτηριστική καμπύλη μιας ανεμογεννήτριας που μόλις περιγράφηκε δίνει τη δυνατότητα να υπολογιστεί η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παράγει η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , αρκεί να είναι γνωστή η συνάρτηση πιθανότητας κατανομής των ταχυτήτων ( $h$ ). Τότε η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$E_{el} = \sum_{i=1}^n h_i P_{el,i} \Delta t$$

όπου  $P_{el,i}$  είναι η ισχύς που αντιστοιχεί σε διάστημα ταχυτήτων  $i$  και πλάτος πιθανότητας  $h_i$  για το συγκεκριμένο διάστημα ταχυτήτων.



#### 4.2.5 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανεμογεννήτριας $C_f$

Η αποτελεσματικότητα με την οποία λειτουργεί μια ανεμογεννήτρια σε μια γεωγραφική περιοχή καθορίζεται από το συντελεστή χρησιμοποίησης ανεμογεννήτριας  $C_f$ . Ο συντελεστής αυτός δείχνει την αποτελεσματικότητα με την οποία μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική, δηλαδή ποσό αποτελεσματικά έχει ενσωματωθεί η ανεμογεννήτρια στο συγκεκριμένο αιολικό δυναμικό και τις ιδιομορφίες της περιοχής.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης  $C_f$  ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που πραγματικά παρήγαγε μια ανεμογεννήτρια σε χρονική περίοδο  $\Delta t$ , προς το ποσό ενέργειας που θα παρήγαγε αν λειτουργούσε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ  $P_n$ .

$$C_f = \frac{E_t}{P_n \cdot \Delta t}$$

όπου  $E_t$  είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παρήγαγε η ανεμογεννήτρια σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$  και  $P_n$  η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας.

Οι τυπικές τιμές για τους συντελεστές χρησιμοποίησης βρίσκονται μεταξύ 0,25-0,40. Συντελεστής χρησιμοποίησης πάνω από 0,4 δείχνει μεγάλη αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας και πολύ καλή αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

#### 4.2.6 Έλεγχος ισχύος

Σε κάθε ανεμογεννήτρια υπάρχει μηχανισμός ελέγχου ισχύος. Η βασική λειτουργία αυτού του μηχανισμού είναι να σταθεροποιεί την ηλεκτρική ισχύ της γεννήτριας από τη στιγμή που η ταχύτητα του ανέμου θα φτάσει στην ονομαστική τιμή της. Έτσι αφενός αποφεύγονται μηχανολογικά προβλήματα που μπορούν να προκύψουν στη λειτουργία του ρότορα και αφετέρου προστατεύεται η λειτουργία της γεννήτριας η οποία έχει προδιαγραφές λειτουργίας μέχρι τη μέγιστη τιμή ηλεκτρικής ισχύος.

Στην παρούσα φάση ανάπτυξης της τεχνολογίας οι δύο κυριότεροι μηχανισμοί ελέγχου ισχύος είναι ο έλεγχος απώλειας στήριξης και ο έλεγχος βήματος πτερυγίου. Στην πρώτη περίπτωση η ηλεκτρική ισχύς ελέγχεται μέσω του προκαθορισμού ενός σταθερού αριθμού περιστροφών ανά λεπτό που πρέπει να εκτελεί ο ρότορας ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου. Στη δεύτερη περίπτωση η ηλεκτρική ισχύς ελέγχεται μέσω του διπλώματος των πτερυγίων. Πιο

συγκεκριμένα, τα πτερύγια αλλάζουν γωνία πρόσπτωσης πάνω στον άνεμο και συνεπώς συνολική ενεργή επιφάνεια. Έτσι, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, αυξομειώνεται η ενεργή επιφάνεια περιστροφής των πτερυγίων έτσι ώστε η ηλεκτρική ισχύς της ανεμογεννήτριας να παραμένει σταθερή.

#### 4.2.7 Αιολικά πάρκα

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν είτε μόνες τους σε μία περιοχή είτε κατά ομάδες, δημιουργώντας έτσι συστοιχίες ανεμογεννητριών που ονομάζονται αιολικά πάρκα (Εικόνα 4.11). Η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 στις ΗΠΑ και στη συνέχεια στην Ευρώπη. Η ισχύς των σύγχρονων αιολικών πάρκων ποικίλλει από μερικά έως εκατοντάδες MW. Η δημιουργία αιολικού πάρκου σε μία συγκεκριμένη περιοχή, πέρα από τα προφανή πλεονεκτήματα που έχει καθώς αξιοποιεί μεγάλο ποσοστό της αιολικής ισχύος παράγοντας μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, ελαττώνει επίσης το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δημιουργεί οικονομίες κλίμακας. Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργεια ανά ανεμογεννήτρια, καθώς όλες οι υποδομές που χρειάζονται και οι διαδικασίες συντήρησης και επισκευών κατανέμονται οικονομικότερα όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των γεννητριών.

Οι ανεμογεννήτριες στο αιολικό πάρκο τοποθετούνται σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους και με συγκεκριμένη διάταξη, έτσι ώστε κάθε ανεμογεννήτρια να μην επηρεάζει με την παρουσία της τις διπλανές της και να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή απόδοση για το σύνολο των ανεμογεννητριών. Με την κατάλληλη τοποθέτηση των ανεμογεννητριών γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της σκίασης των ανεμογεννητριών. Σκίαση μίας ανεμογεννήτριας από τις άλλες σημαίνει ότι, εξαιτίας της παρουσίας των άλλων ανεμογεννητριών, η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια δε δέχεται τη μέγιστη αιολική ισχύ καθώς η ταχύτητα του ανέμου έχει υποβαθμιστεί από την αξιοποίησή του προηγουμένως από τις υπόλοιπες ανεμογεννήτριες ή ότι προκαλείται μεγαλύτερος στροβιλισμός του ανέμου, με αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση της γεννήτριας και τη μεγαλύτερη καταπόνησή της. Τόσο η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών όσο και η διάταξή τους στο αιολικό πάρκο εξαρτώνται αφενός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών και αφετέρου από τα μετεωρολογικά δεδομένα και το ανάγλυφο της περιοχής.

Το πρόβλημα της σκίασης δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ολοκληρωτικά στα αιολικά πάρκα. Οι απώλειες σε ηλεκτρική ισχύ των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου είναι της τάξης του 2-10% συγκρινόμενες με την ισχύ που θα παρήγαγε κάθε ανεμογεννήτρια αν ήταν μόνη της εγκατεστημένη στη συγκεκριμένη περιοχή. Οι απώλειες όμως στην ηλεκτρική ισχύ αντισταθμίζονται από τα κέρδη στους υπόλοιπους παράγοντες που καθορίζουν την τεχνικο-οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Η σύνδεση των αιολικών πάρκων με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να γίνει είτε μέσω δίαυλου συνεχούς ρεύματος είτε μέσω δίαυλου εναλλασσόμενου ρεύματος ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε αιολικού πάρκου.



Εικόνα 4.11: Αιολικό πάρκο στην Καλιφόρνια

#### 4.2.8 Υπεράκτια αιολικά πάρκα

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα δημιουργούνται σε απόσταση από τις ακτές μέσα στη θάλασσα (Εικόνα 4.12). Αν και η δυνατότητα δημιουργίας υπεράκτιων αιολικών πάρκων είχε διερευνηθεί από τη δεκαετία του 1970, ρεαλιστικά σχέδια και εγκαταστάσεις αναπτύχθηκαν στη Γερμανία το 1989, στη Σουηδία το 1990 και στη

Δανία το 1991. Τα τελευταία χρόνια υπεράκτια αιολικά πάρκα αναπτύσσονται με ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό.

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

- Οι υπεράκτιοι άνεμοι έχουν λιγότερες διακυμάνσεις από τους ηπειρωτικούς ανέμους, αλλά και μεγαλύτερες ταχύτητες κατά 20-25%. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά συνεπάγονται αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.
- Σε σύγκριση με τους ηπειρωτικούς ανέμους οι υπεράκτιοι είναι λιγότερο στροβιλώδεις εξαιτίας του ομαλότερου ανάγλυφου. Αυτό συνεπάγεται λιγότερα φορτία κόπωσης στις ανεμογεννήτριες, μείωση της συχνότητας συντήρησης, αύξηση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης και μείωση του συνολικού λειτουργικού κόστους.
- Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι περισσότερο αποδεκτά από τις τοπικές και ευρύτερες κοινωνίες, καθώς εμφανίζουν λιγότερη οπτική και ακουστική όχληση. Οι ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε ηπειρωτικές περιοχές ρυθμίζονται να λειτουργούν σε χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου περιστροφής  $\lambda$  από τη βέλτιστη τιμή της κι έτσι είναι μειωμένη η απόδοσή τους. Αυτό συμβαίνει για να μειώνεται η ακουστική όχληση. Στα υπεράκτια αιολικά πάρκα δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα και οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να έχουν τη μέγιστη απόδοση ανεξάρτητα με το επίπεδο θορύβου.

Από την άλλη πλευρά ο σχεδιασμός και η δημιουργία ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου έχουν ορισμένες ιδιαιτερότητες και δυσκολίες που ανεβάζουν το κόστος της επένδυσης, καθώς οι ανεμογεννήτριες και ο υπόλοιπος τεχνικός εξοπλισμός χρειάζεται να έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αρχικά θα πρέπει οι ανεμογεννήτριες και ο υπόλοιπος τεχνικός εξοπλισμός να προστατευτούν από τη διάβρωση και την υγρασία του αλμυρού νερού της θάλασσας για όσο χρονικό διάστημα λειτουργεί το πάρκο. Γι' αυτό η πλήμνη και ο πύργος της ανεμογεννήτριας είναι ερμητικά κλειστά έτσι ώστε να προστατεύονται από την αλμυρά και την υγρασία. Επίσης χρειάζεται τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών και γενικά του αιολικού πάρκου να είναι τέτοια που όλο το σύστημα να χρειάζεται συντήρηση σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα συγκριτικά με τα ηπειρωτικά αιολικά πάρκα, καθώς

η δυνατότητα πρόσβασης στις ανεμογεννήτριες μέσα στη θάλασσα δεν είναι εύκολη. Ακόμη ο συνολικός σχεδιασμός, πέρα από τις μετεωρολογικές συνθήκες που αφορούν τους ανέμους, πρέπει να λάβει υπόψιν του το θαλάσσιο περιβάλλον για την ασφάλεια των πύργων και γενικότερα της εγκατάστασης. Οι αποστάσεις από τις ακτές μπορεί να αρχίζουν από κάποια εκατοντάδες m και να φτάνουν ορισμένα km



Εικόνα 4.12: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο στο Ηνωμένο Βασίλειο

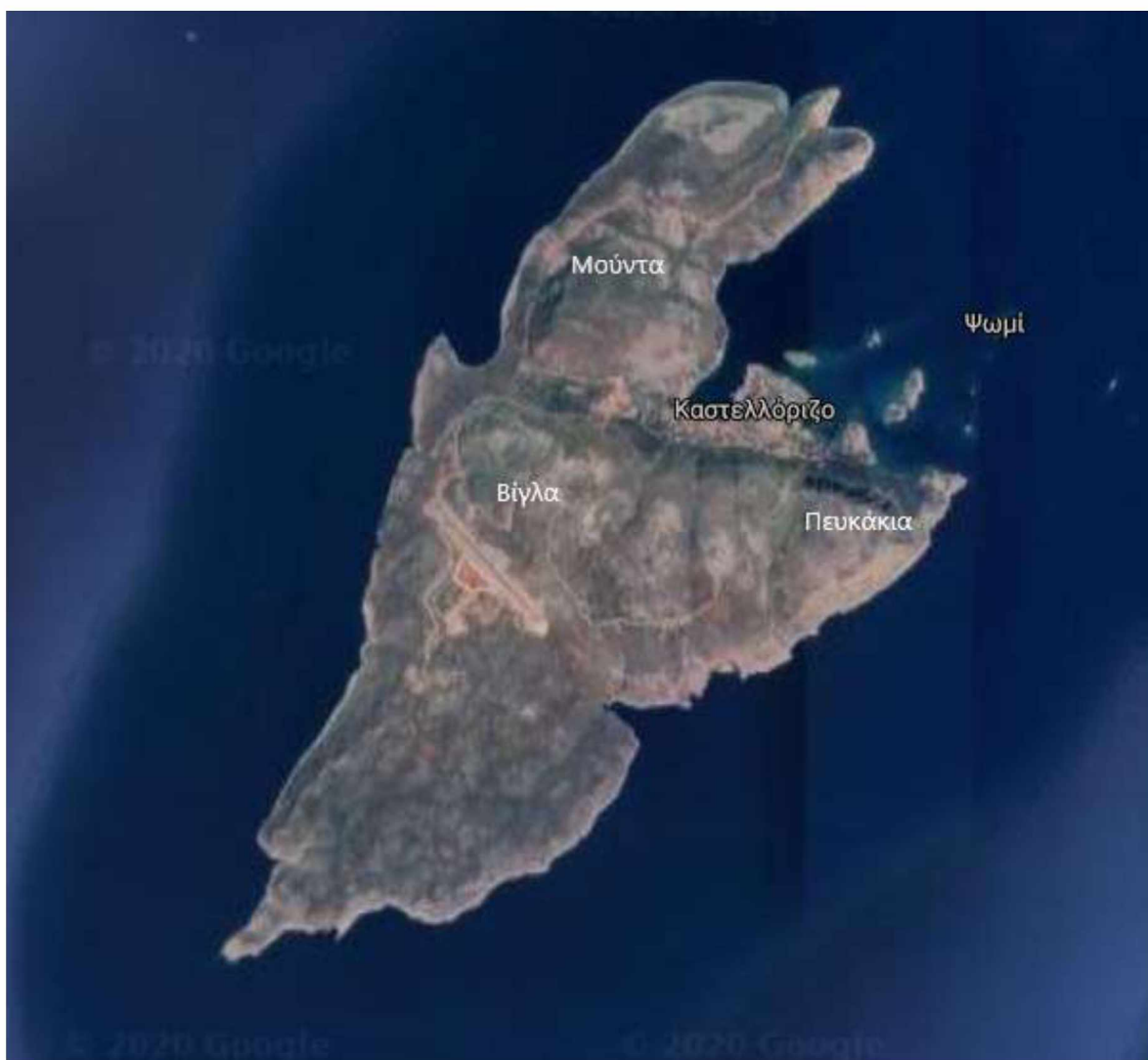
### **4.3 Επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας και τοποθεσίας εγκατάστασης**

Η ανεμογεννήτρια που επιλέγεται για το υβριδικό σύστημα του Καστελλορίζου είναι η E-53 800kW της εταιρείας Enercon, με ύψος πλήμνης 73 μέτρα. Η επιλογή έγινε λαμβάνοντας υπόψιν τις ενεργειακές απαιτήσεις και τα ανεμολογικά δεδομένα του νησιού. Ειδικότερα, όπως θα αναλυθεί στο κεφάλαιο της τεχνικο-οικονομικής μελέτης, το αιολικό δυναμικό του Καστελλορίζου είναι μεσαίο έως και χαμηλό. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας που να έχει ικανοποιητική απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Το επιλεγμένο μοντέλο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη παραγωγή στις συγκεκριμένες ταχύτητες σε σχέση με ομοειδείς της αγοράς, ξεκινώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ταχύτητα ανέμου 2 m/s, όπως φαίνεται και από το σχετικό διάγραμμα και τον πίνακα που βρίσκονται στο φυλλάδιο κατασκευαστή του προϊόντος (Εικόνα 4.14). Ακόμη,



σημαντικό ρόλο κατά την επιλογή μοντέλου έπαιξε η αξιοπιστία της εταιρείας Enercon, με περίπου 30.300 εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες παγκοσμίως και αρκετές στην ελληνική επικράτεια. [33]

Αναφορικά με την τοποθεσία εγκατάστασης, κατόπιν επικοινωνίας με τοπικούς φορείς του νησιού, κρίνεται κατάλληλη η περιοχή «Μούντα» χάρη σε δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος είναι το γεγονός πως η συγκεκριμένη περιοχή βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νησιού, κοντά στη θάλασσα και αποτελεί την περιοχή με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό. Ο δεύτερος και αρκετά σημαντικός σχετίζεται με την αρκετά μεγάλη απόσταση της περιοχής από το μοναδικό οικισμό του νησιού, γεγονός που συνεπάγεται την αποφυγή της ενόχλησης των κατοίκων από το θόρυβο που προκαλεί η λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Η τοποθεσία της περιοχής στο νησί φαίνεται στην Εικόνα 4.13.

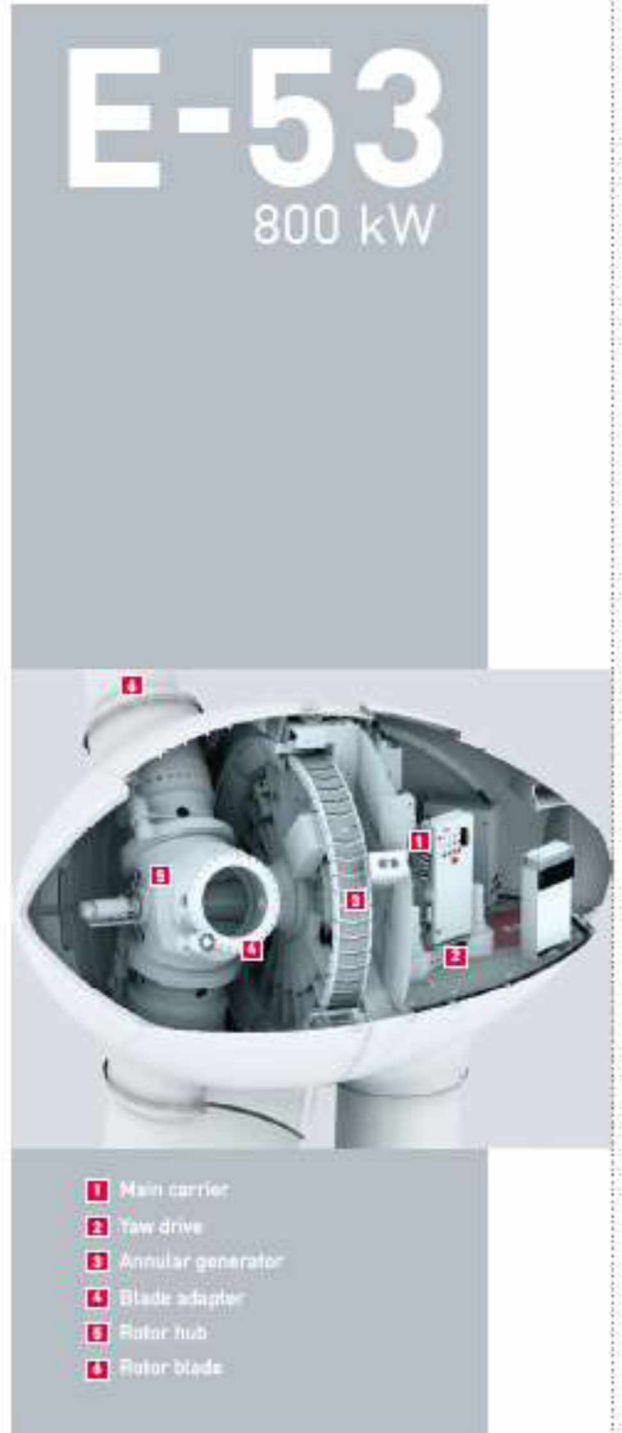


Εικόνα 4.13: Δορυφορική απεικόνιση του Καστελλόριζου [Google Earth]

Οικονομικές λεπτομέρειες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 8. Ακολούθως παρατίθεται το φυλλάδιο κατασκευαστή του προϊόντος (Εικόνα 4.14).

| Technical specifications E-53     |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Rated power:</b>               | 800 kW  |
| <b>Rotor diameter:</b>            | 52.9 m  |
| <b>Hub height in meter:</b>       | 50 / 60 / 73  |
| <b>Wind zone (DIBt):</b>          | WZ II exp   |
| <b>Wind class (IEC):</b>          | IEC/NVN Class 5<br>( $V_{ref} = 7.5 \text{ m/s}$ , $V_{cut} = 57 \text{ m/s}$ )                                 |
| <b>WEC concept:</b>               | Gearless, variable speed, single blade adjustment   |
| <b>Rotor</b>                      |   |
| <b>Type:</b>                      | Upwind rotor with active pitch control  |
| <b>Rotational direction:</b>      | Clockwise   |
| <b>No. of blades:</b>             | 3   |
| <b>Swept area:</b>                | 2,198 m <sup>2</sup>  |
| <b>Blade material:</b>            | GRP (epoxy resin);<br>Built-in lightning protection   |
| <b>Rotational speed:</b>          | Variable, 11 - 29.5 rpm   |
| <b>Pitch control:</b>             | ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply |
| <b>Drive train with generator</b> |   |
| <b>Main bearing:</b>              | Twin tapered roller bearing   |
| <b>Generator:</b>                 | ENERCON direct-drive annular generator  |
| <b>Grid feed:</b>                 | ENERCON inverter  |
| <b>Brake systems:</b>             | - 3 independent pitch control systems with emergency power supply<br>- Rotor brake<br>- Rotor lock              |
| <b>Yaw system:</b>                | Active via yaw gear, load-dependent damping   |
| <b>Cut-out wind speed:</b>        | 28 - 34 m/s (with ENERCON storm control*)   |
| <b>Remote monitoring:</b>         | ENERCON SCADA   |

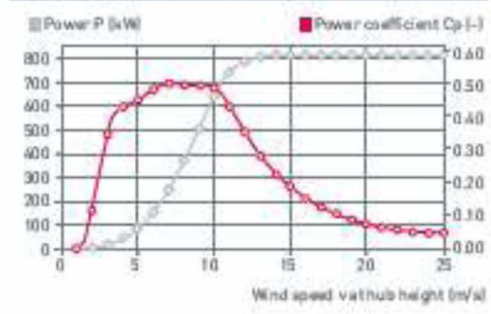
\*For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.







Calculated power curve



| Wind (m/s) | Power P (kW) | Power-coefficient Cp (-) |
|------------|--------------|--------------------------|
| 1          | 0.0          | 0.00                     |
| 2          | 2.0          | 0.19                     |
| 3          | 14.0         | 0.39                     |
| 4          | 38.0         | 0.44                     |
| 5          | 77.0         | 0.46                     |
| 6          | 141.0        | 0.48                     |
| 7          | 228.0        | 0.49                     |
| 8          | 336.0        | 0.49                     |
| 9          | 480.0        | 0.49                     |
| 10         | 645.0        | 0.48                     |
| 11         | 744.0        | 0.42                     |
| 12         | 780.0        | 0.34                     |
| 13         | 810.0        | 0.27                     |
| 14         | 810.0        | 0.22                     |
| 15         | 810.0        | 0.18                     |
| 16         | 810.0        | 0.15                     |
| 17         | 810.0        | 0.12                     |
| 18         | 810.0        | 0.10                     |
| 19         | 810.0        | 0.09                     |
| 20         | 810.0        | 0.08                     |
| 21         | 810.0        | 0.06                     |
| 22         | 810.0        | 0.06                     |
| 23         | 810.0        | 0.05                     |
| 24         | 810.0        | 0.04                     |
| 25         | 810.0        | 0.04                     |

$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

Εικόνα 4.14: Φυλλάδιο κατασκευαστή ανεμογεννήτριας Enercon E-53 800 kW [33]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

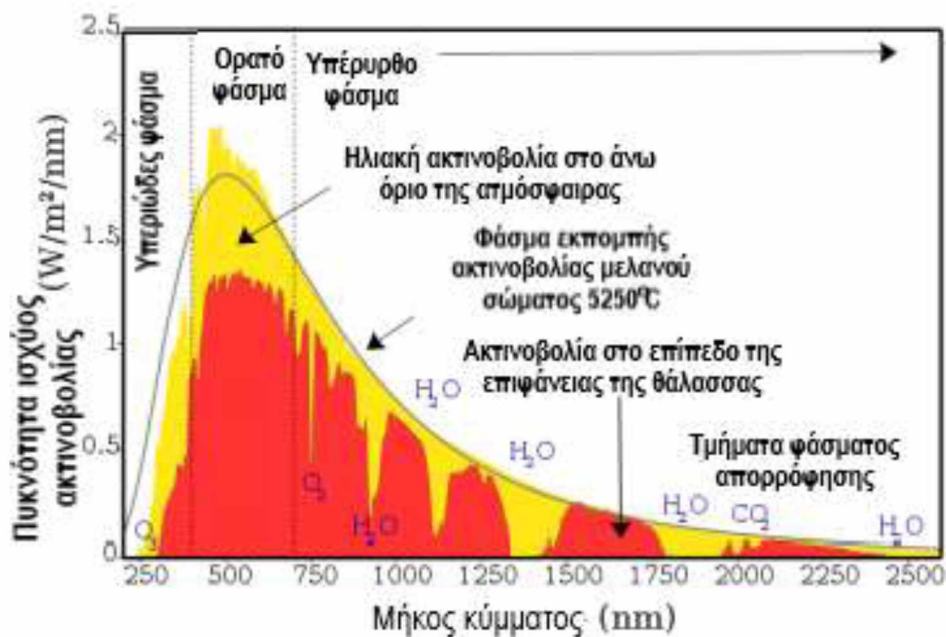
## ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

### 5.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Ο Ήλιος αποτελεί το κεντρικό σώμα του ηλιακού μας συστήματος. Η ενέργειά του προέρχεται από την πυρηνική σύντηξη που συμβαίνει στο εσωτερικό του. Μέρος της ενέργειας που εκπέμπει φτάνει και στη Γη. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται από τη φωτόσφαιρα που αποτελεί το εξωτερικό τμήμα του Ήλιου. Αυτή η ακτινοβολία φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας της γης και τμήμα της απορροφάται από τα αέρια που βρίσκονται εκεί, όπως είναι το οξυγόνο, το όζον και το διοξείδιο του άνθρακα. Επομένως, στην επιφάνεια της γης δε φτάνει ολόκληρο το ηλιακό φάσμα, αλλά το μεγαλύτερο τμήμα του.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.1, το φάσμα της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εκτείνεται ανάμεσα σε μήκη κύματος 300-2.500 nm και διαχωρίζεται συνήθως σε τρεις βασικές περιοχές:

1. Την περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας ( $\lambda < 400$  nm)
2. Την περιοχή της ορατής ακτινοβολίας ( $400$  nm  $< \lambda < 700$  nm)
3. Την περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας ( $700$  nm  $< \lambda$ )



Διάγραμμα 5.1: Ηλιακό φάσμα εκπομπής

Από το διάγραμμα του ηλιακού φάσματος διαπιστώνει κανείς τα εξής:

- Η μέγιστη ενέργεια του ηλιακού φάσματος βρίσκεται σε μήκος κύματος μεταξύ 500 – 600 nm.
- Στο υπεριώδεις τμήμα του φάσματος η ενέργεια μειώνεται απότομα καθώς το μήκος κύματος μειώνεται.
- Στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος η ενέργεια μειώνεται με πολύ μικρότερο ρυθμό καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται.

Η ακριβής μορφή του ηλιακού φάσματος που φτάνει σε κάθε μέρος της Γης εξαρτάται από την απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα. Όσο μεγαλύτερη απόσταση διανύει, τόσο μεγαλύτερη απορρόφηση υφίστανται τα τμήματα του φάσματος που απορροφώνται από τα αέρια της ατμόσφαιρας. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από τη σχετική θέση του Ήλιου και του συγκεκριμένου τόπου όπου γίνεται η μέτρηση του φάσματος. Οι ακτίνες του Ήλιου μπορούν να προσπίπτουν κατακόρυφα στο συγκεκριμένο τόπο, αλλά μπορεί να προσπίπτουν και υπό γωνία.

## **5.2 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία**

### **5.2.1 Βασικές αρχές και λόγοι ευρείας εφαρμογής**

Φωτοβολταϊκή τεχνολογία ονομάζεται η τεχνολογία που επιτρέπει την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας ή άλλης τεχνητής φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η φυσική διαδικασία που συμβαίνει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Ο όρος φωτοβολταϊκός προέρχεται από τη σύνθεση των λέξεων φως και βολτ και υπονοεί τη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρεγερτική δύναμη και στη συνέχεια σε ηλεκτρικό ρεύμα.

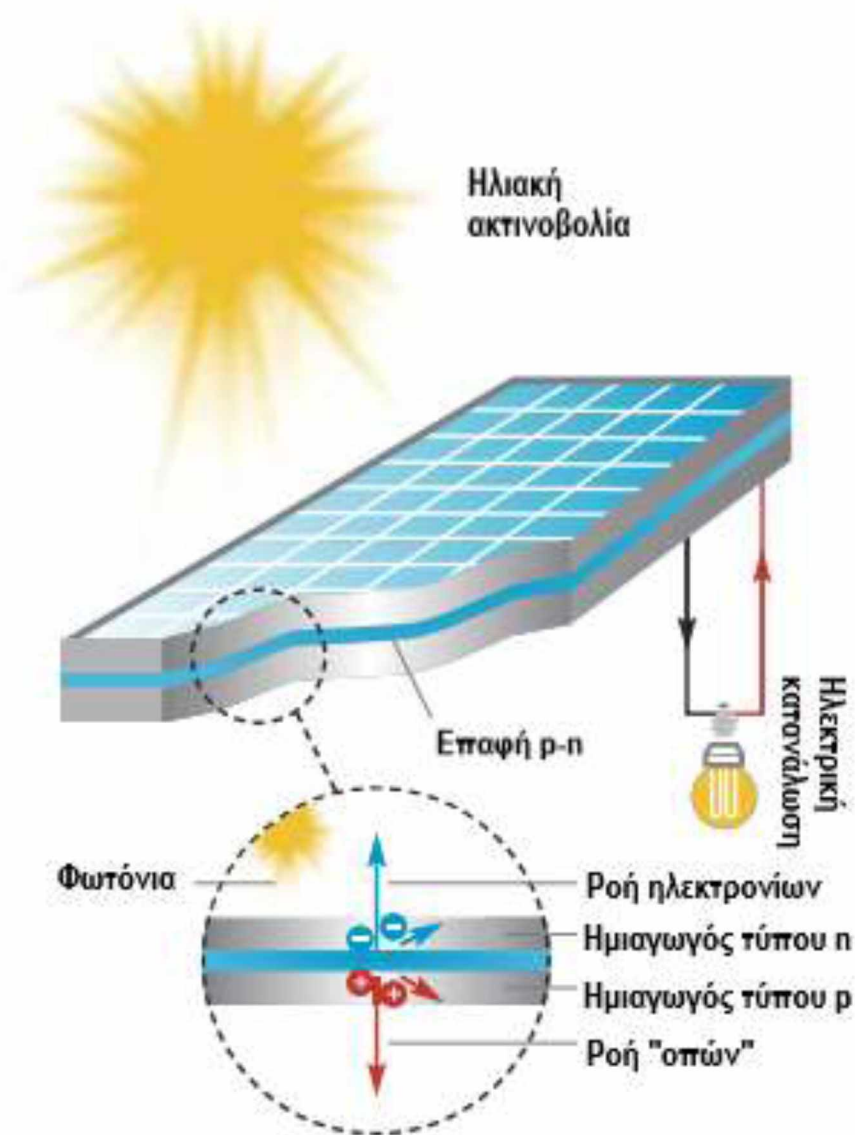
Η μεγάλη ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια οφείλεται σε ορισμένα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που τα διακρίνουν από άλλες ΑΠΕ, όπως τα παρακάτω:

- Δεν παράγουν αέρια του θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία τους και είναι αθόρυβα, γεγονός που κάνει την εγκατάστασή τους επιθυμητή ακόμα και στον αστικό ιστό.

- Χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση καθώς δεν έχουν κινούμενα μέρη. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία τους και τη διάρκεια ζωής τους (20-30 έτη).
- Μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως αυτόνομα συστήματα είτε συνδεδεμένα στο δίκτυο.
- Μπορούν να συνδυαστούν σε διάφορους αριθμούς μεταξύ τους και έτσι να δώσουν ποικιλία ισχύος από λίγα mW έως δεκάδες MW, γεγονός που αυξάνει απεριόριστα το εύρος των εφαρμογών τους.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες μορφές ενέργειας και να λειτουργήσουν ως υβριδικά συστήματα.

### 5.2.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία βασίζονται ουσιαστικά στο μηχανισμό επαφής p-n που δημιουργείται μεταξύ δύο στρωμάτων ημιαγωγίμων υλικών τα οποία είναι δύο διαφορετικοί ημιαγωγοί πρόσμειξης, ο ένας τύπου p (positive) και ο άλλος τύπου n (negative). Οι ημιαγωγοί πρόσμειξης, λοιπόν, αποτελούν το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (Εικόνα 5.1). Το βασικό ημιαγωγίμο στοιχείο, το οποίο χρησιμοποιείται στις περισσότερες εμπορικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών στοιχείων, είναι το πυρίτιο που είναι από τα πιο άφθονα ημιαγωγίμα υλικά στη γη και με επιθυμητές φυσικοχημικές ιδιότητες.

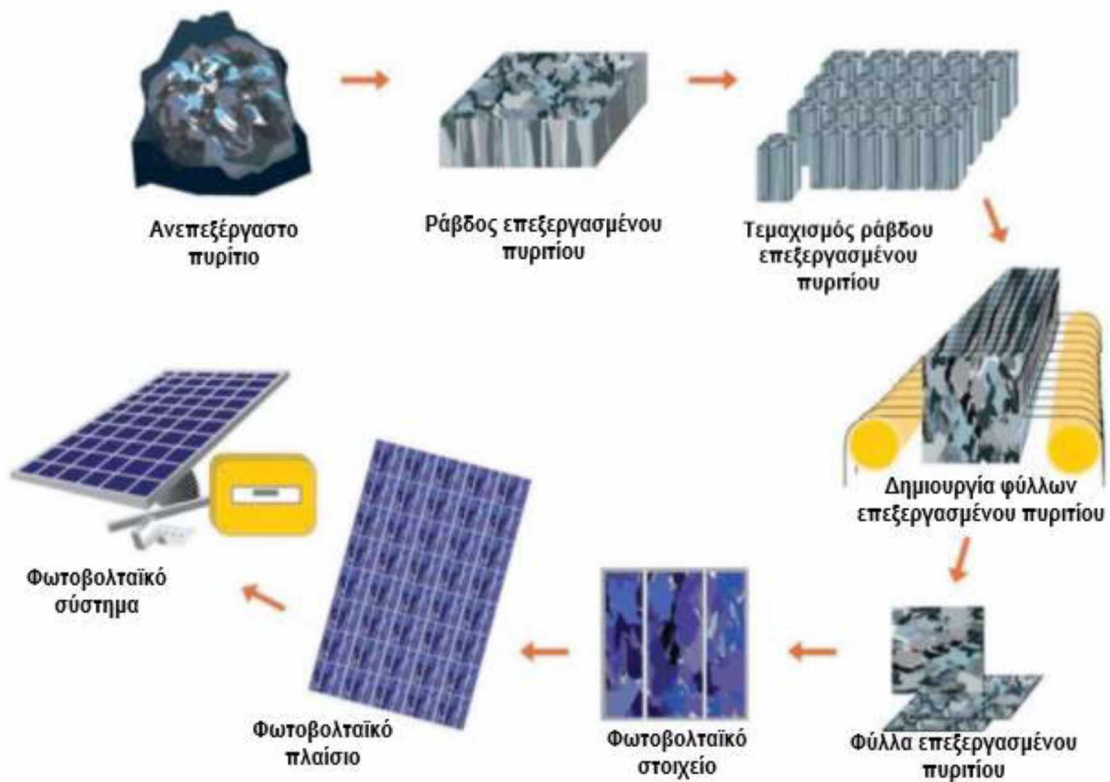


Εικόνα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση τρόπου λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου [6]

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο δημιουργείται στο φωτοβολταϊκό στοιχείο όταν εκείνο φωτίζεται από την από την ηλιακή ή κάποια άλλη τεχνητή φωτεινή ακτινοβολία και έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στις άκρες του στοιχείου ίσης περίπου με 0,6 V. Η τάση αυτή είναι πολύ μικρή για τις περισσότερες εφαρμογές, γι' αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που μπορεί να δώσει ηλεκτρικές τάσεις πολύ μεγαλύτερες και συνεπώς μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ. Πολλά φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν φωτοβολταϊκά



συστήματα της τάξης των kW (Εικόνα 5.2), ενώ πολλά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να δημιουργήσουν φωτοβολταϊκά πάρκα της τάξεως των MW.



Εικόνα 5.2: Στάδια για την κατασκευή φωτοβολταϊκού συστήματος [6]

Θα μπορούσε, λοιπόν, να ειπωθεί για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ότι αποτελεί τη διαδικασία μετατροπής της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας μιας φωτεινής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, όταν η φωτεινή ακτινοβολία απορροφάται από μία διάταξη ημιαγώγιμων υλικών.

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι δείκτης που σχετίζεται με το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Συνήθως η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να προσφέρει το στοιχείο προς την προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ.

$$N = \frac{ImVm}{Pin}$$

όπου

$Pin$  : η προσπίπτουσα φωτεινή ισχύς στο φωτοβολταϊκό

$ImVm$  : μέγιστη ηλεκτρική ισχύς



Οι αποδόσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεγαλώνουν συνεχώς με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της έρευνας και εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι το ημιαγώγιμο υλικό από το οποίο κατασκευάζεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο, η πυκνότητα της φωτεινής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου η οποία συνδέεται στενά με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

### 5.2.3 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Όπως προαναφέρθηκε, η τάση και η ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να δώσει ένα ξεχωριστό φωτοβολταϊκό στοιχείο έχουν μικρές τιμές, γι' αυτό πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που είναι η βασική μονάδα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (Εικόνα 5.3). Τα ξεχωριστά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε σειρά και οι σειρές μεταξύ τους παράλληλα, δημιουργώντας έτσι την επιθυμητή ηλεκτρική τάση, ισχύ και ρεύμα. Συνήθως αυτός ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών στοιχείων περικλείεται από μεταλλικό ή πλαστικό πλαίσιο, που στο πάνω μέρος του προστατεύεται από γυάλινη επιφάνεια. Αν δεν υπάρχει πλαίσιο τότε θα πρέπει να υπάρχουν στις άκρες του συστήματος μονωτικές ραφές. Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληροί το κάλυμμα του πλαισίου είναι αυστηρές, καθώς το πλαίσιο θα πρέπει να προστατεύεται από τις καιρικές συνθήκες για χρονικό διάστημα 20-30 ετών που είναι η διάρκεια ζωής του. Επίσης είναι απαραίτητη η ηλεκτρική μόνωση ως βασικό στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία του πλαισίου.



Εικόνα 5.3: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ορίζεται με τον ίδιο τρόπο που ορίζεται και στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, δηλαδή:

$$\eta_{\text{module}} = \frac{P_m}{G * A}$$

όπου

$P_m$  : η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς

$G$  : η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επίπεδο του πλαισίου

$A$  : εμβαδόν επιφάνειας του πλαισίου

Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαρτάται κι αυτή από την πυκνότητα της ηλιακής ισχύος, τη θερμοκρασία του πλαισίου και το ημιαγωγικό υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πλαισίου. Όμως η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι μικρότερη από αυτήν των ξεχωριστών φωτοβολταϊκών στοιχείων από τα οποία αποτελείται για τρεις βασικούς λόγους:

- τη μερική κάλυψη της γεωμετρικής επιφάνειας του πλαισίου από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία
- την πιθανή ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών στοιχείων που αποτελούν το πλαίσιο
- την ανακλαστικότητα του διαφανούς υλικού που βρίσκεται στην άνω επιφάνεια του πλαισίου

Οι διαφορές μεταξύ της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου και των φωτοβολταϊκών στοιχείων που το αποτελούν είναι της τάξης μερικών εκατοστών. Για παράδειγμα, σε φωτοβολταϊκά πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου που η απόδοση είναι 12-14% στα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι 14-18%. Στην πράξη η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι μικρότερη από την απόδοση που αναφέρεται στις χαρακτηριστικές τιμές κάθε πλαισίου, καθώς αυτές οι τιμές είναι μετρημένες στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, οι οποίες είναι διαφορετικές από τις συνθήκες που επικρατούν καθημερινά στον τόπο εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Εκτός αυτού, με την πάροδο του χρόνου, οι φυσιολογικές φθορές στα διαφορά εξαρτήματα του πλαισίου μειώνουν την απόδοσή του.

Για να εγκατασταθεί ένα πλαίσιο και να μπορεί να δώσει ηλεκτρική ενέργεια στην κατανάλωση χρειάζεται ορισμένα συμπληρωματικά στοιχεία. Αυτά τα στοιχεία καθορίζονται από το αν το πλαίσιο θα χρησιμοποιηθεί ως απομονωμένο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ή θα ενταχθεί στο κυρίως ηλεκτρικό δίκτυο.

Στην πρώτη περίπτωση μαζί με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο θα πρέπει να εγκατασταθεί σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που συνήθως πρόκειται για συσσωρευτές που περιλαμβάνουν και ελεγκτές φόρτισης. Επίσης χρειάζεται μηχανισμός στήριξης και κατεύθυνσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου στον οποίο υπάρχει η δυνατότητα να εγκατασταθεί και ιχνηλάτης παρακολούθησης Ήλιου. Τέλος χρειάζεται αντιστροφέας τάσης για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε εναλλασσόμενο, σε περίπτωση που η συγκεκριμένη εγκατάσταση έχει ανάγκη από εναλλασσόμενο ρεύμα.

Στη δεύτερη περίπτωση δε χρειάζεται σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά χρειάζονται τα υπόλοιπα μέρη.

#### 5.2.4 Φωτοβολταϊκό σύστημα – Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα δημιουργώντας φωτοβολταϊκή συστοιχία ή αλλιώς φωτοβολταϊκό σύστημα (Εικόνα 5.4). Σε μία συστοιχία τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που συνδέονται σε σειρά δημιουργούν ένα κλάδο, ενώ οι κλάδοι συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα δίνοντας στη συστοιχία την τελική μορφή της. Μια τυπική φωτοβολταϊκή συστοιχία μικρής ισχύος είναι της τάξης των 50 W - 2 kW. Αν εγκατασταθούν σε μια περιοχή πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες που συνεργάζονται μεταξύ τους, τότε πρόκειται για φωτοβολταϊκό πάρκο (Εικόνα 5.5). Αν σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο συμπεριληφθούν και όλες οι υπόλοιπες διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι μετατροπείς και οι αντιστροφείς, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφερθεί στην κατανάλωση, τότε αναφερόμαστε σε φωτοβολταϊκό σταθμό.





Εικόνα 5.4: Φωτοβολταϊκό σύστημα



Εικόνα 5.5: Φωτοβολταϊκό πάρκο 100kW στην Αγιά Λάρισας

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούνται σήμερα σε πλήθος εφαρμογών, τόσο οικιακών, όσο και επαγγελματικών. Η πιο συνηθισμένη κατηγοριοποίηση που μπορεί να γίνει είναι ο διαχωρισμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε συστήματα ανεξάρτητα από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής και συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο.

Τα ανεξάρτητα συστήματα παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στις εγκαταστάσεις που συνδέονται χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία ηλεκτρικού δικτύου για να λειτουργήσουν. Αναπτύχθηκαν είτε για καταναλωτικές εφαρμογές όπως είναι τα ρολόγια και οι υπολογιστές τσέπης, είτε για επιστημονικές εφαρμογές όπως είναι οι διαστημικοί σταθμοί, είτε για οικιακές ή επαγγελματικές εφαρμογές σε απομονωμένες εφαρμογές με δύσκολη πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο όπως είναι οι αγροτικές οικίες σε απομονωμένα χωριά και οι φάροι. Ανάλογα με το αν έχουν ή όχι τη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν μπορούν να χωριστούν σε φωτοβολταϊκά συστήματα άμεσης τροφοδοσίας φορτίου και σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο και την ισχύ ομαδοποιούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Τα καταμεμημένα συστήματα που είναι συνήθως οικιακά μικρά συστήματα, της τάξης μερικών kW, και αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και αντιστροφέα για να μετατρέψει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και να το μεταφέρει στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο σε τάση ίση με την οικιακή.
- Τα κεντρικά συστήματα που είναι συνήθως μεγάλης ισχύος, της τάξης των εκατοντάδων kW μέχρι μερικά MW και μερικές φορές συνιστούν μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εγκαθίστανται σε συστοιχίες συνήθως στο έδαφος και σπανιότερα σε στέγες μεγάλων βιομηχανικών ή άλλων εγκαταστάσεων.
- Τα οiwονοί κεντρικά συστήματα που έως τώρα έχουν μικρή διάδοση. Αποτελούν συνδυασμό μικρών συστημάτων, της τάξης των kW, και μεγαλύτερων, της τάξης των εκατοντάδων kW, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με μία γραμμή συνεχούς ρεύματος και στη συνέχεια συνδέονται όλα μαζί στο κεντρικό δίκτυο μέσω ενός μεγάλης ισχύος αντιστροφέα.

Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια του συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση που είναι έως περίπου 20% και λίγο μικρότερη για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Στη συνέχεια το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα θα πρέπει μέσω των αντιστροφών να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα για να εισαχθεί στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η μετατροπή μειώνει ακόμα περισσότερο την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς υπάρχουν απώλειες πάνω στον αντιστροφέα όσο και στα καλώδια μεταφοράς. Έτσι, από την αρχική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο μόνο το 11-14% μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια που φτάνει στο ηλεκτρικό δίκτυο.

### **5.3 Επιλογή μοντέλου φωτοβολταϊκού πλαισίου και τοποθεσίας εγκατάστασης**

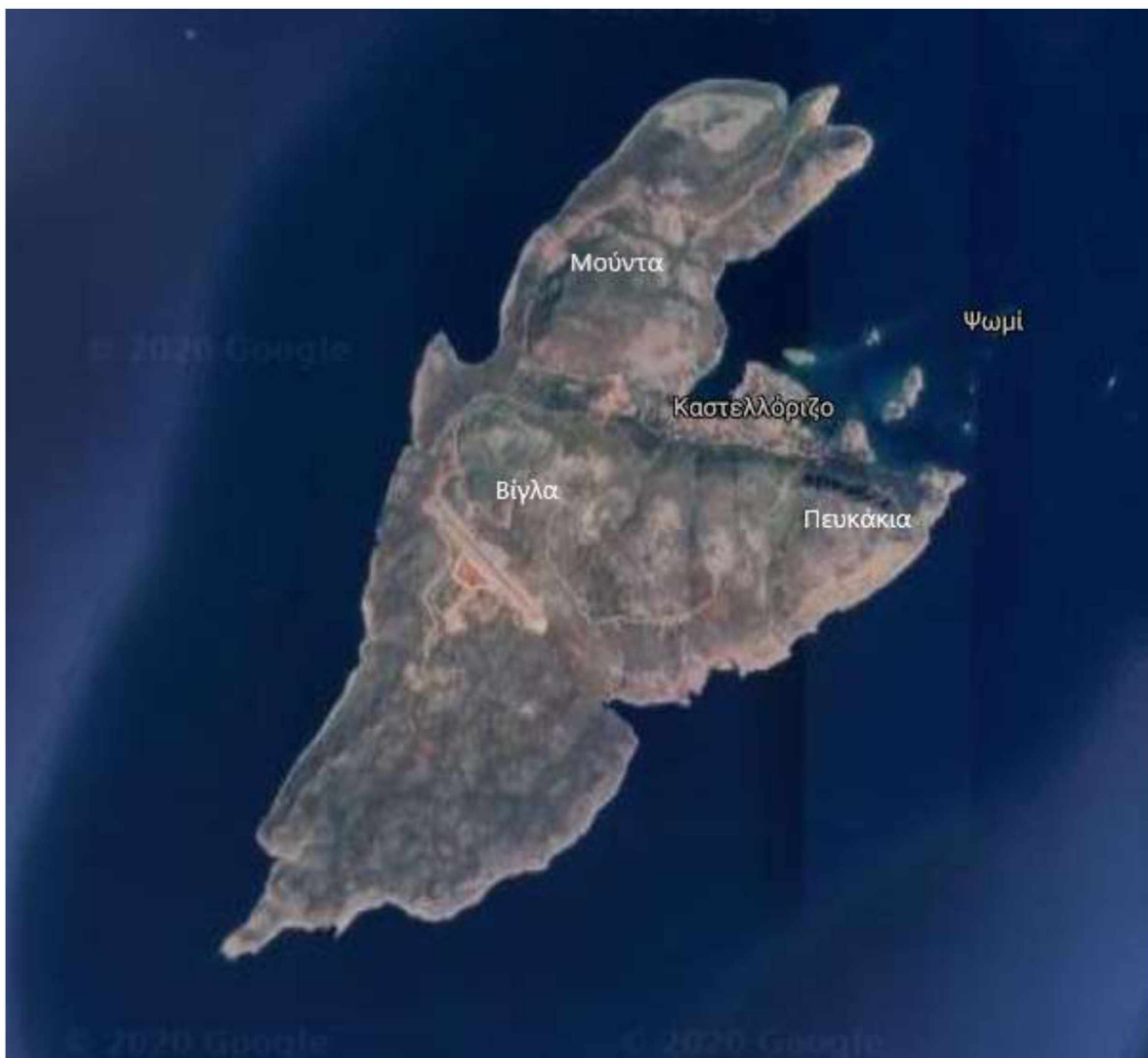
Το πρώτο και βασικό δίλημμα κατά την επιλογή μοντέλου φωτοβολταϊκού πλαισίου σχετίζεται με την επιλογή ανάμεσα σε πλαίσια που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικά και σε πλαίσια που αποτελούνται από πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Τα πρώτα συντίθενται από μεγάλο μεγέθους κρυστάλλους με ομοιόμορφο γαλάζιο ή μπλε χρώμα, ενώ τα δεύτερα κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλωμένου πυριτίου, οι οποίες κόβονται σε λεπτά τμήματα. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά αποτελούνται από επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές και η απόδοσή τους σχετίζεται με το πλήθος αυτών. Τα μονοκρυσταλλικά έχουν μεγαλύτερη απόδοση και το κόστος τους είναι υψηλότερο σε σχέση με αυτό των πολυκρυσταλλικών. Η διαφορά στην απόδοση δεν καλύπτει τη διαφορά στην τιμή που αναλογικά είναι μεγαλύτερη. Συνεπώς τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά αποτελούν προτιμότερη επιλογή στις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει περιορισμένος χώρος εγκατάστασης. Στο Καστελλόριζο, ωστόσο, δεν εμφανίζεται χωροθετικό πρόβλημα και έτσι θα επιλεγούν πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά.

Το μοντέλο πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου που επιλέγεται είναι το Amerisolar AS-6P30 285W. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει απόδοση 17,52%, ηλεκτρική ισχύ 285 W, ενώ η τάση και το ρεύμα στην ονομαστική του ισχύ έχουν τιμές 31,7 V και 9 A αντίστοιχα. Η επιλογή έγινε για δύο σημαντικούς λόγους. Ο ένας σχετίζεται με την καταλληλότητα του μοντέλου αναφορικά με τις κλιματικές συνθήκες του νησιού, καθώς παρουσιάζει εξαιρετική απόδοση σε συνθήκες υψηλής



θερμοκρασίας. Ο δεύτερος αποτελεί το γεγονός πως το επιλεγθέν πλαίσιο έχει την υψηλότερη εγγύηση ισχύος στην αγορά, εξασφαλίζοντας 91,2% παραγωγή για τα 12 πρώτα χρόνια και 80,6% έως τα τριάντα χρόνια λειτουργίας. [32]

Κατάλληλη περιοχή για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου κρίνεται η Βίγλα. Στο συγκεκριμένο μέρος υπάρχει μεγάλη ανεκμετάλλευτη έκταση η οποία χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία του εδάφους. Η τοποθεσία της Βίγλας στο νησί φαίνεται στην Εικόνα 5.6.



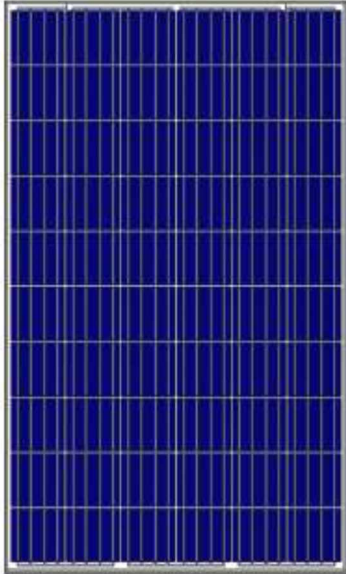
Εικόνα 5.6: Δορυφορική απεικόνιση του Καστελλόριζου [Google Earth]

Περαιτέρω τεχνικές και οικονομικές λεπτομέρειες θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 8. Στη συνέχεια παρατίθεται το φυλλάδιο κατασκευαστή για το μοντέλο που επιλέχθηκε (Εικόνα 5.7).



# AS-6P30

## POLYCRYSTALLINE MODULE



Passionately  
committed to  
delivering innovative  
energy solution

### ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

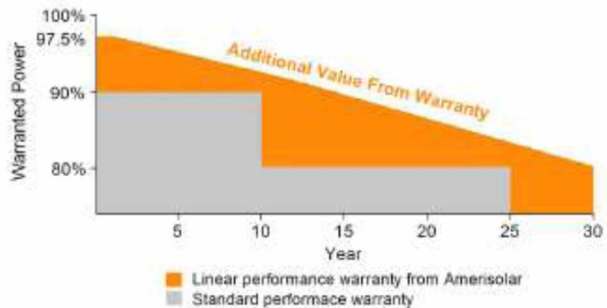
- High module conversion efficiency up to 17.52% by using high efficient solar cells and advanced manufacturing technology.
- Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.

### CERTIFICATIONS

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, CE, CQC, CGC, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), Kemco(South Korea), KS(South Korea), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), InMetro(Brazil), TSE(Turkey)
- ISO9001:2008: Quality management system
- ISO14001:2004: Environmental management system
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

### SPECIAL WARRANTY

- 12 years limited product warranty.
- Limited linear power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.



| ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC     |   |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nominal Power ( $P_{max}$ )           | 250W  | 255W  | 260W  | 265W  | 270W  | 275W  | 280W  | 285W  |
| Open Circuit Voltage ( $V_{OC}$ )     | 38.0V   | 38.1V | 38.2V | 38.3V | 38.4V | 38.5V | 38.6V | 38.7V |
| Short Circuit Current ( $I_{SC}$ )    | 8.75A   | 8.83A | 8.90A | 8.98A | 9.09A | 9.20A | 9.31A | 9.42A |
| Voltage at Nominal Power ( $V_{MP}$ ) | 30.3V   | 30.5V | 30.7V | 30.9V | 31.1V | 31.3V | 31.5V | 31.7V |
| Current at Nominal Power ( $I_{MP}$ ) | 8.26A   | 8.37A | 8.47A | 8.58A | 8.69A | 8.79A | 8.89A | 9.00A |
| Module Efficiency (%)                 | 15.37   | 15.67 | 15.98 | 16.29 | 16.60 | 16.90 | 17.21 | 17.52 |
| Operating Temperature                 | -40°C to +85°C  |       |       |       |       |       |       |       |
| Maximum System Voltage                | 1000V DC  |       |       |       |       |       |       |       |
| Fire Resistance Rating                | Type 1 (in accordance with UL1703)/Class C (IEC61730) |       |       |       |       |       |       |       |
| Maximum Series Fuse Rating            | 15A   |       |       |       |       |       |       |       |

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25°C, AM1.5

| ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT    |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nominal Power ( $P_{max}$ )           | 184W  | 188W  | 191W  | 195W  | 199W  | 202W  | 206W  | 210W  |
| Open Circuit Voltage ( $V_{OC}$ )     | 35.0V | 35.1V | 35.2V | 35.3V | 35.4V | 35.5V | 35.6V | 35.7V |
| Short Circuit Current ( $I_{SC}$ )    | 7.09A | 7.15A | 7.21A | 7.27A | 7.36A | 7.45A | 7.54A | 7.63A |
| Voltage at Nominal Power ( $V_{MP}$ ) | 27.8V | 27.8V | 27.9V | 28.1V | 28.3V | 28.5V | 28.7V | 28.9V |
| Current at Nominal Power ( $I_{MP}$ ) | 6.67A | 6.77A | 6.85A | 6.94A | 7.04A | 7.09A | 7.18A | 7.27A |

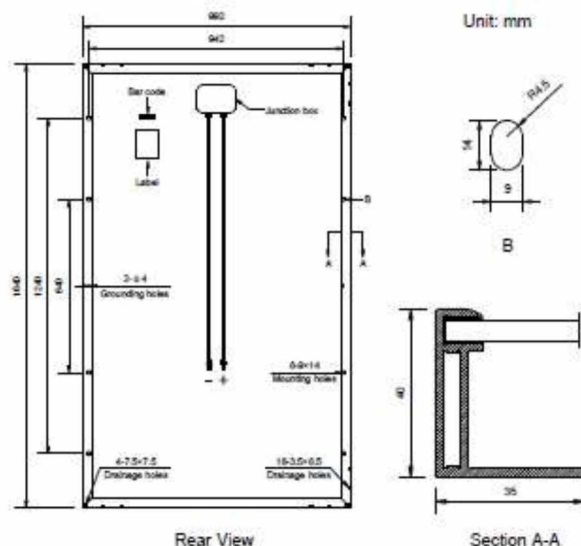
NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

| MECHANICAL CHARACTERISTICS |   |
|----------------------------|---|
| Cell type                  | Polycrystalline 156x156mm (6x6inches)                             |
| Number of cells            | 60 (6x10)   |
| Module dimensions          | 1640x992x40mm (64.57x39.06x1.57inches)                            |
| Weight                     | 18.5kg (40.8lbs)  |
| Front cover                | 3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating                 |
| Frame                      | Anodized aluminum alloy   |
| Junction box               | IP67, 3 diodes  |
| Cable                      | 4mm <sup>2</sup> (0.006inches <sup>2</sup> ), 900mm (35.43inches) |
| Connector                  | MC4 or MC4 compatible   |

| TEMPERATURE CHARACTERISTICS               |           |
|---|-----------|
| Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) | 45°C±2°C  |
| Temperature Coefficients of $P_{max}$     | -0.41%/°C |
| Temperature Coefficients of $V_{OC}$      | -0.31%/°C |
| Temperature Coefficients of $I_{SC}$      | 0.05%/°C  |

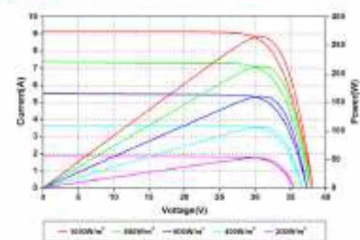
| PACKAGING                         |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Standard packaging                | 26pcs/pallet          |
| Module quantity per 20' container | 312pcs                |
| Module quantity per 40' container | 728pcs(GP)/784pcs(HQ) |

### ENGINEERING DRAWINGS

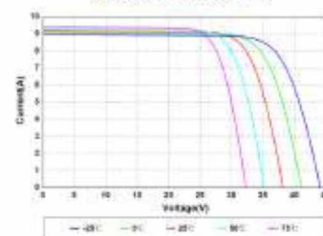


Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

### IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Amerisolar and Amerisolar logo denoted with © are registered trademarks of Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

Εικόνα 5.7: Φυλλάδιο κατασκευαστή Amerisolar AS-6P30 [32]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

#### 6.1 Βασικές κατηγορίες μετατροπών ισχύος

Τα ηλεκτρονικά ισχύος αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και είναι το ενδιάμεσο τμήμα ανάμεσα στα συστήματα παραγωγής ισχύος, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά, και τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλεκτρονικά ισχύος, λοιπόν, είναι τα ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία διαχειρίζονται την ηλεκτρική ισχύ και μετατρέπουν την τάση, την ένταση και την κυματομορφή του ρεύματος, με σκοπό να μπορεί να αξιοποιηθεί από τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την μεταφορά, τη διανομή, την αποθήκευση και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορούν να κάνουν τις εξής μετατροπές:

- Μετατροπή του συνεχούς σε συνεχές, διαφορετικής τάσης και έντασης (μετατροπείς DC-DC).

Ένας μετατροπέας συνεχούς είναι μία ηλεκτρονική διάταξη η οποία μετασχηματίζει το συνεχές ρεύμα σε συνεχές διαφορετικού πλάτους. Η λειτουργία του βασίζεται στους νόμους που διέπουν τη λειτουργία των ημιαγωγών. Μπορεί, λοιπόν, να λειτουργήσει με τρεις διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την τοπολογία των ηλεκτρονικών διακοπών που τον απαρτίζουν:

1. Ως μετατροπέας υποβιβασμού συνεχούς τάσης
2. Ως μετατροπέας ανύψωσης συνεχούς τάσης
3. Ως μετατροπέας ανύψωσης-υποβιβασμού τάσης ανάλογα με το βαθμό χρησιμοποίησης D

- Μετατροπή του εναλλασσόμενου σε συνεχές (Μετατροπείς AC-DC ή ανορθωτικές διατάξεις).

Οι ανορθώσεις είναι ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες μετασχηματίζουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Όταν ανορθώνουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε όλη τη διάρκεια της περιόδου λέγονται ανορθωτές πλήρους κύματος (Full Wave Rectification), ενώ όταν ανορθώνουν το εναλλασσόμενο



κατά τη μισή περίοδο και το αποκόπτουν στην άλλη μισή περίοδο λέγονται ανορθωτές μισού κύματος (Half Wave Rectification).

- Μετατροπείς εναλλασσόμενου σε εναλλασσόμενο (AC-AC Ρυθμιστές τάσης). Ο ρυθμιστής τάσης είναι ένας μετατροπέας ο οποίος ελέγχει την τάση, το ρεύμα και την μέση ισχύ, η οποία αποδίδεται σε ένα εναλλασσόμενο φορτίο από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι ηλεκτρονικοί διακόπτες συνδέουν και αποσυνδέουν την πηγή και το φορτίο σε κανονικά διαστήματα, απομακρύνοντας κάποια από την κυματομορφή της πηγής προτού να φτάσει στο φορτίο.
- Μετατροπείς συνεχούς σε εναλλασσόμενο (Μετατροπείς DC-AC ή Αντιστροφείς)  
Ο Αντιστροφέας (Inverter) ή μετατροπέας DC-AC είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία μετατρέπει το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα σε εναλλασσόμενο, του οποίου μπορούμε να ρυθμίσουμε το πλάτος και την συχνότητα. Υπάρχουν αντιστροφείς τετραγωνικού παλμού οι οποίοι δίνουν στην έξοδό τους μια τετραγωνική κυματομορφή, και αντιστροφείς ημιτονοειδούς διαμόρφωσης εύρους παλμού οι οποίοι μπορούν να δώσουν μια κυματομορφή που να πλησιάζει αρκετά την ημιτονοειδή.

## 6.2 Επιλογή κατάλληλων μετατροπέων για το σύστημα

### 6.2.1 Επιλογή μετατροπέα φωτοβολταϊκών

Το αυτόνομο υβριδικό σύστημα θα αποτελείται από δύο ζυγούς, στους οποίους θα συγκεντρώνονται όλες οι εισροές και οι εκροές ισχύος. Το ρεύμα που θα κυκλοφορεί στον ένα ζυγό θα είναι συνεχές (DC ζυγός), ενώ στον άλλο θα είναι εναλλασσόμενο (AC ζυγός). Η επιλεγμένη ανεμογεννήτρια περιλαμβάνει μετατροπέα ρύθμισης της συχνότητας και της ισχύος εξόδου και συνδέεται στον AC ζυγό. Οι υπάρχουσες στο παρόν σύστημα diesel γεννήτριες, που θα διατηρηθούν και στο νέο, θα είναι επίσης συνδεδεμένες στον AC ζυγό, σε αντίθεση με τους συσσωρευτές που θα συνδεθούν στο DC ζυγό. Αναφορικά με τα φωτοβολταϊκά, αυτά παράγουν συνεχές ρεύμα και έτσι δύνανται να συνδεθούν στο DC ζυγό. Ωστόσο, μία τέτοια συνδεσμολογία προβλέπεται να είναι αρκετά κοστοβόρα, καθώς θα απαιτηθούν αρκετά μεγάλα ποσά για μετατροπείς. Κρίνεται, επομένως,

προτιμότερη η ενσωμάτωση μετατροπέων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, έτσι ώστε αυτά να συνδεθούν στον AC ζυγό.

Ο μετατροπέας που επιλέγεται είναι ο Sunny Tripower 15000TL της SMA. Ο συγκεκριμένος μετατροπέας προτιμήθηκε για τον εξής λόγο. Η μέγιστη τάση εισόδου του είναι 1000 V και παράλληλα η τάση εξόδου του επιλεγμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου κατά την ονομαστική του ισχύ είναι 31,7 V. Επομένως, κάθε μετατροπέας δύναται να συνδεθεί με 31 πλαίσια τοποθετημένα σε σειρά μεταξύ τους ( $1000 / 31,7 = 31,55$ ). Η ισχύς που αποδίδουν 31 πλαίσια Amerisolar AS-6P30 285 W είναι  $31 * 285 W = 8,835 kW$  και έτσι η επιλογή του Sunny Tripower 15000LT, με μέγιστη ισχύ DC εισόδου 15,330 kW, αντί των 20000LT και 25000LT, με μεγαλύτερη ισχύ DC εισόδου, καθίσταται προφανής. Μεγάλα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μετατροπέα είναι αφενός ο υψηλός μέγιστος βαθμός απόδοσης του, της τάξεως 98,4%, και αφετέρου το γεγονός πως μπορεί να ρυθμίζει την άεργο ισχύ στο σημείο κοινής ζεύξης με αποτέλεσμα να μη χρειάζονται ξεχωριστοί ελεγκτές, μειώνοντας έτσι το κόστος του συστήματος [35]. Παρακάτω παρατίθεται το φυλλάδιο κατασκευαστή του επιλεγμένου μετατροπέα (Εικόνα 6.1).



## SUNNY TRIPower 15000TL / 20000TL / 25000TL



### Efficient

- Maximum efficiency of 98.4%

### Safe

- DC surge arrester (SPD type II) can be integrated

### Flexible

- DC input voltage of up to 1000 V
- Multistring capability for optimum system design
- Optional display

### Innovative

- Cutting-edge grid management functions with Integrated Plant Control
- Reactive power available 24/7 (Q on Demand 24/7)

## SUNNY TRIPower 15000TL / 20000TL / 25000TL

The versatile specialist for large-scale commercial plants and solar power plants

The Sunny Tripower is the ideal inverter for large-scale commercial and industrial plants. Not only does it deliver extraordinary high yields with an efficiency of 98.4%, but it also offers enormous design flexibility and compatibility with many PV modules thanks to its multistring capabilities and wide input voltage range.

The future is now: the Sunny Tripower comes with cutting-edge grid management functions such as Integrated Plant Control, which allows the inverter to regulate reactive power at the point of common coupling. Separate controllers are no longer needed, lowering system costs. Another new feature—reactive power provision on demand (Q on Demand 24/7).

# SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

| Technical Data  | Sunny Tripower<br>15000TL  |
|---|--|
| <b>Input (DC)</b>   |  |
| Max. generator power  | 27000 Wp   |
| DC rated power  | 15330 W  |
| Max. input voltage  | 1000 V   |
| MPP voltage range / rated input voltage   | 240 V to 800 V / 600 V   |
| Min. input voltage / start input voltage  | 150 V / 188 V  |
| Max. input current input A / input B  | 33 A / 33 A  |
| Number of independent MPP inputs / strings per MPP input                                      | 2 / A:3; B:3   |
| <b>Output (AC)</b>  |  |
| Rated power (at 230 V, 50 Hz)   | 15000 W  |
| Max. AC apparent power  | 15000 VA   |
| AC nominal voltage  | 3 / N / PE; 220 V / 380 V<br>3 / N / PE; 230 V / 400 V<br>3 / N / PE; 240 V / 415 V  |
| AC voltage range  | 180 V to 280 V   |
| AC grid frequency / range   | 50 Hz / 44 Hz to 55 Hz<br>60 Hz / 54 Hz to 65 Hz   |
| Rated power frequency / rated grid voltage  | 50 Hz / 230 V  |
| Max. output current / rated output current  | 29 A / 21.7 A  |
| Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor                            | 1 / 0 overexcited to 0 underexcited  |
| THD   | ≤ 3%   |
| Feed-in phases / connection phases  | 3 / 3  |
| <b>Efficiency</b>   |  |
| Max. efficiency / European Efficiency   | 98.4% / 98.0%  |
| <b>Protective devices</b>   |  |
| DC-side disconnection device  | •  |
| Ground fault monitoring / grid monitoring   | • / •  |
| DC surge arrester (Type II) can be integrated   | ○  |
| DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated  | • / • / -  |
| All-pole sensitive residual-current monitoring unit   | •  |
| Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1) | 1 / AC: III; DC: II  |
| <b>General data</b>   |  |
| Dimensions (W / H / D)  | 661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)   |
| Weight  | 61 kg (134.48 lb)  |
| Operating temperature range   | -25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)   |
| Noise emission (typical)  | 51 dB(A)   |
| Self-consumption (at night)   | 1 W  |
| Topology / cooling concept  | Transformerless / Optical  |
| Degree of protection (as per IEC 60529)   | IP65   |
| Climatic category (according to IEC 60721-3-4)  | 4K4H   |
| Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)                              | 100%   |
| <b>Features / function / Accessories</b>  |  |
| DC connection / AC connection   | SUNCLUX / springcage terminal  |
| Display   | ○  |
| Interface: RS485, Speedwire / Webconnect  | ○ / •  |
| Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus   | • / •  |
| Multifunction relay / Power Control Module  | ○ / ○  |
| OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / O on Demand 24/7                            | • / • / •  |
| Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible  | • / •  |
| Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years   | • / ○ / ○ / ○  |
| Planned certificates and permits  | AHR2 30, AS 4777, SDEW 2008, C10/11:2012, CE, CBI 0-16, CBI 0-21, DEWA 2.0,<br>EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60066-2-4, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116,<br>MEA 2013, NBR 16149, NEM EN 50438, NRS 097-3-1, PSA 2013, PPC, ED 1699/413,<br>ED 061/2007, Res. n° 7:2013, SIA777, TCR Da, TR 3.2.2, UTE C15712-1, VDE 0126-1-1,<br>VDE-ARN 4105, VDE 2014 |
| Type designation  | STP 15000TL-30   |

Εικόνα 6.1: Φυλλάδιο κατασκευαστή μετατροπέα Sunny Tripower 15000LT [35]

## 6.2.2 Η καρδιά του συστήματος

Ύστερα από την προσθήκη του μετατροπέα φωτοβολταϊκών στο σύστημα, η ανεμογεννήτρια, οι γεννήτριες diesel αλλά και τα φωτοβολταϊκά είναι συνδεδεμένα στον AC ζυγό, ενώ στο DC ζυγό συνδέονται μόνο οι συσσωρευτές. Για τη διαχείριση, λοιπόν, ολόκληρου του δικτύου, κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη μετατροπέα που να ρυθμίζει τις ροές ενέργειας. Ο μετατροπέας που επιλέγεται είναι ο Sunny Island 8.0H και αποτελεί, όπως και ο Sunny Tripower 15000LT, προϊόν της εταιρείας SMA. Η λειτουργία του βασίζεται στους μηχανισμούς OptiPower και OptiBat που αποσκοπούν στην αποτελεσματική διαχείριση του φορτίου και στη ρύθμιση των διαδικασιών φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών αντίστοιχα. Ο μετατροπέας λειτουργεί παρακολουθώντας τη συχνότητα. Πιο συγκεκριμένα, όταν ανιχνεύει συχνότητα μεγαλύτερη της ονομαστικής δίνει εντολή για φόρτωση των μπαταριών, ενώ στην αντίθετη περίπτωση που παρατηρηθεί πτώση της συχνότητας, δίνει εντολή για εκκίνηση κάποιας μηχανής diesel με σκοπό την κάλυψη του φορτίου. Ο μετατροπέας (converter) περιλαμβάνει αντιστροφέα (inverter), για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο, με σκοπό την κάλυψη του ζητούμενου φορτίου, και ανορθωτή (rectifier), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αντίστροφη διαδικασία, καθώς μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές, ώστε να μπορέσει να αποθηκευτεί στους συσσωρευτές. Η ονομαστική ισχύς του μετατροπέα είναι 6 kW, ενώ είναι ικανός να παρέχει ισχύ 8kW για χρονικό διάστημα 30 λεπτών, 9,1 kW για 5 λεπτά και 11kW για 3 δευτερόλεπτα, στοιχεία ιδιαίτερα σημαντικά ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου λόγω του τουρισμού παρατηρείται ραγδαία αύξηση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [35]. Περισσότερες λεπτομέρειες αναγράφονται στο φυλλάδιο κατασκευαστή του μετατροπέα Sunny Island 8.0H, το οποίο ακολουθεί (Εικόνα 6.2).

# SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H FOR OFF-GRID AND ON-GRID APPLICATIONS



SIB.0H.11 / SIB.0H.11



## Flexible

- For self-consumption and battery backup systems in on-grid and off-grid applications
- All lead-acid and many lithium-ion batteries can be used

- Ideal for retrofits or modular expansions of single-phase and three-phase systems

## Efficient

- Maximum efficiency of up to 96 %
- High efficiency of overall system
- Easy and fast installation and commissioning

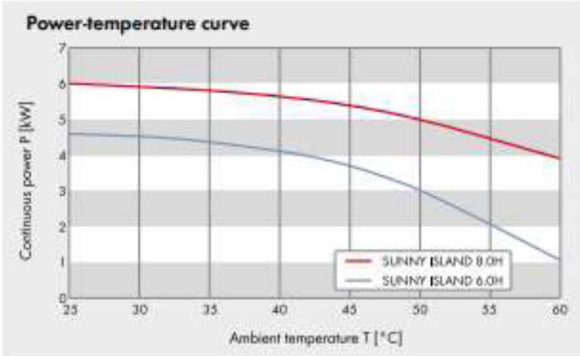
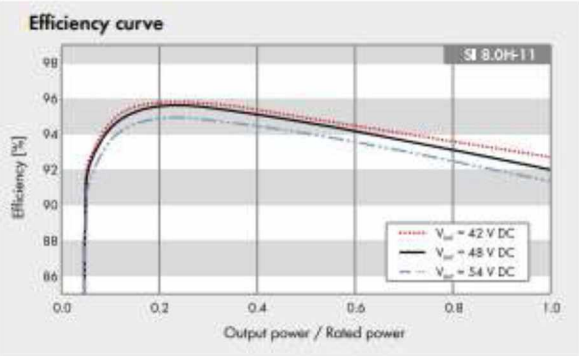
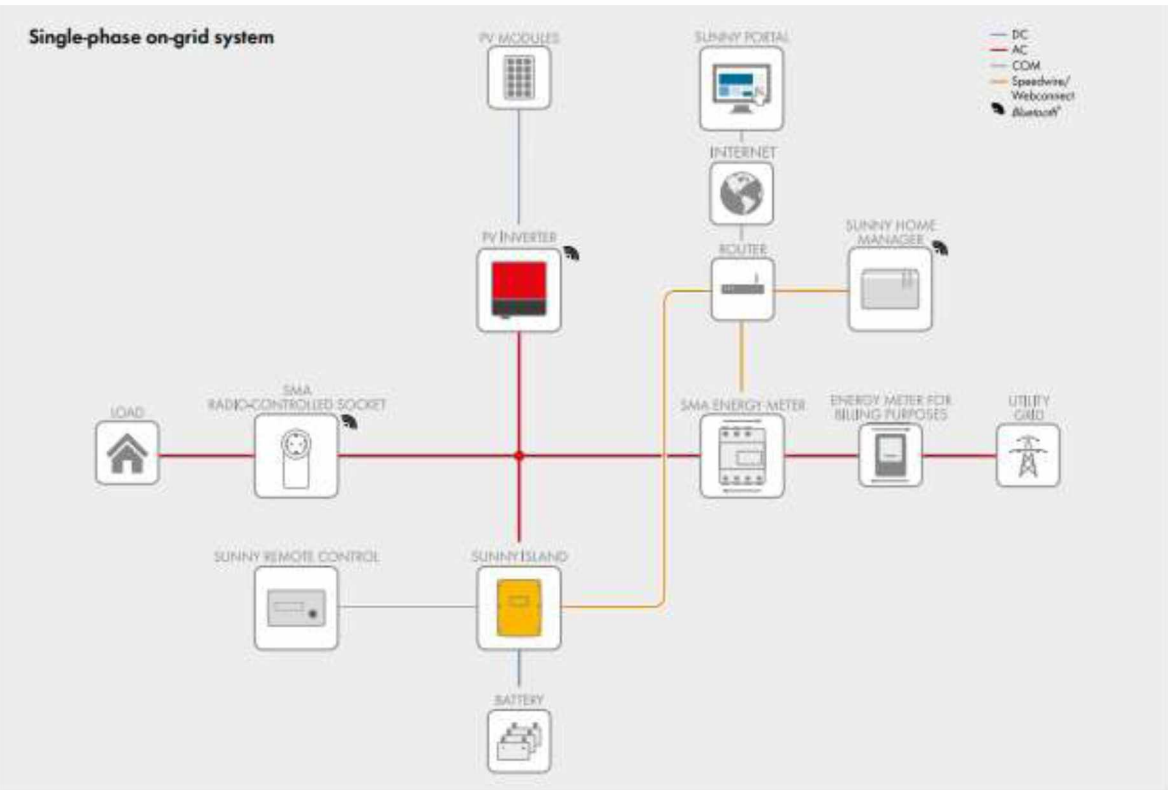
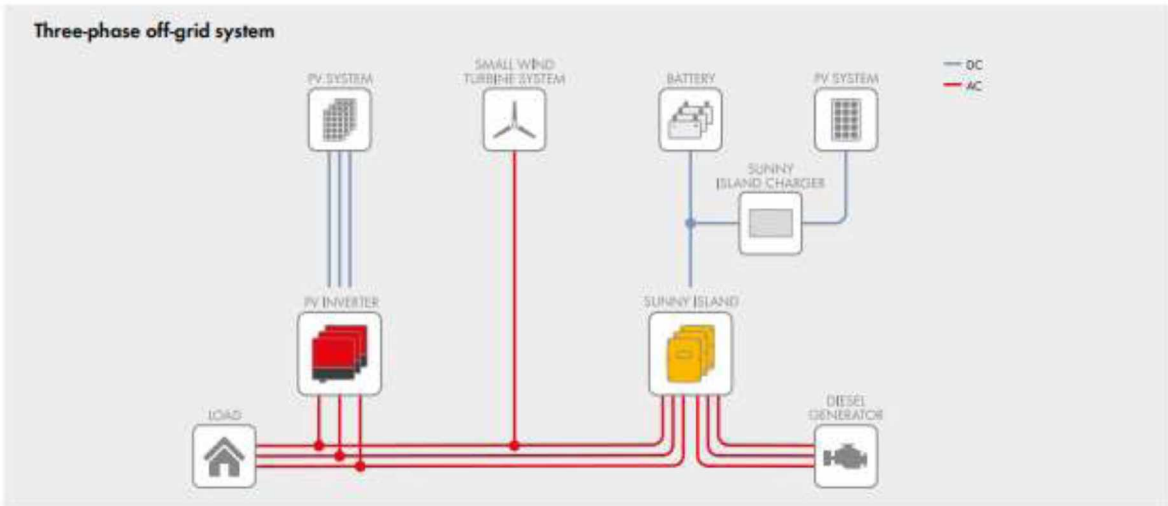
## Reliable

- Proven safety thanks to external certification
- Long battery service life thanks to intelligent battery management
- Reliable operation thanks to extreme overload capacity

## SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H

The all-rounder for on-grid and off-grid

The Sunny Island 6.0H / 8.0H supports a wide range of on-grid and off-grid applications with compelling product features – from operation in remote off-grid areas to home energy management. Users can benefit from more than 25 years of SMA experience in the field of battery inverters. The high protection class, wide temperature range and exceptional overload capacity provide the kind of security needed for off-grid use. Intelligent load and energy management keeps the system running, even in critical situations. And being a core element in the SMA Flexible Storage System for new and existing PV systems, the Sunny Island 6.0H / 8.0H stores generated solar energy and works with the Sunny Home Manager to intelligently manage home energy consumption. The Quick Configuration Guide and intuitive user interface help ensure an easy, convenient installation in any application scenario. That makes the Sunny Island 6.0H / 8.0H the ultimate all-purpose product solution – for on-grid and off-grid.





# SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H

| Technical Data   | Sunny Island 6.0H  | Sunny Island 8.0H  |
|--|--|--|
| <b>Operation on the utility grid or generator</b>                                      |  |  |
| Rated grid voltage / AC voltage range  | 230 V / 172.5 V to 264.5 V   | 230 V / 172.5 V to 264.5 V   |
| Rated grid frequency / permitted frequency range                                       | 50 Hz / 40 Hz to 70 Hz   | 50 Hz / 40 Hz to 70 Hz   |
| Maximum AC current for increased self-consumption (grid operation)                     | 20 A   | 26 A   |
| Maximum AC power for increased self-consumption (grid operation)                       | 4,6 kVA  | 6 kVA  |
| Maximum AC input current   | 50 A   | 50 A   |
| Maximum AC input power   | 11500 W  | 11500 W  |
| <b>Stand-alone or emergency power operation</b>  |  |  |
| Rated grid voltage / AC voltage range  | 230 V / 202 V to 253 V   | 230 V / 202 V to 253 V   |
| Rated frequency / frequency range (adjustable)   | 50 Hz / 45 Hz to 65 Hz   | 50 Hz / 45 Hz to 65 Hz   |
| Rated power (at Unom, fnom / 25°C / cos φ = 1)   | 4600 W   | 6000 W   |
| AC power at 25°C for 30 min / 5 min / 3 sec  | 6000 W / 6800 W / 11000 W  | 8000 W / 9100 W / 11000 W  |
| AC power at 45°C permanently   | 3700 W   | 5430 W   |
| Rated current / maximum output current (peak)  | 20 A / 120 A   | 26 A / 120 A   |
| Total harmonic distortion output voltage / power factor at rated power                 | < 4 % / -1 to +1   | < 4 % / -1 to +1   |
| <b>Battery DC input</b>  |  |  |
| Rated input voltage / DC voltage range   | 48 V / 41 V to 63 V  | 48 V / 41 V to 63 V  |
| Maximum battery charging current / rated DC charging current / DC discharging current  | 110 A / 90 A / 103 A   | 140 A / 115 A / 130 A  |
| Battery type / battery capacity (range)  | Li-ion*, FLA, VRLA /<br>100 Ah to 10000 Ah (lead-acid)<br>50 Ah to 10000 Ah (Li-Ion) | Li-ion*, FLA, VRLA /<br>100 Ah to 10000 Ah (lead-acid)<br>50 Ah to 10000 Ah (Li-Ion) |
| Charge control   | IUoU charge procedure with automatic full charge and equalization charge             |  |
| <b>Efficiency / self-consumption of the device</b>                                     |  |  |
| Maximum efficiency   | 95,8 %   | 95,8 %   |
| No-load consumption / standby  | 25,8 W / 6,5 W   | 25,8 W / 6,5 W   |
| <b>Protective devices (inverter)</b>   |  |  |
| AC short-circuit / AC overload   | ● / ●  | ● / ●  |
| DC reverse polarity protection / DC fuse   | - / -  | - / -  |
| Overtemperature / battery deep discharge   | ● / ●  | ● / ●  |
| Oversvoltage category as per IEC 60664-1   | III  | III  |
| <b>General data</b>  |  |  |
| Dimensions (W / H / D)   | 467 mm / 612 mm / 242 mm (18.4 inch / 21.1 inch / 9.5 inch)                          |  |
| Weight   | 63 kg (138.9 lb)   |  |
| Operating temperature range  | -25°C to +60°C (-13°F to +140°F)   |  |
| Protection class as per IEC 62103  | I  | I  |
| Climatic category as per IEC 60721   | 3K6  | 3K6  |
| Degree of protection as per IEC 60529  | IP54   | IP54   |
| <b>Features / function</b>   |  |  |
| Operation and display / multifunction relay  | External via SRC.20 / 2  | External via SRC.20 / 2  |
| Three-phase systems / battery backup function  | ● / ●  | ● / ●  |
| State of charge calculation / full charge / equalization charge                        | ● / ● / ●  | ● / ● / ●  |
| Battery temperature sensor / data cables   | ● / ●  | ● / ●  |
| Certificates and approvals   | www.SMA-Solar.com  | www.SMA-Solar.com  |
| Warranty   | 5 years  | 5 years  |
| <b>For off-grid applications</b>   |  |  |
| Automatic rotating magnetic field detection / generator support                        | ● / ●  | ● / ●  |
| Parallel connection / Multicluster   | ● / ●  | ● / ●  |
| Integrated soft start  | ●  | ●  |
| <b>Accessory</b>   |  |  |
| <b>For off-grid applications</b>   |  |  |
| Battery fuse**   | ○  | ○  |
| Interface SI-COM5MA (RS485) / SI-SYSCAN (Multicluster)                                 | ○ / ○  | ○ / ○  |
| Interface SWDMSI-10 (Speedwire)  | ○  | ○  |
| Sunny Island Charger SIC50-MPT** / SMA Cluster Controller                              | ○ / ○  | ○ / ○  |
| <b>For on-grid applications</b>  |  |  |
| Interface SI-COM5MA (RS485) / Interface SWDMSI-10 (Speedwire)                          | ○ / ○  | ○ / ○  |
| Sunny Home Manager / SMA Energy Meter / automatic transfer switch for battery backup** | ○ / ○ / ○  | ○ / ○ / ○  |
| ● Standard features ○ Optional features – Not available                                |  |  |
| * see „List of Approved lithium-Ion Batteries“ at www.SMA-Solar.com                    |  |  |
| ** procurement via external supplier   |  |  |
| All specifications, last updated: October 2016   |  |  |
| Type designation   | SI6.0H-11  | SI8.0H-11  |

Εικόνα 6.2: Φυλλάδιο κατασκευαστή μετατροπεία Sunny Island 8.0H [35]



Αποσκοπώντας στην άρτια σύνδεση των Sunny Island 8.0H, κρίνεται απαραίτητη η αγορά κυτίων, ειδικά κατασκευασμένων γι' αυτό το λόγο. Κατάλληλο προϊόν για το σύστημά μας αποτελεί το Multicluster Box 36, το οποίο παράγεται επίσης από την εταιρεία SMA και έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με συσκευές Sunny Island. Το συγκεκριμένο κυτίο επιτρέπει την παράλληλη σύνδεση 12 τριφασικών ομάδων (clusters), κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από 3 μετατροπείς Sunny Island. Συνεπώς, χάρη στην παραπάνω συνδεσμολογία δύνανται να συνδεθούν 36 μετατροπείς. Η ονομαστική ισχύς του κυτίου είναι 216 kW ( $36 * 6 \text{ kW}$ ), ενώ η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παρέχει για 30 λεπτά είναι 288 kW ( $36 * 8 \text{ kW}$ ) και για 5 λεπτά 328 kW ( $36 * 9,1 \text{ kW}$ ). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα χαρακτηριστικά αυτά αποκτούν ιδιαίτερη σημασία τις στιγμές στις οποίες παρατηρείται ραγδαία αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το Multicluster Box, κατά την αγορά του, συνοδεύεται από καλώδια και από οτιδήποτε άλλο απαιτείται για τη σύνδεσή του με το υπόλοιπο δίκτυο [35]. Στη συνέχεια παρατίθεται το φυλλάδιο κατασκευαστή του Multicluster Box 36 (Εικόνα 6.3).

## MULTICLUSTER BOXES FOR SUNNY ISLAND



### Flexible

- Three different power classes, from 20 kW to 300 kW
- Different generators, PV and load magnitudes

### Simple

- Integrated AC distribution for Sunny Island, generator, PV
- Integrated load-shedding contactor

### Safe

- Automatic bypass for the PV generator
- Active Anti-Islanding
- Reverse current monitoring

### Robust

- High protection class IP65 (MC-Box-6.3-11)
- High protection class IP54 (MC-Box-12.3 / MC-Box-36.3-11)
- 5-year SMA warranty

## Multicenter Boxes for SUNNY ISLAND

For easy set-up of stand-alone and hybrid systems

The power of the AC main distribution unit for Sunny Island systems has been increased by 20 %. This allows off-grid and hybrid systems in the power ranges of 20 to 300 kW to be implemented even more cost-effectively. The specific costs for the overall system are being reduced thanks to a maximum PV output of 360 kW and the flexible design capability of the Sunny Island 6.0H / 8.0H. Based on proven technology, 2 to 12 three-phase clusters, each consisting of 3 Sunny Island inverters, can be connected in parallel. To simplify installation, all Multicenter Boxes are completely wired and fitted at the factory and have a main connector for generators, the load distribution and PV or wind turbine systems. All data cables required for the installation are included in the delivery. With the Multicenter solution for Sunny Island, you really have thought of everything. Even complex energy supply solutions are easy to implement.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

#### 7.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Στα υβριδικά συστήματα τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, η παραγωγή από τις ΑΠΕ δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως είναι η ηλιοφάνεια και η ένταση του ανέμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα είτε να μην επαρκεί η ενέργεια για την κάλυψη των φορτίων είτε να έχουμε περίσσεια ενέργειας που πάει χαμένη. Λόγω των παραπάνω και σε συνδυασμό με την περίπτωση βλάβης κάποιας μονάδας παραγωγής ενέργειας κρίνεται αναγκαίο να υπάρχει εφεδρική ενέργεια αποθηκευμένη κάτι που επιτυγχάνεται με εγκατάσταση μέσου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα.

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας διακρίνονται με βάση τον τρόπο και τη μορφή που αυτή αποθηκεύεται στα εξής είδη:

- Χημική αποθήκευση: Αποθηκεύεται ηλεκτροχημική ενέργεια σε συμβατικούς συσσωρευτές και μπαταρίες ροής ή χημική ενέργεια σε μπαταρίες μετάλλου αέρα, κυψέλες καυσίμου κ.α.
- Ηλεκτρική αποθήκευση: Χρησιμοποιούνται πυκνωτές και υπερπυκνωτές για αποθήκευση ηλεκτροστατικής μορφής ενέργειας ή η τεχνολογία Superconducting Magnetic Storage για αποθήκευση μαγνητικής μορφής ενέργειας.
- Θερμική αποθήκευση: Αποθήκευση ενέργειας μέσω θέρμανσης ή ψύξης κάποιου υγρού ή άλλου μέσου.
- Μηχανική αποθήκευση: Αποθηκεύεται δυναμική ενέργεια σε PHS (Pumped Storage Hydroelectricity) και CAES (Compressed Air Energy Storage) ή κινητική ενέργεια σε σφονδύλους. Στους υδροαντλητικούς σταθμούς (PHS) αντλείται νερό κυρίως σε περιόδους περίσσειας παραγόμενης ενέργειας και τροφοδοτείται νερό υψηλής κινητικής ενέργειας σε περιόδους αυξημένου φορτίου.

## 7.2 Συσσωρευτές υβριδικού συστήματος

Στο Καστελλόριζο η δημιουργία υδροαντλητικού σταθμού δεν είναι ευνοϊκή και έτσι για την αποθήκευση ενέργειας επιλέγεται η χρήση συσσωρευτών. Η συγκεκριμένη επιλογή επιβεβαιώνεται από την επιστημονική μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Δημήτρη Κατσαπρακάκη και την Ειρήνη Δακανάλη το έτος 2018 [12] και είχε ως στόχο την εύρεση της κατάλληλης τεχνολογίας αποθήκευσης για πιθανά υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής στα νησιά Σύμη, Αστυπάλαια και Καστελλόριζο. Πιο λεπτομερής αναφορά της παραπάνω μελέτης γίνεται στη βιβλιογραφία.

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές αποτελούν τον πιο καθιερωμένο τρόπο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας (από την οποία φορτίζονται) σε χημική ενέργεια αποθήκευσης και στη συνέχεια (κατά την εκφόρτιση), μετατροπή της χημικής ενέργειας αποθήκευσης σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χημική ενέργεια αποθηκεύεται σε δύο ηλεκτρόδια ανάμεσα στα οποία δημιουργείται η ηλεκτρική τάση.

Οι συσσωρευτές έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογής, είναι αθόρυβοι και δε μολύνουν όμως έχουν υψηλό κόστος και χρειάζονται συντήρηση και αντικατάσταση μετά από 8-10 έτη.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσσωρευτών ανάλογα με τον τύπο ηλεκτροδίων κατασκευής τους. Οι κυριότεροι είναι:

- Μολύβδου οξέος (lead acid): Αποτελούν τον παλαιότερο και πιο διαδεδομένο τύπο επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Έχουν χαμηλή τιμή πυκνότητας ενέργειας κατά βάρος, όμως έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υψηλά ρεύματα και έχουν υψηλή απόδοση (80-90%). Εκτός αυτού το κόστος τους είναι χαμηλό, κάτι που τους καθιστά ελκυστικούς για πολλές εφαρμογές.
- Νικελίου-καδμίου (NiCd): Σε τεχνολογικό επίπεδο παρουσιάζουν ομοιότητες με τους συσσωρευτές μολύβδου οξέος, όμως προτιμούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη αξιοπιστία όπως για εκκίνηση γεννητριών και για φωτισμό εκτάκτου ανάγκης. Το κόστος συντήρησής τους είναι αρκετά χαμηλό, γεγονός που τους δίνει πλεονέκτημα σε σχέση με τους συσσωρευτές μολύβδου οξέος.



- Θειούχου νατρίου (NaS): Ως πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου μπορεί κανείς να αναφέρει τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από τους συσσωρευτές μολύβδου οξέος έχοντας παράλληλα μικρότερες ανάγκες συντήρησης, την αρκετά μεγάλη απόδοση (περίπου 90%) και το γεγονός πως δεν παρουσιάζονται καθόλου διαρροές. Ωστόσο οι συσσωρευτές αυτοί πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασία 300°C για να λειτουργήσουν, κάτι που συνεπάγεται την αύξηση των απωλειών.
- Ιόντων λιθίου (Li ion): Οι συσσωρευτές αυτού του τύπου έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας, πολύ υψηλή απόδοση και μεγάλο κύκλο ζωής. Επίσης είναι αρκετά ελαφρύτεροι από τους συνηθισμένους, χάρη στο γεγονός πως το λίθιο είναι το πιο ελαφρύ στέρεο στοιχείο και χρησιμοποιούνται αρκετά στα κινητά τηλέφωνα και τους φορητούς υπολογιστές.
- Λιθίου-πολυμερούς (Li-Polymer): Η εξωτερική διαφορά από τα στοιχεία Li-Ion είναι ότι περικλείονται σε μαλακό περίβλημα που λέγεται φάκελος. Είναι πολύ ελαφριά και το γεγονός πως έχουν μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ενέργειας τα καθιστά ιδανικά για ηλεκτρική κίνηση. Ως μειονέκτημα αξίζει να σημειωθεί το μεγάλο οικονομικό κόστος.
- Συσσωρευτών ροής (flow batteries): Οι συσσωρευτές αυτού του τύπου έχουν υψηλή ισχύ, ικανότητα μεταφοράς ισχύος, μεγάλη διάρκεια ζωής, εύκολη αντικατάσταση των ηλεκτρολυτών, γρήγορη μετάβαση από εκφόρτιση σε φόρτιση αλλά μικρή απόδοση λόγω απωλειών στις χημικές αντιδράσεις. Τέλος δεν παρουσιάζεται αυτοεκφόρτιση, εφόσον οι ηλεκτρολύτες αποθηκεύονται χωριστά.

Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συσσωρευτή είναι τα ακόλουθα:

- Ηλεκτρεγερτική δύναμη ΗΕΔ-emf: Είναι η μέγιστη τάση στα άκρα του συσσωρευτή όταν δεν είναι συνδεδεμένος με την κατανάλωση. Εκφράζεται σε V και η πιο συνηθισμένη τιμή στους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται είναι τα 12 V.
- Ονομαστική χωρητικότητα (nominal Capacity C): Εκφράζει το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει ο συσσωρευτής (σε μορφή χημικής ενέργειας) κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες

καθορίζονται κυρίως από τη θερμοκρασία. Η μονάδα μέτρησης στην οποία εκφράζεται συνήθως είναι το αμπερώριο (Ah).

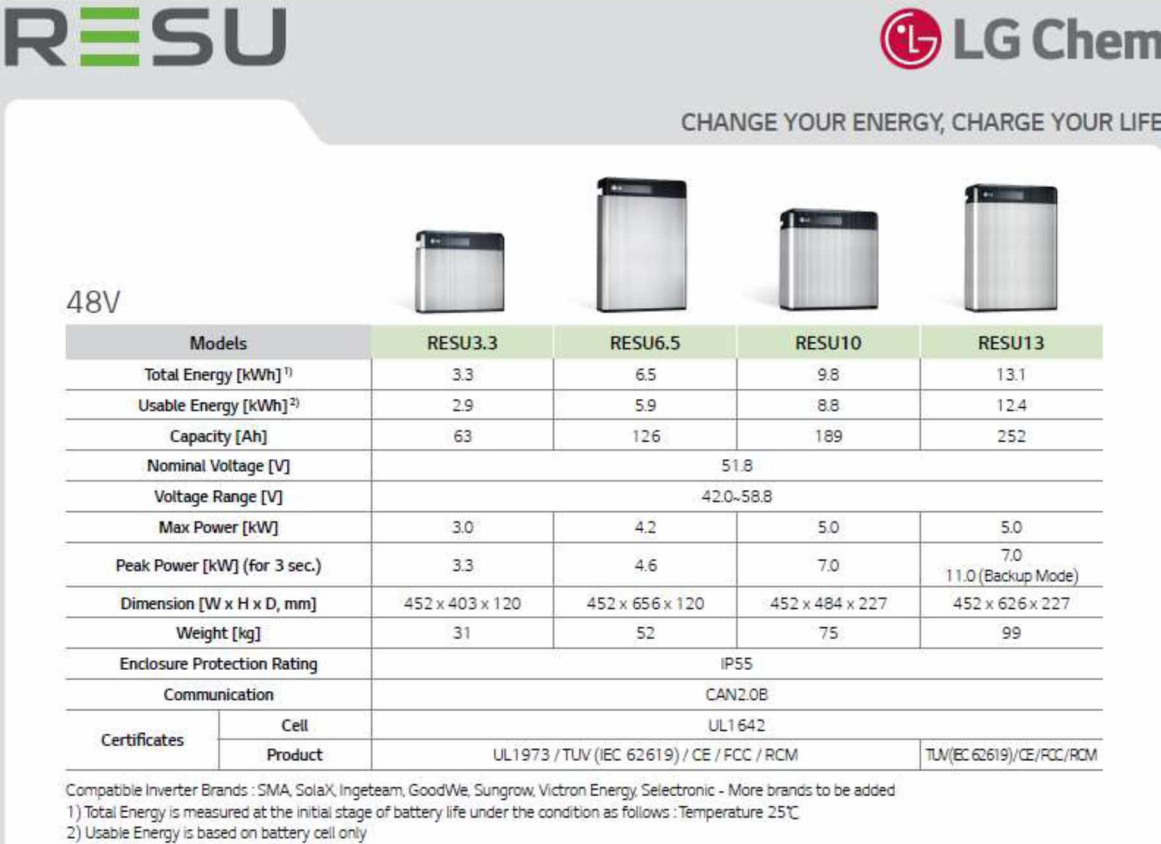
- Η απόδοση (efficiency): Είναι καθαρός αριθμός και είναι ίσος με το πηλίκο του φορτίου που παρέχει ο συσσωρευτής κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης προς το φορτίο που χρειάζεται ο συσσωρευτής για να επανέλθει στην αρχική κατάσταση φόρτισης.
- Η κατάσταση φόρτισης (state of charge-SOC). Εκφράζει ουσιαστικά το ποσοστό στο οποίο είναι φορτισμένος ένας συσσωρευτής σε δεδομένη χρονική στιγμή και είναι ίση με το πηλίκο της χωρητικότητας του συσσωρευτή στη δεδομένη χρονική στιγμή προς την ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας. Οι τιμές της SOC είναι μεταξύ του 0 και του 1. Για SOC = 1 ο συσσωρευτής είναι πλήρως φορτισμένος, ενώ για SOC = 0 ο συσσωρευτής είναι πλήρως εκφορτισμένος.
- Το χρονικό περιθώριο εκφόρτισης: Είναι μέγεθος το οποίο εκφράζεται σε ώρες και δείχνει ουσιαστικά ποσό γρήγορα εκφορτίζεται ο συσσωρευτής μέσω ενός δεδομένου ρεύματος για να δώσει όλο το φορτίο του.
- Ο χρόνος ζωής συσσωρευτή: Εκφράζεται σε αριθμό κύκλων λειτουργίας και εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργήσει ο συγκεκριμένος συσσωρευτής. Ένας κύκλος λειτουργίας περιλαμβάνει μία φόρτιση και μία εκφόρτιση του συσσωρευτή. Συνεπώς, ο ίδιος συσσωρευτής μπορεί τελικά να παρουσιάσει διαφορετικό χρόνο ζωής σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και χρησιμοποίησής της. Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι ο χρόνος ζωής ενός συσσωρευτή εξαρτάται από τις παραμέτρους που εμφανίζει κάθε κύκλος λειτουργίας τους, δηλαδή από το βάθος φόρτισης-εκφόρτισης, από το ρεύμα φόρτισης-εκφόρτισης και το πλήθος των περιπτώσεων που θα συμβεί υπερφόρτιση ή υπερεκφόρτιση του συσσωρευτή.

### **7.3 Επιλογή μοντέλου συσσωρευτή**

Η πολύ υψηλή απόδοση και ο μεγάλος κύκλος ζωής που χαρακτηρίζουν τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου, αποτελούν τους λόγους για τους οποίους συσσωρευτές του συγκεκριμένου είδους θα επιλεγθούν για την υλοποίηση του υβριδικού συστήματος του Καστελλόριζου.

Το μοντέλο συσσωρευτή ιόντων λιθίου που θα συμμετάσχει στο σύστημα είναι το LG Chem RESU 10. Ο συγκεκριμένος συσσωρευτής επιλέχθηκε καθώς έχει κατασκευαστεί για να είναι απόλυτα συμβατός με το μετατροπέα του συστήματος (Sunny Island 8.0H). Πιο συγκεκριμένα, η τάση του συσσωρευτή είναι 48 V, ίση ακριβώς με την ονομαστική τάση εισόδου του μετατροπέα. Επίσης, το μέγιστο ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισής του έχει τιμή 119 A, ενώ παράλληλα το ονομαστικό ρεύμα με το οποίο ο μετατροπέας Sunny Island 8.0H τροφοδοτεί το συσσωρευτή είναι 115 A και το μέγιστο που μπορεί να δεχτεί από αυτόν είναι 130 A.

Η μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει ο συσσωρευτής LG Chem RESU 10 είναι 9.8 kWh, ωστόσο λόγω του ότι το ελάχιστο δυνατό ποσοστό φόρτισής του είναι 10,2%, η αξιοποιήσιμη ενέργειά του είναι 8,8 kWh. Πρόσθετα, η μέγιστη ισχύς με την οποία μπορεί να τροφοδοτεί τους μετατροπείς είναι 5 kW και 7kW για διάστημα έως τριών δευτερολέπτων. Τέλος, η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή είναι 189 Ah, ενώ η αποδοτικότητά του ανά κύκλο έχει ποσοστό 95% [34]. Το φυλλάδιο κατασκευαστή του συγκεκριμένου συσσωρευτή ακολουθεί στην Εικόνα 7.1.



**RESU** **LG Chem**

CHANGE YOUR ENERGY, CHARGE YOUR LIFE

48V

| Models                            | 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<br>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 |

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

Εικόνα 7.1: Φυλλάδιο κατασκευαστή συσσωρευτή LG Chem RESU 10 [34]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

#### 8.1 Το λογισμικό Homer

Το Homer αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο λογισμικό για το σχεδιασμό, την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση αυτόνομων ή διασυνδεδεμένων μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αναπτύχθηκε από το Εθνικό εργαστήριο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των ΗΠΑ (NREL) το 1993 και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε επιστημονικές μελέτες και δημοσιεύσεις. Ορισμένες από αυτές έγιναν από τους M.T. Iqbal [9], S. Rehman et al. [15, 16] και G. Bekele & B. Palm [13]. Το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε και για τη μελέτη σε ελληνικά νησιά από τους Γ. Προδρομίδη και Φ. Κουτελιέρη [14]. Επίσης, σημαντικό ρόλο στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του Homer, αλλά και στην επιλογή του έναντι παρομοίων, διαδραμάτισε η μελέτη της επιστημονικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε από τους O. Erdinc, M. Uzunoglu [5]. Πιο λεπτομερής αναφορά στις παραπάνω δημοσιεύσεις γίνεται στη βιβλιογραφία.

Το Homer εκτελεί τρεις βασικές εργασίες:

- Προσομοίωση

Αφορά τη μοντελοποίηση της λειτουργίας του συστήματος συγκρίνοντας την ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με την αντίστοιχη ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας για κάθε ώρα του έτους. Το Homer υπολογίζει τη διαθέσιμη ισχύ από ανανεώσιμες πηγές, τη συγκρίνει με τη ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου και αποφασίζει πως θα γίνει η διαχείριση της πλεονάζουσας ενέργειας ή πως θα πραγματοποιηθεί η καλύτερη παραγωγή της. Επιπλέον καθορίζει αν το προτεινόμενο σύστημα ικανοποιεί τους περιορισμούς που θέτονται από το χρήστη σε όρους συνολικής απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας, παραγόμενης ισχύος από ανανεώσιμες πηγές ή απώλειες συγκεκριμένων ρύπων. Για τα συστήματα που περιλαμβάνουν μπαταρίες ή γεννήτριες το Homer αποφασίζει επίσης για κάθε ώρα του έτους πως θα ενεργοποιηθούν οι γεννήτριες ή πως θα φορτιστούν και θα εκφορτιστούν οι μπαταρίες. Το Homer εκτελεί αυτούς τους υπολογισμούς ενεργειακής ισορροπίας για κάθε συνδυασμό συστημάτων.

Έπειτα καθορίζει εάν ένας συνδυασμός είναι εφικτός, δηλαδή εάν μπορεί να ικανοποιήσει την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και εφόσον μπορεί τότε υπολογίζει το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος αυτού, καθ' όλη την διάρκεια ζωής του.

- Βελτιστοποίηση:

Μετά την διαδικασία προσομοίωσης όλων των πιθανών συνδυασμών των συστημάτων ενέργειας, ακολουθεί η διαδικασία της βελτιστοποίησης κατά την οποία το Homer επιδεικνύει έναν κατάλογο συνδυασμών που ταξινομούνται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος. Ο συγκεκριμένος κατάλογος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει σύγκριση των επιλογών που έχουν γίνει προκειμένου να υιοθετηθεί το κατάλληλο σύστημα ενέργειας. Πρέπει να αναφερθεί ότι η ταξινόμηση των συστημάτων ενέργειας είναι πλήρης, δηλαδή έχουν εξεταστεί και αποτυπωθεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί εφικτών συστημάτων. Για το Homer το βέλτιστο σύστημα είναι αυτό που ικανοποιεί τους περιορισμούς που θέτονται από το χρήστη και αποδίδει το μικρότερο συνολικό καθαρό κόστος αξίας (total net present cost) που περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες και τα έξοδα που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του έργου. Η εξεύρεση του βέλτιστου συστήματος μπορεί να προκύπτει από την επιλογή του συνδυασμού των επιμέρους στοιχείων του συστήματος, το μέγεθος ή την ποσότητα του κάθε στοιχείου που απαρτίζει το σύστημα. Στόχος της βελτιστοποίησης είναι ο καθορισμός της βέλτιστης τιμής κάθε μεταβλητής απόφασης που τίθεται από το χρήστη.

- Ανάλυση ευαισθησίας:

Η διαδικασία της ανάλυσης ευαισθησίας πραγματοποιείται εφόσον οριστούν μεταβλητές ευαισθησίας ως δεδομένα εισόδου, οπότε το Homer επαναλαμβάνει τη διαδικασία βελτιστοποίησης για κάθε μεταβλητή ευαισθησίας που εισάγεται. Μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα για το πώς επηρεάζεται το σύστημα που εξετάζει κάτω από διαφορετικά δεδομένα. Το Homer αντιμετωπίζει κάθε μεταβλητή ευαισθησίας σαν μια ξεχωριστή υπόθεση εφαρμογής συστήματος και πραγματοποιεί την ανάλυση για κάθε μία από αυτές. Η κύρια χρησιμότητα της ανάλυσης ευαισθησίας εντοπίζεται όταν ο χρήστης είναι αβέβαιος για την τιμή που θέτει για μια μεταβλητή. Η ανάλυση της ευαισθησίας του δίνει τη δυνατότητα να θέσει ένα εύρος τιμών

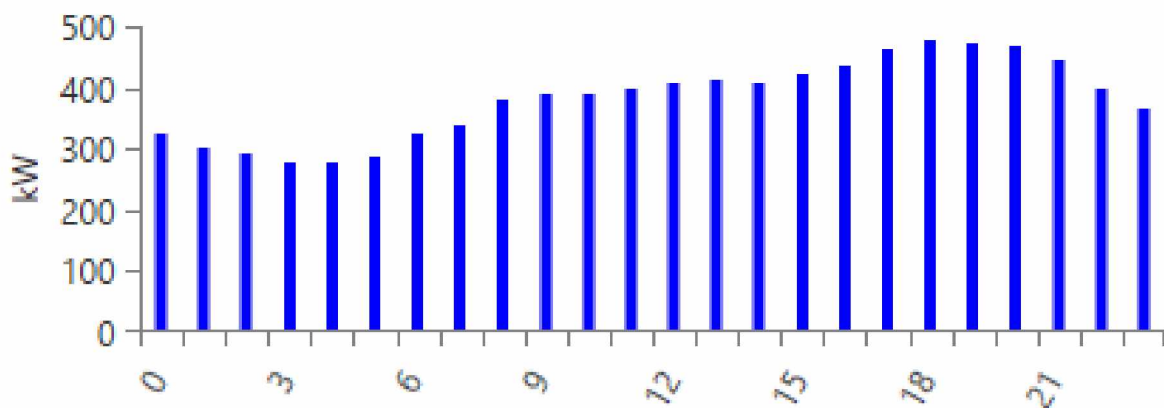
για τη συγκεκριμένη μεταβλητή και να εξετάσει την επίδρασή της πάνω στο σύστημα.

## 8.2 Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό Homer

### 8.2.1 Το ηλεκτρικό φορτίο του Καστελλόριζου

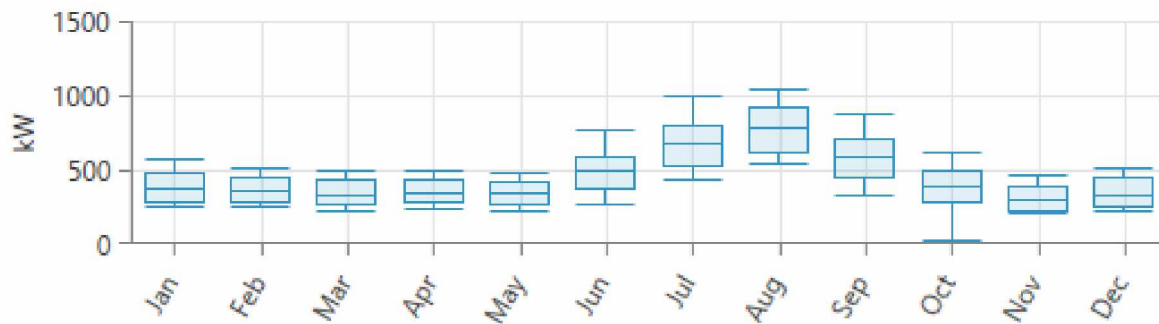
Το ηλεκτρικό φορτίο του νησιού αποτελεί αναγκαία μεταβλητή εισόδου για το λογισμικό Homer. Πιο συγκεκριμένα, στο Homer εισήχθη η ωριαία χρονοσειρά της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στο Καστελλόριζο για ολόκληρο το 2019. Τα δεδομένα για τη ζήτηση παρασχέθηκαν από τον τομεάρχη ανάπτυξης και διαχείρισης παραγωγής της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ, κύριο Ανδρέα Ρέππα, τον οποίο και ευχαριστώ.

Είναι φανερό από τα Διαγράμματα 8.1 και 8.3 πως οι ώρες αιχμής της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου είναι οι απογευματινές. Επίσης παρατηρείται μεγάλη αύξηση στη ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Αύγουστο λόγω της αύξησης του πληθυσμού του νησιού από τον τουρισμό (Διαγράμματα 8.2, 8.3). Ακόμη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.1 η μέση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 444,73 kW και 10.673 kWh/ημέρα, ενώ η μέγιστη ζήτηση παρατηρείται τον Αύγουστο και έχει τιμή 1040 kW. Τέλος, ο παράγοντας φορτίου ο οποίος αντιπροσωπεύει τη μέση ζήτηση διαιρεμένη με τη μέγιστη έχει τιμή 0,43.

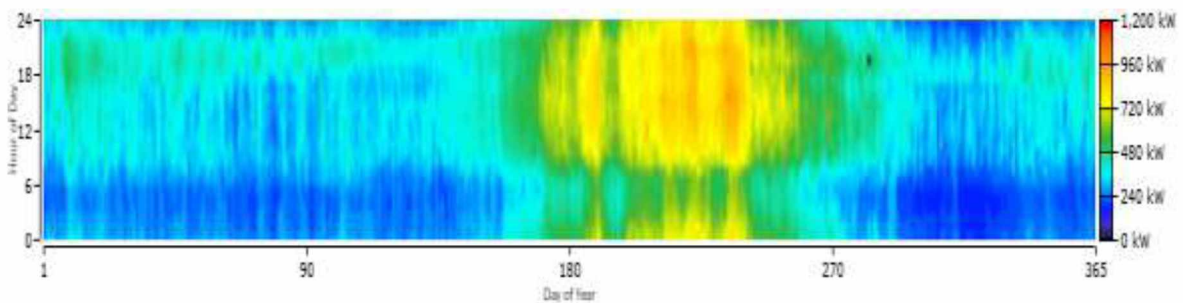


Διάγραμμα 8.1: Μέση ωριαία ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου [Homer]





Διάγραμμα 8.2: Μηνιαία απεικόνιση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (μέγιστη ζήτηση, μέγιστη μέση ημερήσια ζήτηση, μέση ζήτηση, ελάχιστη μέση ημερήσια ζήτηση, ελάχιστη ζήτηση) [Homer]



Διάγραμμα 8.3: Απεικόνιση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για όλες τις ώρες του 2019 [Homer]

Πίνακας 8.1: Βασικά στοιχεία της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2019 στο Καστελλόριζο [Homer]

| Metric            | Baseline | Scaled  |
|-------------------|----------|---------|
| Average (kWh/day) | 10,673.  | 10,673. |
| Average(kW)       | 444.73   | 444.73  |
| Peak (kW)         | 1,040    | 1,040   |
| Load factor       | .43      | .43     |

### 8.2.2 Κλιματικά δεδομένα του Καστελλόριζου

Τα κλιματικά δεδομένα του νησιού, τα οποία αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων της Nasa, είναι ακριβώς τα ίδια σε όλη την επιφάνεια του. Μόλις τα δεδομένα αυτά εισαχθούν στο Homer, το λογισμικό δημιουργεί και εμφανίζει τους πίνακες και τα

διαγράμματα της μηνιαίας απεικόνισής τους. Τα κλιματικά δεδομένα που εισάγονται στο λογισμικό αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία, την καθαρότητα του ουρανού, το αιολικό δυναμικό και τη θερμοκρασία. Τα δύο πρώτα προκύπτουν από μελέτες της Nasa με διάρκεια 22 έτη, ενώ τα επόμενα δύο αποτελούν αποτελέσματα μελετών με διάρκεια 30 έτη. Η ταχύτητα του ανέμου έχει ερευνηθεί σε ύψος 50 μέτρων από την επιφάνεια της γης. Στη συνέχεια παρατίθενται οι σχετικοί πίνακες (Πίνακες 8.2, 8.3, 8.4) και διαγράμματα (Διαγράμματα 8.4, 8.5, 8.6).

Πίνακας 8.2: Μέσες μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και της καθαρότητας του ουρανού [Homer]

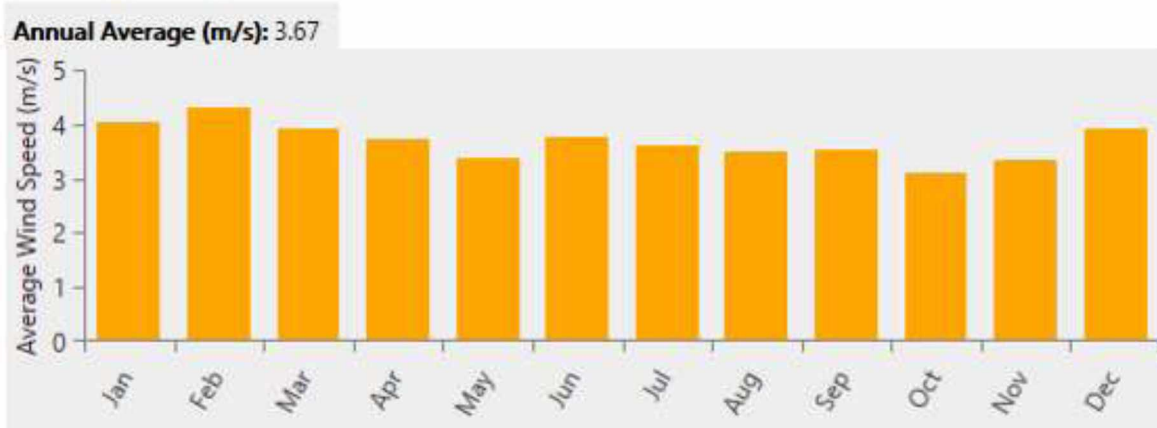
| Month | Clearness Index | Daily Radiation (kWh/m <sup>2</sup> /day) |
|-------|-----------------|---|
| Jan   | 0.511           | 2.500                                     |
| Feb   | 0.530           | 3.320                                     |
| Mar   | 0.568           | 4.630                                     |
| Apr   | 0.574           | 5.700                                     |
| May   | 0.626           | 6.960                                     |
| Jun   | 0.697           | 8.060                                     |
| Jul   | 0.703           | 7.930                                     |
| Aug   | 0.690           | 7.080                                     |
| Sep   | 0.684           | 5.900                                     |
| Oct   | 0.626           | 4.200                                     |
| Nov   | 0.539           | 2.770                                     |
| Dec   | 0.472           | 2.110                                     |



Διάγραμμα 8.4: Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας, της μέσης μηνιαίας καθαρότητας του ουρανού και της μέσης ετήσιας τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας στο Καστελλόριζο [Homer]

Πίνακας 8.3: Μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου [Homer]

| Month | Average (m/s) |
|-------|---------------|
| Jan   | 4.030         |
| Feb   | 4.310         |
| Mar   | 3.930         |
| Apr   | 3.720         |
| May   | 3.380         |
| Jun   | 3.750         |
| Jul   | 3.590         |
| Aug   | 3.480         |
| Sep   | 3.540         |
| Oct   | 3.100         |
| Nov   | 3.350         |
| Dec   | 3.900         |



Διάγραμμα 8.5: Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου και της μέσης ετήσιας τιμής της ταχύτητας του ανέμου στο Καστελλόριζο [Homer]

Πίνακας 8.4: Μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας [Homer]

| Month | Daily Temperature (°C) |
|-------|------------------------|
| Jan   | 9.710                  |
| Feb   | 9.560                  |
| Mar   | 11.410                 |
| Apr   | 14.540                 |
| May   | 18.900                 |
| Jun   | 23.690                 |
| Jul   | 27.130                 |
| Aug   | 27.470                 |
| Sep   | 24.250                 |
| Oct   | 19.750                 |
| Nov   | 14.870                 |
| Dec   | 11.260                 |



Διάγραμμα 8.6: Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και της μέσης ετήσιας τιμής της θερμοκρασίας στο Καστελλόριζο [Homer]

### 8.2.3 Μεταβλητές εισόδου ανεμογεννήτριας

Το επιλεγμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.3, είναι το E-53 800kW της εταιρείας Enercon. Το συγκεκριμένο μοντέλο παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα, έχει διάρκεια ζωής 20 έτη και το ύψος της πλήμνης του είναι 73 μέτρα.

Η τιμή της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας ανέρχεται στα 850.000.000 ευρώ. Στην τιμή περιλαμβάνεται η κατασκευή της στο εργοστάσιο (Γερμανία, Τουρκία, Πορτογαλία), η μεταφορά της σε κάποιο κεντρικό λιμάνι και εν συνεχεία η μεταφορά της στο Καστελλόριζο στη θέση εγκατάστασής της. Ακόμη στο ποσό συμπεριλαμβάνεται η εγκατάστασή της και όλες οι εργασίες έως ότου να είναι έτοιμη για λειτουργία.

Η εγκατάσταση αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο αφορά το στήσιμο της ανεμογεννήτριας στη θέση εγκατάστασης και διαρκεί 4-5 ημέρες. Στη συνέχεια έπεται η ηλεκτρολογική εγκατάσταση που αφορά τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το ηλεκτρικό δίκτυο και έχει διάρκεια 2-3 ημέρες.

Αμέσως μετά την εγκατάσταση ακολουθεί το commissioning (αρχική θέση σε λειτουργία). Κατά τη διαδικασία αυτή ειδικοί μηχανικοί ελέγχουν τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας με σκοπό την εύρεση τυχόν δυσλειτουργιών και την αντιμετώπισή τους. Ύστερα από το στάδιο αυτό η ανεμογεννήτρια είναι έτοιμη για λειτουργία.

Σχετικά με τη συντήρηση, αυτή λαμβάνει χώρα κάθε 6 μήνες και αφορά τον έλεγχο από μηχανικούς της εταιρείας για την ορθή λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Κατά τη συντήρηση πραγματοποιούνται οπτικοί έλεγχοι, αντικαθίστανται τα αναλώσιμα υλικά και καλύπτεται οποιαδήποτε φθορά. Το κόστος της είναι μεταβλητό και εξαρτάται από το συντελεστή τεχνικής διαθεσιμότητας, ο οποίος



εκφράζει την ικανότητα ασφαλούς λειτουργίας της ανεμογεννήτριας από τεχνική σκοπιά. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται με τη διαίρεση του αριθμού των ωρών που η μηχανή είναι τεχνικά διαθέσιμη προς τις συνολικές ώρες της υπό μελέτη περιόδου. Η Enercon εγγυάται στο συμβόλαιο πως ο συντελεστής τεχνικής διαθεσιμότητας θα έχει τιμή 0,95. Με άλλα λόγια η ανεμογεννήτρια θα είναι ικανή να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια για το 95% του χρόνου ζωής της. Στην περίπτωση που το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από 95% πληρώνουμε κόστος συντήρησης που είναι ανάλογο με την τιμή του συντελεστή τεχνικής διαθεσιμότητας. Στην αντίθετη περίπτωση για ποσοστό μικρότερο του 95% η Enercon μας παρέχει ένα χρηματικό ποσό σαν αποζημίωση. Το ποσοστό είναι ανάλογο με την τιμή της διαφοράς του 0,95 με τον παρόντα συντελεστή τεχνικής διαθεσιμότητας. Ένα ρεαλιστικό και αντιπροσωπευτικό κόστος συντήρησης είναι το ποσό των 22.000 ευρώ ανά έτος.

Ακόμη, οφείλουμε να συμπεριλάβουμε ένα ποσό της τάξης των 20.000 ευρώ για τη δημιουργία δρόμου που οδηγεί στη θέση εγκατάστασης. Έτσι το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας αποκτά την τιμή των 870.000 ευρώ. Προφανώς το συγκεκριμένο ποσό δε θα συμπεριληφθεί στο κόστος αντικατάστασης

Τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται στο Homer όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.1.

**WIND TURBINE**  Name:  Abbreviation:

| Costs    |             |                 |              |
|----------|-------------|-----------------|--------------|
| Quantity | Capital (€) | Replacement (€) | O&M (€/year) |
| 1        | €870,000.00 | €850,000.00     | €22,000.00   |

Site Specific Input

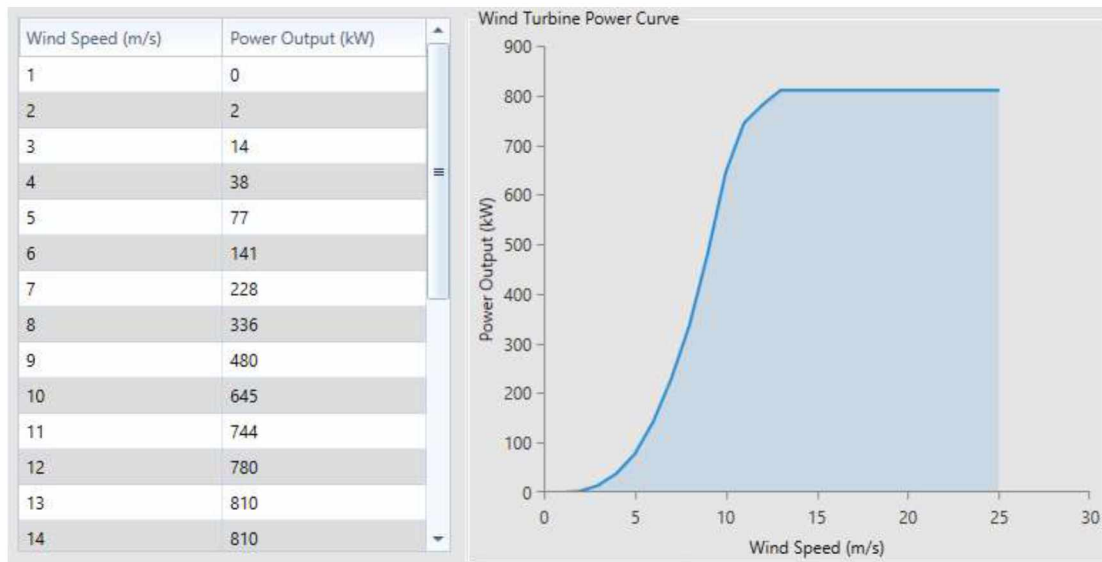
Lifetime (years):   Hub Height (m):    Consider ambient temperature effects?

Electrical Bus  AC  DC

Εικόνα 8.1: Εισαγωγή δεδομένων ανεμογεννήτριας στο Homer [Homer]

Τέλος εισάγουμε στο Homer την καμπύλη ισχύος της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας (Διάγραμμα 8.7).





Διάγραμμα 8.7: Εισαγωγή στο Homer της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας [Homer]

#### 8.2.4 Μεταβλητές εισόδου φωτοβολταϊκών

Το μοντέλο φωτοβολταϊκού πλαισίου που επιλέχθηκε στο κεφάλαιο 5.3 είναι το Amerisolar AS-6P30. Επίσης, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 6, ο μετατροπέας Sunny Tripower 15000TL θα χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο.

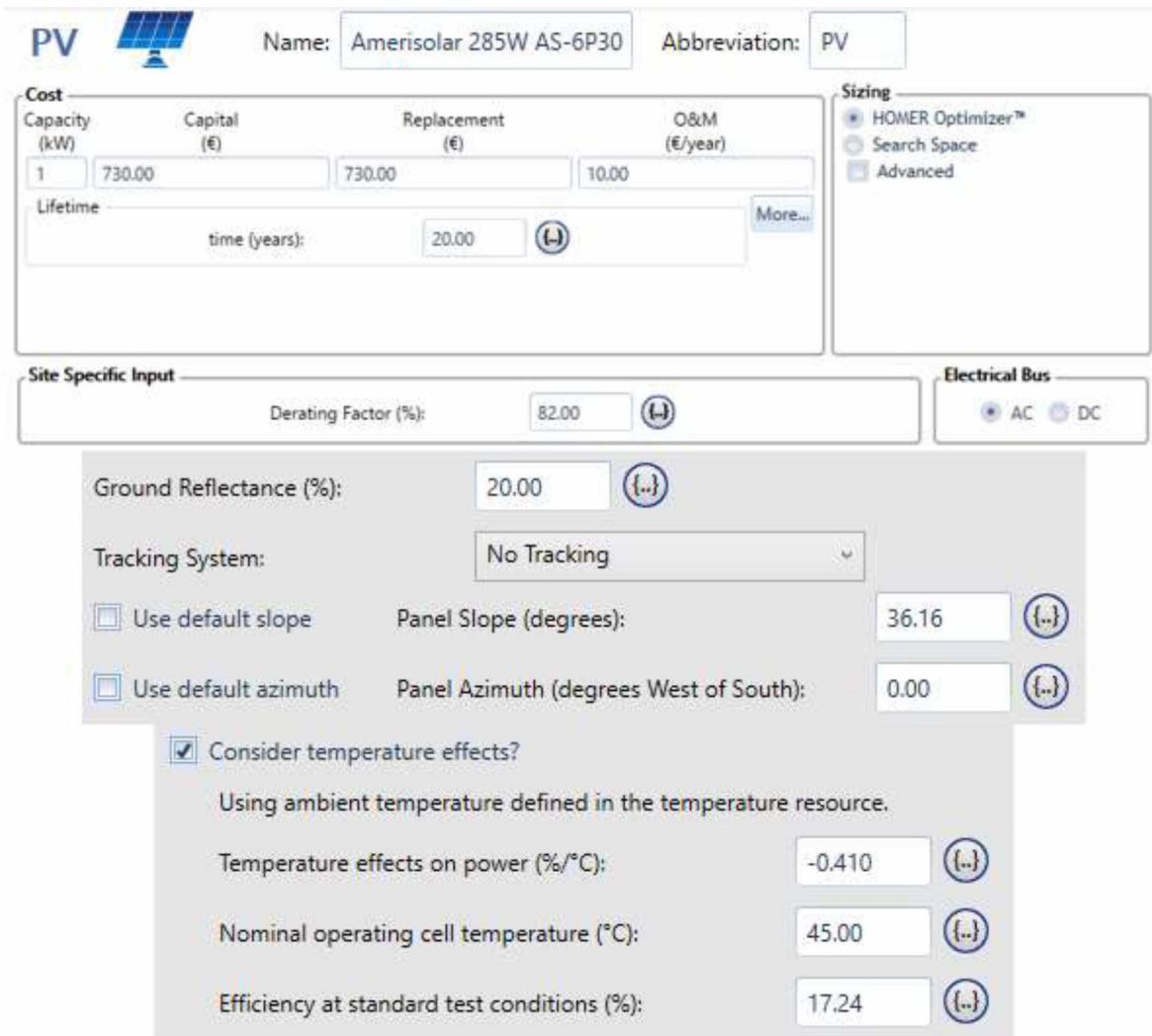
Το κόστος του επιλεγμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου ανέρχεται στα 118 ευρώ, ενώ του μετατροπέα στα 2.350 ευρώ. Το Homer, έτσι ώστε να προβεί στην τεχνικο-οικονομική μελέτη, ζητά ως είσοδο το κεφάλαιο που απαιτείται ανά kW. Με απλούς υπολογισμούς προκύπτει πως, αφού τα 285 W κοστίζουν 118 ευρώ, το 1 kW θα έχει κόστος 414 ευρώ. Στο ποσό αυτό πρέπει να προστεθεί και το κόστος του μετατροπέα, επίσης ανά kW. Ο Sunny Tripower 15000TL έχει μέγιστη ισχύ εισόδου 15,33 kW. Ωστόσο, στο σύστημά μας, λόγω του ότι κάθε μετατροπέας συνδέεται με 31 πλαίσια τοποθετημένα σε σειρά, όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 6, η μέγιστη ισχύς εισόδου θα είναι 8,835 kW ( $31 * 285 \text{ W}$ ). Συνεπώς, αφού ο μετατροπέας αγοράζεται με κόστος 2.350 ευρώ για να μετατρέψει 8,835 kW, το κόστος αγοράς του ανά kW είναι 266 ευρώ. Επομένως, το αρχικό κεφάλαιο ανά kW ανέρχεται στα 680 ευρώ (414 + 266). Πρόσθετα, η αγορά των βάσεων στήριξης και οι συνδέσεις διαμορφώνουν το τελικό ποσό των 730 ευρώ ανά kW.

Τα κόστη συντήρησης του φωτοβολταϊκού πάρκου ανέρχονται στο 1-2% της συνολικής επένδυσης. Έτσι, θέτουμε ως είσοδο στο Homer το ποσό των 10 ευρώ/kW/έτος.

Αναφορικά με την απόδοση, η μέγιστη που δύναται να πετύχει το επιλεγμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι 17,52% [32]. Επιπλέον, πρέπει να λάβουμε υπόψιν και την απόδοση του μετατροπέα, της οποίας η τιμή μπορεί να φτάσει το 98,4%. Επομένως, η συνολική απόδοση που ορίζουμε ως είσοδο στο Homer έχει τιμή 17,24% ( $17,52\% * 98,4\%$ ).

Η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού είναι οι 45°C, ενώ ο συντελεστής με τον οποίο η θερμοκρασία επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ είναι -0,41%/°C. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε κλίση 36,16, ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, ενώ η αζιμούθια γωνία είναι 0. Επιπλέον, η ανάκλαση του εδάφους είναι 20%. Ισχύει πως όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό ανάκλασης του εδάφους, τόσο πιο αποδοτικά είναι τα φωτοβολταϊκά που τοποθετούνται. Τέλος, ο συντελεστής απόδοσης (derating factor) ο οποίος οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες, όπως είναι η σκόνη στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και οι μικρές αλλοιώσεις του λόγω της παρόδου του χρόνου, έχει τιμή 82%.

Εισάγουμε τα παραπάνω δεδομένα στο λογισμικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.2.



**PV** Name: Amerisolar 285W AS-6P30 Abbreviation: PV

**Cost**

| Capacity (kW) | Capital (€) | Replacement (€) | O&M (€/year) |
|---------------|-------------|-----------------|--------------|
| 1             | 730.00      | 730.00          | 10.00        |

Lifetime time (years): 20.00

**Sizing**

- HOMER Optimizer™
- Search Space
- Advanced

**Site Specific Input**

Derating Factor (%): 82.00

**Electrical Bus**

- AC
- DC

Ground Reflectance (%): 20.00

Tracking System: No Tracking

Use default slope Panel Slope (degrees): 36.16

Use default azimuth Panel Azimuth (degrees West of South): 0.00

Consider temperature effects?

Using ambient temperature defined in the temperature resource.

Temperature effects on power (%/°C): -0.410

Nominal operating cell temperature (°C): 45.00

Efficiency at standard test conditions (%): 17.24

Εικόνα 8.2: Εισαγωγή δεδομένων φωτοβολταϊκού πλαισίου στο Homer [Homer]

### 8.2.5 Μεταβλητές εισόδου μετατροπέα

Ο μετατροπέας που επιλέχθηκε στο κεφάλαιο 6.2 για το υβριδικό σύστημα του Καστελλόριζου είναι ο Sunny Island 8.0H της εταιρείας SMA. Επίσης, επιλέχθηκε το κατΐο Multicluster Box 36, της ίδιας εταιρείας, έτσι ώστε να επιτευχθεί η άρτια σύνδεση των μετατροπέων. Αναφέρεται ότι σε κάθε κατΐο μπορούν να συνδεθούν έως 36 μετατροπέις.


Σχετικά με το κόστος, το Homer ζητάει ξανά ως είσοδο το κεφάλαιο που απαιτείται ανά kW. Η τιμή του Sunny Island 8.0H ανέρχεται στα 2.560 ευρώ και η ονομαστική ισχύς του είναι 6 kW. Επομένως, το κόστος ανά kW είναι 427 ευρώ (2.560 / 6 kW). Το κατΐο Multicluster Box 36 κοστίζει 11.664 ευρώ και η τιμή της ονομαστικής ισχύος του είναι 216 kW. Συνεπώς, το αντίστοιχο ανά kW κόστος είναι

54 ευρώ ( 11.664 / 216 ). Άρα το χρηματικό ποσό που θα εισάγουμε ως στοιχείο εισόδου στο Homer είναι 481 ευρώ (427 + 54).

Το ετήσιο κόστος συντήρησης του συστήματος μετατροπής ισούται περίπου με το 2% της επένδυσης. Έτσι, προσεγγιστικά θα αποκτήσει την τιμή των 10 ευρώ/kW/έτος.

Ο χρόνος ζωής του συστήματος μετατροπής είναι τα 20 έτη. Επίσης, ο ανορθωτής (rectifier) έχει την ίδια χωρητικότητα (relative capacity=100%) με τον αντιστροφέα (inverter). Τέλος, τόσο ο ανορθωτής, όσο και ο αντιστροφέας, έχουν μέγιστη απόδοση 95,8% [35].

Εισάγουμε τα παραπάνω στοιχεία στο Homer (Εικόνα 8.3).

**CONVERTER** 

Name: SMA Sunny Island 8.0H  
Abbreviation: Convert

| Capacity (kW)              | Capital (€) | Replacement (€) | O&M (€/year) |
|----------------------------|-------------|-----------------|--------------|
| 1                          | €481.00     | €481.00         | €10.00       |
| Click here to add new item |             |                 |              |

Multiplier:

**Inverter Input**

Lifetime (years):

Efficiency (%):

Parallel with AC generator?

**Rectifier Input**

Relative Capacity (%):

Efficiency (%):


Εικόνα 8.3: Εισαγωγή δεδομένων συστήματος μετατροπής στο Homer [Homer]

### 8.2.6 Μεταβλητές εισόδου συσσωρευτή

Το μοντέλο συσσωρευτή που επιλέχθηκε για το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Καστελλόριζο είναι το LG Chem RESU 10 (κεφάλαιο 7.2).

Το κόστος αγοράς του συγκεκριμένου μοντέλου ανέρχεται στα 4.440 ευρώ, ενώ ως κόστος συντήρησης θέτουμε το ποσό των 20 ευρώ ανά έτος για κάθε συσσωρευτή. Ο χρόνος ζωής του είναι 10 έτη και η συνολική ποσότητα ενέργειας



που μπορεί να εισαχθεί και να εξαχθεί από το συσσωρευτή στο διάστημα αυτό είναι 30.000 kWh. Ακόμη, λόγω του γεγονότος πως τόσο η ονομαστική τάση εισόδου του μετατροπέα Sunny Island 8.0H, όσο και η ονομαστική τάση του συσσωρευτή LG Chem RESU 10 έχουν τιμή 48 V, δεν τοποθετούμε συσσωρευτές σε σειρά, αλλά μόνο παράλληλα (string size=1). Επίσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.4, εισάγονται στο λογισμικό Homer και όλα τα υπόλοιπα και απαραίτητα για την πραγματοποίηση των υπολογισμών δεδομένα. Αυτά είναι τόσο το αρχικό (100%), όσο και το ελάχιστο (10,2%) ποσοστό φόρτισης του συσσωρευτή, η ονομαστική του τάση (48 V), το μέγιστο ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης (119 A) και η ονομαστική χωρητικότητα (189 Ah, 9,07 kWh). Εκτός αυτού, εισάγονται η αποδοτικότητα κάθε κύκλου (95%) και η μέγιστη ισχύς με την οποία μπορεί ο συσσωρευτής LG Chem RESU 10 να τροφοδοτήσει το υπόλοιπο σύστημα (5 kW) [34].



**STORAGE**  Name:  Abbreviation:

**Cost**

| Quantity                       | Capital (€)                           | Replacement (€)                       | O&M (€/year)                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="4,440.00"/> | <input type="text" value="4,440.00"/> | <input type="text" value="20.00"/> |



Lifetime



time (years):   

throughput (kWh):   

**Site Specific Input**

String Size:  Voltage: 48 V

Initial State of Charge (%):   

Minimum State of Charge (%):   

**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  
 || Max Current 119A, max power 5kW ||

Εικόνα 8.4: Εισαγωγή δεδομένων συσσωρευτή στο Homer [Homer]



### 8.2.7 Μεταβλητές εισόδου συμβατικών μονάδων

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.4, το υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα του Καστελλόριζου αποτελείται από επτά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου diesel. Τρεις από τις ήδη υπάρχουσες συμβατικές μονάδες θα συμμετάσχουν και στη διαμόρφωση του νέου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος για τις γεννήτριες Cummins VT 1710G (400 kW), Volvo Penta Tad 1345GE (250 kW) και Hyundai KD8AX (180 kW). Ο ρόλος των συμβατικών μονάδων θα είναι εφεδρικός. Πιο συγκεκριμένα, τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές δε θα είναι αρκετή ώστε να καλύψει τη ζήτηση, θα ενεργοποιείται η λειτουργία των συμβατικών μονάδων με σκοπό την πλήρη κάλυψη του φορτίου. Το γεγονός ότι διατηρούνται στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής τρεις γεννήτριες diesel, λειτουργεί σα δικλείδα ασφαλείας για την αποφυγή ενδεχόμενης αδυναμίας του συστήματος να ανταποκριθεί στη ζήτηση λόγω βλάβης σε κάποια συμβατική μονάδα.

Όλα τα δεδομένα για τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, που θα εισαχθούν στο λογισμικό Homer, έχουν δοθεί από την αρμόδια υπηρεσία του ΔΕΔΔΗΕ. Αρχικά, αναφορικά με το κόστος, δεν απαιτείται αρχικό κεφάλαιο, καθώς οι γεννήτριες είναι ήδη εγκατεστημένες και σε λειτουργία. Εκτός αυτού, δε θα χρειαστεί κάποιο χρηματικό ποσό για αντικατάσταση των συμβατικών μονάδων με καινούριες, διότι, σε περίπτωση που απαιτηθεί να αφαιρεθεί κάποια γεννήτρια, θα υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασής της από κάποια εκ των τεσσάρων, του τωρινού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, των οποίων η λειτουργία θα έχει ανασταλεί. Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι το ίδιο για όλες τις συμβατικές μονάδες και έχει τιμή 5,94 ευρώ ανά ώρα λειτουργίας. Επιπλέον, η ακριβής τιμή του πετρελαίου που καταναλώνει ο τοπικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής ανέρχεται στα 0,9497 ευρώ ανά λίτρο.


Μία μεταβλητή εισόδου που έχει διαφορετική τιμή για κάθε συμβατική μονάδα είναι το τεχνικό ελάχιστο. Η συγκεκριμένη μεταβλητή αντιπροσωπεύει την ελάχιστη ισχύ που μπορεί να παραγάγει μία γεννήτρια. Η μονάδα Cummins VT 1710G δύναται να παράγει ισχύ έως 400 kW, ενώ το τεχνικό της ελάχιστο είναι 180 kW. Αυτό σημαίνει πως δεν μπορεί να παραγάγει ισχύ μικρότερη των 180 kW. Η Volvo Penta Tad 1345GE έχει μέγιστη δυναμικότητα 250 kW και τεχνικό ελάχιστο 100 kW. Ακόμη, η γεννήτρια Hyundai KD8AX δύναται να παράγει ισχύ έως 180 kW έχοντας



τεχνικό ελάχιστο 88 kW. Το Homer απαιτεί ως είσοδο το επί τοις εκατό ποσοστό του τεχνικού ελαχίστου προς τη μέγιστη δυναμικότητα κάθε γεννήτριας.

Η ειδική κατανάλωση κάθε μονάδας αποτελεί μία ακόμη μεταβλητή εισόδου του λογισμικού. Ειδικότερα, εισάγεται η κατανάλωση πετρελαίου για διάφορες τιμές ισχύος στις οποίες λειτουργεί η γεννήτρια, έτσι ώστε να δημιουργηθεί η αντίστοιχη καμπύλη.

Τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο Homer όπως φαίνεται στις Εικόνες 8.5, 8.6 και 8.7.

**GENERATOR**  Name:  Abbreviation:

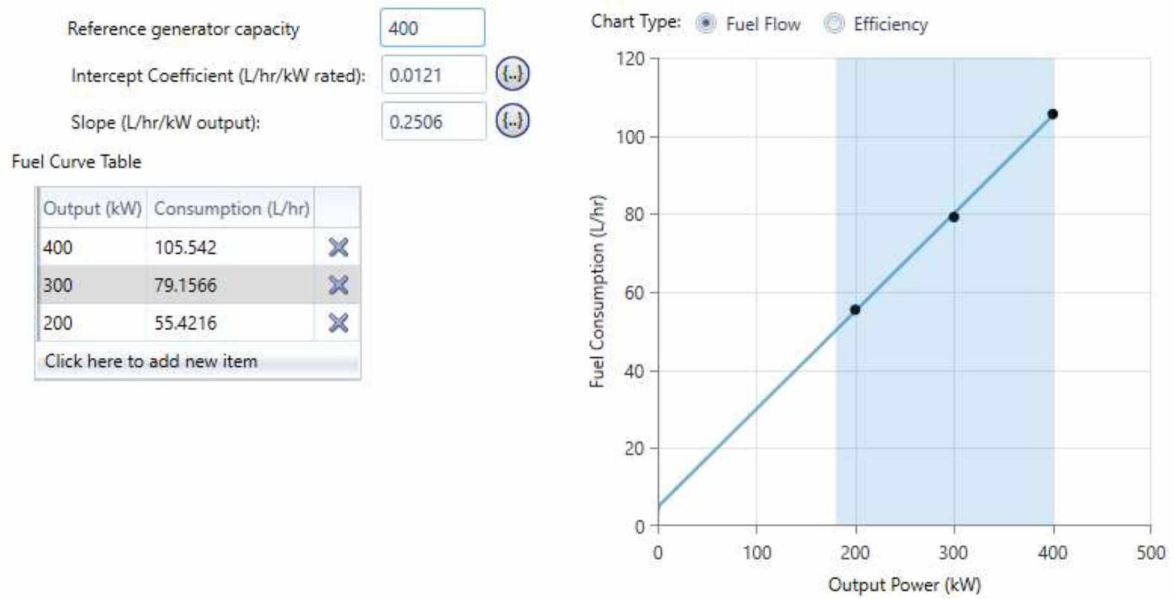
**Generator Cost**

|                      |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| Initial Capital (€): | <input type="text" value="0.00"/>   |
| Replacement (€):     | <input type="text" value="0.00"/>   |
| O&M (€/op. hour):    | <input type="text" value="5.940"/>  |
| Fuel Price (€/L):    | <input type="text" value="0.9497"/> |


**Site Specific**

|                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| Minimum Load Ratio (%):    | <input type="text" value="45.00"/> |
| Minimum Runtime (Minutes): | <input type="text" value="0.00"/>  |

**SELECT FUEL:**



Εικόνα 8.5: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας Cummins VT 1710G στο Homer [Homer]

**GENERATOR**  Name:  Abbreviation:

**Generator Cost**

Initial Capital (€):

Replacement (€):

O&M (€/op. hour):

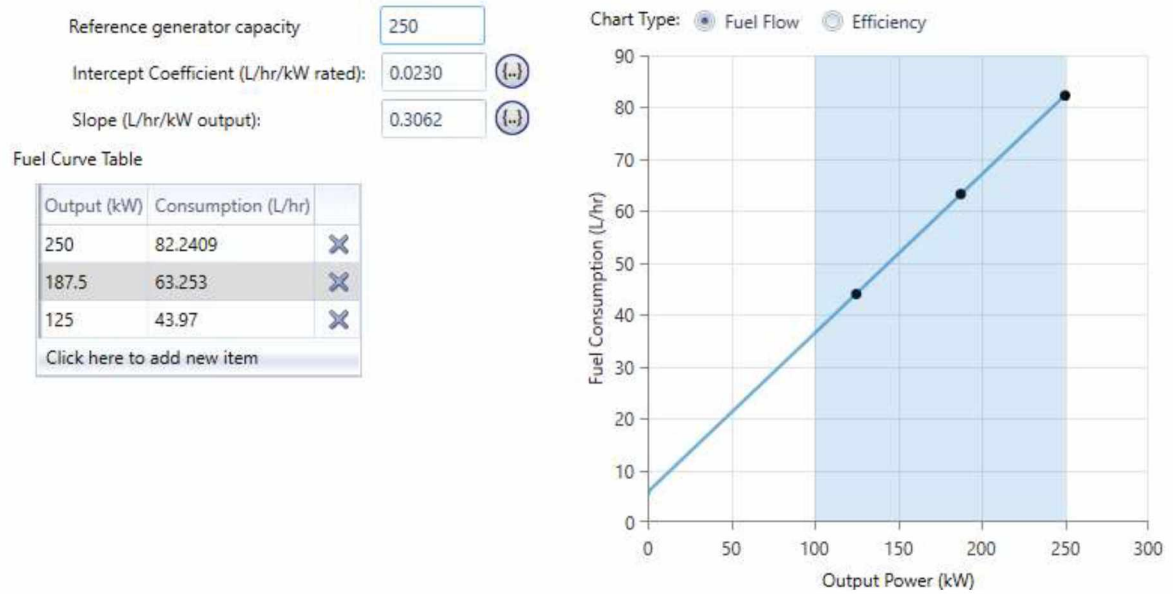
Fuel Price (€/L):

**Site Specific**


Minimum Load Ratio (%):

Minimum Runtime (Minutes):

SELECT FUEL:



Εικόνα 8.6: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας Volvo Penta Tad 1345GE στο Homer [Homer]

**GENERATOR**  Name:  Abbreviation:

**Generator Cost**

Initial Capital (€):

Replacement (€):

O&M (€/op. hour):

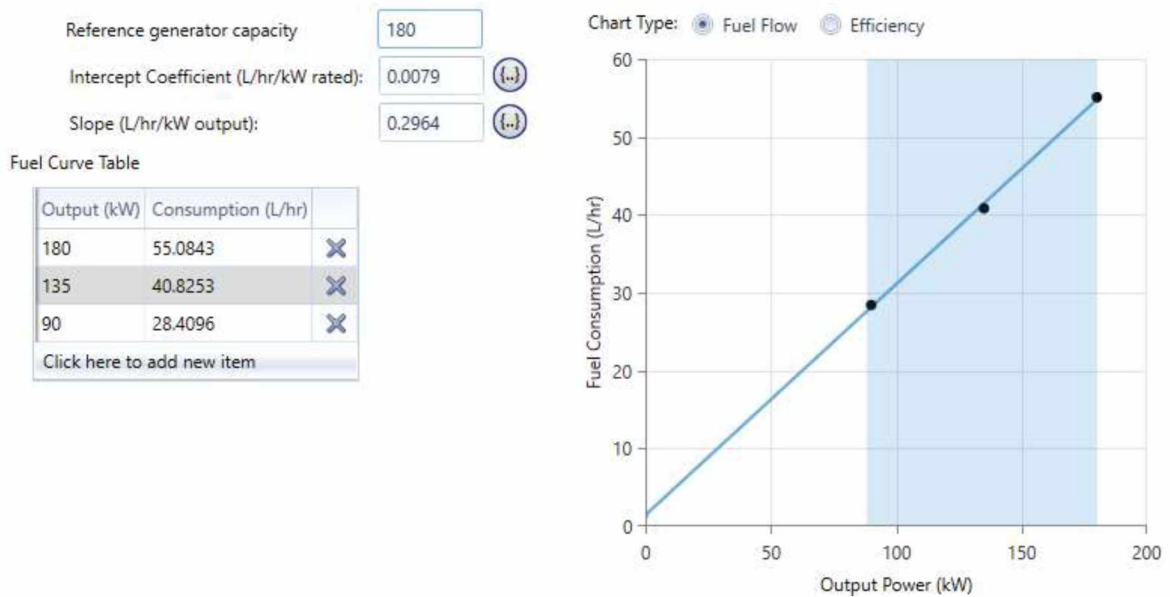
Fuel Price (€/L):

**Site Specific**

Minimum Load Ratio (%):

Minimum Runtime (Minutes):

SELECT FUEL:



Εικόνα 8.7: Εισαγωγή δεδομένων γεννήτριας Hyundai KD8AX στο Homer [Homer]

### 8.2.8 Λοιπές μεταβλητές εισόδου

Το λογισμικό Homer απαιτεί μερικά ακόμη δεδομένα ώστε να προβεί στην τεχνικο-οικονομική ανάλυση. Ένα από αυτά, το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό, είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο γίνεται η έρευνα. Στην περίπτωση του Καστελλόριζου, το διάστημα αυτό αφορά 20 έτη.

Επίσης, ως είσοδο είναι απαραίτητα ορισμένα περαιτέρω οικονομικά στοιχεία. Αυτά είναι ο πληθωρισμός (inflation rate) και το προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate). Ο πληθωρισμός αυτήν τον περίοδο, λόγω της κρίσης που έχει προκύψει εξαιτίας του κορωνοϊού, είναι αρνητικός της τάξεως -2,1%. Ωστόσο, θεωρώντας πως η κρίση αυτή θα παρέλθει το προσεχές διάστημα, θέτουμε μηδενικό πληθωρισμό.

Το προεξοφλητικό επιτόκιο υπολογίζεται από τον τύπο  $i = \frac{i' - f}{1 + f}$ , όπου το σύμβολο

$i$  αντιπροσωπεύει το προεξοφλητικό επιτόκιο, το  $i'$  εκφράζει το επιτόκιο δανείου και το  $f$  συμβολίζει τον πληθωρισμό. Σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά της Τράπεζας της Ελλάδος, το σταθερό έως ένα έτος επιτόκιο προς μη χρηματοπιστωτικές επιχειρήσεις για δάνεια άνω του ενός εκατομμυρίου ευρώ, είχε τιμή 2,56% τον Οκτώβριο του 2020 [37]. Επομένως, αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στον παραπάνω τύπο, προκύπτει πως το προεξοφλητικό επιτόκιο έχει τιμή 2,56.

Σύμφωνα με το ΔΕΔΔΗΕ, λόγω του μικρού μεγέθους του υφιστάμενου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής του Καστελλόριζου, δεν καταβάλλεται κόστος

αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ρυπογόνων ουσιών. Προφανώς το ίδιο θα ισχύει και για το νέο υβριδικό σύστημα.

Εισάγουμε όλα τα παραπάνω στοιχεία στο λογισμικό (Εικόνες 8.8, 8.9).

|                              |       |     |
|------------------------------|-------|-----|
| Nominal discount rate (%):   | 2.56  | (-) |
| Expected inflation rate (%): | 0.00  | (-) |
| Project lifetime (years):    | 20.00 | (-) |

Εικόνα 8.8: Εισαγωγή οικονομικών δεδομένων στο Homer [Homer]

|                              |      |     |
|------------------------------|------|-----|
| 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 8.9: Εισαγωγή κόστους εκπομπών ρυπογόνων ουσιών στο Homer [Homer]

## 8.3 Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα

### 8.3.1 Διαμόρφωση του υβριδικού συστήματος και βασικά του στοιχεία

Έπειτα από την εισαγωγή όλων των απαραίτητων δεδομένων στο λογισμικό, το Homer μοντελοποιεί υβριδικά συστήματα διαμορφωμένα με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς και τα ταξινομεί κατά αύξουσα σειρά αναφορικά με το συνολικό καθαρό κόστος. Το συγκεκριμένο κόστος περιλαμβάνει το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο, τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος για όλη την εικοσαετία και το συνολικό κόστος του πετρελαίου που θα αγοραστεί μέσα σε αυτά τα χρόνια.

Το πρώτο σύστημα στη λίστα του Homer, και συνεπώς το πιο οικονομικό, έχει συνολικό καθαρό κόστος ίσο με 10.763.840 ευρώ. Το σύστημα αποτελείται από μία ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά ονομαστικής χωρητικότητας 2.175 kW, 407 συσσωρευτές, μετατροπείς συνολικής χωρητικότητας 634 kW και τις τρεις επιλεγμένες συμβατικές μονάδες. Το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτό το σύστημα είναι 78,7%.

Κρίνεται, ωστόσο, προτιμότερο να δαπανηθούν μερικά ακόμη χρήματα ώστε να επιτευχθεί η αύξηση του συγκεκριμένου ποσοστού. Δίνεται εντολή στο Homer να μοντελοποιήσει συστήματα που να αποτελούνται από μετατροπείς συνολικής χωρητικότητας 864 kW, ώστε κάθε χρονική στιγμή περισσότεροι συσσωρευτές να είναι ικανοί να τροφοδοτούν με περισσότερη ισχύ το σύστημα, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη λειτουργία των συμβατικών μονάδων και αυξάνοντας παράλληλα το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συμβολή των συσσωρευτών στην αύξηση του εν λόγω ποσοστού αναλύεται εκτενέστερα στην επιστημονική μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Daniel Friedrich και Γεώργιο Λαβίδα το έτος 2015 και αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Η παραπάνω εντολή δε δόθηκε τυχαία. Υπενθυμίζεται πως για τη σύνδεση των μετατροπέων έχει επιλεγεί κατάλληλο κυτίο (κεφάλαιο 6.2), το οποίο δύναται να περιλάβει 36 μετατροπείς (το επιλεγμένο μοντέλο μετατροπέα έχει ονομαστική ισχύ 6 kW). Το ανά kW κόστος της μετατροπής έχει υπολογιστεί με βάση την παραπάνω συνδεσμολογία. Έτσι, για λόγους αρτιότητας των υπολογισμών και της συνδεσμολογίας, η χωρητικότητα του συστήματος μετατροπής επιλέγεται να είναι 864 kW, καθώς για την επίτευξη αυτής της τιμής απαιτούνται 4 κυτία, το καθένα από τα οποία θα περιλαμβάνει 36 μετατροπείς ( $4 * 36 * 6 \text{ kW} = 864 \text{ kW}$ ).

Το πιο οικονομικό σύστημα, βάσει της τελευταίας τροποποίησης, έχει συνολικό καθαρό κόστος 10.892.590 ευρώ, ενώ το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτό είναι 83,1%. Ωστόσο, κρίνεται συμφέρουσα η επιλογή υβριδικού συστήματος με συνολικό καθαρό κόστος 11.863.060 ευρώ και ποσοστό διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της τάξεως 91,4%. Η συγκεκριμένη απόφαση λήφθηκε καθώς η χρηματική διαφορά ανάμεσα στις δύο πιθανές διαμορφώσεις του υβριδικού συστήματος δε θεωρείται μεγάλη αν αναλογιστεί κανείς το πόσο πιο οικολογικό είναι το επιλεγμένο σύστημα, καθώς περιορίζει τη λειτουργία των συμβατικών μονάδων περίπου κατά το ήμισυ, σε σχέση με το πιο οικονομικό. Πρόσθετα, όπως θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 8.4, το χρονικό διάστημα που απαιτείται



για να γίνει η απόσβεση της χρηματικής διαφοράς των δύο διαμορφώσεων (περίπου 1.000.000 ευρώ) είναι μικρότερο του ενός έτους.

Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, συνολικό κόστος 11.863.060 ευρώ και χαρακτηρίζεται από ποσοστό διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ίσο με 91,4%. Ακολουθεί τη στρατηγική “load following”, σύμφωνα με την οποία οι συμβατικές μονάδες ενεργοποιούνται για την κάλυψη του ζητούμενου φορτίου μόνο στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό από το υπόλοιπο σύστημα. Επίσης, η αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές μπορεί να γίνει αποκλειστικά από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια. Πιο αναλυτικά, το σύστημα αποτελείται από τα εξής:

- Μία ανεμογεννήτρια “Enercon E-53 800kW”
- Φωτοβολταϊκό πάρκο συνολικής ισχύος 3.558 kW, αποτελούμενο από πλαίσια “Amerisolar AS-6P30 285 W”. Τα πλαίσια τοποθετούνται σε σειρές. Κάθε σειρά αποτελείται από 31 πλαίσια και συνδέεται με μετατροπέα “Sunny Tripower 15000TL” ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.
- Σύστημα αποθήκευσης με 655 συσσωρευτές “LG Chem RESU 10”
- Σύστημα μετατροπής ενέργειας με συνολική χωρητικότητα 864 kW. Το σύστημα συγκροτείται από 144 μετατροπείς “Sunny Island 8.0H”, συνδεδεμένους ανά 36 σε 4 κυτία “Multicluster Box 36”
- Τρεις συμβατικές μονάδες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το diesel. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα περιλαμβάνει μία γεννήτρια Cummins VT 1710G 400 kW, μία Volvo Penta Tad 1345GE 250 kW και μία Hyundai KD8AX 180 kW.

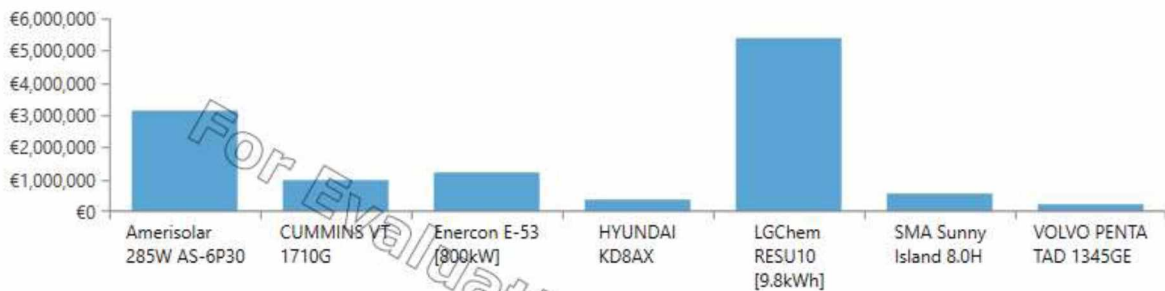
### 8.3.2 Οικονομική ανάλυση του υβριδικού συστήματος

Τα συνολικά αλλά και τα ετήσια κόστη του συστήματος και των συστατικών που το αποτελούν παρουσιάζονται λεπτομερώς μέσα από τους Πίνακες 8.5 και 8.6 και τα Διαγράμματα 8.8 και 8.9. Σε κάθε πίνακα αναγράφεται το αρχικό κεφάλαιο, το κόστος αντικατάστασης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το κόστος του πετρελαίου και το συνολικό κόστος. Επίσης, η στήλη “Salvage” αφορά τα ποσά τα οποία κατά την ολοκλήρωση της εικοσαετίας δεν έχουν αποσβεσθεί. Οι τιμές αυτής της στήλης είναι μηδενικές καθώς η διάρκεια ζωής όλων των συστατικών του συγκεκριμένου συστήματος είναι ακριβώς είκοσι χρόνια, με εξαίρεση τις γεννήτριες,

των οποίων όμως το αρχικό κεφάλαιο είναι μηδενικό. Να σημειωθεί ότι τα κόστη που αναφέρονται στα φωτοβολταϊκά αντιπροσωπεύουν τόσο τα πλαίσια “Amerisolar AS-6P30 285 W”, όσο και τους μετατροπείς “Sunny Tripower 15000TL”.

Πίνακας 8.5: Συνολικά κόστη του συστήματος και των συστατικών του [Homer]

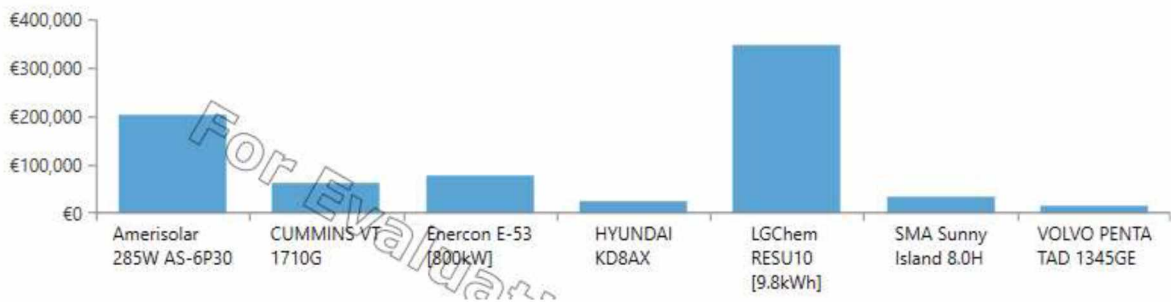
| Component               | Capital (€)   | Replacement (€) | OM (€)        | Fuel (€)      | Salvage (€) | Total (€)      |
|-------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|----------------|
| Amerisolar 285W AS-6P30 | €2,597,340.00 | €0.00           | €551,531.65   | €0.00         | €0.00       | €3,148,871.65  |
| CUMMINS VT 1710G        | €0.00         | €0.00           | €72,004.18    | €889,900.75   | €0.00       | €961,904.92    |
| Enercon E-53 [800kW]    | €870,000.00   | €0.00           | €341,025.75   | €0.00         | €0.00       | €1,211,025.75  |
| HYUNDAI KD8AX           | €0.00         | €0.00           | €64,914.25    | €327,208.11   | €0.00       | €392,122.36    |
| LGChem RESU10 [9.8kWh]  | €2,908,200.00 | €2,258,625.09   | €203,065.33   | €0.00         | €0.00       | €5,369,890.43  |
| SMA Sunny Island 8.0H   | €415,584.00   | €0.00           | €133,930.11   | €0.00         | €0.00       | €549,514.11    |
| VOLVO PENTA TAD 1345GE  | €0.00         | €0.00           | €29,832.93    | €199,894.05   | €0.00       | €229,726.98    |
| System                  | €6,791,124.00 | €2,258,625.09   | €1,396,304.21 | €1,417,002.91 | €0.00       | €11,863,056.21 |



Διάγραμμα 8.8: Απεικόνιση συνολικού κόστους για κάθε συστατικό του συστήματος [Homer]

Πίνακας 8.6: Ετήσια κόστη του συστήματος και των συστατικών του [Homer]

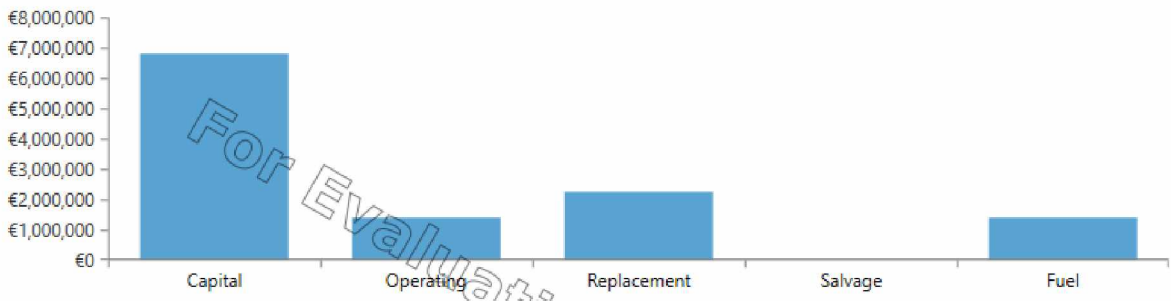
| Component               | Capital (€) | Replacement (€) | OM (€)     | Fuel (€)   | Salvage (€) | Total (€)   |
|-------------------------|-------------|-----------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Amerisolar 285W AS-6P30 | €167,557.67 | €0.00           | €35,580.00 | €0.00      | €0.00       | €203,137.67 |
| CUMMINS VT 1710G        | €0.00       | €0.00           | €4,645.08  | €57,408.62 | €0.00       | €62,053.70  |
| Enercon E-53 [800kW]    | €56,124.79  | €0.00           | €22,000.00 | €0.00      | €0.00       | €78,124.79  |
| HYUNDAI KD8AX           | €0.00       | €0.00           | €4,187.70  | €21,108.61 | €0.00       | €25,296.31  |
| LGChem RESU10 [9.8kWh]  | €187,611.64 | €145,706.74     | €13,100.00 | €0.00      | €0.00       | €346,418.38 |
| SMA Sunny Island 8.0H   | €26,809.85  | €0.00           | €8,640.00  | €0.00      | €0.00       | €35,449.85  |
| VOLVO PENTA TAD 1345GE  | €0.00       | €0.00           | €1,924.56  | €12,895.42 | €0.00       | €14,819.98  |
| System                  | €438,103.95 | €145,706.74     | €90,077.34 | €91,412.64 | €0.00       | €765,300.67 |



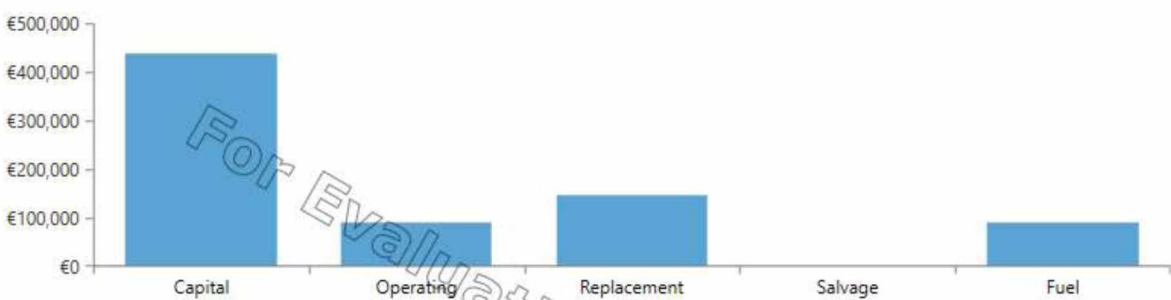
Διάγραμμα 8.9: Απεικόνιση ετήσιου κόστους για κάθε συστατικό του συστήματος [Homer]

Είναι φανερό πως το μεγαλύτερο ποσό δαπανάται στους συσσωρευτές. Αυτό είναι απόλυτα λογικό καθώς αποτελούν το μοναδικό συστατικό του συστήματος που χρειάζεται αντικατάσταση εντός του διαστήματος των είκοσι ετών. Εκτός αυτού, ο αριθμός των συσσωρευτών που συμμετέχουν στο υβριδικό σύστημα είναι αρκετά μεγάλος, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό καθώς το σύστημα αποθήκευσης αποτελεί το βασικό παράγοντα για τη διαμόρφωση του υψηλού ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χαρακτηρίζει το σύστημα.

Ακολουθως, τα Διαγράμματα 8.10 και 8.11 απεικονίζουν το μερίδιο κάθε τύπου κόστους στο συνολικό καθαρό κόστος και στο αντίστοιχο ετήσιο.



Διάγραμμα 8.10: Απεικόνιση μεριδίου στο συνολικό καθαρό κόστος για κάθε τύπο κόστους [Homer]

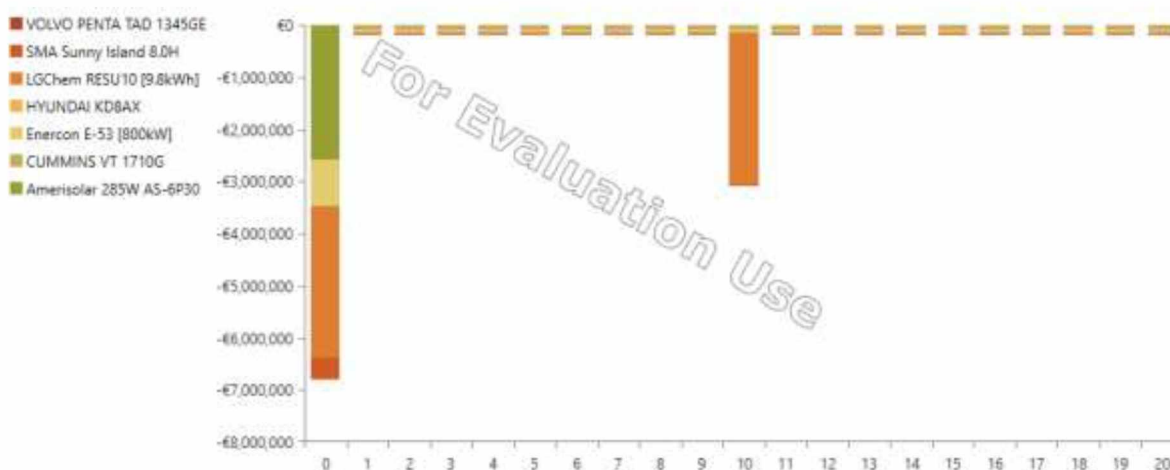


Διάγραμμα 8.11: Απεικόνιση μεριδίου στο συνολικό ετήσιο κόστος για κάθε τύπο κόστους [Homer]

Τα Διαγράμματα 8.12 και 8.13 απεικονίζουν τη ροή του κόστους καθ' όλη τη διάρκεια της εικοσαετίας, ανά τύπο κόστους και ανά συστατικό του συστήματος.



Διάγραμμα 8.12: Απεικόνιση ροής κόστους για κάθε τύπο κόστους [Homer]



Διάγραμμα 8.13: Απεικόνιση ροής κόστους για κάθε συστατικό του συστήματος [Homer]

Τα διαγράμματα ροής κόστους καθιστούν σαφή την ομοιογενή κατανομή του κόστους σε όλη την εικοσαετία, με εξαίρεση το αρχικό στάδιο δημιουργίας του συστήματος, όπου δαπανάται το αρχικό κεφάλαιο, και το δέκατο έτος στο οποίο πραγματοποιείται η αντικατάσταση των συσσωρευτών.



### 8.3.3 Ανάλυση λειτουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου

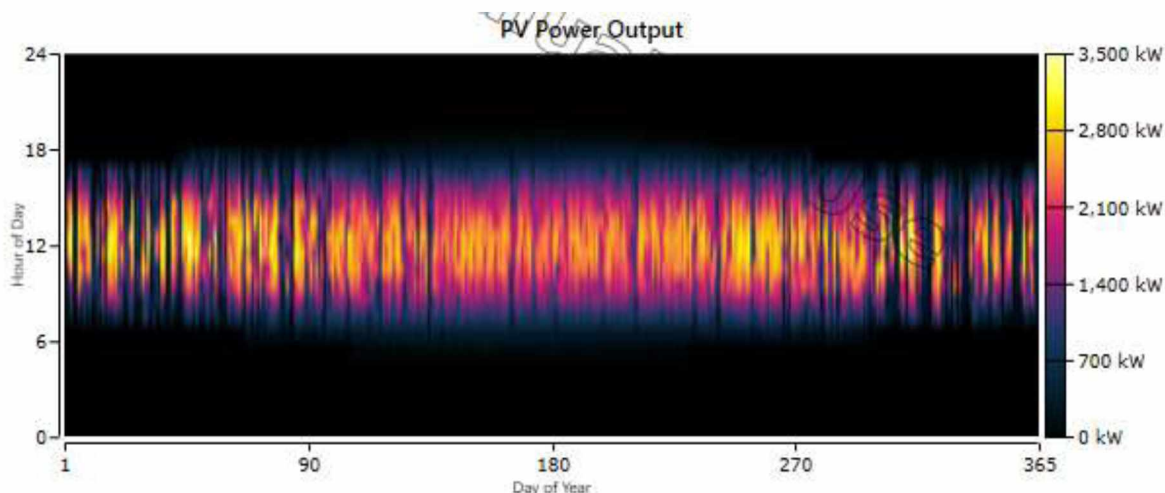
Το φωτοβολταϊκό πάρκο συγκροτείται από πλαίσια “Amerisolar AS-6P30 285 W” και μετατροπείς “Sunny Tripower 15000TL” που μετατρέπουν το παραγόμενο συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται όλα τα βασικά στοιχεία που περιγράφουν τη λειτουργία του φωτοβολταϊκού πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, ο Πίνακας 8.7 περιέχει την τιμή της ονομαστικής χωρητικότητας (Rated Capacity), της μέσης παραγόμενης ισχύος (Mean Output) και της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας (Mean Output). Ακολούθως, αποτυπώνεται ο παράγοντας χωρητικότητας (Capacity Factor), ο οποίος αφορά το επί τοις εκατό ποσοστό που υπολογίζεται μέσω της διαίρεσης της μέσης παραγόμενης ισχύος με την ονομαστική χωρητικότητα. Στη συνέχεια αναφέρεται η μέση ετήσια τιμή της παραγόμενης ενέργειας (Total Production) και η ελάχιστη και μέγιστη στιγμιαία παραγωγή ισχύος (Minimum Output, Maximum Output). Επίσης, ο πίνακας παρουσιάζει το επί τοις εκατό ποσοστό της μέσης παραγόμενης ισχύος από το φωτοβολταϊκό πάρκο προς το μέσο ζητούμενο φορτίο (PV Penetration). Τέλος, στον πίνακα αποτυπώνεται το σύνολο των ωρών λειτουργίας των φωτοβολταϊκών ανά έτος (Hours of Operation) και το κόστος ανά παραγόμενη κιλοβατώρα (Levelized Cost).

Πίνακας 8.7: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πάρκου [Homer]

| Quantity           | Value     | Units  |
|--------------------|-----------|--------|
| Rated Capacity     | 3,558     | kW     |
| Mean Output        | 656       | kW     |
| Mean Output        | 15,737    | kWh/d  |
| Capacity Factor    | 18.4      | %      |
| Total Production   | 5,744,159 | kWh/yr |
| Minimum Output     | 0         | kW     |
| Maximum Output     | 3,386     | kW     |
| PV Penetration     | 147       | %      |
| Hours of Operation | 4,386     | hrs/yr |
| Levelized Cost     | 0.0354    | €/kWh  |

Στη συνέχεια παρατίθεται το Διάγραμμα 8.14, το οποίο απεικονίζει την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος από το φωτοβολταϊκό πάρκο καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα 8.14: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος από το φωτοβολταϊκό πάρκο καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Το παραπάνω διάγραμμα καθιστά φανερό το γεγονός πως τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος εντός του διαστήματος 9:00 – 15:00, καθώς κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι πιο έντονη. Επίσης, παρατηρώντας το διάγραμμα, μπορεί κανείς να διαπιστώσει πως η μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος συναντάται το καλοκαίρι, αφενός λόγω των πιο αίθριων καιρικών συνθηκών που επικρατούν κατά τη συγκεκριμένη εποχή και αφετέρου λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας της μέρας σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες του έτους.

#### 8.3.4 Ανάλυση λειτουργίας ανεμογεννήτριας

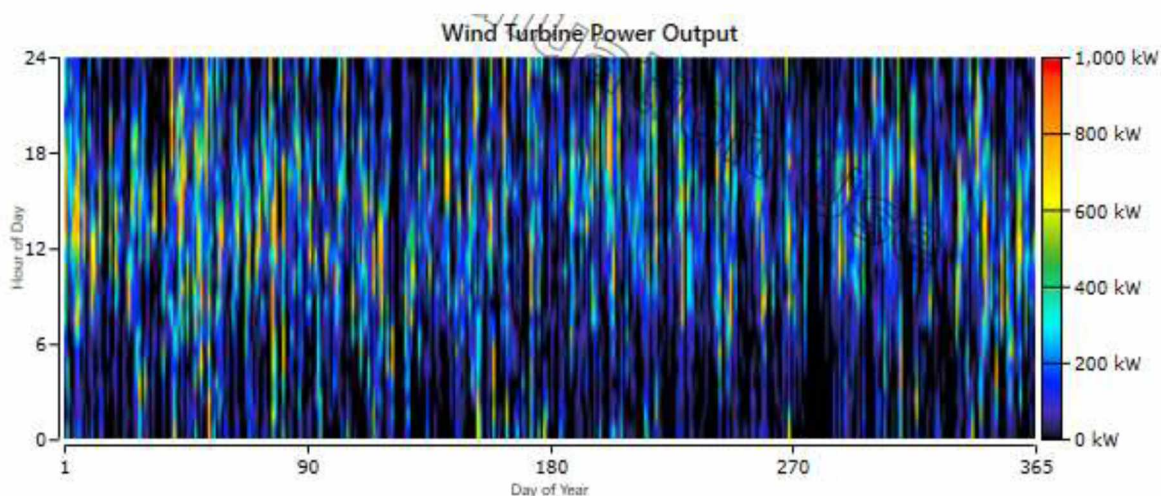
Το μοντέλο ανεμογεννήτριας που συμμετέχει στη διαμόρφωση του υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής είναι το E-53 800 kW της εταιρείας Enercon. Στη συνέχεια παρατίθεται ο Πίνακας 8.8 ο οποίος περιέχει όλα τα βασικά στοιχεία που αφορούν τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Τα στοιχεία αυτά είναι όμοια με του αντίστοιχου πίνακα των φωτοβολταϊκών, επομένως εξηγούνται στην παράγραφο 8.3.3.



Πίνακας 8.8: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας [Homer]

| Quantity             | Value     | Units  |
|----------------------|-----------|--------|
| Total Rated Capacity | 800       | kW     |
| Mean Output          | 126       | kW     |
| Capacity Factor      | 15.7      | %      |
| Total Production     | 1,101,253 | kWh/yr |
| Minimum Output       | 0         | kW     |
| Maximum Output       | 810       | kW     |
| Wind Penetration     | 28.3      | %      |
| Hours of Operation   | 8,452     | hrs/yr |
| Levelized Cost       | 0.0709    | €/kWh  |

Το Διάγραμμα 8.15 απεικονίζει την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος από την ανεμογεννήτρια καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα 8.15: Ποσότητα παραγόμενης ισχύος από την ανεμογεννήτρια καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Είναι ξεκάθαρο πως το παραπάνω διάγραμμα χαρακτηρίζεται από αρκετή ομοιομορφία. Όπως είναι γνωστό, η ποσότητα της παραγόμενης ισχύος από την ανεμογεννήτρια είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ανέμου στο σημείο εγκατάστασής της. Παρατηρώντας το Διάγραμμα 8.5, το οποίο απεικονίζει τη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή όπου είναι εγκατεστημένη η

ανεμογεννήτρια, μπορεί κανείς να διαπιστώσει πως δεν παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που αποτελεί εξήγηση για τη μορφή του Διαγράμματος 8.15.

### 8.3.5 Ανάλυση λειτουργίας συστήματος αποθήκευσης

Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείται από 655 συσσωρευτές “LG Chem RESU 10”, οι οποίοι είναι παράλληλα συνδεδεμένοι μεταξύ τους.

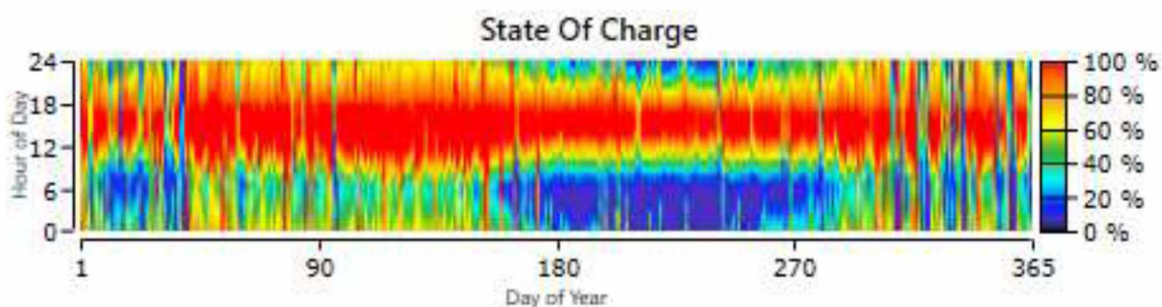
Τα στοιχεία της λειτουργίας του παρουσιάζονται μέσω του Πίνακα 8.9. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα αναγράφεται ο συνολικός αριθμός των συσσωρευτών (Batteries), των μέγεθος των σε σειρά συστοιχιών (String Size) και το αντίστοιχο των παράλληλων (Strings in Parallel). Ακόμη, αναφέρεται η τιμή της τάσης του συστήματος (Bus Voltage), αλλά και η αυτονομία του σε ώρες (Autonomy). Η αυτονομία προκύπτει μέσω της διαίρεσης της χωρητικότητας του συστήματος αποθήκευσης με τη μέση ζητούμενη ενέργεια. Στη συνέχεια αναγράφεται το κόστος ανά παραγόμενη κιλοβατώρα (Storage Wear Cost), η ονομαστική χωρητικότητα (Nominal Capacity) και το ποσό αυτής το οποίο είναι αξιοποιήσιμο (Usable Nominal Capacity). Έπειτα αποτυπώνεται η συνολική ενέργεια που δύναται να αποθηκευτεί στο σύνολο των συσσωρευτών καθ’ όλη τη διάρκεια της ζωής τους (Lifetime Throughput) και τα έτη λειτουργίας του συσσωρευτή “LG Chem RESU 10” (Expected Life). Πρόσθετα, ο πίνακας περιλαμβάνει τόσο την ποσότητα της ενέργειας που εισέρχεται στους συσσωρευτές κατά τη διάρκεια ενός έτους (Energy In), όσο και αυτή που εξέρχεται από αυτούς εντός του ίδιου χρονικού διαστήματος (Energy Out). Τέλος, αναφέρεται η διαφορά του ποσού της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στους συσσωρευτές κατά την έναρξη και κατά τη λήξη του έτους (Storage Depletion), οι ετήσιες απώλειες (Losses) αλλά και η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στο σύστημα κατά τη διάρκεια ενός έτους (Annual Throughput).

Πίνακας 8.9: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης  
[Homer]

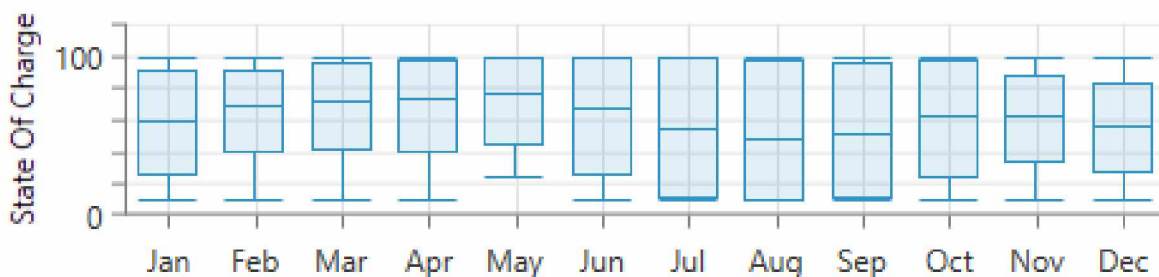
| Quantity                | Value      | Units     |
|-------------------------|------------|-----------|
| Batteries               | 655        | qty.      |
| String Size             | 1.00       | batteries |
| Strings in Parallel     | 655        | strings   |
| Bus Voltage             | 48.0       | V         |
| Autonomy                | 12.0       | hr        |
| Storage Wear Cost       | 0.152      | €/kWh     |
| Nominal Capacity        | 5,942      | kWh       |
| Usable Nominal Capacity | 5,336      | kWh       |
| Lifetime Throughput     | 14,215,621 | kWh       |
| Expected Life           | 10.0       | yr        |
| Energy In               | 1,453,022  | kWh/yr    |
| Energy Out              | 1,385,567  | kWh/yr    |
| Storage Depletion       | 5,332      | kWh/yr    |
| Losses                  | 72,786     | kWh/yr    |
| Annual Throughput       | 1,421,562  | kWh/yr    |

Υπενθυμίζεται πως το ελάχιστο δυνατό ποσοστό φόρτισης των συσσωρευτών είναι 10,2%, επομένως η χωρητικότητα που είναι εκμεταλλεύσιμη καταλαμβάνει ποσοστό 89,8% της συνολικής. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις τιμές του πίνακα καθώς η τιμή της αξιοποιήσιμης ονομαστικής χωρητικότητας (5.336 kWh) ισούται με το γινόμενο της ονομαστικής χωρητικότητας (5.942 kWh) με το συντελεστή 0.898. Επίσης, το μοντέλο συσσωρευτή "LG Chem RESU 10" έχει απόδοση 95%, κάτι που επαληθεύεται εάν διαιρέσουμε την ποσότητα της ενέργειας που εξέρχεται από το σύστημα αποθήκευσης (1.386.567 kWh/yr) με αυτήν που εισέρχεται σε αυτό (1.453.022 kWh/yr). Ακόμη, όπως αναμενόταν, η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στο σύστημα κατά τη διάρκεια ενός έτους (1.421.562 kWh/yr) προκύπτει εάν διαιρέσουμε την αντίστοιχη συνολική (14.215.621 kWh/yr) με τα χρόνια λειτουργίας των συσσωρευτών (10).

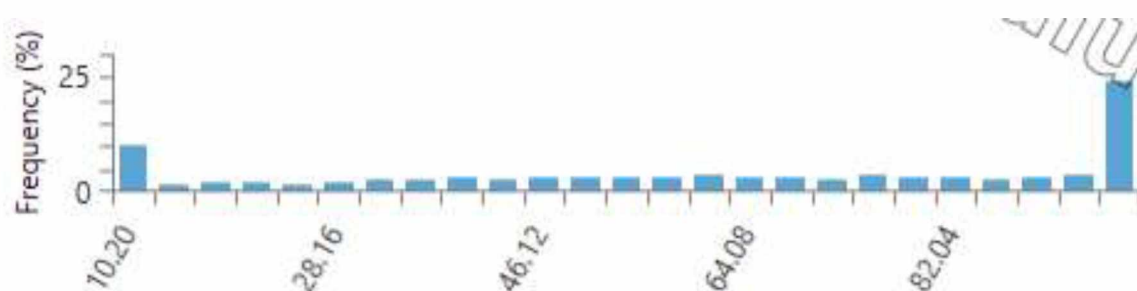
Ακολουθως, τα Διαγράμματα 8.16, 8.17 και 8.18 απεικονίζουν πλήρως τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης κατά τη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα 8.16: Απεικόνιση του ποσοστού φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης για όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]



Διάγραμμα 8.17: Απεικόνιση του μέγιστου, του μέγιστου μέσου ημερήσιου, του μέσου, του ελάχιστου μέσου ημερήσιου και του ελάχιστου ποσοστού φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης για κάθε μήνα του έτους [Homer]



Διάγραμμα 8.18: Απεικόνιση της συχνότητας κάθε ποσοστού φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης [Homer]

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 8.16 καθίσταται φανερό πως τις περισσότερες μέρες του έτους το ποσοστό φόρτισης των συσσωρευτών είναι αρκετά υψηλό εντός του ωριαίου διαστήματος 11:00 – 18:00. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η ηλιακή ακτινοβολία είναι αρκετά έντονη τις συγκεκριμένες ώρες, με αποτέλεσμα τα

φωτοβολταϊκά να παραγάγουν περισσότερη ενέργεια από την απαιτούμενη, αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα στους συσσωρευτές.

Επιπλέον, τα δύο πρώτα 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. Παράλληλα, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.5, η ταχύτητα του ανέμου είναι αυξημένη τους συγκεκριμένους μήνες, όχι όμως σε βαθμό ώστε να μπορεί η ανεμογεννήτρια να παραγάγει πλεονάζουσα ενέργεια, προκαλώντας τη φόρτιση των συσσωρευτών. Αναφορικά με τους μήνες του θερινού τουρισμού, η αύξηση του πληθυσμού στο νησί συνεπάγεται μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πλεονάζουσας ενέργειας αλλά και την ταχύτερη κατανάλωσή της. Φαίνεται ξεκάθαρα στο Διάγραμμα 8.16 πως κατά τους συγκεκριμένους μήνες οι συσσωρευτές φτάνουν το χαμηλότερο δυνατό ποσοστό τους (10,2%) κοντά στα μεσάνυχτα και φορτίζονται ξανά τις πρωινές ώρες λόγω της παρουσίας του ηλίου. Κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων μηνών, οι ευνοϊκές καιρικές συνθήκες σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα τουρισμού επιτρέπουν πιο υψηλά ποσοστά φόρτισης στο σύστημα αποθήκευσης.

Η μορφή του Διαγράμματος 8.18 θεωρείται αναμενόμενη ύστερα από τη μελέτη του 8.16 και τα όσα έχουν αναφερθεί.

### 8.3.6 Ανάλυση λειτουργίας συστήματος μετατροπής

Το σύστημα μετατροπής συγκροτείται από 144 μετατροπείς “Sunny Island 8.0H” που συνδέονται ανά 36 σε 4 κυτία “Multicluster Box 36”. Λεπτομέρειες για τη λειτουργία τόσο του αντιστροφέα (inverter), όσο και του ανορθωτή (rectifier) αναγράφονται στον Πίνακα 8.10. Όλα τα στοιχεία του πίνακα έχουν ερμηνευθεί στις προηγούμενες παραγράφους.

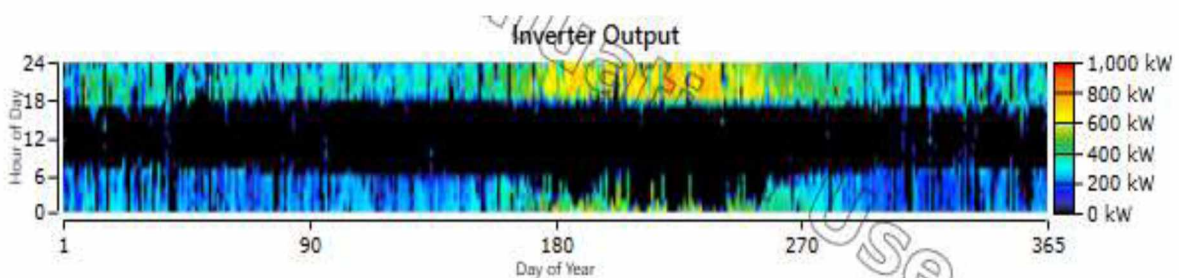


Πίνακας 8.10: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος μετατροπής  
[Homer]

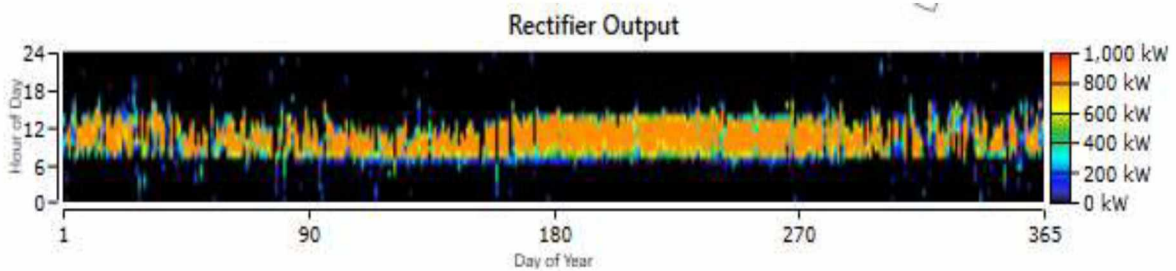
| Quantity           | Inverter  | Rectifier | Units  |
|--------------------|-----------|-----------|--------|
| Capacity           | 864       | 864       | kW     |
| Mean Output        | 152       | 166       | kW     |
| Minimum Output     | 0         | 0         | kW     |
| Maximum Output     | 860       | 864       | kW     |
| Capacity Factor    | 17.5      | 19.2      | %      |
| Hours of Operation | 4,289     | 2,575     | hrs/yr |
| Energy Out         | 1,327,373 | 1,453,022 | kWh/yr |
| Energy In          | 1,385,567 | 1,516,724 | kWh/yr |
| Losses             | 58,194    | 63,702    | kWh/yr |

Υπενθυμίζεται πως η αποδοτικότητα του αντιστροφέα και του ανορθωτή είναι 95,8%. Το συγκεκριμένο ποσοστό επιβεβαιώνεται από τα στοιχεία του πίνακα καθώς εάν διαιρέσουμε την εξαγόμενη (Energy Out) με την εισαγόμενη ενέργεια (Energy In) το αποτέλεσμα που θα προκύψει είναι 0,958. Επίσης, οι απώλειες (Losses) προκύπτουν μέσω της αφαίρεσης του συνόλου της ενέργειας που εισέρχεται στο σύστημα μετατροπής (Energy In) με αυτή που εξέρχεται από αυτό (Energy Out).

Τα Διαγράμματα 8.19 και 8.20 απεικονίζουν τη λειτουργία του συστήματος μετατροπής καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα 8.19: Απεικόνιση των τιμών της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα (inverter) καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]



Διάγραμμα 8.20: Απεικόνιση των τιμών της ισχύος εξόδου του ανορθωτή (rectifier) καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Ο ρόλος του αντιστροφέα (μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο) στο σύστημα παραγωγής ενέργειας είναι αντίστροφος από το ρόλο του ανορθωτή (μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές). Κάτι τέτοιο φαίνεται ξεκάθαρα στα παραπάνω διαγράμματα, καθώς η μορφή του ενός μοιάζει με το συμπλήρωμα της μορφής του άλλου. Ο αντιστροφέας συμβάλλει στη διαδικασία εκφόρτισης των συσσωρευτών, ενώ ο ανορθωτής στη διαδικασία φόρτισής τους. Έτσι, τις ώρες κατά τις οποίες υπάρχει ηλιοφάνεια, βρίσκεται σε λειτουργία ο ανορθωτής ώστε να αποθηκευτεί η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια. Τις υπόλοιπες ώρες, ωστόσο, λειτουργεί ο αντιστροφέας, ώστε να μπορέσει το σύστημα αποθήκευσης να συνεισφέρει στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Το Διάγραμμα 8.19 χαρακτηρίζεται από σχετική ομοιομορφία. Διαφοροποιείται, ωστόσο, τους μήνες του θερινού τουρισμού, καθώς αυξάνονται ραγδαία οι ενεργειακές ανάγκες. Ειδικότερα, κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, ο αντιστροφέας λειτουργεί σε αρκετά υψηλές τιμές ισχύος, με σκοπό την κάλυψη των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων, με συνέπεια την ταχύ εκφόρτιση των συσσωρευτών. Έτσι, το σύστημα αποθήκευσης παύει την τροφοδοσία στον μετατροπέα νωρίτερα σε σχέση με το υπόλοιπο έτος, γεγονός που αποτελεί εξήγηση για τη συγκεκριμένη ανομοιομορφία.

Σχετικά με το Διάγραμμα 8.20, ο ανορθωτής λειτουργεί συχνότερα και σε μεγαλύτερες τιμές ισχύος από το Μάιο έως τον Οκτώβρη, καθώς κατά τους υπόλοιπους μήνες παρατηρούνται πιο συχνά φαινόμενα νεφώσεων και βροχοπτώσεων. Τέτοια φαινόμενα αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες για την απόδοση των φωτοβολταϊκών και κατ' επέκταση για τη δημιουργία ενεργειακού πλεονάσματος.

### 8.3.7 Ανάλυση λειτουργίας συμβατικών μονάδων

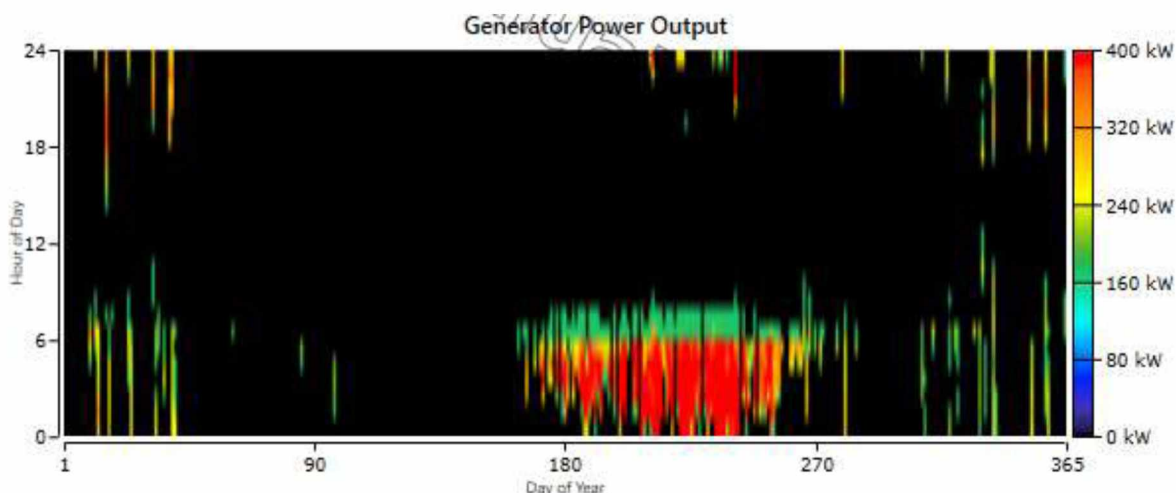
Τα μοντέλα γεννητριών diesel που θα συμμετάσχουν στη διαμόρφωση του νέου υβριδικού συστήματος είναι το Cummins VT 1710G (400 kW), το Volvo PENTA TAD 1345GE (250 kW) και το Hyundai KD8AX (180 kW).

Η λειτουργία κάθε μίας από τις γεννήτριες περιγράφεται λεπτομερώς μέσω των Πινάκων 8.11, 8.12 και 8.13 και των Διαγραμμάτων 8.21, 8.22 και 8.23. Υπάρχουν ορισμένα στοιχεία στους πίνακες τα οποία δεν έχουν εμφανιστεί ως τώρα. Αρχικά, σε αυτούς περιλαμβάνεται ο αριθμός των εκκινήσεων λειτουργίας της κάθε συμβατικής μονάδας σε διάστημα ενός έτους (Number of Starts). Επίσης, γίνεται αναφορά στο ωριαίο κόστος λειτουργίας της γεννήτριας (Fixed Generation Cost), στη συνολική ετήσια κατανάλωση πετρελαίου (Fuel Consumption) και στην ειδική κατανάλωση για την παραγωγή μίας κιλοβατώρας (Specific Fuel Consumption). Ακόμη, οι πίνακες περιέχουν την τιμή της συνολικής ενέργειας που περιλαμβάνεται στο πετρέλαιο που καταναλώνει κάθε συμβατική μονάδα σε διάστημα ενός έτους (Fuel Energy Input), αλλά και το μέσο ποσοστό απόδοσης που χαρακτηρίζει κάθε γεννήτρια (Mean Electrical Efficiency).

Πίνακας 8.11: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της γεννήτριας Cummins VT 1710G [Homer]

| Quantity                   | Value   | Units     |
|----------------------------|---------|-----------|
| Hours of Operation         | 782     | hrs/yr    |
| Number of Starts           | 142     | starts/yr |
| Capacity Factor            | 6.45    | %         |
| Fixed Generation Cost      | 10.6    | €/hr      |
| Electrical Production      | 226,052 | kWh/yr    |
| Mean Electrical Output     | 289     | kW        |
| Minimum Electrical Output  | 180     | kW        |
| Maximum Electrical Output  | 400     | kW        |
| Fuel Consumption           | 60,449  | L         |
| Specific Fuel Consumption  | 0.267   | L/kWh     |
| Fuel Energy Input          | 594,820 | kWh/yr    |
| Mean Electrical Efficiency | 38.0    | %         |

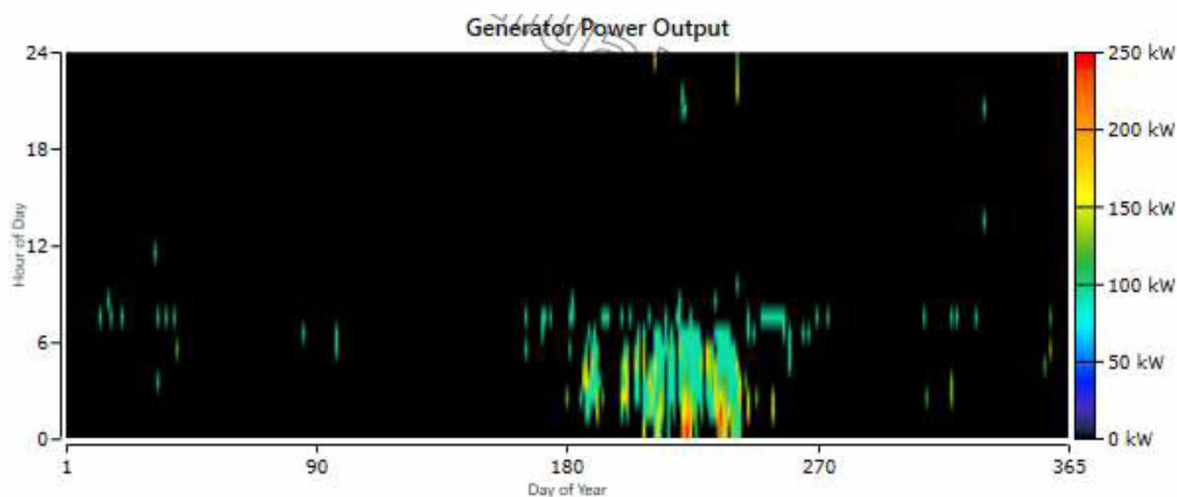




Διάγραμμα 8.21: Απεικόνιση των τιμών της παραγόμενης ισχύος από τη γεννήτρια Cummins VT 1710G καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Πίνακας 8.12: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της γεννήτριας Volvo PENTA TAD 1345GE [Homer]

| Quantity                   | Value   | Units     |
|----------------------------|---------|-----------|
| Hours of Operation         | 324     | hrs/yr    |
| Number of Starts           | 113     | starts/yr |
| Capacity Factor            | 1.75    | %         |
| Fixed Generation Cost      | 11.4    | €/hr      |
| Electrical Production      | 38,267  | kWh/yr    |
| Mean Electrical Output     | 118     | kW        |
| Minimum Electrical Output  | 100     | kW        |
| Maximum Electrical Output  | 250     | kW        |
| Fuel Consumption           | 13,578  | L         |
| Specific Fuel Consumption  | 0.355   | L/kWh     |
| Fuel Energy Input          | 133,612 | kWh/yr    |
| Mean Electrical Efficiency | 28.6    | %         |

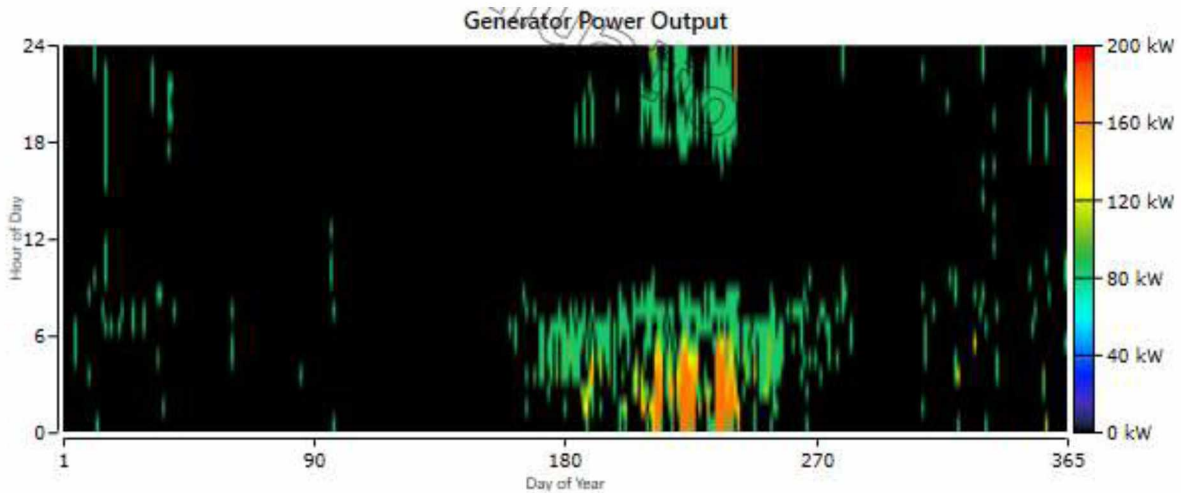


Διάγραμμα 8.22: Απεικόνιση των τιμών της παραγόμενης ισχύος από τη γεννήτρια Volvo PENTA TAD 1345GE καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Πίνακας 8.13: Βασικά στοιχεία της λειτουργίας της γεννήτριας Hyundai KD8AX [Homer]

| Quantity                   | Value   | Units     |
|----------------------------|---------|-----------|
| Hours of Operation         | 705     | hrs/yr    |
| Number of Starts           | 262     | starts/yr |
| Capacity Factor            | 4.54    | %         |
| Fixed Generation Cost      | 7.30    | €/hr      |
| Electrical Production      | 71,596  | kWh/yr    |
| Mean Electrical Output     | 102     | kW        |
| Minimum Electrical Output  | 88.2    | kW        |
| Maximum Electrical Output  | 180     | kW        |
| Fuel Consumption           | 22,227  | L         |
| Specific Fuel Consumption  | 0.310   | L/kWh     |
| Fuel Energy Input          | 218,710 | kWh/yr    |
| Mean Electrical Efficiency | 32.7    | %         |





Διάγραμμα 8.23: Απεικόνιση των τιμών της παραγόμενης ισχύος από τη γεννήτρια Hyundai KD8AX καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Το ποσοστό της μέσης απόδοσης (Mean Electrical Efficiency) που αναγράφεται στους παραπάνω πίνακες προκύπτει εάν διαιρέσουμε την τιμή της ετήσιας παραγωγής ενέργειας (Electrical Production) με τη συνολική ενέργεια που περιλαμβάνεται στο πετρέλαιο που καταναλώνει κάθε συμβατική μονάδα σε διάστημα ενός έτους (Fuel Energy Input).

Παρατηρώντας τη μορφή των Διαγραμμάτων 8.21, 8.22 και 8.23 θα μπορούσε κανείς να πει πως το Διάγραμμα 8.16, το οποίο απεικονίζει το ποσοστό φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους, αποτελεί το συμπλήρωμά τους. Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι απόλυτα βάσιμη καθώς ο ρόλος των συμβατικών μονάδων στο υβριδικό σύστημα είναι εφεδρικός. Πιο συγκεκριμένα, η λειτουργία των γεννητριών diesel ενεργοποιείται μόνο όταν η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να καλυφθεί από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, την ανεμογεννήτρια και τους συσσωρευτές. Κατά κύριο λόγο, οι συμβατικές μονάδες παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν το ποσοστό φόρτισης των συσσωρευτών είναι το ελάχιστο δυνατό (10,2%). Εξαίρεση αποτελούν τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία το απαιτούμενο ενεργειακό φορτίο είναι πολύ υψηλό, με αποτέλεσμα οι γεννήτριες diesel και οι συσσωρευτές να λειτουργούν ταυτόχρονα. Παράδειγμα αυτής της περίπτωσης αποτελούν τα απογεύματα του καλοκαιριού, κατά τα οποία η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων απαιτεί την παράλληλη συνεισφορά ενέργειας από τους συσσωρευτές (Διάγραμμα 8.16) και τη γεννήτρια Hyundai KD8AX (Διάγραμμα 8.23). Ο λόγος που χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη

γεννήτρια στο παραπάνω παράδειγμα είναι το γεγονός πως δεν απαιτούνται υψηλά ποσά ενέργειας ως ενίσχυση από τις συμβατικές μονάδες. Ειδικότερα, η γεννήτρια Hyundai KD8AX χαρακτηρίζεται από το χαμηλότερο τεχνικό ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο και όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.23 η ισχύς που παραγάγει κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων ωρών έχει χαμηλές τιμές. Με άλλα λόγια, σε περίπτωση που στο συγκεκριμένο παράδειγμα λειτουργούσε η Cummins VT 1710G ή η Volvo PENTA TAD 1345GE θα υπήρχε άσκοπη σπατάλη ενέργειας. Το ευρύτερο συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως το μέγεθος της τιμής της απαιτούμενης ενέργειας από τις συμβατικές μονάδες καθορίζει το πόσες και ποιες γεννήτριες θα ενεργοποιηθούν. Τέλος, τα παραπάνω διαγράμματα καθιστούν σαφές ότι οι συμβατικές μονάδες λειτουργούν κυρίως το καλοκαίρι, λόγω των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων που προκύπτουν από τον τουρισμό, αλλά και το χειμώνα καθώς, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσών ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά.

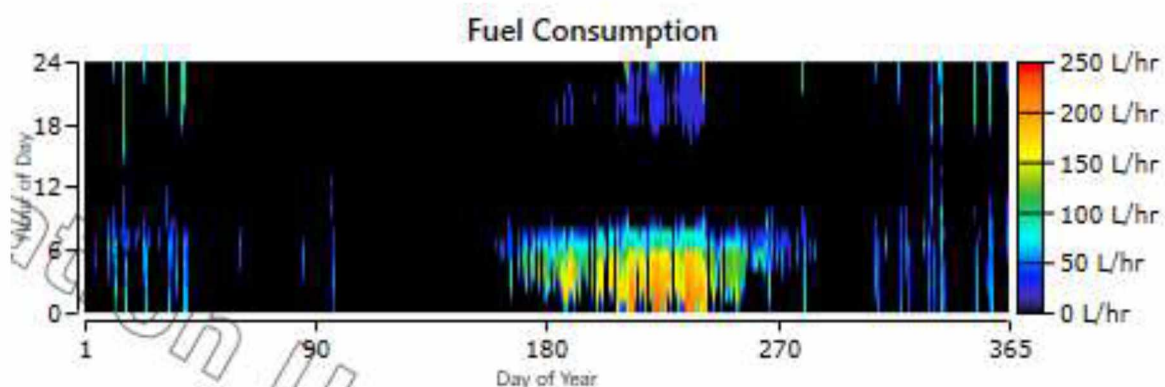
Στον Πίνακα 8.14 αναγράφονται ορισμένα στοιχεία που αφορούν την κατανάλωση πετρελαίου. Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας περιέχει την τιμή της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης (Total fuel consumed) αλλά και της μέσης ημερήσιας (Avg fuel per day) και ωριαίας (Avg fuel per hour).

Πίνακας 8.14: Στοιχεία για την κατανάλωση πετρελαίου [Homer]

| Quantity            | Value  | Units  |
|---------------------|--------|--------|
| Total fuel consumed | 96,254 | L      |
| Avg fuel per day    | 264    | L/day  |
| Avg fuel per hour   | 11.0   | L/hour |

Η συνολική ποσότητα του πετρελαίου που καταναλώνεται σε διάστημα ενός έτους προκύπτει εύκολα εάν προστεθούν μεταξύ τους οι ετήσιες τιμές κατανάλωσης πετρελαίου των τριών συμβατικών μονάδων. Στη συνέχεια διαιρώντας αυτό το μέγεθος με τον αριθμό των ημερών του έτους (365) προκύπτει η μέση ημερήσια κατανάλωση, η οποία εάν διαιρεθεί με τις ώρες της ημέρας (24) το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα αντιπροσωπεύει τη μέση ωριαία κατανάλωση πετρελαίου.

Τα Διαγράμματα 8.24 και 8.25 παρουσιάζουν λεπτομερώς την κατανάλωση πετρελαίου κατά τη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα 8.24: Απεικόνιση της κατανάλωσης πετρελαίου καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]



Διάγραμμα 8.25: Απεικόνιση της κατανάλωσης πετρελαίου καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Η μορφή των παραπάνω διαγραμμάτων θεωρείται αναμενόμενη εάν πρώτα εξεταστούν τα τρία προηγούμενα (Διαγράμματα 8.21, 8.22, 8.23), τα οποία απεικονίζουν την παραγωγή ισχύος από τις τρεις συμβατικές μονάδες του υβριδικού συστήματος.

### 8.3.8 Ανάλυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η συνεισφορά κάθε συστατικού του υβριδικού συστήματος στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτυπώνεται στον Πίνακα 8.15, ενώ ακολουθεί η διαγραμματική απεικόνισή της για κάθε μήνα ενός έτους. Να σημειωθεί ότι στο Διάγραμμα 8.26 ο συμβολισμός Gen 1 αντιπροσωπεύει τη γεννήτρια Cummins VT 1710G, ο Gen 2 τη Volvo PENTA TAD 1345GE και ο Gen 3 τη Hyundai KD8AX. Οι παραπάνω συντομογραφίες έχουν δοθεί ως είσοδο στο Homer όπως φαίνεται στις Εικόνες 8.5, 8.6 και 8.7.



Πίνακας 8.15: Συνεισφορά των συστατικών του υβριδικού συστήματος στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [Homer]

| Production              | kWh/yr    | %     |
|-------------------------|-----------|-------|
| Amerisolar 285W AS-6P30 | 5,744,159 | 80.0  |
| CUMMINS VT 1710G        | 226,052   | 3.15  |
| VOLVO PENTA TAD 1345GE  | 38,267    | 0.533 |
| HYUNDAI KD8AX           | 71,596    | 0.997 |
| Enercon E-53 [800kW]    | 1,101,253 | 15.3  |
| Total                   | 7,181,327 | 100   |



Διάγραμμα 8.26: Απεικόνιση της συνεισφοράς των συστατικών του υβριδικού συστήματος στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα ενός έτους [Homer]

Είναι προφανές πως η συντριπτική πλειοψηφία της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών. Αυτό οφείλεται κυρίως στα συστήματα αποθήκευσης και μετατροπής, χάρη στα οποία το σύστημα έχει τη δυνατότητα να καλύπτει τη ζήτηση με ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές την ώρα που η παραγωγή από την ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η συνεισφορά των συμβατικών μονάδων είναι καθοριστική κυρίως τους μήνες του θερινού τουρισμού, καθώς στο διάστημα αυτό η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται ραγδαία.

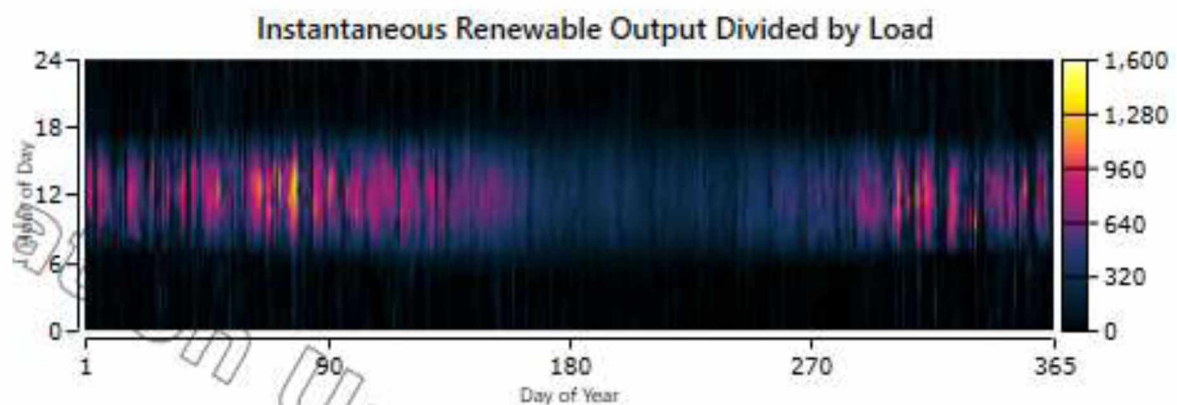
Στο κεφάλαιο 8.3.1 είχε αναφερθεί πως το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο προτεινόμενο υβριδικό σύστημα είναι 91,4%. Εξετάζοντας τον Πίνακα 8.15 θα μπορούσε κανείς να καταλήξει στο συμπέρασμα πως το εν λόγω ποσοστό είναι 95,3% (80% + 15,3%). Ωστόσο, ο παραπάνω

πίνακας αναγράφει τις τιμές της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αγνοώντας τις απώλειες που προκύπτουν στα συστήματα μετατροπής και αποθήκευσης ενέργειας. Το ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκύπτει εάν διαιρέσουμε με τη συνολική ζήτηση τη διαφορά μεταξύ του αριθμού 1 και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας από τις συμβατικές μονάδες. Τα δύο παραπάνω ποσοστά αλλά και αυτό που προκύπτει από τη διαίρεση της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με το συνολικό απαιτούμενο φορτίο παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.16.

Πίνακας 8.16: Ποσοστά σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [Homer]

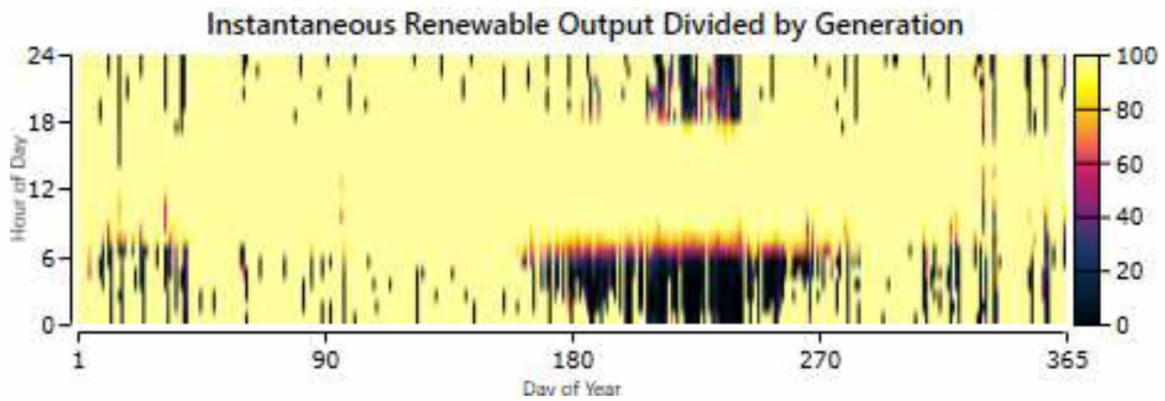
| Energy-based metrics                                    | Value | Units |
|---|-------|-------|
| Total renewable production divided by load              | 176   | %     |
| Total renewable production divided by generation        | 95.3  | %     |
| One minus total nonrenewable production divided by load | 91.4  | %     |

Η διακύμανση των παραπάνω ποσοστών κατά τη διάρκεια του έτους απεικονίζεται μέσω των Διαγραμμάτων 8.27, 8.28 και 8.29.

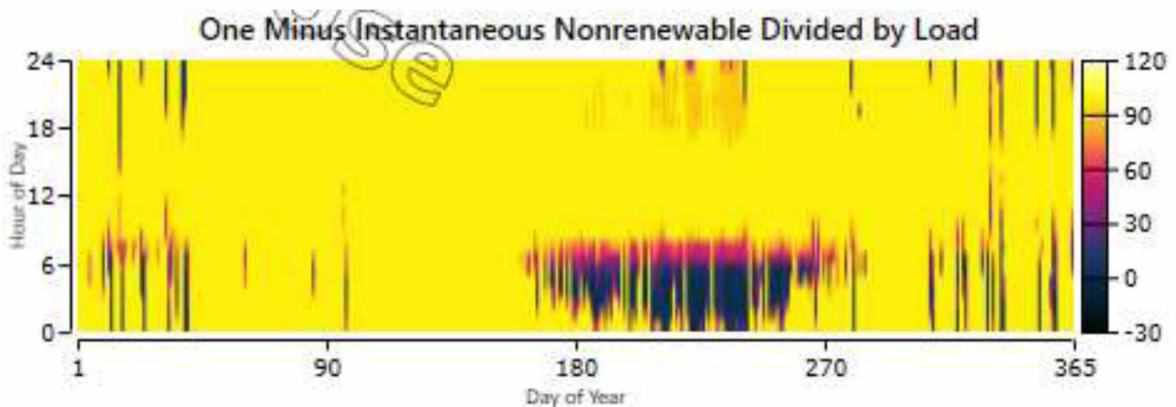


Διάγραμμα 8.27: Απεικόνιση της στιγμιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαιρεμένη με τη στιγμιαία ζήτηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]





Διάγραμμα 8.28: Απεικόνιση της στιγμιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαιρεμένη με τη συνολική στιγμιαία παραγωγή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]



Διάγραμμα 8.29: Απεικόνιση της διαφοράς του αριθμού 1 με τη στιγμιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις συμβατικές μονάδες, διαιρεμένη με τη στιγμιαία ζήτηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους [Homer]

Η μορφή του Διαγράμματος 8.27 θεωρείται αναμενόμενη, καθώς οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται τις ώρες κατά τις οποίες υπάρχει ηλιοφάνεια και συνεπώς η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά είναι υψηλή. Αυτό βέβαια δεν παρατηρείται στον ίδιο βαθμό τους μήνες του θερινού τουρισμού, διότι κατά τη διάρκειά τους η στιγμιαία ζήτηση ενέργειας είναι αρκετά υψηλότερη. Επίσης, όπως αναμενόταν, οι μορφές των Διαγραμμάτων 8.28 και 8.29 μοιάζουν μεταξύ τους. Τέλος, το γεγονός πως τα διαγράμματα 8.29 και 8.24 έχουν ακριβώς την ίδια μορφή είναι άξιο σχολιασμού. Το παραπάνω στοιχείο θεωρείται απόλυτα λογικό, καθώς τα χρονικά διαστήματα που παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από τις συμβατικές μονάδες συμπίπτουν με αυτά κατά τα οποία καταναλώνεται πετρέλαιο.

## 8.4 Αξιολόγηση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος

Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το Καστελλόριζο χαρακτηρίζεται από συνολικό καθαρό κόστος 11.863.060 ευρώ και ποσοστό διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 91,4%. Το εν λόγω ποσοστό δεν μπορεί παρά να κριθεί ικανοποιητικό. Το ερώτημα που απομένει αφορά το εάν η επένδυση για τη διαμόρφωση του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τη Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ, το μέσο ετήσιο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων του υφιστάμενου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2019, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος καυσίμου και το πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, προέκυψε ίσο με 282,89 ευρώ ανά MWh. Επίσης, η συνολική ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το ίδιο έτος ανήλθε στις 3.895,645 MWh. Συνεπώς, η τιμή του ετήσιου συνολικού κόστους για το 2019 υπολογίζεται στο 1.102.039 ευρώ. Στην περίπτωση που το Καστελλόριζο πορευτεί με το ήδη υπάρχον σύστημα ηλεκτροπαραγωγής και θεωρώντας το ετήσιο κόστος σταθερό για τα επόμενα είκοσι χρόνια, το χρηματικό ποσό που απαιτείται για την επόμενη εικοσαετία με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού ανέρχεται στα 22.040.780 ευρώ. Επομένως, η εγκατάσταση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος θα οδηγήσει στην εξοικονόμηση του ποσού των 10.177.720 ευρώ. Το συγκεκριμένο ποσό δικαιολογεί την επιλογή της συγκεκριμένης διαμόρφωσης του υβριδικού συστήματος έναντι των υπόλοιπων δύο που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 8.3.1, καθώς η δαπάνη επιπλέον ποσού της τάξεως του ενός εκατομμυρίου ευρώ αξίζει για τη δημιουργία ενός αρκετά πιο φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος ηλεκτροπαραγωγής.

Με βάση τα παραπάνω, η εγκατάσταση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται ως μία αρκετά οικολογική και οικονομικά συμφέρουσα επιλογή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ολοκληρώνοντας την τεχνικο-οικονομική μελέτη, προέκυψε αβίαστα το συμπέρασμα ότι πλέον των περιβαλλοντικών ωφελειών από την εγκατάσταση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Καστελλόριζο, η μετάβαση στην «καθαρή ενέργεια» είναι συμφέρουσα και από οικονομική άποψη. Ειδικότερα, το συνολικό εικοσαετές κόστος της εγκατάστασης, της λειτουργίας και της συντήρησης του προτεινόμενου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής είναι περίπου το μισό συγκριτικά με το αντίστοιχο που περιλαμβάνει τη λειτουργία και τη συντήρηση του υφιστάμενου ενεργειακού συστήματος.

Καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη του υψηλού ποσοστού διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική παραγωγή (91,4%) διαδραματίζει το σύστημα αποθήκευσης. Τα ελληνικά νησιά χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό και έτσι η πλεονάζουσα ενέργεια που προκύπτει κατά τη διάρκεια της ημέρας από τη συμπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων και της ανεμογεννήτριας συνήθως υπερκαλύπτει το φορτίο ζήτησης που παρουσιάζεται τις βραδινές ώρες. Η πλεονάζουσα ενέργεια αποθηκεύεται στους συσσωρευτές και αξιοποιείται τα διαστήματα κατά τα οποία η ζήτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές. Καθοριστική, επίσης, είναι και η συμβολή του συστήματος μετατροπής καθώς η «μεσολάβησή» του ανάμεσα στους συσσωρευτές και το υπόλοιπο δίκτυο είναι απαραίτητη για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Συνεπώς, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8.29, ο ρόλος των συμβατικών μονάδων είναι συμπληρωματικός και περιορισμένος.

Το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα κρίνεται αξιόπιστο και οικονομικό ακόμη και αν ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο της μελλοντικής αύξησης της ενεργειακής ζήτησης ή της τιμής του πετρελαίου. Η αύξηση στο συνολικό κόστος του υβριδικού συστήματος που θα επιφέρουν οι παραπάνω πιθανές μεταβολές είναι μικρότερη από αυτήν που θα σημειωθεί σε αντίστοιχο ενδεχόμενο κατά το οποίο το νησί ηλεκτροδοτείται μέσω του υφιστάμενου συστήματος που αποτελείται από συμβατικές μονάδες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εκμετάλλευση τόσο του ηλιακού, όσο και του αιολικού δυναμικού των ελληνικών νησιών, εκτός από τα οικονομικά και περιβαλλοντικά

οφέλη που αναφέρθηκαν, συμβάλλει και στη σταδιακή απεξάρτηση της Ελλάδας από το εισαγόμενο πετρέλαιο.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί η ανάγκη περαιτέρω διεύρυνσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε όσους τομείς είναι οικονομικά και τεχνολογικά εφικτό, όχι αποκλειστικά σε εθνικό, αλλά και σε διεθνές επίπεδο, καθώς ο περιορισμός των κλιματικών αλλαγών που προκαλούνται από την εκμετάλλευση των συμβατικών πηγών ενέργειας αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Ενισχυτικοί παράγοντες για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού είναι τόσο η σταδιακή μείωση του κόστους, όσο και η συνεχής βελτίωση της απόδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bernal-Agustín J. L. and Dufo-López R., «*Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, no. 8, pp. 2111–2118, Oct. 2009
- [2] Boyle G., «*Renewable Energy*», OUP Oxford, 2004
- [3] Chalakatevaki M., Stamou P., Karali S., Daniil V., Dimitriadis P., Tzouka K., Iliopoulou T., Koutsoyiannis D., Papanicolaou P. and Mamassis N., «*Creating the electric energy mix in a non-connected island*», European Geosciences Union General Assembly 2017, EGU Division Energy, Resources & Environment, ERE, vol. 125, pp. 425-434, 2017
- [4] Deshmukh M. K. and Deshmukh S. S., «*Modeling of hybrid renewable energy systems*» Renewable and Sustainable Energy Reviews., vol. 12, no. 1, pp. 235–249, Jan. 2008
- [5] Erdinc O. and Uzunoglu M., «*Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 3, pp. 1412–1425, Apr. 2012
- [6] European Photovoltaic Industry Association, «*Solar photovoltaic electricity empowering the world*», 2011
- [7] Eurostat (επίσημα στατιστικά της Ευρωπαϊκής Ένωσης), «*Renewable energy in the EU in 2018 Share of renewable energy in the EU up to 18.0% Twelve Member States have reached a share equal to or above their 2020 target*», 2020
- [8] Friedrich D., Lavidas G., «*Combining offshore and onshore renewables with energy storage and diesel generators in a stand-alone Hybrid Energy System*», Offshore Energy & Storage Symposium 2015, Edinburgh, Scotland, 2015
- [9] Iqbal M.T. «*A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland*», Renewable Energy Vol. 29, Issue 2, pp.277-289, February 2004
- [10] Kaltschmitt M., Streicher W., Weise A., «*Renewable Energy-Technology, Economics and Environment*», Springer, 2007



- [11] Katsaprakakis D., Christakis D., «*A wind parks, pumped storage and diesel engines power system for the electric power production in Astypalaia*», European Wind Energy Conference and Exhibition 2006, Athens, Greece
- [12] Katsaprakakis D., Dakanali I., «*Comparing electricity storage technologies for small insular grids*», Applied Energy Symposium and Forum, Renewable Energy Integration with Mini/Microgrids, REM 2018, vol. 159, pp. 84-89, 29–30 September 2018, Rhodes, Greece
- [13] Palm B & Bekele G., «*Wind energy potential assessment at four typical locations in Ethiopia*», Applied Energy, vol 86, pp. 388-396, 2008
- [14] Prodromidis G. N., Coutelieris F. A., «*A comparative feasibility study of stand-alone and grid connected RES-based systems in several Greek Islands*», Renewable Energy, vol. 36 (7), pp. 1957-1963, July 2011
- [15] Rehman S., Alam M. M., Meyer J. P. and Al-Hadhrami L. M., “Feasibility study of a wind-pv-diesel hybrid power system for a village”, Renewable Energy, Elsevier, vol. 38, pp. 258-268, 2012.
- [16] Rehman S., El-Amin I.M., Ahmad F., Shaahid S.M., Al-Shehri A.M., Bakhashwain J.M. and Shash A., «*Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, pp. 635–653, 2007
- [17] Twidell J., Weir T., «*Renewable Energy Sources*», Taylor & Francis, 2006
- [18] Wu Yuan-Kang and Chang Shih-Ming, «*Review of the Optimal Design on a Hybrid Renewable Energy System*», Asia Conference Power and Electrical Engineering (ACPEE) 2016
- [19] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), «*Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για τον Ιούλιο 2020*», 2020
- [20] Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, «*Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για τα δίκαια της θάλασσας και συμφωνία σχετικά με την εφαρμογή του μέρους XI της εν λόγω σύμβασης*», 1982
- [21] Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, «*Δράση της ΕΕ για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή*», 2017

- [22] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, «*Η Συνθήκη της Λισαβόνας*», 2007
- [23] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, «*Κύρωση του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)*» ΦΕΚ 4893 τεύχος δεύτερο, 31.12.2019
- [24] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, ΝΟΜΟΣ 1559/1985. «*Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις*», ΦΕΚ 135 τεύχος πρώτο
- [25] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, ΝΟΜΟΣ 2244/1994. «*Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις*», ΦΕΚ 168 τεύχος πρώτο
- [26] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, ΝΟΜΟΣ 3468/2006. «*Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις*», ΦΕΚ 129 τεύχος πρώτο
- [27] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, ΝΟΜΟΣ 3851/2010. «*Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής*», ΦΕΚ 85 τεύχος πρώτο, 4.6.2010.
- [28] Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), «*Ο ελληνικός ενεργειακός τομέας*», ετήσια έκθεση 2019
- [29] Ιστοσελίδα Wikipedia, <https://www.wikipedia.org/>
- [30] Ιστοσελίδα άρθρου με τίτλο, «*Καστελλόριζο: Το ανατολικό άκρο της Ελλάδας*», <https://www.in.gr/2019/03/23/plus/features/kastellorizo-kath-imas-anatoli/>
- [31] Ιστοσελίδα Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, άρθρο με τίτλο «*Ενέργεια: Νέοι φιλόδοξοι στόχοι για τις ανανεώσιμες πηγές και την ενεργειακή απόδοση*» (ιστοσελίδα), <https://www.europarl.europa.eu/news/el/press-room/20181106IPR18315/neoi-filodoxoi-stochoi-gia-tis-ananeosimes-piges-kai-tin-energeiaki-apodosi>
- [32] Ιστοσελίδα εταιρείας Amerisolar, <http://www.weamerisolar.com/>

- [33] Ιστοσελίδα εταιρείας Enercon, <https://www.enercon.de>
- [34] Ιστοσελίδα εταιρείας LG Chem, <https://www.lgchem.com/>
- [35] Ιστοσελίδα εταιρείας SMA, <https://www.sma.de/>
- [36] Ιστοσελίδα Ευρωπαϊκής Επιτροπής, 2020 climate & energy package, [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en)
- [37] Ιστοσελίδα Τράπεζας της Ελλάδος, Επιτόκια καταθέσεων και δανείων, <https://www.bankofgreece.gr/statistika/nomismatikh-kai-trapezikh-statistiki/epitokia-katathesewn-kai-daneiwn>
- [38] Μπαργιώτας Δημήτριος, «*Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας*», Διδακτικές σημειώσεις
- [39] Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι., «*Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τεχνολογίες και Περιβάλλον*», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2016.