ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

«Διερεύνηση Διαστασιολόγησης Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ για τη Διασφάλιση των Ενεργειακών και Υδατικών Αναγκών στο Νησί της Καρπάθου»

Σοφία Σκρουφούτα

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2020

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» της σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για την συνεχή καθοδήγηση, βοήθεια και στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και της φοίτησης μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Μαρία Μαργαρίτα Μπέρτσιου για το χρόνο που μου προσέφερε όλες τις φορές που τη χρειάστηκα.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Δρη και τον κ. Αθανάσιο Δ. Σαραντόπουλο από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, για την πολύτιμη βοήθειας τους σχετικά με τη συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων, όπου ήταν απαραίτητα για την παρούσα μελέτη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Μηχανολόγο Μηχανικό Ιωάννη Κ. Καρτάλη, για τη βοήθειά του αναφορικά με τα ενεργειακά δεδομένα της Καρπάθου.

Θα ήθελα ακόμη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους καθηγητές κ. Νικόλαο Μαμάση και κ. Ηλία Παπακωνσταντή, που αποτέλεσαν τα υπόλοιπα μέρη της επιτροπής μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου, που έχουν κάνει την εμπειρία μου όλα αυτά το χρόνια πιο ευχάριστη και με βοήθησαν σε όλα μου τα φοιτητικά χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, την Αμαλία και τον Χαράλαμπο, που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

Σοφία Σκρουφούτα

Μάρτιος 2020

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες iii
Περίληψη viii
Extended Abstract x
1 Εισαγωγή 1
1.1 Αντικειμενικός Σκοπός 1
1.2 Μεθοδολογία 1
2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας 2
2.1 Εισαγωγή 2
2.2 Ορισμός και Γενικά Χαρακτηριστικά 3
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ 3
3 Μορφές ΑΠΕ 6
3.1.Ηλιακή Ενέργεια 6
3.1.1 Παθητικά Συστήματα 7
3.1.2 Ηλιοθερμικά Συστήματα 7
3.1.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα 7
3.1.4. Η Κατάσταση στην Ελλάδα 8
3.2. Αιολική Ενέργεια 8
3.2.1 Ανεμογεννήτριες 10
3.2.2 Εξέλιξη και Προοπτικές της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα 12
3.3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια 12
3.3.1 Υδροστρόβιλοι 14
3.3.2 Υδροστρόβιλοι Αντιδράσεως 16
3.3.3 Χρήση Φυγοκεντρικών Αντλιών ως Υδροστρόβιλοι 18
4 Άλλες Μορφές Ενέργειας 19
4.1 Γεωθερμική Ενέργεια 19
4.2 Ενέργεια από Βιομάζα 19
4.3 Υδροκινητική Ενέργεια (Ενέργεια από τη θάλασσα) 20
5 Αξιοποίηση ΑΠΕ 22
5.1 Πώς προέκυψε η ανάγκη για την αξιοποίηση των ΑΠΕ 22
5.2 Η Συμμετοχή των ΑΠΕ στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Οφέλη Χρήσης 22
5.3 Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα και Προοπτικές Εξέλιξης 27
6 Θεσμικό Πλαίσιο Ενεργειακής Πολιτικής. 29
6.1 Πολιτικές ΕΕ για τις ΑΠΕ 29
6.2. Νομοθεσία για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα 32
6.3 Κανόνες Χωροταξικού Σχεδιασμού των ΑΠΕ 36

6.3.1 Κανόνες Χωροθέτησης Αιολικών Εγκαταστάσεων 37
6.3.2 Κανόνες Χωροθέτησης Μικρών Υδροηλεκτρικών 38
6.3.3 Κανόνες Χωροθέτησης λοιπών Εγκαταστάσεων Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ 38
7 Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας 39
7.1 Εισαγωγή 39
7.2 Πλεονεκτήματα Υβριδικών Συστημάτων 43
7.3. Εφαρμογές Υβριδικών Συστημάτων 44
7.3.1 Συστήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής σε Κεντρικό Δίκτυο 44
7.3.2 Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα 44
7.3.3 Τροφοδότηση Απομονωμένων Φορτίων ή Φορτίων Ειδικού Σκοπού 45
7.3.4 Λειτουργία Υδροηλεκτρικής Μονάδας 45
7.4 Υπάρχουσα Κατάσταση στην Ελλάδα 47
8 Αφαλάτωση 48
8.1 Ορισμός και Γενικά Στοιχεία 48
8.2 Τεχνολογίες ή μέθοδοι Αφαλάτωσης 50
8.2.1 Θερμικές διεργασίες (Phase-change thermal processes) 50
8.2.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης με μεμβράνες (Membrane processes) 51
8.3 Επεξεργασία του θαλασσινού νερού για Αφαλάτωση 54
8.4 Αφαλάτωση με Συμβατικές Πηγές Ενέργειας 56
8.5 Αφαλάτωση με Αιολική και Ηλιακή Ενέργεια 57
8.5.1 Ηλιακή ενέργεια 57
8.5.2 Αιολική ενέργεια 58
8.6 Αφαλάτωση με άλλες ΑΠΕ 59
8.7 Συνδυασμός Μεθόδων Αφαλάτωσης και ΑΠΕ 60
8.8 Κόστος αφαλάτωσης 61
8.9 Η Υπάρχουσα Κατάσταση στην Ελλάδα 61
9 Περιγραφή περιοχής μελέτης 63
9.1 Ιστορία 63
9.2 Οικονομία και Απασχόληση των κατοίκων 64
9.3 Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά 65
9.4 Διοικητικά και Δημογραφικά Στοιχεία 65
9.5 Κλιματολογικές Συνθήκες 66
9.6 Φυσικός Πλούτος της Καρπάθου 67
9.7 Πολιτιστικοί Πόροι 68
9.8 Υπηρεσίες και Έργα Υποδομής 68
9.8.1 Αερολιμένας 68

9.8.2 Ακτοπλοϊκή Σύνδεση 69
9.8.3 Υποδομές Υγείας 69
9.8.4 Υποδομές Εκπαίδευσης 69
9.8.5 Ύδρευση - Άρδευση 69
9.8.6 Αποχετευτικό Δίκτυο 70
9.8.7 Κατασκευή Οδικού Δικτύου 70
9.8.8 Υποδομές Τηλεπικοινωνιών και Ενέργειας 70
10 Επεξεργασία Ιστορικών Χρονοσειρών για την Παραγωγή Συνθετικών 72
10.1 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Βροχόπτωσης 72
10.2 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Θερμοκρασίας 74
10.3 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Ανέμου 76
11 Εκτίμηση Ενεργειακών, Υδρευτικών και Αρδευτικών Αναγκών 80
11.1 Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών 80
11.2 Εκτίμηση Υδρευτικών Αναγκών 82
11.3 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών 87
11.3.1 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών Ζωικής Παραγωγής 87
11.3.2 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών Καλλιεργειών 87
12 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας 92
12.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Ανεμογεννήτριες 92
12.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά 95
12.3 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Υδροηλεκτρικό Έργο 96
13 Ανάπτυξη Μεθοδολογίας – Αποτελέσματα 97
13.1 Περιγραφή Υβριδικού Συστήματος 97
13.2 Τρόπος Λειτουργίας Συστήματος 98
14 Αποτελέσματα Μοντέλου Προσομοίωσης 100
14.1 Άμεσα Αποτελέσματα Μοντέλου Προσομοίωσης 100
14.2 Ανάλυση Κόστους Οφέλους 108
14.2.1 Οικονομικές Έννοιες 108
14.2.2 Εκτίμηση Κόστους 110
14.2.3 Αξιολόγηση Επένδυσης 111
15 Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα 115
15.1 Συμπεράσματα 115
15.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα 117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 118

Περίληψη

Η έλλειψη επαρκών ενεργειακών αποθεμάτων αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα της παγκόσμιας κοινότητας. Η ενέργεια είναι από τα βασικότερα κοινωνικά αγαθά, αναγκαίο για τη διαβίωση του ανθρώπου. Στη σύγχρονη εποχή παρατηρείται μείωση των αποθεμάτων, γεγονός που δημιουργεί ήδη ανησυχία, αλλά και την ανάγκη για την ανάπτυξη νέων μορφών ενέργειας, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η έλλειψη υδατικών πόρων θεωρείται ιδιαίτερα σοβαρό θέμα, που καταγράφεται στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη μας. Οι προβλέψεις είναι δυσοίωνες για τις περισσότερες περιοχές, αλλά και για τη χώρα μας, και κυρίως τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου και των Κυκλάδων.

Στα νησιά της ελληνικής επικράτειας, οι ανάγκες των κατοίκων καλύπτονται από αυτόνομους ενεργειακούς σταθμούς, οι οποίοι χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα. Κατ' επέκταση, εξαρτώνται ενεργειακά από απομακρυσμένες περιοχές και δημιουργούνται σημαντικές αρρυθμίες. Γεγονός το οποίο θέτει σημαντικά προβλήματα, τόσο στην καθημερινότητα των πολιτών, όσο και στις παραγωγικές δραστηριότητες των νησιών. Το νερό πηγαίνει στα νησιά με υδροφόρα πλοία, μία διαδικασία με πολύ υψηλό κόστος. Αναγκαία και απαραίτητη συνθήκη λοιπόν, είναι η ενεργειακή απεξάρτηση των νησιών και για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός πρέπει να αξιοποιηθεί το πλούσιο δυναμικό των νησιών μας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

Δεδομένης της κρισιμότητας της κατάστασης, επιτάσσεται η διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επάρκεια των αναγκών σε νερό και ενέργεια. Η εξέταση ενός υβριδικού συστήματος στα ελληνικά νησιά, τα οποία διαθέτουν σημαντικό αιολικό δυναμικό και ταυτόχρονα με την τεχνολογίας της αφαλάτωσης, μπορεί να αποτελέσει τη λύση στα προβλήματα που υπάρχουν, όπως η λειψυδρία, η αστάθεια των ηλεκτρικών δικτύων, αλλά και στην ενεργειακή αυτονομία τους.

Αντικείμενο της παρούσης ερευνητικής εργασίας είναι η μελέτη ενός υβριδικού συστήματος ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών, υδροηλεκτρικού σταθμού και μονάδας αφαλάτωσης, έχοντας ως στόχο την -όσο το δυνατόν μεγαλύτερη- κάλυψη των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών του νησιού. Η περιοχή μελέτης είναι το νησί της Καρπάθου, ένα άνυδρο νησί, το οποίο βρίσκεται στο Νότιο Αιγαίο και παρουσιάζει τα συγκεκριμένα προβλήματα.

Λόγω του μεγάλου υπολογιστικού φόρτου, χρησιμοποιείται ένα μοντέλο προσομοίωσης με το πρόγραμμα MATLAB. Μελετώνται τα υπάρχοντα δεδομένα, ενεργειακά, υδρευτικά και αρδευτικά, σε σχέση με τον πληθυσμό και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και μετατρέπονται τα δεδομένα ανέμου (ταχύτητες ανέμου) σε αιολική ενέργεια.

Κατόπιν, πραγματοποιείται προσομοίωση των ενεργειακών και υδρευτικών-αρδευτικών αναγκών σε χρονικό ορίζοντα 40 ετών και με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα δημιουργούνται 40 ετήσιες συνθετικές χρονοσειρές. Στη συνέχεια, από τη μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια επιλέγεται ο βέλτιστος τύπος ανεμογεννήτριας. Υπολογίζεται ο αριθμός των ανεμογεννητριών και η δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, η οποία θα εξασφαλίζει την καλύτερη δυνατή κάλυψη των υδρευτικών αναγκών και την ικανοποιητική κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Εκτιμάται ακόμα η προσφορά του σχεδιαζόμενου συστήματος στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

Τέλος, απαραίτητη κρίνεται η ανάλυση κόστους οφέλους, έτσι ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι οικονομικά βιώσιμη και ρεαλιστικά εφαρμόσιμη η εφαρμογή του υβριδικού συστήματος που εξετάζεται.

Extended Abstract

The lack of water resources is considered a particularly serious matter recorded in most of our planet. Forecasts are rather pessimistic for most areas, including our country and especially the Greek arid islands of the Aegean and Cyclades. In the islands of the Greek territory, the needs of the inhabitants are covered by autonomous power stations, which use conventional fuels. By extension, they depend on energy from remote areas, which creates complex problems, both in the daily lives of the citizens and in the productive activities of the islands. The water goes to the islands by watercraft, a high cost process. It is therefore necessary and indispensable to reduce the energy dependence of the islands; to achieve this goal, the rich potential of our islands in renewable energy sources and the ability to store the produced energy must be exploited.

Given the criticality of the situation, it is imperative to explore alternatives to ensure that water and energy needs are met. Examining a hybrid system in the Greek islands (which have significant wind potential and at the same time desalination technology) may be the much-sought solution to the problems such as water scarcity, the volatility of the electricity grids and their energy autonomy.

The subject of this thesis is the study of a hybrid system of wind turbines, photovoltaics, hydroelectric power plant and desalination plant, aiming at improving and meeting the island's drinking water, irrigation and energy needs. The study area is the island of Karpathos, an arid island located in the South Aegean and presents specific problems.

To get the best results, a simulation model is created using MATLAB. Drinking water, irrigation and energy data on population and arable land are studied and the wind data (wind speeds) are converted into energy.

Subsequently, drinking water, irrigation and energy needs are simulated for an 40-year period and 40 annual synthetic time series are created based on available data. Then, the optimal type of wind turbine is selected from the average annual energy produced. The number of wind turbines and the capacity of the desalination plant are calculated, ensuring the best possible coverage of drinking water and irrigation needs. It is also estimated the planned contribution of the system to meet the energy needs of the island.

Finally, a cost-benefit analysis is needed to see if it is economically viable and realistically feasible to implement the considering hybrid system.

The Study Area

Karpathos is the second largest of the Greek Dodecanese islands (after Rhodes) in the southeastern Aegean Sea (Figure 1). The geographical position of the island is of great importance, as it is a key link of the island bridge connecting Crete with Asia Minor. It has an area of 301.2 km2 (324.7 km2 including the surrounding islets) and 160 km of coastline.

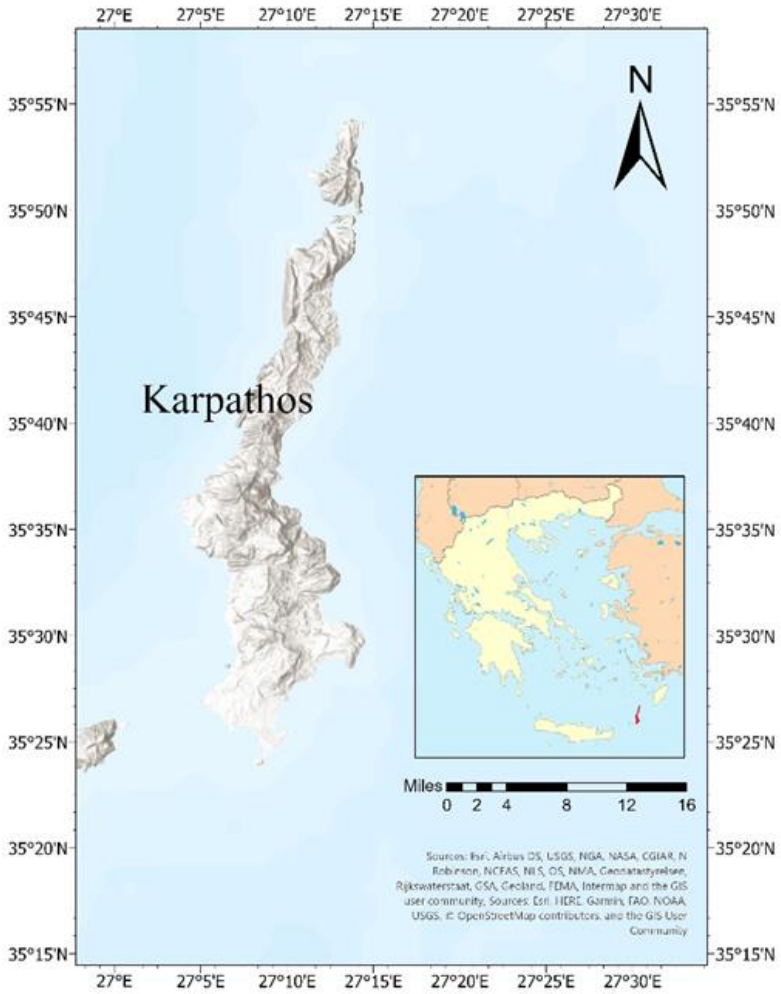


Figure 1: The study area (Island of Karpathos)

The capital of Karpathos is called Pigadia or Karpathos and is located in the southwestern tip of the Dodecanese Prefecture, in the middle of the Carpathian Sea, between Rhodes and Crete (2180 inhabitants). The climate of the Karpathos is Mediterranean, which creates ideal conditions for tourism throughout the year, characterized by north-east enhanced winds, which mainly blow in the evenings in summer ("meltemia"). The winters are mild and there are never extreme weather events (light rain, mild temperatures). For this reason, it was aptly named "Anemoessa" in antiquity. According to Karpathos Airport Weather Station data, the average annual temperature is 19 °C, while the average monthly values range between 12.8 °C (February) and 25.8 °C (August). The average minimum air temperature of 9.7 °C is recorded in February, while the average maximum is recorded in August and reaches 28.9 °C. The average annual precipitation is 352.2 mm. The average annual relative humidity is 70.9%.

Data Processing

The project of this study has a life span of 40 years. For this reason, it is necessary to produce synthetic time series of 40 years, since the historical available data is much shorter and not of the same length. In addition, the dimensioning of the system of this study cannot be investigated solely on the basis of the historical data, as it is necessary to include the uncertainty of the physical processes, whose data are the inputs to the simulation model. These data are rainfall, temperature and wind speed.

For the rainfall and the temperature, the synthetic time series are produced using ARMA (1,1) "Autoregressive Moving Average Model", which includes daily circulation per month based on the statistical characteristics of historical time series (Mimikou et al., 2019). The steps of the production of synthetic wind series are the following (Negra et al., 2007):

- The classification of historic wind speed data based on their speed,
- The wind speed state probability,
- The state frequency,
- The average state duration,
- The transition rates, one for the transition up and one for the transition down.

Once probability tables are defined, it is possible to produce synthetic wind speed time series. The step by step procedure is described as follows:

- The wind speed (ws) vector takes an initial value while the time variable take the initial value of 0 hour. For the first simulation year, the initial wind speed vector takes the value that corresponds to the average historic wind speed.
- Two random numbers are created in the interval (0,1) one for the transition up and one for the transition down.
- Calculation of time to up (TTU) and time to down (TTD). h represents the simulation period which is one year.
- If TTU<TTD the wind speed goes to the upper state after TTU hours.
- If TTD<TTU the wind speed goes to the lower state after TTD hours.
- Vector ws and variable t are updated.
- The procedure is repeated until t is equal or exceeds h.
- Every time the initial wind speed vector takes the latest value of the previous synthetic wind speed times series.

The synthetic wind is produced using the MATLAB program and the code is developed in such a way, that the annual synthetic strings are produced simultaneously for all years of the project's lifespan. Therefore, the procedure discussed above takes place only once for each simulation. The tables below show the calculated methodology values for each class per month. At Figure 2, is presented the comparison of the synthetic time series with the historical, to test the reliability of the model used to produce the wind time series.

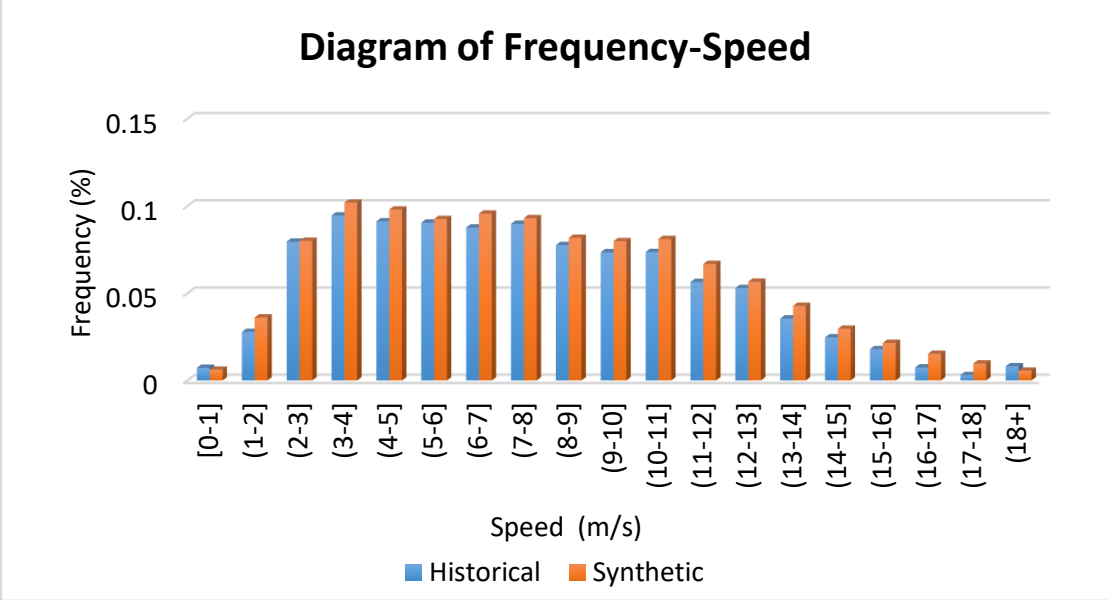


Figure 2: Comparison of Historical and Synthetic Time series

Estimation of needs

Typical consumptions are 150 l/d/person for the permanent population, 200 l/d/person for the summer residents and 150 l/d/person for the tourists (Koutsoyiannis, Efstratiadis, 2015). In order to produce time series of water and energy needs, for the lifespan of the analysis, it is necessary to estimate the population for every single one of the 40 years. Also, using the method of Blaney-Criddle, the irrigation needs are estimated for the island of Karpathos. The monthly variation of electricity need, as well as the water and irrigation needs, are shown in Figures 3,4 and 5.

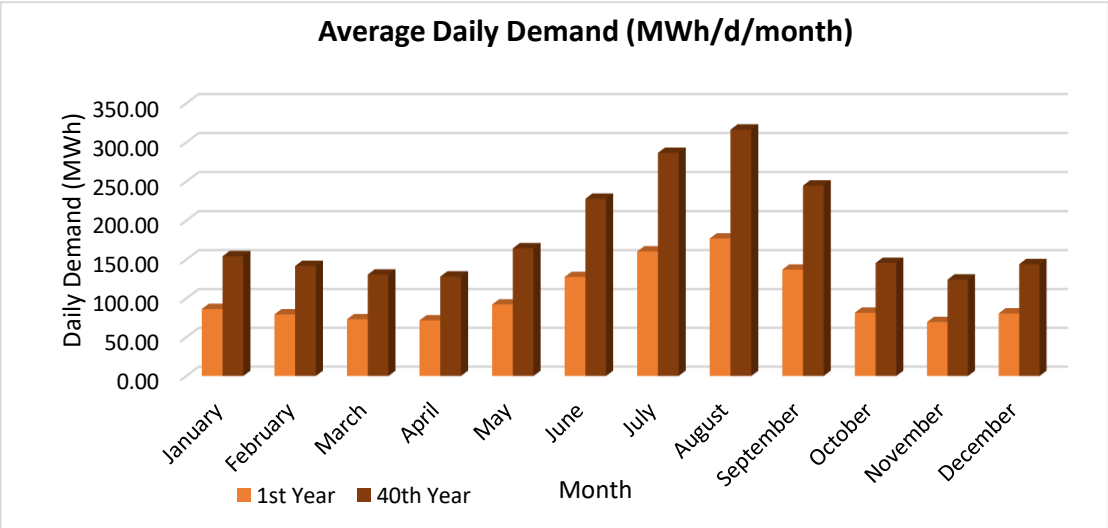


Figure 3: Average Daily Energy Demand 1st Year and 40th Year (MWh/day/month)

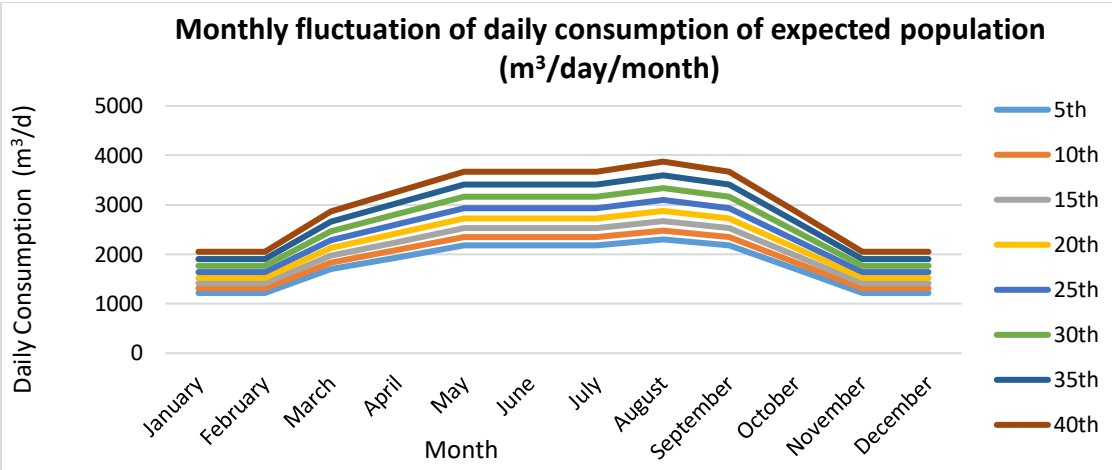


Figure 4: Monthly variation of the Daily Consumption for every five years (m^3/day/month)

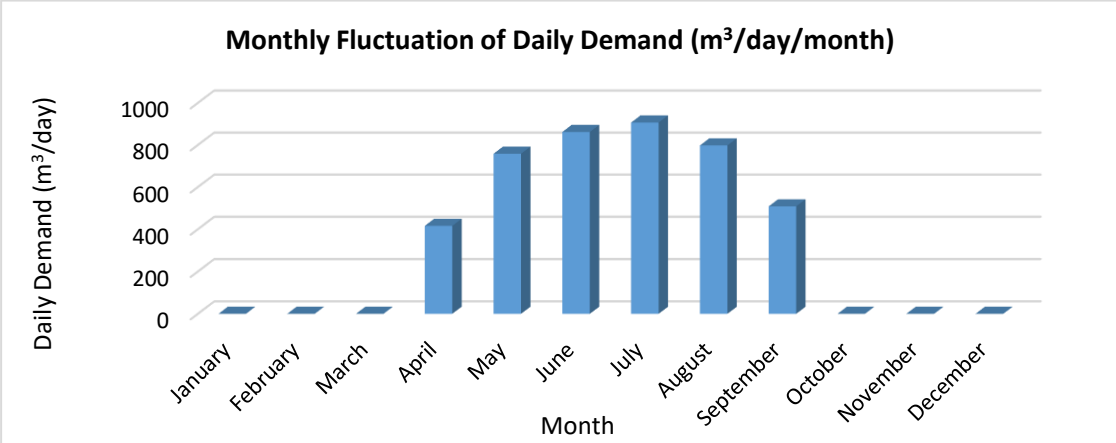


Figure 5: Monthly Fluctuation of Daily Irrigation Demand

Estimation of Produced Energy

Initially, the optimum type of wind turbines is selected and based on its power curve, the wind time series is converted into energy time series of 40 years.

To calculate the solar energy produced each day, the average solar radiation on the ground is divided by the number of days of the corresponding month and multiplied by the photovoltaic park area and the installed power per square meter.

The hydroelectric energy of the project cannot be calculated individually as wind and solar energy. This is because the generated hydroelectricity is calculated at each hourly step using the simulation model analyzed below. In particular, the energy produced by the hydrogel results from the Equation (1):

$$E_{YHE} = \gamma * Q * H * n \qquad (1)$$

Where:

- γ: water specific gravity (9.81 kN/m^3)
- Q: the flow through the turbine
- H: the elevation difference between the upstream water level and a characteristic downstream energy altitude
- n: turbine efficiency coefficient.

Methodology

This study consists of a tank at sea level of 3000 m^3 capacity, a 1.8 MW photovoltaic park installed, fifteen E53-800 kW wind turbines, a 1000 m^3/day desalination plant, a 1500 kW pumping station, as well as a hydroelectricity supply of 5 m^3/sec (accompanied by a small dam of 25000 m^3 capacity). The wind turbines is 80 m altitude, the photovoltaics 30 m, the hydroelectric power plant (HPP) is 150 m high, and the desalination energy is 4 kWh/m^3.

For this project, the main objective is to meet the water needs, then the irrigation and finally the energy needs of the island. Of the power generation, only 30% of the wind turbine energy and 20% of the photovoltaic energy goes directly into the grid. The remainder is first driven to the desalination plant (to ensure maximum water production) and the final remainder is consumed for pumping water to the Hydroelectric Reservoir, which is used as an energy "battery". The volume produced by the desalination plant is influenced by the current offered at each hourly step divided by 4 kWh/m^3, as well as by the plant capacity, which is up to 1000 m^3/day. The volume of water produced is directed to the grid to meet drinking water and irrigation needs or in a storage tank if there is excess water.

The required data for the hourly simulation of the operation of the hybrid system are the following:

- the synthetic time series of energy, drinking and irrigation water needs of 40 years,
- the synthetic time series of wind and solar radiation hourly for 40 years,
- the efficiency curve of wind turbines, their quantity and their altitude,
- the surface area of the photovoltaic park,
- the rated power of photovoltaics,
- the capacity and the energy consumption of the desalination plant,
- the capacity of each tank,
- the installed power of the pumping station,
- the altitude of the escape route and the drainage of the pipeline.

Based on the inputs of the model, the estimated outputs are:

- the wind, solar and hydroelectric energy electricity per hour,
- the electricity provided to the grid per hour,
- the electricity shortage to meet energy needs per hour,
- the amount of drinking and irrigation water produced per hour,
- the reliability of drinking water and irrigation of the hybrid system per year,
- the percentage of hybrid system coverage of the island's energy needs per year and month,
- the Water-Energy-Food interactions per year and
- the total revenue and expenses of the water and electricity system per year.

Results

The total annual production is consistently greater than 10,000 MWh and the maximum annual production is 170,000 MWh (Figure 6). Wind turbines generate an important percentage of the total energy, so the maximum values are observed when the wind speed is correspondingly high (Figure 7). The monthly drinking water demand (thus the production) correlates directly with the touristic population (Figure 8). The volume of water for irrigation needs from October to April are equal to zero, because the evaporation of the corresponding months is considered equal to zero (Figure 9). The reliability of the HRES seems to be adequate, since the drinking water needs are met in 99% and the island's reliance wanes significantly pertaining to the irrigation water and energy (Table 1-Table 2). In particular, this deduction is enhanced with the percentage of covered irrigation needs, which is equal to 89.75% and is presented in Figure 10. Moreover, the percentage contribution of every renewable energy type appears in Figure 11, making the hydroelectric power the dominant in this particular HRES.

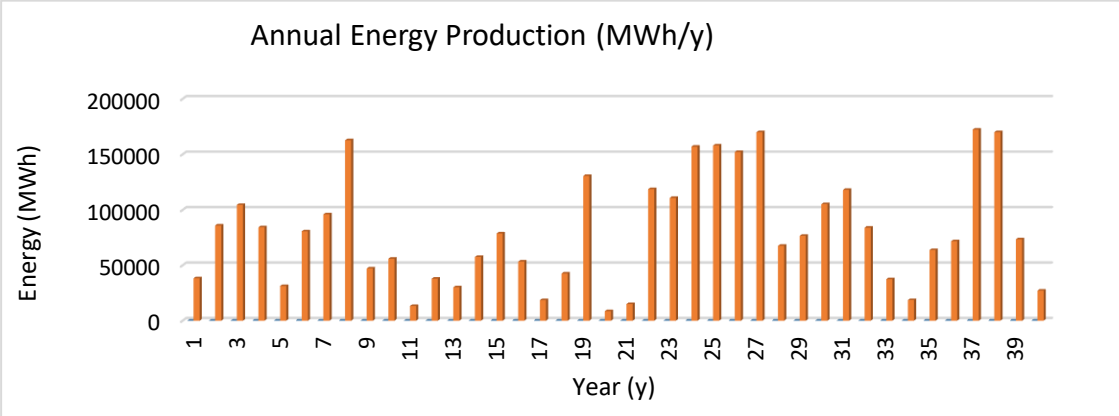


Figure 6: Annual Energy Production (MWh/y)

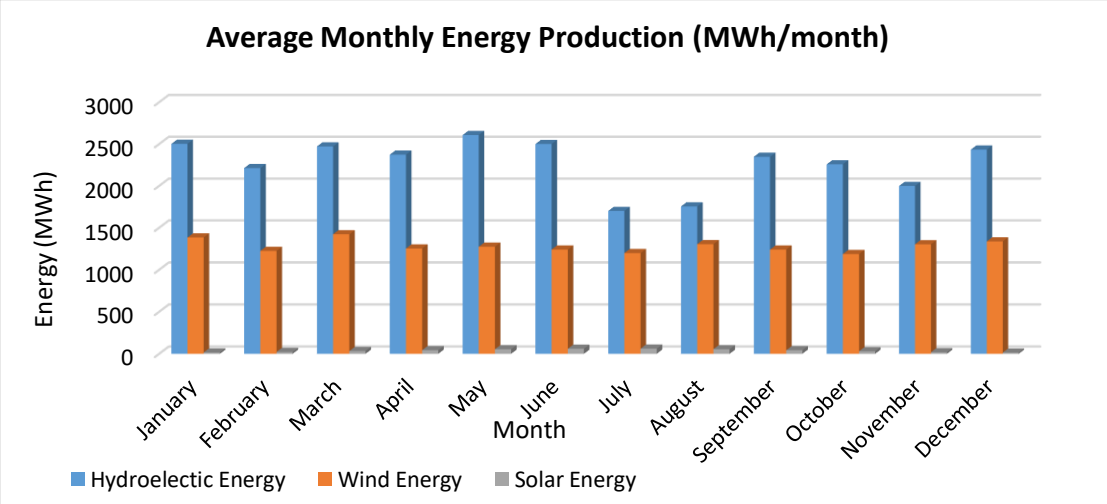


Figure 7: Average Monthly Energy Production (MWh/month)

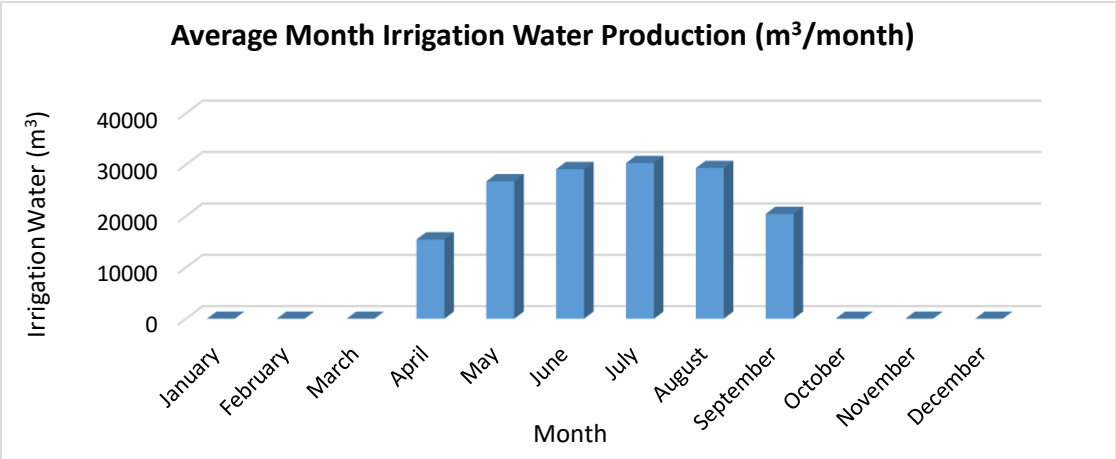


Figure 8: Average Month Drinking Water Production (m3/month)

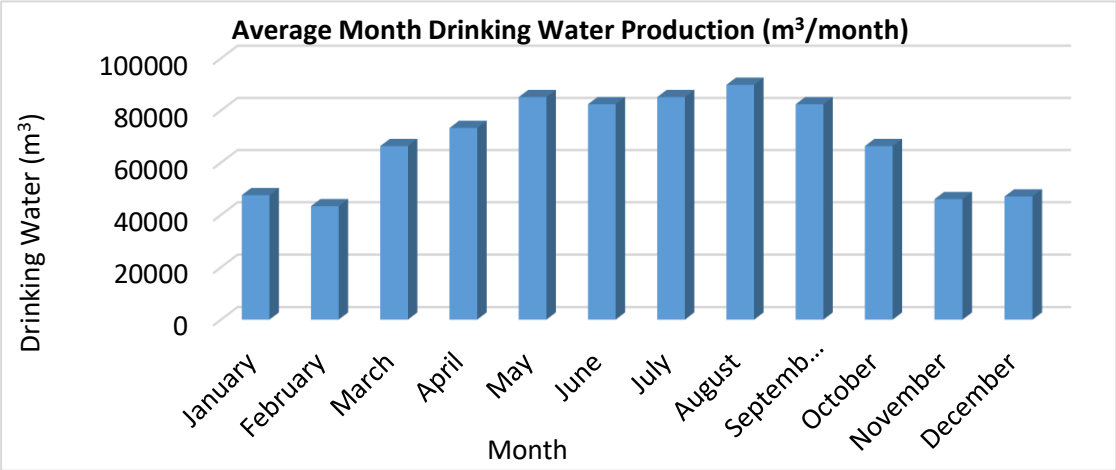


Figure 9: Average Month Irrigation Water Production (m^3/month)

Table 1: Average Monthly Reliability of Drinking and Irrigation Water Needs

Month	Failure of Drinking Water	Failure of Irrigation Water	Reliability of Drinking Water (%)	Reliability of Irrigation Water (%)
January	-	-	99.99	99.99
February	-	-	99.99	99.99
March	-	-	99.99	99.99
April	-	-	99.99	99.99
May	-	1228	99.99	95.74
June	-	5958	99.99	79.31
July	-	15272	99.99	46.97
August	-	12647	99.99	56.09
September	-	304	99.99	98.94
October	-	-	99.99	99.99
November	-	-	99.99	99.99
December	-	-	99.99	99.99

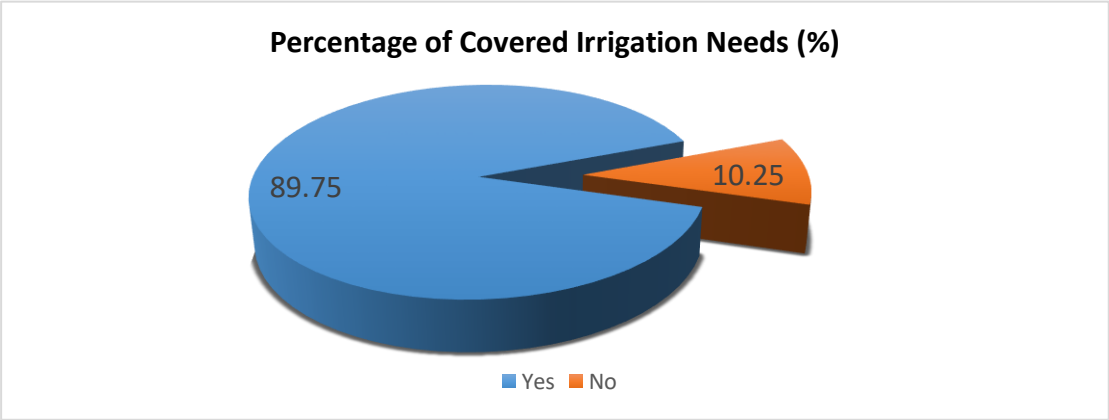


Figure 10: Covered Irrigation Needs (%)

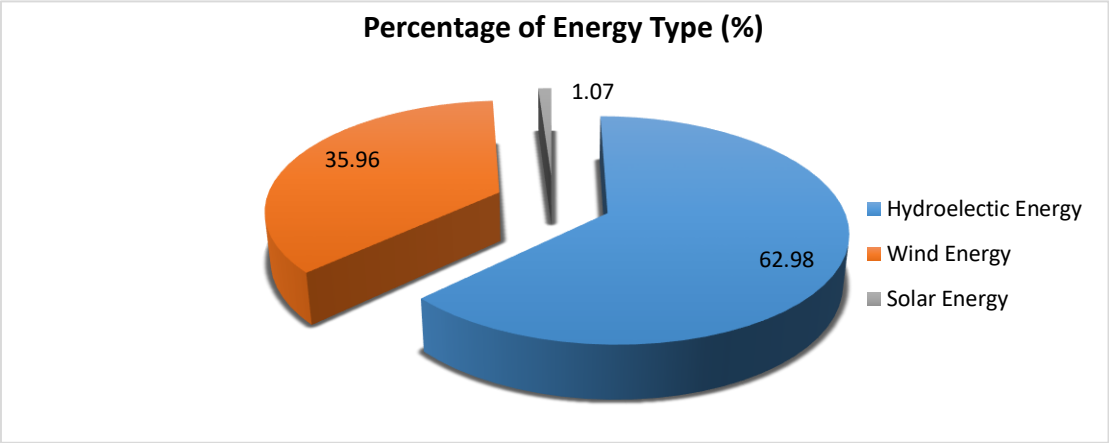


Figure 11: Cover Percentage of Energy Type (%)

Table 2: Average Monthly Produced Energy and Cover Percentage of Energy Needs

Month	Produced Energy (MWh)	Covered Energy (%)
January	7196.32	58.09
February	6397.37	54.32
March	7371.45	66.27
April	6769.50	56.97
May	7122.83	53.65
June	6933.63	46.78
July	6002.03	34.28
August	6369.29	35.15
September	6700.67	43.02
October	6360.79	47.57
November	6431.21	55.03
December	6959.16	56.40

After calculating all previous sizes on an annual basis, the Water-Energy-Food interactions can be examined, where they exist between wind turbines, photovoltaics, desalination plant and Karpathos. These interactions practically show whether the HRES uses the renewable resources to the detriment of the environment. To do this, it is necessary to compare the produced renewable energy with the produced water and the water that was used for the operation of the HRES. Therefore, the total volume of water required to produce electricity per year (Water for Energy) is calculated, along the total energy required for water production per year (Energy for Water) and the total volume of water required for production (Water for Food), which is essentially the volume of irrigation water produced. From Table 3 results that more than 1750 MWh of energy is available for water production, while for energy production the corresponding cubic meters are very small and can be characterized as marginally insignificant.

Table 3: Water-Energy-Food interactions

Year	Water for Energy (m^3)	Water for Food (m^3)	Energy for Water (MWh)
1	134.07	181761.33	1888373.39
2	290.14	186353.88	2153082.85
3	351.64	178302.92	2190000.00
4	262.78	184649.55	2190000.00
5	113.24	171921.33	1936714.54
6	257.32	177097.08	2174754.74
7	301.09	180084.40	2154485.13
8	505.86	186838.43	2190000.00
9	155.45	168248.87	2108011.32
10	177.81	165227.24	2106524.60
11	59.38	178201.33	1918465.73
12	125.77	188040.93	2127430.16
13	96.92	168126.27	1788314.52
14	187.39	168192.39	2106811.74
15	252.67	193506.07	2128307.51
16	173.82	194562.77	2152093.76
17	73.62	175625.98	2046046.40
18	149.24	177488.68	2092611.35
19	384.52	189580.53	2190000.00
20	39.80	170637.52	1854207.70
21	57.99	170991.88	1857462.72
22	348.31	186644.22	2099025.03
23	316.57	186639.02	2083797.89
24	447.98	185829.59	2190000.00
25	449.09	184368.22	2190000.00
26	449.44	189540.13	2190000.00
27	483.13	183832.66	2190000.00
28	209.15	180215.91	2013895.97
29	240.86	182015.68	2133390.33
30	326.70	184639.67	2190000.00
31	357.31	178767.20	2115585.27
32	258.37	183979.26	2049225.15
33	123.79	186934.87	2097890.02
34	74.57	178096.07	1927127.99
35	212.72	164197.06	1966262.08
36	227.74	198580.21	2081121.09
37	496.72	195554.79	2190000.00
38	495.96	185423.02	2190000.00
39	230.62	178915.77	2016367.10
40	107.67	183728.30	2070258.09

Cost-benefit analysis

In order to examine the financial viability of the investment, a cost-benefit analysis is needed. Net Present Value (NPV) is the value obtained by discounting to present all of the annual net cash provided throughout the term life of an investment (in our case 40 years) and Internal Rate of Return (IRR) is the discount rate at which the NPV becomes zero. This method was used to estimate whether our project is viable or not and the results are shown below.

To proceed with the analysis of production costs, we must define the life of the study, in which case it equals 40 years. The amount of the investment amounts to $32.86*10^6$ €. A 40% subsidy ($13.14*10^6$ €), will be provided through an operational program for the promotion of renewable islands in the islands, with a bank loan for 50% of the investment ($16.43*10^6$ €) and the own participation amounting to 10% ($3.29*10^6$ €). The repayment period of the loan is considered to be 10 years, using the equity method. Therefore, the debt is calculated at $2.34*10^6$ € and based on this, in Table 4, the loan repayment is presented.

Table 4: Loan Repayment

Year	Interest-bearing debt ($*10^6$€)	Debt ($*10^6$€)	Interest ($*10^6$€)	Bankruptcy Balance ($*10^6$€)
0				0.00
1	2.34	1.19	1.15	15.24
2	2.34	1.27	1.07	13.97
3	2.34	1.36	0.98	12.61
4	2.34	1.46	0.88	11.15
5	2.34	1.56	0.78	9.59
6	2.34	1.67	0.67	7.92
7	2.34	1.78	0.55	6.14
8	2.34	1.91	0.43	4.23
9	2.34	2.04	0.30	2.19
10	2.34	2.19	0.15	0.00
Summary	23.39	16.43	6.96	

The tax rate on net profits is 35%, the discount rate is 3% and the depreciation rate is 2.5%. While the residual value of the project is considered null, it assumes that the State grants the right to a private company for a certain period and after that time the project is transferred back to the State, which can exploit the project itself or give back to another company. Investment income comes from the sale of water and energy. Figures 12 and 13 show the changes in NPV and IRR for different water prices, in order to show the efficiency of the project according to the selling price of the water. And in Figures 14 and 15, the corresponding changes in the selling price of electricity are shown.

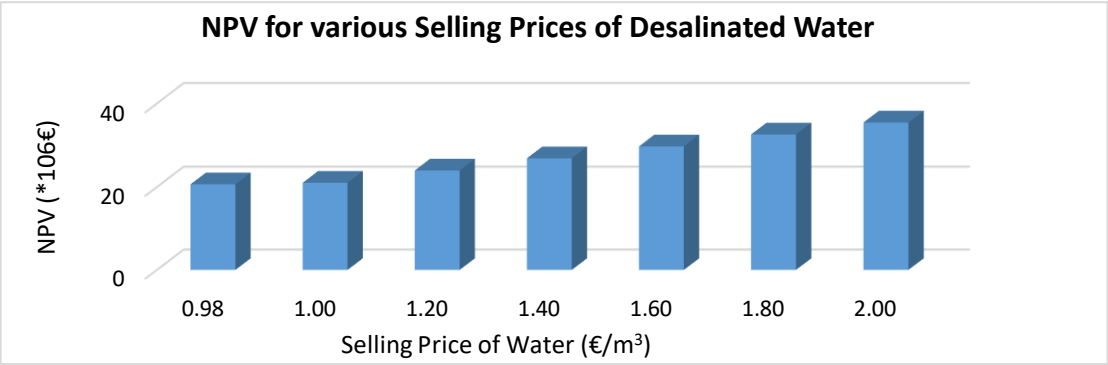


Figure 12: NPV for various selling prices of desalinated water

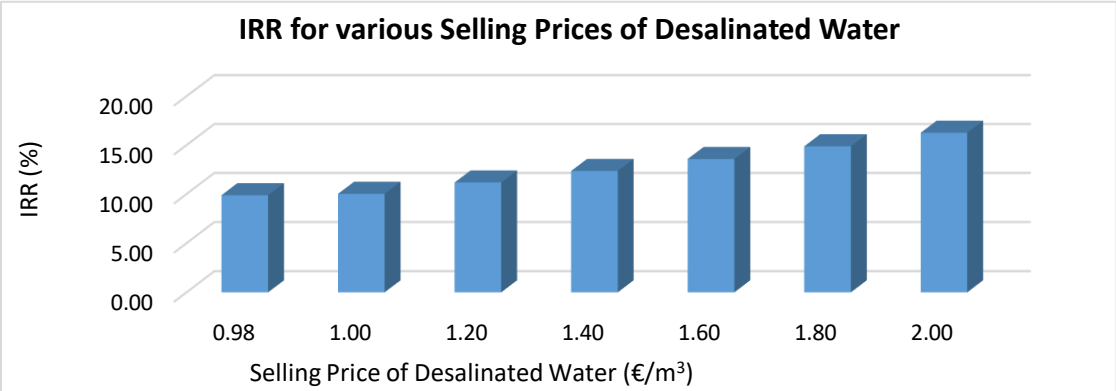


Figure 13: IRR for various selling prices of desalinated water

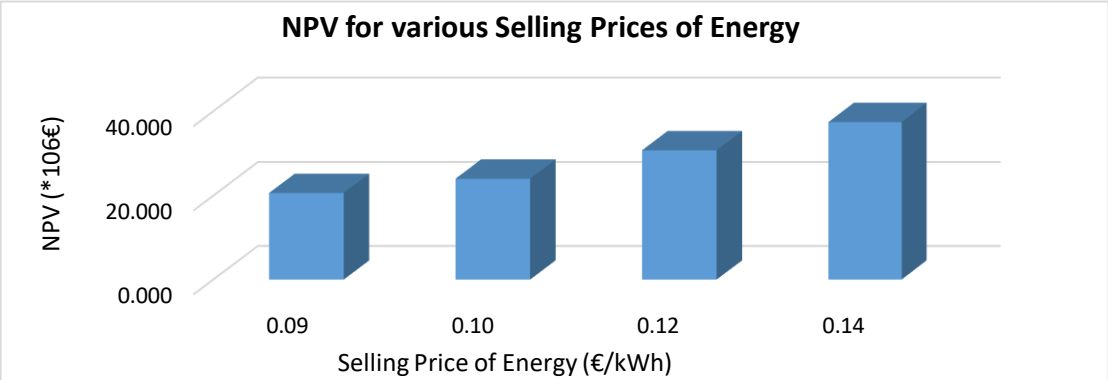


Figure 14: NPV for various selling prices of energy

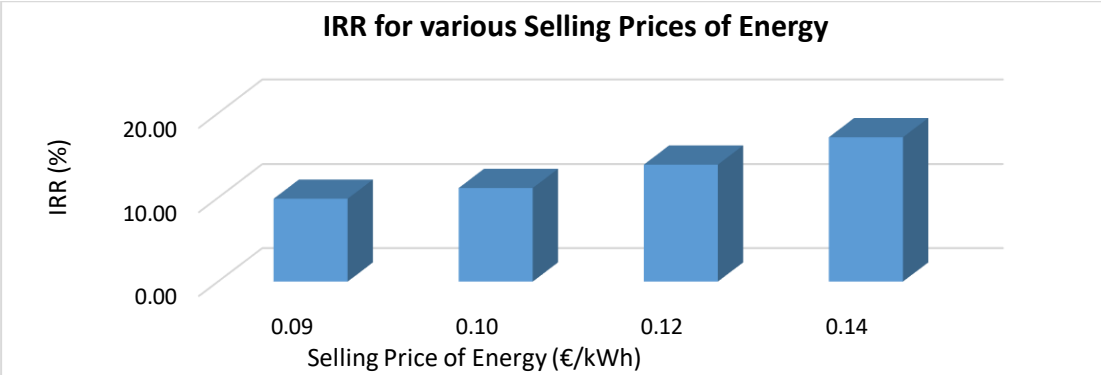


Figure 15: IRR for various selling prices of energy

Conclusions

Karpathos is confronted with serious energy and water shortages to meet its energy and drinking water needs, endangering the island's inhabitants, as well as, their economic development. This matter is most acute during the summer months, due to increased tourist influx, wedded to the irrigation needs. Additionally, water and energy needs are incessantly augmenting as the population grows, aggravating the problem. Karpathos will be able to meet a sufficient percentage of these needs, with the construction of suitable projects for the exploitation of wind power and solar radiation. These projects may include a photovoltaic and desalination plant and/or a wind farm, which can operate autonomously or integrated into an already existing network. Hybrid projects enable the use of renewable energy sources in networks with limited renewable energy absorption, such as non-interconnected islands. Desalination is also major, both for the Greek arid islands and for the entire planet, due to the ever-increasing water scarcity. The fast-evolving technology for desalination plants significantly reduces their cost and increases their capacity respectively. The most widespread desalination method is the reverse osmosis method, due to its low energy consumption and high desalination potential, but also its suitability for RES (such as Photovoltaic Parks and Wind Turbines).

Concerning the results of the simulation model, it is drawn that the population of the island of Karpathos is increasing significantly during the summer months due to tourism, while there is generally a steady geometric increase in the population (both residents and vacationers/tourists). This, therefore, causes corresponding increases in energy and water needs. In addition, the reliability of water supplies is almost 99.99%, while for energy and irrigation needs the average reliability was 50.63% and 89.75% respectively. Additionally, wind energy production is clearly fluctuating due to the sharp and unpredictable variation of wind speed. The average monthly wind power generation is observed in January and March (about 1400 MWh), where wind speeds are much higher than in other months. The production of wind and solar power in Karpathos is very satisfactory, due to the high wind potential of the island and the increased hours of sunshine and accounts for 37.02% of the total energy produced by the hybrid system. All things considered, the cost-benefit analysis shows that an increase in the selling price of electricity by 0.02 €/kWh results in an increase of approximately 6.70 x 10^6 € in net present value and a water increase of 0.2 €/m^3 in an increase of 2.90 x 10^6 €, which may reduce the years required for its depreciation.

Suggestions for Future Research

Based on this study and its results, some of the issues that need to be explored for future research, either to address shortcomings or to improve this study, are:

- Initially, this methodology can be applied to other Greek islands, which cover their energy needs from local autonomous power stations (using conventional fuels).
- Also of great interest is the investigation of the transfer of energy from Karpathos to Crete, in the case where the islands are interconnected.
- In addition, further research and study could make it possible to enrich the underground aquifer and improve the natural environment, making the island greener.
- Also, like any mathematical model, it also contains uncertainty in the input data, which is transferred to the results. So one issue for future research is to quantify this uncertainty, try to reduce it and calculate the corresponding confidence levels of the results.
- In addition, the optimization of the operation of the system of the present study is interesting, as well as the parameters that are calibrated in the model, in order to improve its results.
- Finally, further research is needed to optimize the model, for better time and space distribution of water of different uses and energy, to meet the corresponding needs.

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικειμενικός Σκοπός

Αντικειμενικός σκοπός της παρούσης ερευνητικής εργασίας, είναι η μελέτη ενός υβριδικού συστήματος, το οποίο έχει ως στόχο τη βελτίωση και τη μέγιστη αποτελεσματικότητα της ύδρευσης και της κάλυψης των αρδευτικών και των ενεργειακών αναγκών μιας περιοχής της Ελλάδος. Η περιοχή μελέτης είναι το νησί της Καρπάθου, ένα άνυδρο νησί, το οποίο βρίσκεται στο Καρπάθιο πέλαγος και παρουσιάζει τα συγκεκριμένα προβλήματα. Το υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, δεξαμενές, υδροστρόβιλο, αντλιοστάσιο και μία μονάδα αφαλάτωσης, προσομοιώνοντας τη λειτουργία του συστήματος, βάσει των κανόνων που ορίζονται από τη μελέτη μας.

Στόχος είναι, τόσο η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος, όσο και η αξιοπιστία και η αποδοτικότητά του, όσον αφορά στην κάλυψη των αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια και νερό για ύδρευση και άρδευση. Δηλαδή, την αντικατάσταση σημαντικού μέρους της συμβατικής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που επιλέγεται για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, είναι αρχικά η βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις πληροφορίες που χρειάζονται, για μία ορθή παρουσίαση των στοιχείων, της χρησιμότητας και της πολιτικής, που έχει ακολουθηθεί τα τελευταία χρόνια για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Για την καλύτερη ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιείται ένα μοντέλο προσομοίωσης με το πρόγραμμα MATLAB. Ένα στατιστικό και μαθηματικό μοντέλο - περιβάλλον που χρησιμοποιείται κυρίως, για την επίλυση προβλημάτων σε αριθμητική πεπερασμένης ακρίβειας (προσεγγιστική λύση ενός προβλήματος) και παρέχει επίσης, τη δυνατότητα προγραμματισμού.

Στην εργασία αυτή, μελετώνται τα υπάρχοντα δεδομένα, ενεργειακά, υδρευτικά, και αρδευτικά, σε σχέση με τον πληθυσμό και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και μετατρέπονται τα δεδομένα ανέμου (ταχύτητες ανέμου) σε αιολική ενέργεια.

2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή νέες πηγές ενέργειας, είναι οι μη ορυκτές μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας, οι οποίες συνδέονται και προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού, δηλαδή από τον καθημερινό κύκλο της φύσης και πρακτικά θεωρούνται ανεξάντλητες.

Τα είδη των ΑΠΕ είναι η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική, η υδροηλεκτρική, η υδροκινητική (η ενέργεια των κυμάτων, η παλιρροϊκή) και τα βιοαέρια, όπως ορίζεται από την οδηγία 2001/77/ΕΚ (ΚΑΠΕ, 2016).

Αν και το θεσμικό πλαίσιο αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο, οι βάσεις του μπήκαν το 1997 με τη Λευκή Βίβλο «Ενέργεια για το μέλλον» για την προστασία του περιβάλλοντος, όπως επίσης, την ίδια χρονιά με το Πρωτόκολλο του Κιότο για την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με το οποίο οριζόταν ο στόχος μείωσης των εκπομπών των αερίων του Θερμοκηπίου (Παπαευθυμίου, 2012). Το 2000, με το Green Paper «Στρατηγική για την Ασφάλεια της παροχής ενέργειας» για την ανεξαρτησία του ενεργειακού εφοδιασμού. Το 2009, η Έκθεση του Εθνικού Σχεδίου Δράσης, της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), για την επίτευξη της συμβολής των ΑΠΕ σε ποσοστό 20% στην τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2020, απορρέει από την Οδηγία 2009/28/ΕΚ. Η οδηγία αυτή συμπεριλαμβάνει τις εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και επισημαίνει, ότι οι καινούργιες τεχνολογίες των ΑΠΕ, θα πρέπει να διεισδύσουν έως το 2020 (ΚΑΠΕ, 2016).

Στην προσπάθεια της ΕΕ, συμμετέχει και η Ελλάδα, ως κράτος – μέλος αυτής, με την οδηγία 2001/77/ΕΚ, η οποία περιλάμβανε τον στόχο της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε ποσοστό 20.1% της εγχώριας ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας κατά το έτος 2010. Όπως παρατηρούσε και το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο εκτιμούσε την συγκράτηση του ποσοστού αύξησης, κατά την περίοδο 2008-2012, του CO_2 και άλλων αερίων που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 25%, σε σχέση με το έτος-βάση 1990. Ενώ, με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, ο νέος στόχος για Ελλάδα ως προς τη συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ανέρχεται στο 18%.

Σύμφωνα με την ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας), τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα και οι υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν αναμένεται να συνεισφέρουν πέραν του 10%. Τις μεγαλύτερες προοπτικές ανάπτυξης και συνεισφοράς στην επίτευξη των εθνικών στόχων παρουσιάζει η αιολική ενέργεια, λόγω της διαθεσιμότητας της πρωτογενούς πηγής, αλλά και λόγω του χαμηλού κόστους αξιοποίησής της, σε σχέση με άλλες μορφές ΑΠΕ (Παπαευθυμίου, 2012).

Βάσει αυτών των επιστημονικών δεδομένων και αυτού του νομικού πλαισίου, ξεκίνησαν τα Υβριδικά Ενεργειακά Έργα. Στόχος αυτών είναι η παραγωγή ενέργειας, που βασίζεται στο συνδυασμό ΑΠΕ μεταξύ τους ή ακόμη και με συμβατικές μορφές ενέργειας, όπως είναι παραδείγματος χάρη, η αιολική και η υδροηλεκτρική, συνδυαζόμενες με την αποθήκευση της περίσσιας ενέργειας με τη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης. Η μέθοδος αυτή είναι εύκολη στην εγκατάσταση και επίσης φιλική προς το περιβάλλον.

2.2 Ορισμός και Γενικά Χαρακτηριστικά

Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, όπως είναι ο άνθρακας και το πετρέλαιο, των οποίων τα αποθέματα σταδιακά εξαντλούνται. Εκτός όμως, από τη μείωση των αποθεμάτων τους, η αλόγιστη χρήση τους δημιούργησε και συνεχίζει να δημιουργεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Είναι αναγκαίο πλέον, από τις παραδοσιακές μορφές ενέργειας, να περάσουμε στην εποχή των ανανεώσιμων πηγών. Με τον όρο «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» ή «ήπιες μορφές ενέργειας» ή «πράσινη ενέργεια» χαρακτηρίζονται όλες οι πηγές, οι οποίες ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης, άρα υπάρχουν σε αφθονία στο περιβάλλον και είναι ανεξάντλητες. Στις ΑΠΕ ανήκουν μεταξύ άλλων: η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, η βιομάζα, η υδραυλική και η υδροκινητική (Παπαδόπουλος, 1997; Καπλάνης, 2003).

Αποκαλούνται «ήπιες» για δύο λόγους. Πρώτον γιατί δεν χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση (εξόρυξη, άντληση ή καύση), λόγω του ότι εκμεταλλεύονται τη φυσική ροή της ενέργειας στη φύση και δεύτερον, διότι δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον αποδεσμεύοντας υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα τοξικά απόβλητα. Υπάρχει βέβαια κάποιου είδους επιβάρυνση, αλλά θεωρείται μικρότερη σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές και γι' αυτό θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον (Macknick, 2011; Γελεγένης, 2005; http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=608&language=el-GR).

Πρέπει να σημειωθεί, ότι ο όρος «ανανεώσιμες» σε ορισμένες περιπτώσεις είναι καταχρηστικός. Παραδείγματος χάρη, η γεωθερμική ενέργεια χρειάζεται χιλιετίες για να δημιουργηθεί, άρα στην πραγματικότητα δεν είναι ανανεώσιμη, γιατί τα αποθέματά της μπορούν να εξαντληθούν. Η βιομάζα ουσιαστικά είναι η ηλιακή ενέργεια που έχει δεσμευτεί στους φυτικούς ιστούς κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η αιολική επηρεάζεται από την ηλιακή ενέργεια γιατί δημιουργείται από τη θέρμανση του αέρα (Kiniry, 2008).

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, σύμφωνα και με τον Ελληνικό Σύνδεσμό Ηλεκτροπαραγωγών από ΑΠΕ είναι συνοπτικά τα ακόλουθα (Γελεγένης, 2005):

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμες συμβατικές ενεργειακές πηγές.

- Είναι ευέλικτες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του εκάστοτε πληθυσμού.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και ενισχύουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Επειδή είναι διάσπαρτες γεωγραφικά, έχουν σαν αποτέλεσμα την αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και σε περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Το χαμηλό λειτουργικό κόστος δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, με αποτέλεσμα να ανταποκρίνονται άμεσα στη ζήτηση της ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Επίσης, οι επενδύσεις αυτές μπορούν να στηρίξουν και να αναβαθμίσουν οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένες περιοχές και να γίνουν πόλος για την τοπική ανάπτυξη (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές τόσο προς το περιβάλλον, όσο και προς τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή, όχι μόνο από το κοινό αλλά και από την επιστημονική κοινότητα.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Στο ηπειρωτικό διασυνδεδεμένο δίκτυο της χώρας υπάρχει εγκατεστημένη ισχύς περί τα 13800 MW, η ισχύς των ΑΠΕ ανέρχεται στα 3100 MW, ενώ η ισχύς των αιολικών πάρκων ανέρχεται στα 1466 MW (ΑΔΜΗΕ, 2016).

Τα μειονεκτήματα της χρήσης συστημάτων εκμετάλλευσης ΑΠΕ είναι:

- Ο συντελεστής απόδοσης των ΑΠΕ είναι της τάξης του 30%, ο οποίος θεωρείται μικρός. Συνεπώς, απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Αυτός είναι και ο λόγος, που έως τώρα χρησιμοποιούνται, σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας και δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων
- Η πυκνότητα ενέργειας και ισχύος είναι περιορισμένη και γι’ αυτό για μεγάλες παραγωγές απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις.
- Η αιολική ενέργεια, η ηλιακή, καθώς και η υδροηλεκτρική ενέργεια εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

- Υπάρχουν βέβαια και οι οικολογικές ανησυχίες, κυρίως για τις αιολικές μηχανές, γιατί προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Όπως, επίσης υπάρχει και η άποψη, ότι δεν είναι αισθητικά κομψές. Με την ορθή επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτές οι ανησυχίες έχουν σίγουρα μειωθεί (Βατάλης, 2007).

3 Μορφές ΑΠΕ

3.1.Ηλιακή Ενέργεια

Όλες οι μορφές ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο (θερμότητα, φως, ακτινοβολίες) ονομάζονται ηλιακή ενέργεια και αξιοποιούνται μέσω τεχνολογιών, που εκμεταλλεύονται και τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Αυτές είναι, το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Όσον αφορά στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών (Αντωνόπουλος, 2001):

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, αφορούν τη χρήση κατάλληλων αρχιτεκτονικών επιλογών και των κατάλληλων δομικών υλικών (βιοκλιματικά κτήρια) για τη μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή και φωτισμό (Βατάλης, 2007). Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην ηλιοπροστασία του κτηρίου (Γεωργιάδου, 1996).
- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Τα ηλιοθερμικά συστήματα είναι πιο αξιόπιστα.
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, ονομάζονται τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Τα παθητικά και τα ηλιακά βασίζονται στην εκμετάλλευση της θερμότητας, ενώ τα φωτοβολταϊκά στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (Κρητικός, 2010).

Η ηλιακή ενέργεια είναι ανανεώσιμη και ανεξάντλητη, εφόσον προέρχεται από τον ήλιο, άρα δεν υπάρχουν περιορισμοί για την εκμετάλλευσή της. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (θερμοσίφωνας), ενώ η χρήση της για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προωθείται πια λόγω της ευρωπαϊκής πολιτικής και της πολιτικής του ελληνικού κράτους. Στην Ελλάδα, ο πιο διαδεδομένος τρόπος αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Greenpeace, η Ελλάδα είναι η δεύτερη χώρα στην Ευρώπη, μετά την Γερμανία σε συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιοσυλλεκτών. Βέβαια, το ποσοστό αυτό θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερο, καθώς η χώρα μας έχει την υψηλότερη ηλιοφάνεια απ' όλη την Ευρώπη. Όσον αφορά στην ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή άμεσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών, δεν αξιοποιείται ακόμη όσο θα έπρεπε.

3.1.1 Παθητικά Συστήματα

Τα παθητικά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτηρίου, τα οποία αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στον χώρο. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα κτήρια που χρησιμοποιούν παθητικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού ονομάζονται «βιοκλιματικά κτήρια». Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι η θερμομόνωση του κτηρίου. Η κοινοτική οδηγία 2002/91/ΕΚ αφορά στην ενεργειακή αποδοτικότητα των κτηρίων και έχει τεθεί σε εφαρμογή στην Ευρώπη στις 4/1/2006. Η οδηγία αποδεικνύει πόσο σημαντική είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Η ενέργεια που καταναλώνεται για τις ανάγκες των κτηρίων αποτελεί περίπου το 40% της παραγόμενης ενέργειας στην Ευρώπη και με την εφαρμογή των παθητικών συστημάτων μπορεί να μειωθεί έως και το 25%. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν, τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτήρια (Μπέρτσιου, 2016).

3.1.2 Ηλιοθερμικά Συστήματα

Τα ηλιοθερμικά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα, τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, είτε μέσω υγρού, είτε μέσω αέρα. Ο μηχανισμός ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης (ηλιακός θερμοσίφωνας), ο οποίος είναι συνήθως εγκατεστημένος στην ταράτσα ή στη στέγη ενός σπιτιού. Περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την επιφάνεια αυτή βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, που συγκεντρώνει τη θερμότητα (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Στην επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται υγρό, που απάγει τη θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Τα συστήματα αυτά θεωρούνται τεχνολογικά αξιόπιστα και αυτόνομα. Η εγκατάστασή τους θεωρείται απλή και με χαμηλό κόστος και εξοικονομούν αρκετά χρήματα. Συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς αποτρέπεται η έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων, που επιβαρύνουν το περιβάλλον και την δημόσια υγεία. Και βέβαια, συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη, καθώς προσφέρουν αρκετές θέσεις εργασίας. Η Ελλάδα είναι δεύτερη, μετά την Κύπρο σε εγκατεστημένους ηλιακούς συλλέκτες ανά κάτοικο (Μπέρτσιου, 2016).

3.1.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι εφικτή μέσω της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Η μετατροπή αυτή γίνεται μέσω της απορρόφησης των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας από ειδικούς ημιαγωγούς τοποθετημένους σε ειδικές φωτοβολταϊκές κυψέλες, τους συλλέκτες.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο με τη χρήση των κατάλληλων μετατροπέων. Το τελικό αποτέλεσμα χρησιμοποιείται για χρήση ή για πώληση (Μπέρτσιου, 2016).

Το ποσοστό μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική εξαρτάται από την τεχνολογία του εκάστοτε φωτοβολταϊκού. Η επιλογή εξαρτάται από τη χρήση του ρεύματος, από το διαθέσιμο χώρο για την εγκατάσταση, αλλά κυρίως από την οικονομική ευχέρεια του χρήστη. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε ως ένα αυτόνομο σύστημα, είτε ως ένα σύστημα διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ. Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι τα εξής: δεν προκαλούν ρύπανση, έχουν αθόρυβη λειτουργία, είναι αξιόπιστα με διάρκεια ζωής περίπου τα τριάντα έτη. Επίσης, είναι ιδανικά για την τροφοδοσία των απομακρυσμένων περιοχών, που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάροι κ.λπ.).

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από: το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη), το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (μπαταρίες) και τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλιακή ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από δίσκους πυριτίου, οι οποίοι βρίσκονται σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες. Η επιφάνεια προς τον ήλιο προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Όλη αυτή η κατασκευή τοποθετείται σε πλαίσιο αλουμινίου και τα εσωτερικά είναι διασυνδεδεμένα εν σειρά και παραλλήλω ανάλογα με την εφαρμογή.

Τα φωτοβολταϊκά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά αντικαθιστώντας ότι χρησιμοποιείται στις προσόψεις, στις οροφές ή ακόμη και στα σκίαστρα. Θα πρέπει βέβαια να πληρούνται στα κτήρια οι κατάλληλες προϋποθέσεις.

3.1.4. Η Κατάσταση στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα πληροί όλες τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η επιφάνεια των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών είναι 2 km^2 . Ο αριθμός αυτός είναι το 50% των συλλεκτών όλης της Ευρώπης και αφορούν μικρά οικιακά συστήματα. Η μέση ημερήσια ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι 4.6 kWh/m^2.

Σημαντικό ρόλο παίζει και ο κτηριακός κλάδος στην Ελλάδα, καθώς μόλις το 3% των 3.5 εκατομμυρίων κτηρίων, που απαριθμεί η Ελλάδα, έχει κατασκευαστεί μετά το 1981, όπου ίσχυε ο κανονισμός της θερμομόνωσης. Η κατανάλωση ενέργειας του κτηριακού τομέα λόγω των κλιματιστικών, έχει αυξηθεί και το ποσοστό του στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα είναι 40%. Άρα, για τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα (Συνδιάσκεψη του Ρίο) θα πρέπει να δοθεί έμφαση στον κτηριακό τομέα.

3.2. Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία ουσιαστικά δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης, προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργεί δηλαδή τους ανέμους, οι οποίοι είναι εκμεταλλεύσιμοι και ανεξάντλητοι, όπως ο ήλιος. Η ενέργεια αυτή είναι ανεξάντλητη και ανανεωνόμενη συνεχώς, και για αυτό το λόγο ονομάζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Το ενδιαφέρον για την αιολική ενέργεια, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, εκδηλώθηκε έντονα τη δεκαετία του ΄70 και ήταν αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσης. Έκτοτε, παρατηρείται μια συνεχώς αυξανόμενη τάση για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.

Αιολική λέγεται η ενέργεια, που παράγεται από τον άνεμο και μετατρέπεται σε αξιοποιήσιμη μηχανική ενέργεια ή και σε ηλεκτρική ενέργεια. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται σήμερα οι ανεμογεννήτριες. Η ενέργεια αυτή αποτελεί την αρχαιότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, εφόσον χρησιμοποιήθηκε στα ιστιοφόρα πλοία αλλά και στους ανεμόμυλους. Και σήμερα, με τις κατάλληλες μεθόδους χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Μαλεβίτη, 2013).

Όταν σε μια περιοχή οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από το μέσο όρο των μετεωρολογικών στοιχείων, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Όπως, είναι λογικό, οι τοποθεσίες που επιλέγονται για να κατασκευαστούν τα αιολικά πάρκα, είναι περιοχές που έχουν το μεγαλύτερο διάστημα πολλούς και ισχυρούς ανέμους, όπως παράκτιες περιοχές και νησιά (Καλδέλλης, 2005). Οι νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας είναι από τις ευνοϊκότερες γεωγραφικές θέσεις παγκοσμίως για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι πολλά (Λευθεριώτης, Τηνιακός, 2017). Αρχικά:

- 1 MW αιολικής ενέργειας καλύπτει τις ανάγκες περίπου 350 οικιακών καταναλωτών και εξοικονομεί περίπου 300 τόνους πετρελαίου.
- 1 GWh αιολικής ενέργειας εξοικονομεί 600 τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).
- Η ποσότητα CO_2 που ελκύεται κατά την κατασκευή και εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας με χρόνο ζωής τα 20 έτη, «αποσβένεται» μέσα στους πρώτους 3 με 6 μήνες λειτουργίας της.
- Οι σύγχρονες αιολικές μηχανές είναι «αθόρυβες».
    I. Σε απόσταση 40 μέτρων από μία ανεμογεννήτρια η στάθμη θορύβου είναι 50-60 dB(A),
    II. Σε απόσταση 200 μέτρων, μειώνεται στα 44 dB(A).

  Συγκριτικά, ο θόρυβος στο εσωτερικό αυτοκινήτου είναι περίπου 80 dB(A), στο εσωτερικό οικίας 50 dB(A) και σε υπνοδωμάτιο 30 dB(A).

- Όσον αφορά στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, όσοι σχεδιάζουν αιολικά πάρκα θα πρέπει να βρίσκονται σε συνεννόηση με τους αρμόδιους φορείς και να τηρούν τη νομοθεσία, η οποία προβλέπει ότι τα αιολικά πάρκα πρέπει να κατασκευάζονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από οικισμούς, ακριβώς για να μην υπάρχουν προβλήματα παρεμβολών (ΚΑΠΕ, 1997).

Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργούν οι ανεμογεννήτριες λόγω των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών, είναι οι θάνατοι πουλιών και η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων. Για αυτό ορίζεται από τη νομοθεσία, ότι θα πρέπει τα πάρκα να μην κατασκευάζονται σε περιοχές προστασίας πουλιών, περιοχές RAMSAR ή περιοχές ευαίσθητες οικολογικά.

Το 1999 έγιναν μελέτες στην Δανία, οι οποίες δείχνουν ότι τα πουλιά τείνουν να αλλάζουν την τροχιά πτήσης τους 100-200 μέτρα πριν από τις ανεμογεννήτριες και να πετάνε σε ασφαλή απόσταση από αυτές (European Commission, 1999). Είδη που ενδημούν στην ευρύτερη περιοχή του αιολικού πάρκου, συχνά συνηθίζουν την ύπαρξη του και πλησιάζουν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει και ο αντίλογος, που προβάλλει τις ευεργετικές επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα από τη δημιουργία αιολικών πάρκων. Επίσης, η παρουσία φύλακα στο πάρκο μπορεί να αποτρέψει π.χ. τη λαθροθηρία στην περιοχή, προστατεύοντας τα πουλιά.

Θα πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο, η ύπαρξη πλωτών αιολικών πάρκων, ήδη σε δύο χώρες, τη Δανία και τη Γερμανία, σε ανοικτή θάλασσα. Ο στόχος της ΕΕ είναι να κατασκευάσει 12 πλωτά αιολικά πάρκα, τα οποία θα είναι οικονομικά βιώσιμα έως το 2020. Με τα πλωτά αιολικά πάρκα θα ελαχιστοποιηθούν οι μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των επίγειων αιολικών πάρκων.

Ακόμη πιο ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση των υβριδικών αιολικών–υδροηλεκτρικών πάρκων, τα οποία βασίζονται σε μία πολύ απλή ιδέα. Επειδή ο αέρας είναι στιγμιαίο φαινόμενο, το οποίο μεταβάλλεται πολύ γρήγορα σε σχέση με το χρόνο, στις περιπτώσεις όπου η παραγόμενη ενέργεια δεν απορροφάται, μπορεί να χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από ένα ταμιευτήρα γλυκού ή αλμυρού νερού, προς ένα υψηλότερο σημείο, όπου θα αποθηκεύεται και θα παρέχει υδροηλεκτρική ενέργεια, όταν υπάρχει ζήτηση. Τέτοια έργα ήδη υπάρχουν στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Κρήτη και στην Ικαρία.

3.2.1 Ανεμογεννήτριες

Τα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, των οποίων ο έλικας (δρομέας-ρότορας του μοτέρ) βρίσκεται σε θέση παράλληλη με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.
- οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, των οποίων ο έλικας (δρομέας-ρότορας του μοτέρ) παραμένει σταθερός και κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

Έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα γιατί έχουν την καλύτερη αποδοτικότητα, όταν είναι σωστά σχεδιασμένες, αν και οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, λόγω του τρόπου κατασκευής τους, "πιάνουν" τον αέρα από κάθε κατεύθυνση.

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιούνται οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Οι ανεμογεννήτριες αποτελούνται από το δρομέα, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, την ηλεκτρογεννήτρια, τον πύργο, τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου (Μπαλάρας κ.α., 2006).

- Το δρομέα (ρότορας), ο οποίος έχει δύο ή τρία πτερύγια και σπανίως μπορεί και ένα, κατασκευασμένα από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη με δύο τρόπους, είτε σταθερά, είτε με δυνατότητα περιστροφής γύρω από το διαμήκη άξονα τους. Είναι το σημαντικότερο τμήμα της ανεμογεννήτριας, καθώς εκεί γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική. Είναι κατασκευασμένα από υαλονήματα και ρητίνες, έτσι ώστε να αντέχουν σε μεγάλες καταπονήσεις.
- Το θάλαμο, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του πύργου και περιέχει τα μηχανικά μέρη της ανεμογεννήτριας, όπως είναι ο κύριος άξονας, το σύστημα πέδησης, το κιβώτιο ταχυτήτων και η ηλεκτρογεννήτρια.
    I. Την ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μπορεί να είναι: σύγχρονη ή επαγωγική, με 4 ή 6 πόλους και συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού στροφών μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου.
    II. Το σύστημα πέδησης, ένα συνηθισμένο δισκόφρενο, το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- Τα σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το οποίο αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- Τον πύργο, επάνω στον οποίο υπάρχει όλη η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως κατασκευασμένος από χάλυβα, είναι σωληνωτός ή δικτυωτός, ενώ το ύψος του είναι τέτοιο, ώστε ο δρομέας να δέχεται την αδιατάρακτη από το έδαφος ροή του ανέμου.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας (http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm).

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το αιολικό δυναμικό της περιοχής και το μέγεθος της είναι συνάρτηση της ζήτησης.

Σήμερα, οι δύο πιο ισχυρές ανεμογεννήτριες στον κόσμο βρίσκονται στις ακτές της Σκωτίας. Εγκαταστάθηκαν 11 ανεμογεννήτριες στον κόλπο του Αμπερτίν, δύο εκ των οποίων αναβαθμίστηκαν, φτάνοντας ισχύ ρεκόρ 8.8 MW. Συνολικά, η εγκατάσταση μπορεί να παράγει 93.2 MW, τα οποία μπορούν να καλύψουν το 70% των εγχώριων αναγκών του πληθυσμού (230 χιλιάδες) της πόλης του Αμπερτίν.

Οι δύο αυτές ανεμογεννήτριες, αποτελούν ορόσημο για το Ευρωπαϊκό Κέντρο Εγκατάστασης Αιολικής Υπεράκτιας Ενέργειας (EOWDC) και συμβάλλουν στην επίτευξη μιας οικονομίας χωρίς ορυκτά καύσιμα εντός του χρονικού ορίζοντα μιας και μόνο γενιάς, σύμφωνα με τη δήλωση του Γκούναρ Γκρέμπλερ, του επικεφαλής της εταιρείας Vattenfall (https://ecopress.gr/?p=8142).

Ο λόγος που το μέγεθος της ανεμογεννήτριας είναι πολύ σημαντικό, είναι γιατί όσο αυξάνεται το ύψος, τόσο αυξάνεται η παραγωγή καθαρής ενέργειας. Για κάθε επιπλέον μέτρο που έχει μία ανεμογεννήτρια, η ετήσια παραγωγή ενέργειας αυξάνεται κατά 0.5% έως 1%, λόγω των μειωμένων αναταράξεων και των υψηλότερων ταχυτήτων των ανέμων.

3.2.2 Εξέλιξη και Προοπτικές της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα

Παρόλο που η Ελλάδα είναι μια από τις πρώτες χώρες του κόσμου, στις οποίες τοποθετήθηκαν ανεμογεννήτριες, το 1986-87 (με ισχύ 0.8 MW), η συνέχεια δεν ήταν ανάλογη. Το 1990 η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ήταν μόλις 1.5 MW, το 1991 ήταν 3.9 MW, για να κλείσει η τελευταία δεκαετία του 20ου αιώνα με μόλις 106.8 MW το 1999.

Το 2000 ξεκίνησε δυναμικά, με την τοποθέτηση από 50 έως 100 MW το έτος, ενώ την τριετία 2005-2007 τοποθετούνταν πάνω από 120-150 MW το έτος. Επενδύσεις εν μέσω της κρίσης έγιναν τη διετία 2010 (180 MW εγκαταστάθηκαν εκείνη τη χρονιά) και 2011, όπου τέθηκαν σε λειτουργία 310 MW αιολικής ενέργειας.

3.3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στη ζωή των ανθρώπων κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα -παρόλο που τη χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος από την αρχαία περίοδο- και βοήθησε στην ώθηση της βιομηχανικής ανάπτυξης. Ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός χτίστηκε το 1882 στο Appleton του Wisconsin, παρήγαγε 12.5 kW και παρείχε φως σε δύο χαρτοβιομηχανίες και ένα σπίτι.

Στην Ελλάδα, το πρώτο φράγμα κατασκευάστηκε στην αρχαία Αλυζία (μεταξύ 1ου και 5ου αιώνα π.Χ.).

Το φράγμα του Μαραθώνα, το οποίο κατασκευάστηκε από την ΕΥΔΑΠ το 1931, ήταν το πρώτο σύγχρονο φράγμα. Η πολιτεία άρχισε να ενδιαφέρεται για την κατασκευή φραγμάτων στη Ελλάδα από τα μέσα της δεκαετίας του ’60.

Υδροηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από τη δύναμη του νερού στη φύση. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος χρήσης της είναι μέσω των υδατοπτώσεων αλλά και των φραγμάτων. Βασίζεται στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας των επιφανειακών υδάτων, με μετατροπή της αρχικά σε κινητική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Όταν το νερό είναι αποταμιευμένο σε μεγάλα υψόμετρα περικλείει μέσα του δυναμική ενέργεια, την οποία αποδίδει στη συνέχεια μέσω της υδατόπτωσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, που στηρίζεται στην εκμετάλλευση των ποταμών και των τεχνητών ή φυσικών φραγμάτων. Την υδραυλική μορφή ενέργειας χρησιμοποιούσαν αρκετούς αιώνες πριν για παραγωγή ενέργειας, με πιο αντιπροσωπευτικό ίσως παράδειγμα αυτό των νερόμυλων. Σήμερα, η εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας για την παραγωγή κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσα από τα υδροηλεκτρικά έργα (Macknick, 2011).

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (ταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) και παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια μεγάλης και μικρής κλίμακας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια μικρής κλίμακας διαφέρει σημαντικά από αυτή της μεγάλης, σε ό,τι αφορά στις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες μεγάλης κλίμακας απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και στο περιβάλλον. Ενώ αντίθετα, οι μικρής κλίμακας (μικρότερες των 30 MW) κατασκευάζονται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια μειώνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν επιβαρύνει το περιβάλλον και παρέχεται από τη φύση με περίσσεια. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια είναι πολύ αποδοτικά και δεν έχουν εκπομπές ρύπων γιατί δεν εξαρτώνται από τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης, το κόστος συντήρησης είναι ιδιαίτερα χαμηλό, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ποιοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που προέρχονται από μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι τα ακόλουθα:

- οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μπορούν να τεθούν σε λειτουργία, αμέσως μόλις χρειαστεί, ενώ για τους θερμικούς σταθμούς απαιτείται περισσότερος χρόνος αλλά και προετοιμασία,
- είναι μία καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τη χρήση της οποίας προστατεύεται το περιβάλλον,
- μέσω των ταμιευτήρων μπορούν να καλυφθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων κ.α.

Τα μειονεκτήματα καταγράφονται μόνο στα έργα μεγάλης κλίμακας και είναι:

- Το μεγάλο κόστος που απαιτείται για την κατασκευή των φραγμάτων και της εγκατάστασης εξοπλισμού.
- Ο χρόνος που απαιτείται για την κατασκευή του έργου.
- Η αξιοσημείωτη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής που γίνεται το έργο, όσον αφορά στην πανίδα και τη χλωρίδα. Επίσης, έχουν καταγραφεί στις περιοχές αυτές, αλλαγές του μικροκλίματος αλλά και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

- Τα έργα μεγάλης κλίμακας θεωρούνται ανανεώσιμα αλλά όχι ήπια, δεδομένου ότι αλλοιώνουν σημαντικά το περιβάλλον. Υπάρχουν, όμως και περιπτώσεις, όπου έργα μεγάλης κλίμακας, όπως η περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα, όπου αλλοίωσαν το περιβάλλον σε μεγάλο βαθμό, αλλά μετέτρεψαν το μειονέκτημα σε πλεονέκτημα. Η λίμνη που προέκυψε από το φράγμα, λόγω του κατακλυσμού από ύδατα της περιοχής, δημιούργησε ένα καινούργιο υγροβιότοπο, ο οποίος μετατράπηκε σε τουριστικό θέρετρο, δίνοντας ταυτόχρονα νέες αρδευτικές δυνατότητες στα περίχωρα της περιοχής.

Για αυτούς τους λόγους, η διεθνής επιστημονική κοινότητα προσανατολίζεται στην κατασκευή έργων μικρής κλίμακας, όπως και στην κατασκευή μικρότερων φραγμάτων.

3.3.1 Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι μετατρέπουν την ενέργεια του νερού, που πέφτει από κάποιο ύψος, σε ισχύ περιστρεφόμενου άξονα και διακρίνονται σε υδροστροβίλους δράσεως και σε υδροστροβίλους αντιδράσεως, ανάλογα με το βαθμό αντιδράσεως της στροβιλομηχανής.

Ως βαθμός αντιδράσεως μίας βαθμίδας στροβιλομηχανής, ορίζεται ο λόγος της μεταβολής της στατικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της πτερωτής, προς τη συνολική μεταβολή της στατικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου από τη βαθμίδα. Όταν η στατική πίεση μεταξύ εισόδου και εξόδου της πτερωτής μεταβάλλεται, τότε η πτερωτή ονομάζεται αντιδράσεως, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, ονομάζεται δράσεως.

Συνεπώς, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί αξονοσυμμετρικά και η στατική πίεση μεταβάλλεται μεταξύ εισόδου και εξόδου της πτερωτής, ενώ οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι μερικής προσβολής, και σε κάθε χρονική στιγμή μόνο ένα τμήμα της πτερωτής συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή.

Επίσης, έχουμε υδροστρόβιλους μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους, ανάλογα το μέγεθος του υδραυλικού ύψους (Κατερινόπουλος, 2007). Στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνδυαστικά οι πιο συνήθεις τύποι υδροστροβίλων, για τις διάφορες κατηγορίες που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση Υδροστροβίλων (Πηγή: Κατερινόπουλος, 2007)

	Μεγάλο Υδρ. Ύψος	Μεσαίο Υδρ. Ύψος	Μικρό Υδρ. Ύψος
Στρόβιλοι Δράσεως	Pelton Turgo	Cross-Flow (or Banki) Pelton Πολλαπλών Δέσμεων Υγρού Turgo	Cross-Flow (or Banki)
Στρόβιλοι Αντιδράσεως		Francis	Αξονικής Ροής Βολβοειδής Kaplan

3.3.1.1 Υδροστρόβιλοι Δράσεως

Οι υδροστρόβιλοι δράσεως χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις μεγάλου υδραυλικού ύψους και μικρής τιμής παροχής νερού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός, ότι σε αυτήν την περίπτωση, η μεγάλη ταχύτητα του νερού, εξαιτίας του μεγάλου υδραυλικού ύψους, επικεντρώνει τη διαθέσιμη υδραυλική ισχύ σε μια μικρή περιοχή ροής. Έτσι, η συγκεντρωμένη αυτή ισχύς μετατρέπεται πιο αποδοτικά, αφού κατευθυνθεί μέσω ενός ή περισσότερων δέσμεων νερού, που προσπίπτουν πάνω στο δρομέα, ο οποίος μειώνει σημαντικά την ταχύτητά τους. Η βέλτιστη απόδοση ενός υδροστροβίλου δράσεως προκύπτει, όταν η ταχύτητα του δρομέα είναι περίπου ίση με τη μισή της ταχύτητας της δέσμης νερού, καθώς η τελευταία εγκαταλείπει το ακροφύσιο που την οδήγησε.

Ένα πλεονέκτημα των υδροστρόβιλων δράσεως, σε σχέση με τους υδροστρόβιλους αντιδράσεως, είναι το ότι εφόσον το υδραυλικό ύψος μετατρέπεται σε ταχύτητα στα ακίνητα ακροφύσια, δεν υπάρχει πτώση πίεσης στο δρομέα, οπότε δεν είναι απαραίτητη η στεγανοποίηση στα ανοίγματα μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου. Το γεγονός αυτό καθιστά τους υδροστρόβιλους δράσεως πιο απλούς στο να κατασκευαστούν και ταυτόχρονα πιο ανεκτικούς σε συνθήκες μη καθαρού νερού. Οι πιο βασικοί τύποι υδροστρόβιλων δράσεως είναι οι υδροστρόβιλοι Pelton, Turgo και CrossFlow (Αγγελίδης, 2015).

3.3.1.2 Υδροστρόβιλος Pelton

Ο μόνος τύπος υδροστρόβιλου δράσεως, που έχει επικρατήσει είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton, ο οποίος πήρε το όνομα του από το δημιουργό του, που τον εφηύρε το 1889. Το τμήμα εισόδου του αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια, τα οποία λόγω της διαμόρφωσής τους, δεσμεύουν σχεδόν το 100% της κινητικής ενέργειας του ρευστού σε χαμηλές ταχύτητες, επιτυγχάνοντας έτσι σταθερό υψηλό βαθμό απόδοσης σε όλο το πεδίο της λειτουργίας τους.

Ταυτόχρονα, αυξάνοντας τον αριθμό των ακροφύσιων, τα οποία μπορούν να φτάσουν το μέγιστο έξι, αυξάνεται και η δέσμευση ενέργειας του ρευστού και συνεπώς η απόδοση του υδροστρόβιλου. Το πεδίο λειτουργίας του αφορά μανομετρικά από 30–1500 m και παροχές 0.01–5 m^3/sec. Η απόδοση του είναι της τάξης του 90% (Αγγελίδης, 2015).

3.3.1.3 Υδροστρόβιλος Turgo

Ο υδροστρόβιλος Turgo αποτελεί παραλλαγή του υδροστρόβιλου Pelton και η εφαρμογή του έχει σχεδόν εκλείψει. Λειτουργεί με υψηλότερες παροχές, σε χαμηλότερα μανομετρικά, και παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση. Στην πραγματικότητα, η πτερωτή Turgo είναι η πτερωτή Pelton κομμένη στη μέση, επομένως μια πτερωτή Turgo θα έχει διπλάσια διατομή από μία πτερωτή Pelton ίδιας ισχύος. Το πεδίο λειτουργίας της αφορά μανομετρικά από 30–400 m και παροχές 0.02–8 m^3/sec.

3.3.1.4 Υδροστρόβιλος CrossFlow

Ο υδροστρόβιλος CrossFlow (ή Banki) δημιουργήθηκε για τη διαχείριση μεγαλύτερων παροχών νερού και μικρότερου υδραυλικού ύψους, συγκριτικά με τον υδροστρόβιλο Pelton. Χρησιμοποιεί ένα ορθογωνικής διατομής ακροφύσιο μεγαλύτερου μήκους, που οδηγεί το νερό καμπυλωτά σε έναν κυλινδρικού σχήματος δρομέα. Το νερό επιβραδύνεται σε δύο στάδια, συναντώντας τα πτερύγια του δρομέα δύο φορές, καθώς διέρχεται σε αυτόν οριζόντια. Η σχεδίαση μεγαλύτερου μήκους, όσον αφορά στο δρομέα και το ακροφύσιο εισόδου, αυξάνει τη χωρητικότητα για παροχή του υδροστρόβιλου, επιτρέποντας έτσι τη διαχείριση μικρότερων τιμών υδραυλικού ύψους (H<100 m). Το εύρος παροχών που καλύπτει είναι μεταξύ 0.04–10 m^3/sec. Ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου CrossFlow, κυρίως λόγω της περισσότερο πολύπλοκης διαδρομής της ροής, κυμαίνεται σε τιμές γύρω στο 65%.

3.3.2 Υδροστρόβιλοι Αντιδράσεως

Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως χρησιμοποιούνται σε μικρότερα υδραυλικά ύψη, σε σχέση με τους υδροστρόβιλους δράσεως, και σε μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού, αν και υπάρχουν αρκετές τέτοιες περιπτώσεις στην πράξη, που και οι δύο τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Ένα από τα πλεονεκτήματά τους είναι, ότι επιτυγχάνουν καλούς βαθμούς απόδοσης. Καθώς, όμως λειτουργούν με εφαρμογή του υδραυλικού ύψους εγκάρσια στο δρομέα, επιβάλλεται η στεγανοποίηση στα ανοίγματα μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου, διότι εξαιτίας της διαρροής, δημιουργείται σημαντική απώλεια ισχύος. Έτσι, οι επιδόσεις και η απόδοσή τους μπορεί να υποβαθμιστούν, αφού η άμμος και τα κατακάθια λάσπης προκαλούν μεγαλύτερη τριβή στη στεγάνωση, σε σχέση με τους υδροστρόβιλους δράσεως.

Για εφαρμογές μικρού υδραυλικού ύψους, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως προσφέρουν μικρότερες διαμέτρους στροβίλου και μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής, σε σχέση με τους παραδοσιακούς υδροστρόβιλους δράσεως.

Από την άλλη, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως απαιτούν μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού, εξαιτίας του μικρού υδραυλικού ύψους (Κατερινόπουλος, 2007). Οι πιο βασικοί τύποι υδροστρόβιλων αντιδράσεως είναι οι υδροστρόβιλοι Francis, Kaplan, οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής και οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι.

3.3.2.1 Υδροστρόβιλος Francis

Ο τύπος αυτός υδροστρόβιλου αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Αμερικανό μηχανικό J. B. Francis το 1849. Η απόδοση της λειτουργίας του μπορεί να φθάσει και το 90%. Τα κύρια μέρη ενός υδροστρόβιλου Francis (Αγγελίδης, 2015) είναι:

- Σπειροειδές κέλυφος: Με σκοπό την επίτευξη της ομοιόμορφης τροφοδοσίας και λειτουργίας, το νερό καθώς εξέρχεται από τον αγωγό προσαγωγής εισέρχεται εντός του σπειροειδούς κελύφους, το οποίο περιβάλει πλήρως το δρομέα. Η διατομή του σπειροειδούς κελύφους μειώνεται κατά μήκος της ροής, έτσι ώστε να διατηρείται, όσο το δυνατόν σταθερή η ταχύτητα του νερού.

- Οδηγά πτερύγια: Μέσα στο σπειροειδές κέλυφος το νερό είναι υποχρεωμένο να περάσει μέσα από τα ακίνητα (οδηγά) πτερύγια, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια του δρομέα. Κάθε πτερύγιο μπορεί να περιστρέφεται περί του άξονά του. Σκοπός αυτής της περιστροφής, είναι ο έλεγχος της εισερχόμενης παροχής εντός των πτερυγίων του δρομέα και συνεπώς ο έλεγχος της παρεχόμενης ισχύος.
- Δρομέας: Αποτελείται από μια σειρά καμπυλωμένων πτερυγίων, τα οποία είναι συμμετρικά κατανεμημένα και προσαρμοσμένα επί της περιφέρειας. Εκτείνονται μεταξύ της πλήμνης και της στεφάνης στην οποία είναι πακτωμένα. Αυξάνεται έτσι, η μηχανική στιβαρότητα της κατασκευής και η αντοχή στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια από τη διερχόμενη ροή. Τα πτερύγια είναι διαμορφωμένα, ούτως ώστε το νερό να εισέρχεται στο δρομέα ακτινικά και στο ύψος της εξωτερικής περιφέρειας και να εξέρχεται απ' αυτόν κατά την αξονική διεύθυνση και στο ύψος της εσωτερικής περιφέρειας.
- Αγωγός Εξόδου: Το νερό βγαίνει μέσα από το δρομέα κατά την αξονική κατεύθυνση και αποχωρεί από τον υδροστρόβιλο διαμέσου του αγωγού φυγής. Στην πράξη, η πλειοψηφία των υδροστρόβιλων Francis έχουν την άτρακτο σε κατακόρυφη θέση.

Οι υδροστρόβιλοι Francis μπορούν να τοποθετηθούν είτε οριζόντια είτε κάθετα και μπορούν να επιτύχουν πολύ καλό βαθμό απόδοσης, ακόμα και για παροχές ίσες με το 50% αυτής της σχεδίασης.

3.3.2.2 Υδροστρόβιλος Kaplan

Οι υδροστρόβιλοι Kaplan αποτελούν μια εξέλιξη του υδροστρόβιλου Francis, προκειμένου να γίνει δυνατή η παραγωγή ισχύος σε μεγάλες παροχές και μικρά μανομετρικά ύψη και παρουσιάζει σταθερή απόδοση σε μεγάλο εύρος λειτουργίας. Το πεδίο λειτουργίας της αφορά μανομετρικά κάτω από 50 m και παροχές 0.5–50 m^3/sec.

3.3.2.3 Υδροστρόβιλος Αξονικής Ροής

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία υδροστρόβιλων, που έχουν ως κοινό τους χαρακτηριστικό τη χρήση ενός δρομέα σχήματος προπέλας. Είναι κυρίως αξονικής ροής, που σημαίνει ότι η ροή του νερού είναι συνέχεια παράλληλη στον άξονα του στροβίλου, μιας και η γωνία κλίσης των πτερυγίων του ρότορα δε μεταβάλλεται.

Ο δρομέας μοιάζει με την προπέλα ενός σκάφους, αν και υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους, καθώς η προπέλα ενός σκάφους δε λειτουργεί μέσα σε ένα κέλυφος με πίεση, ενώ ο δρομέας αυτού του τύπου υδροστρόβιλου λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν στην πράξη πολλές περιπτώσεις, όπου τροποποιήθηκε κατάλληλα η προπέλα σκάφους, ώστε να λειτουργήσει ως δρομέας υδροστρόβιλου αξονικής ροής, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με το κόψιμο των καμπυλωτών ακμών στο τέλος των πτερυγίων.

Μία συνήθης τιμή του βαθμού απόδοσης των υδροστρόβιλων αυτών είναι αυτή του 50%, που είναι ιδιαίτερα χαμηλή, αλλά υπάρχει ένα μικρό εύρος παροχών, για τις οποίες οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής επιτυγχάνουν ιδιαίτερα καλή τιμή του βαθμού απόδοσης και υψηλή ειδική ταχύτητα. Γενικά όμως, όσο η τιμή της παροχής μειώνεται, τόσο πέφτει και αυτή του βαθμού απόδοσης.

3.3.2.4 Βολβοειδείς Υδροστρόβιλοι

Οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι είναι κατάλληλοι για μικρά υδραυλικά ύψη και για μεγάλο φάσμα φορτίων. Ουσιαστικά, έχουν αντικαταστήσει σήμερα τους υδροστρόβιλους Kaplan για μικρές τιμές του υδραυλικού ύψους, για τις οποίες η ταχύτητα της γεννήτριας πρέπει να αυξάνεται. Αυτό γίνεται επειδή η ευθεία σχεδίαση της διόδου του νερού βελτιώνει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής, μειώνοντας το μέγεθος, αλλά και το κόστος. Τέλος αξίζει να αναφερθεί, ότι οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε εγκαταστάσεις κοντά σε σημεία, όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο της παλίρροιας.

3.3.3 Χρήση Φυγοκεντρικών Αντλιών ως Υδροστρόβιλοι

Όταν η ροή μιας φυγοκεντρικής αντλίας αντιστρέφεται, εφαρμόζοντας υδραυλικό ύψος στο ακροφύσιο εξόδου, η αντλία μετατρέπεται σε υδροστρόβιλο (Κατερινόπουλος, 2007). Οι αντλίες κατασκευάζονται συνήθως σε μεγαλύτερες ποσότητες, τυποποιημένες και έτσι το κόστος τους είναι σημαντικά μικρότερο έναντι αυτού των υδροστρόβιλων. Το αν αξίζει, όμως να χρησιμοποιηθεί αντλία αντί για υδροστρόβιλο, θα πρέπει να αποφασιστεί λαμβάνοντας υπόψιν όχι μόνο το κόστος, αλλά και την ηλεκτρική ισχύ που παράγεται, σε σχέση με αυτή που θα παραγόταν αν λειτουργούσε υδροστρόβιλος με τις ίδιες συνθήκες ύψους και παροχής, και φυσικά τέλος πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ο βαθμός απόδοσης. Όταν η αντλία χρησιμοποιείται ως υδροστρόβιλος, προκειμένου να λειτουργεί στην επιθυμητή ταχύτητα, οι τιμές του υδραυλικού ύψους και της παροχής πρέπει να αυξηθούν σε σχέση με αυτές που έχουν υπολογιστεί για μια κανονική χρήση της αντλίας.

Ένα σύνηθες λάθος, κατά τη χρησιμοποίηση μιας αντλίας ως υδροστρόβιλο, είναι το να επιλεχθεί η αντλία από ένα κατάλογο αντλιών με βάση την καμπύλη απόδοσής της, χωρίς να υπολογιστούν οι μεταβολές που θα υπάρξουν όταν αυτή λειτουργήσει ως υδροστρόβιλος, αφού οι κατάλογοι αντλιών αναφέρονται αποκλειστικά στην κανονική χρήση των αντλιών που περιγράφουν. Έτσι η αντλία θα αποτύχει να λειτουργήσει κατάλληλα ως υδροστρόβιλος στην εγκατάσταση.

4 Άλλες Μορφές Ενέργειας

4.1 Γεωθερμική Ενέργεια

Γεωθερμική ενέργεια ή γεωθερμία ονομάζεται η φυσική θερμική ενέργεια, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και διαρρέεται στην επιφάνειά της. Η θερμοκρασία της γεωθερμικής ενέργειας, κυμαίνεται από 25 ^{o}C έως 350 ^{o}C ανάλογα με την περιοχή και χωρίζεται σε τρεις περιπτώσεις ανάλογα με τους βαθμούς θερμότητας. Έτσι, (Kagel, 2008):

- όταν η θερμοκρασία της είναι μεγαλύτερη από 150 ^{o}C, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- όταν η θερμοκρασία της κυμαίνεται από 80-150 ^{o}C, χρησιμοποιείται στη ξήρανση των αγροτικών προϊόντων και της ξυλείας,
- ενώ τέλος, όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από 25–80 ^{o}C χρησιμοποιείται κυρίως στην οικιακή θέρμανση, στα θερμοκήπια και στις ιχθυοκαλλιέργειες.

Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα διοχετεύεται στην επιφάνεια της γης με φυσικό τρόπο, δηλαδή θερμοπίδακες και πηγές ζεστού νερού. Παράδειγμα είναι η χώρα της Ισλανδίας, όπου καλύπτεται το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών και το 20%, όσον αφορά στον ηλεκτρισμό, από τη γεωθερμική ενέργεια.

Όσον αφορά στην οικιακή χρήση, η θερμοκρασία της γης κάτω από το έδαφος είναι σταθερή 18-20° C, άρα είναι εύκολη η θέρμανση ή η ψύξη ενός κτίσματος με τη χρήση μίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε υβριδικά συστήματα, μαζί με ηλιοθερμικά.

4.2 Ενέργεια από Βιομάζα

Κάθε υλικό το οποίο παράγεται από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς (όπως ξύλο, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και χρησιμοποιείται για να παράγει ενέργεια, ονομάζεται βιομάζα και είναι μια δευτερογενής μορφή ηλιακής ενέργειας.

Αναλυτικότερα, η βιομάζα που προέρχεται από τους φυτικούς οργανισμούς είναι η μεταβολή της ηλιακής ενέργειας μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Ενώ, όσον αφορά στους ζωικούς οργανισμούς, είναι ο μετασχηματισμός των φυτικών τροφών σε ζωικά απόβλητα. Εκτός από την αιολική, θεωρείται και αυτή από τις αρχαιότερες μορφές ΑΠΕ, καθώς ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε τα ξύλα για να θερμανθεί. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή βιοαερίου και βιοαιθανόλης (Seachinger et al., 2008).

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης.

Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και ο άνθρακας, τα οποία είναι άφθονα στη φύση. Η μοναδική φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα είναι η βιομάζα. Για να δημιουργηθεί η βιομάζα χρειάζεται μία σύντομη χρονική περίοδος και γι' αυτό το λόγο θεωρείται ανανεώσιμη. Βασικό της πλεονέκτημα εκτός του ότι είναι ανανεώσιμη, είναι ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Επίσης, κατά την παραγωγή της δε δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα, γιατί οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας, δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.

Ο λόγος που δεν είναι διαδεδομένος αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας, είναι γιατί το κόστος μετατροπής της σε άλλες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό. Παρ' αυτά θα πρέπει να θεωρείται μία μορφή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές στο μέλλον, καθώς η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας. Άρα, η αξιοποίησή της συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από άλλα εισαγόμενα καύσιμα, στη μείωση της ανεργίας, στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος και εξασφαλίζει τον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας μας.

Η βιομάζα χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση, για θέρμανση κτηρίων και θερμοκηπίων και για παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες, σε βιομηχανίες ξύλου και σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

4.3 Υδροκινητική Ενέργεια (Ενέργεια από τη θάλασσα)

Η ενέργεια που προέρχεται από τα κύματα, τις παλίρροιες και τους ωκεανούς, ονομάζεται υδροκινητική ενέργεια. Η ενέργεια από τα κύματα εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας. Η ενέργεια από παλίρροιες εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, η οποία προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Και τέλος, η ενέργεια από τους ωκεανούς εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού.

Σε ορισμένα μέρη του πλανήτη μας συναντάται το φαινόμενο της παλίρροιας, δηλαδή η σταδιακή διαφοροποίηση της στάθμης του θαλάσσιου ύδατος. Τα νερά των θαλασσών κάνουν δύο κινήσεις καθημερινά, οι οποίες ονομάζονται άμπωτη και πλημμυρίδα. Πλημμυρίδα ονομάζεται η κίνηση του νερού προς τα πάνω, ενώ η αντίθετη κίνηση του νερού προς το βυθό ονομάζεται άμπωτη. Το εύρος και η διάρκεια της παλίρροιας ποικίλει από τόπο σε τόπο, καθώς εξαρτάται από τη μορφολογία του πυθμένα.

Η θαλάσσια επιφάνεια απορροφά τεράστιες ποσότητες ηλιακής και αιολικής ενέργειας, η οποία εμφανίζεται στη θάλασσα σε διάφορες μορφές, όπως κύματα ή ρεύματα. Η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων είναι έμμεση μορφή ηλιακής ενέργειας. Ο άνεμος, όταν διέρχεται ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μεταφέρει μέρος της ενέργειας του σε αυτή, δημιουργώντας τα κύματα.

Ο ανεμογενής κυματισμός παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση. Μια τέτοια μορφή ενέργειας έχει και τα περισσότερα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, αμελητέα ρύπανση, αποκέντρωση παραγωγής, απεξάρτηση από εισαγόμενη ενέργεια, ανάπτυξη ακόμη και των απομακρυσμένων περιοχών, μείωση ανεργίας, οικονομική βελτίωση κ.λπ. Εν αντιθέσει, με άλλες ανανεώσιμες πηγές δεν είναι απαραίτητη η δέσμευση γης, ενώ η οπτική και ακουστική όχληση είναι μηδαμινή, ειδικά για υπεράκτιες ή υποβρύχιες εγκαταστάσεις. Σημαντικό επίσης είναι, ότι η πιο παραγωγική περίοδος της θάλασσας είναι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, τότε δηλαδή που υπάρχει η μεγαλύτερη ανάγκη για ενέργεια.

Πολλές είναι οι προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας για την εκμετάλλευση των κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά το υψηλό κόστος εγκατάστασης και το πολύπλοκο τεχνολογικά έργο, λόγω του αντίξοου περιβάλλοντος, καθιστούν πολύ δύσκολο, τουλάχιστον ακόμη, αυτό το εγχείρημα.

Οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη και είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Εκτός από τη μηχανική ενέργεια των ανεμογενών κυμάτων, των παλιρροιακών κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων, υπάρχει τεράστιο απόθεμα θερμικής ενέργειας, με τη μορφή θερμότητας. Οι ωκεανοί της γης δέχονται ηλιακή ακτινοβολία, από την οποία το μεγαλύτερο μέρος μετατρέπεται και αποθηκεύεται ως θερμική ενέργεια.

Το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας. σε σχέση με το νερό στον πυθμένα της θάλασσας, έχει μία διάφορα θερμοκρασίας της τάξεως των 21 ^{o}C . Ακόμη και αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά, μπορεί να αποτελέσει πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον d’ Arsoval το 1881.

Πρέπει να τονίσουμε, ότι η ενέργεια της θάλασσας είναι τόσο μεγάλη, ώστε αν μπορούσε να εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος το 1% αυτής, θα ήταν εφικτό να καλυφθούν τέσσερις φορές οι ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη. Βέβαια, επειδή το περιβάλλον που πρέπει να τοποθετηθεί ο ειδικός εξοπλισμός, για να έχουμε αυτά τα εντυπωσιακά αποτελέσματα, χαρακτηρίζεται από αντίξοες συνθήκες, γι’ αυτό σήμερα αποτελεί την πιο ακριβή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Λίγες είναι οι χώρες που εκμεταλλεύονται την ενέργεια αυτή, όπως η Αγγλία και η Πορτογαλία.

Η Ελλάδα έχοντας τη μακρύτερη ακτογραμμή στην ΕΕ (περίπου 13700 km) έχει ένα τεράστιο φυσικό πλεονέκτημα και για αυτό το λόγο, αποτελεί φαινόμενο άμεσου ενδιαφέροντος. Το Αιγαίο Πέλαγος, είναι μια ιδανική τοποθεσία, γιατί διαθέτει το υψηλότερο θαλάσσιο ενεργειακό δυναμικό της Μεσογείου, με την εκμετάλλευση του οποίου μπορεί να καλυφθεί σημαντικότατο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων της χώρας (Clifton-Brown, Lewandowski, 2000).

5 Αξιοποίηση ΑΠΕ

5.1 Πώς προέκυψε η ανάγκη για την αξιοποίηση των ΑΠΕ

Οικονομικοί και περιβαλλοντικοί είναι οι λόγοι που οδήγησαν την παγκόσμια κοινότητα στην αναζήτηση μεθόδων αξιοποίησης των ΑΠΕ. Οικονομικά, μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του ΄70, όπου η διεθνής τιμή του πετρελαίου έφτασε στο ανώτατο σημείο της (80 δολάρια το βαρέλι), τα κράτη προσπάθησαν να βρουν τρόπους να μην εξαρτούνται σε τόσο μεγάλο βαθμό από τις ακριβές παραδοσιακές μορφές ενέργειας του πετρελαίου και του άνθρακα. Και περιβαλλοντικά, τόσο η προοπτική της εξάντλησης των αποθεμάτων, όσο και οι τραγικά επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κλίμα, ανάγκασαν τα κράτη να αναζητήσουν εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Ύστερα από μελέτη, διαπιστώθηκε ότι οι ΑΠΕ δεν επιβαρύναν το περιβάλλον σε τόσο μεγάλο βαθμό, όπως οι παραδοσιακές μορφές, όσον αφορά στην παραγωγή ρύπων και αερίων, με αποτέλεσμα ο κίνδυνος επηρεασμού του κλίματος να είναι μικρότερος (Ανανιάδου–Τζημοπούλου, Τσιούρης, 2009).

Όταν άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι ΑΠΕ, το κόστος ήταν μεγάλο, αλλά τα τελευταία χρόνια, ειδικά η αιολική, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από βιομάζα, πλησιάζουν το κόστος των παραδοσιακών μορφών ενέργειας (Μαλεβίτη, 2013).

Τα κράτη της ΕΕ και άλλα, όμως μεμονωμένα κράτη, προσαρμόζουν τις πολιτικές τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να προωθούνται οι ΑΠΕ (Καπλάνης, 2003).

Οι ανανεώσιμες πηγές αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο των χωρών, καθώς μειώνουν σημαντικά την εξάρτηση από το εισαγόμενο και ακριβό πετρέλαιο και ενισχύουν την ασφάλεια του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Ταυτόχρονα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει αποδειχθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος (ΚΑΠΕ, 2016). Άρα, ο μοναδικός δυνατός τρόπος για να ανταποκριθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, δηλαδή τον περιορισμό των εκπομπών του CO_2, είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ (ΕΣΗΑΠΕ, 2006).

5.2 Η Συμμετοχή των ΑΠΕ στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Οφέλη Χρήσης

Σύμφωνα με στοιχεία του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), το 2017, η συνολική καθαρή εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα της Ελλάδας ήταν 17.2 GW, ενώ η αντίστοιχη στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (ΜΔΝ) ανήλθε σε 2.3 GW. Το γενικό σύνολο έφτασε τα 19.5 GW, με την κατανομή αυτού να αναλύεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Συνολική Καθαρή Εγκατεστημένη Ισχύς στην Ελλάδα το 2017 (Πηγή: ΙΕΝΕ, ΑΔΜΗΕ, ΛΑΓΗΕ)

Μείγμα Καυσίμου	Καθαρή Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)
1. Διασυνδεδεμένο Σύστημα	
Λιγνιτικές Μονάδες	3.9
Μονάδες Φυσικού Αερίου	5.0
Υδροηλεκτρικές Μονάδες	3.2
Σύνολο Μονάδων ΑΠΕ	5.1
Σύνολο Θερμικών Μονάδων	8.9
Σύνολο ΑΠΕ και Υδροηλεκτρικών Μονάδων	8.3
Σύνολο Καθαρής Εγκατεστημένης Ισχύος στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Α)	**17.2**
2. Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ)	
Σύνολο Θερμικών Μονάδων	1.8
Σύνολο Μονάδων ΑΠΕ	0.5
Σύνολο Καθαρής Εγκατεστημένης Ισχύος στα ΜΔΝ (Β)	**2.3**
Γενικό Σύνολο (Α+Β)	**19.5**

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ παρουσιάζει σημαντική αύξηση χάρη στα αιολικά πάρκα, στις μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες, στη βιομάζα και στα φωτοβολταϊκά πάρκα. Το 2017, η συνολική καθαρή ηλεκτροπαραγωγή στο διασυνδεδεμένο σύστημα της Ελλάδας ανήλθε σε 52.1 TWh, ενώ η αντίστοιχη στα ΜΔΝ ανήλθε σε 4.9 TWh. Το γενικό σύνολο έφτασε τις 57.0 TWh, με την κατανομή αυτού να αναλύεται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Συνολική Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα το 2017 (Πηγή: ΙΕΝΕ, ΑΔΜΗΕ, ΛΑΓΗΕ)

Μείγμα Καυσίμου	Καθαρή Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)
1. Διασυνδεδεμένο Σύστημα	
Καθαρές Εισαγωγές	6.2
Σύνολο Μονάδων ΑΠΕ	10.6
Υδροηλεκτρικές Μονάδες	3.5
Μονάδες Φυσικού Αερίου	15.4
Λιγνιτικές Μονάδες	16.4
Σύνολο Καθαρής Ηλεκτροπαραγωγής στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Α)	**52.1**
2. Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ)	
Σύνολο Θερμικών Μονάδων	4.8
Σύνολο Μονάδων ΑΠΕ	0.1
Σύνολο Καθαρής Ηλεκτροπαραγωγή στα ΜΔΝ (Β)	**4.9**
Γενικό Σύνολο (Α+Β)	**57.0**

Η ΔΕΗ παραμένει η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Με εγκατεστημένη ισχύ 12.1 GW το 2017, κατέχει περίπου το 60.6% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα:

- λιγνιτικούς,
- υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς,
- σταθμούς φυσικού αερίου,
- εγκαταστάσεις ΑΠΕ.

Το 2017, η ΔΕΗ παρήγαγε 32.6 TWh, οι οποίες σε συνδυασμό με τις 1.9 TWh που εισήγαγε, κάλυψαν το 56.7% της συνολικής ζήτησης. Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια προήλθε από:

- λιγνίτη (50.3%),
- πετρέλαιο (14.8%),
- φυσικό αέριο (23.5%),
- υδροηλεκτρικά (10.6%),
- ΑΠΕ (0.8%).

Οι περίπου 7.2 εκατομμύρια πελάτες της ΔΕΗ κατανάλωσαν κατά το 2017 το 86.7% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, που δόθηκε προς τελικούς πελάτες στην Ελλάδα.

Μετά το 2000, και στο πλαίσιο απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, έχει προστεθεί νέα εγκατεστημένη ισχύς περίπου 9 GW από ιδιώτες, εκ των οποίων 6 GW ΑΠΕ και 3 GW με καύσιμο φυσικό αέριο.

Σε ό,τι αφορά στις ΑΠΕ, κατανέμονται συνολικά στο διασυνδεδεμένο σύστημα και τα νησιά ως εξής:

- 2.6 GW από φωτοβολταϊκά,
- 2.8 GW από αιολικά,
- ΜΥΗΣ 239 MW,
- βιοαέριο 69 MW, πλέον της ΣΗΘΥΑ (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης).

Άλλα 10 GW (κυρίως από ΑΠΕ) βρίσκονται σε στάδιο κατασκευής ή αδειοδότησης σύνδεσης στο σύστημα.

Σήμερα, οι στόχοι της ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας, που είναι συμβατοί με αυτούς της ΕΕ, συνοψίζονται ως εξής:

- τουλάχιστον 20% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020, 2% μεγαλύτερος από τον εθνικό στόχο 18% της ΕΕ,
- τουλάχιστον 40% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2020,
- τουλάχιστον 20% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη μέχρι το 2020,

- τουλάχιστον 10% συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές μέχρι το 2020,
- ένα στόχο, δεσμευτικό σε επίπεδο ΕΕ, για επίτευξη κατά τουλάχιστον 32% του μεριδίου της κατανάλωσης ενέργειας από ΑΠΕ για το 2030,
- ένα στόχο σε επίπεδο ΕΕ για την κατά τουλάχιστον 32.5% βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας για το 2030,
- 20% μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, και τουλάχιστον 40% μείωση μέχρι το 2030 (που θα αποτελείται από μια μείωση κατά 43% των αερίων του θερμοκηπίου των τομέων που υπάγονται στο ETS (ΣΕΔΕ- Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών) και μια μείωση κατά 30% των αερίων του θερμοκηπίου των τομέων εκτός ETS, σε σύγκριση με το 2005, αντίστοιχα).

Εν κατακλείδι, ο κύριος στόχος του Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού και της εκπόνησης του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) είναι ο σχεδιασμός, ο προγραμματισμός και η υλοποίηση των κατάλληλων ενεργειακών πολιτικών, που θα συντελέσουν στην επίτευξη των εθνικών ενεργειακών στόχων, θα συνεισφέρουν στην οικονομική ανάπτυξη και ταυτόχρονα θα ανταποκριθούν στην πρόκληση της μείωσης του κόστους ενέργειας και της προστασίας των τελικών καταναλωτών από υψηλές τιμές των ενεργειακών προϊόντων.

Στο πλαίσιο αυτό, οι κύριες επιδιώξεις που τίθενται από τον εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό αφορούν:

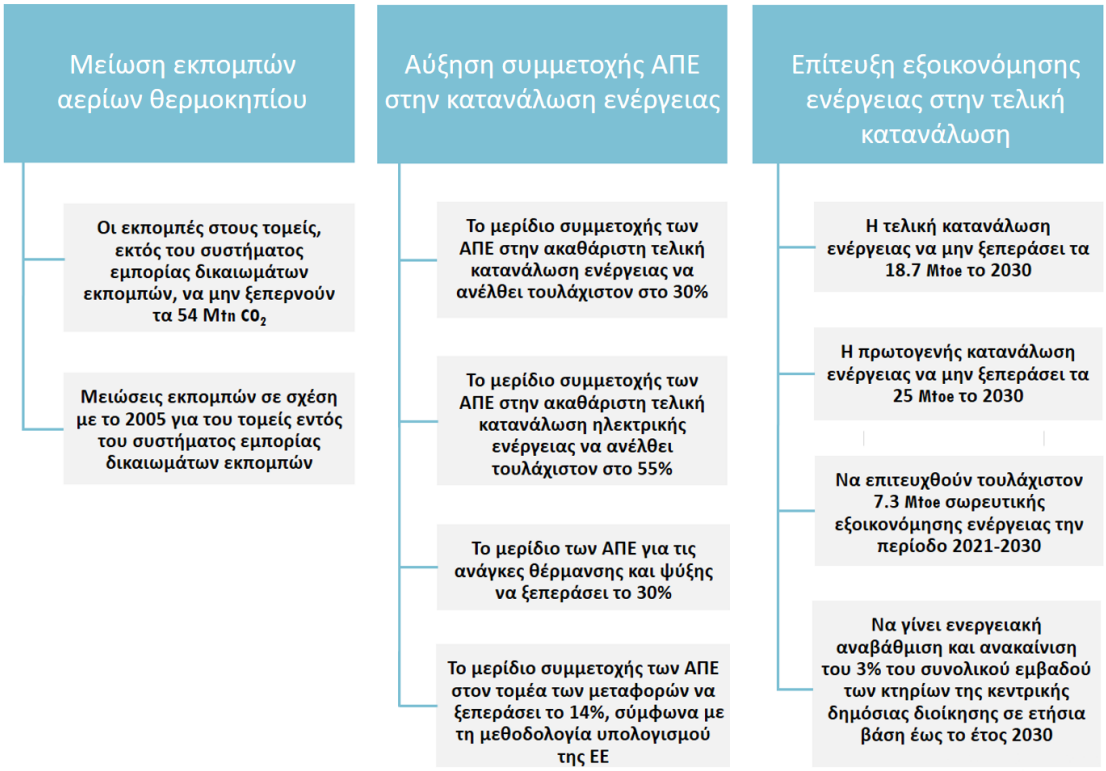
- την επίτευξη συγκεκριμένων εθνικών στόχων αναφορικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, της μεγαλύτερης συμμετοχής ΑΠΕ στην εγχώρια κατανάλωση ενέργειας και την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας,
- τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην πρωτογενή και τελική κατανάλωση ενέργειας,
- τη λειτουργία μιας ανταγωνιστικής εγχώριας αγοράς ενέργειας,
- την ενίσχυση της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού,
- την προστασία και ενδυνάμωση του ρόλου των καταναλωτών στο ενεργειακό σύστημα,
- την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας,
- την αύξηση της εγχώριας προστιθέμενης αξίας στον ενεργειακό τομέα και της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας.

Ειδικότερα, στο πλαίσιο του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού τίθενται τρείς βασικοί ποσοτικοί στόχοι για την περίοδο έως το έτος 2030, οι οποίοι απορρέουν από τις προτεραιότητες που έχουν διαμορφωθεί σε εθνικό επίπεδο, καθώς και από τα συμφωνηθέντα με την ΕΕ. Συγκεκριμένα, οι στόχοι αυτοί αφορούν:

- τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 16% σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα εκπομπών του έτους 2005 για τους τομείς εκτός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών,

- την επίτευξη μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας τουλάχιστον στο 30% ,
- την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας κατά τουλάχιστον 30%.

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται και οι επιμέρους ποσοτικές επιδιώξεις, που επιδιώκονται στο πλαίσιο της επίτευξης των στόχων αυτών.



Σχήμα 5.1: Γενικοί Ενεργειακοί Στόχοι της Ελλάδας για την περίοδο 2021-2030 (Πηγή: https://www.iene.gr/articlefiles/file/meletes/iene-meleti-2019.pdf)

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, τα οφέλη χρήσης των συστημάτων ΑΠΕ είναι πολλά και ορισμένα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Σε όλα τα προγράμματα επιδότησης των επιχειρήσεων, περιλαμβάνεται η χρήση ΑΠΕ.
- Σημαντική μείωση του κόστους λειτουργίας μιας επιχείρησης, λόγω της μείωσης έως και μηδενισμό στην κατανάλωση ρεύματος και πετρελαίου (μείωση την οποία μπορεί να επωφεληθεί και ο καταναλωτής).
- 20 χρόνια εγγυημένο συμβόλαιο με το δίκτυο (ΔΕΗ) στις περιπτώσεις των διασυνδεδεμένων συστημάτων.
- 0.419 € αγορά της KWh από τη ΔΕΗ.
- Ευνοϊκά χρηματοδοτικά προγράμματα με ελκυστικά επιτόκια από τις τράπεζες.

5.3 Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα και Προοπτικές Εξέλιξης

Οι ΑΠΕ που κυριαρχούν στην Ελλάδα είναι η αιολική (αιολικά πάρκα), η ηλιακή (φωτοβολταϊκά πάρκα) και η υδραυλική (μικρά υδροηλεκτρικά έργα-ΜΗΥΕ).

Ο γεωγραφικός χάρτης της Ελλάδας απεικονίζει ένα ιδιαίτερο ανάγλυφο από βουνά, πεδιάδες, λόφους, νησιά, τα οποία καθιστούν αρκετά πολύπλοκη την κατανομή των ανέμων, όσον αφορά στην ταχύτητα και στην διεύθυνση αυτών. Η Ελλάδα είναι η χώρα με την μεγαλύτερη ακτογραμμή της Ευρώπης. Οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές, καθιστούν ιδιαίτερα σημαντική την αιολική ενέργεια στην χώρα μας, εν αντιθέσει με άλλες περιοχές, όπου καταγράφονται ισχυροί άνεμοι, αλλά όχι για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, οι πιο ευνοημένες περιοχές είναι στην περιοχή του Αιγαίου, στις Κυκλάδες, στο βόρειο τμήμα της Κρήτης, στην Πελοπόννησο, στην Εύβοια και αλλού. Βέβαια, με τις απομακρυσμένες περιοχές και τα νησιά, υπάρχει το πρόβλημα της μη διασύνδεσης με το εθνικό δίκτυο, όπου δεν είναι εφικτή η απορρόφηση της παραγόμενης ενέργειας κατά την εποχή της χαμηλής ζήτησης, δηλαδή τη μη τουριστική περίοδο.

Όπως προαναφέραμε, η Ελλάδα είναι μια χώρα με πολλές δυνατότητες, λόγω της μορφολογίας της. Μέσω των οδηγιών της ΕΕ και των νόμων της χώρας, η Ελλάδα αναγκάζεται να αναπτύξει μηχανισμούς και να εφαρμόσει συγκεκριμένα μέτρα και πολιτικές, για να επιτύχει τους στόχους, που έχουν οριστεί. Ειδικότερα, πρέπει να αξιοποιήσει τις δυνατότητες που της προσφέρει το φυσικό δυναμικό που διαθέτει, διαμορφώνοντας ένα μοντέλο ανάπτυξης που θα στηρίζεται στις βασικές αρχές της «πράσινης» ανάπτυξης, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας βασικών κλάδων της οικονομίας, την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την αξιοποίηση των φυσικών της πόρων.

Υπό αυτό το πρίσμα των ευρωπαϊκών εξελίξεων, εξαιρετικά ενδιαφέρον θεωρείται το κομμάτι της αγοράς, που αφορά όλες τις ΑΠΕ. Οι τομείς που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι τρεις, τα αιολικά πάρκα, οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα αιολικά πάρκα και οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι τεχνολογικά εφαρμόσιμες λύσεις και παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα με αρκετά λογικό και ανταγωνιστικό κόστος.

Βασικός παράγοντας -που βοήθησε στην εφαρμογή αυτών των τομέων- είναι η υποστήριξη από την πολιτεία και η εξασφάλιση της πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία θα συνεχιστεί σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία, τουλάχιστον για την επόμενη εικοσιπενταετία.

Αντίθετα, η ηλιακή ενέργεια είναι λιγότερο ώριμη, αν και είναι περισσότερο υποσχόμενη. Χρειάζεται περισσότερος χρόνος και οικονομική υποστήριξη για να εξελιχθεί, αν και παρέχει τη δυνατότητα δραστηριοποίησης σε ηλεκτροπαραγωγούς, με εξασφαλισμένη πώληση του ρεύματος σε μία προκαθορισμένη τιμή.

Στην Ελλάδα έχει γίνει μεγάλη πρόοδος στην εκμετάλλευση των ΑΠΕ, αλλά θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη. Η διαπίστωση αυτή προκύπτει από συγκεκριμένα προβλήματα που συνεχίζουν να υπάρχουν, παρ' όλο που έχουν υπάρξει αρκετά ευνοϊκές ρυθμίσεις, και εξακολουθούν να εμποδίζουν την ταχύτερη ανάπτυξη των ΑΠΕ. Τα προβλήματα αυτά είναι σύνθετα, τόσο πολιτικής και κοινωνικής φύσης, όσο και τεχνικής και οικονομικής. Παραδείγματος χάρη, η αδειοδότηση είναι μία πολύ χρονοβόρα διαδικασία λόγω γραφειοκρατίας, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση και τη δυσαρέσκεια των επενδυτών στον τομέα αυτό, γιατί τις περισσότερες φορές απαιτούνται πολλά χρόνια (Τσούτσος, Κανάκης, 2013).

Για να μπορέσει όμως η Ελλάδα, ως κράτος μέλος, να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της ΕΕ, είναι αναγκαίο να ξεπεράσει τα εμπόδια αυτά και να λειτουργήσει με τους κανόνες και τις οδηγίες της, διαφορετικά θα είναι δύσκολο να ακολουθήσει την απόφασή της για το λεγόμενο «20-20-20» για όλες τις χώρες-μέλη. Η οδηγία «20-20-20» του 2007, αφορά στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στο 20% και την ταυτόχρονη αύξηση της χρήσης ΑΠΕ στο 20% της συνολικής παραγωγής ενέργειας σε χρονικό ορίζοντα μέχρι το 2020 (Ανανιάδου– Τζημοπουλου, Τσιούρης, 2009).

Για να πετύχει τους στόχους αυτούς η Ελλάδα, θα πρέπει να λάβει οικονομικά και τεχνολογικά μέτρα, τα οποία θα περιλαμβάνουν την ενίσχυση αυτών των έργων, την ολοκλήρωση και την αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου, καθώς και την ανάπτυξη ενός διεσπαρμένου τρόπου παραγωγής ενέργειας (Τσούτσος, Κανάκης, 2013).

Η εξέλιξη του κλάδου των ΑΠΕ στη Ελλάδα αναμένεται, σε γενικές γραμμές, να είναι σταθερή, με σταδιακά αυξανόμενους ρυθμούς όσο περνά ο χρόνος, τουλάχιστον για την επόμενη δεκαετία, παρέχοντας αξιόλογο έδαφος για επενδύσεις (Γελεγένης, 2005).

6 Θεσμικό Πλαίσιο Ενεργειακής Πολιτικής.

6.1 Πολιτικές ΕΕ για τις ΑΠΕ

Η Ευρωπαϊκή κοινότητα αναγνώρισε από πολύ νωρίς τη σημαντικότητα των ΑΠΕ, δεδομένου ότι η εκμετάλλευσή τους συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, στην οικονομία, στην κοινωνική συνοχή και στην ενεργειακή επάρκεια. Το 1996 η ΕΕ, με την «Πράσινη Βίβλο» (96/576) θέτει ως προτεραιότητες της ενεργειακής πολιτικής της, την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης και την κλιματική αλλαγή. Η «Πράσινη Βίβλος» δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές στα κράτη-μέλη της ΕΕ προς τη συστηματικότερη χρήση των φιλικών προς το περιβάλλον ΑΠΕ, έναντι των συμβατικών και ρυπογόνων πηγών ενέργειας. Οι στόχοι της «Πράσινης Βίβλου» είναι η μείωση του CO_2, η αύξηση της εργασίας και της οικονομικής ανάπτυξης με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και η βελτίωση των κοινωνικών συνθηκών σε υποβαθμισμένες περιοχές.

Ουσιαστικά η «Πράσινη Βίβλος» επέστησε την προσοχή στις διαρθρωτικές αδυναμίες και τα γεωπολιτικά, κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά μειονεκτήματα του ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ, ιδίως όσον αφορά στις δεσμεύσεις που ανέλαβε η Ευρώπη υπό το Πρωτόκολλο του Κιότο (Κορωναίος, 2006).

Μετά την «Πράσινη Βίβλο», ακολούθησε η «Λευκή Βίβλος», η οποία αναφερόταν σε μια κοινοτική στρατηγική και ένα σχέδιο δράσης (97/599) σχετικά με τις ΑΠΕ. Ο στόχος ήταν η προστασία του περιβάλλοντος και η ασφάλεια της παροχής ενέργειας. Προκειμένου να επιτευχθεί η στρατηγική της Κοινότητας, η «Λευκή Βίβλος» προτείνει ένα σύνολο στόχων, μέτρων και πολιτικών για όλα τα κράτη-μέλη, όπως είναι τα ακόλουθα (Γεωργαντέας, 2011):

- Επειδή η ενεργειακή αγορά κατακλύζεται από πηγές ενέργειας μη φιλικές προς το περιβάλλον, θα πρέπει να υπάρχει εύκολη πρόσβαση των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρισμού, καθώς ο ηλεκτρισμός αφορά στο 40% της ενεργειακής κατανάλωσης της ΕΕ.
- Να υπάρξουν χρηματοδοτικά και φορολογικά κίνητρα ως προς τους επενδυτές στην ενεργειακή αγορά, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η ενασχόλησή τους με το συγκεκριμένο κλάδο.
- Να επιλέγεται η χρήση βιοενέργειας για τις μεταφορές, τη θέρμανση και τον ηλεκτρισμό, (φυτικά έλαια κλπ.), παρόλο το υψηλό κόστος παραγωγής τους, και να επιδοτείται από τα κράτη–μέλη, έτσι ώστε να μειώνεται αυτό το συγκριτικό έλλειμμα που έχει.
- Να γίνει μετατροπή όλων των οικημάτων σε ενεργειακά κτήρια, έτσι ώστε να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες, που υφίστανται λόγω των παλαιών κανονισμών δόμησης, καθώς και των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνταν.

- Να υπάρξει πλήρη ταύτιση και εφαρμογή των ευρωπαϊκών πολιτικών και προγραμμάτων με τη χρήση των ΑΠΕ, αλλά και την ενσωμάτωση της στρατηγικής και του σχεδίου δράσης για αυτές στο εσωτερικό των κρατών-μελών και τη συνεχή συνεργασία μεταξύ αυτών και των κοινοτικών οργάνων.

Για την ενίσχυση των μέτρων της «Λευκής Βίβλου», το 2001 το Ευρωπαϊκά όργανα ψήφισαν την Οδηγία 2001/77/ΕΚ, η οποία απαιτούσε απ' όλα τα κράτη-μέλη να θεσπίσουν εθνικούς στόχους για την κατανάλωση ηλεκτρισμού από ΑΠΕ, επιδιώκοντας μέχρι το τέλος του 2010 το 12% της ενεργειακής παραγωγής στην ΕΕ να προέρχεται από ΑΠΕ, από το 6% που ήταν το 1995 (Μπαρτζώκας, 2009). Η πλειονότητα των κρατών–μελών δεν μπόρεσε να πετύχει τους στόχους, λόγω του υψηλού κόστους των επενδύσεων, των διοικητικών προβλημάτων, των αδιαφανών και μεροληπτικών κανονιστικών διατάξεων για την πρόσβαση στο δίκτυο, καθώς και της ελλιπούς ενημέρωσης των ενδιαφερόμενων.

Το 2003, η νέα Οδηγία 2003/30/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, αναφερόταν στην προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων προς αντικατάσταση του πετρελαίου diesel ή της βενζίνης στις μεταφορές, προκειμένου να συμβάλλει στην τήρηση των δεσμεύσεων σχετικά με τις κλιματικές μεταβολές, τη φιλική προς το περιβάλλον ασφάλεια του εφοδιασμού και την προώθηση ΑΠΕ (Γεωργαντέας, 2011).

Το 2004, τα ευρωπαϊκά όργανα συντάσσουν την έκθεση για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ΣΣ (COM, 2004, 366), ενώ το 2005 ανακοινώνουν το Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα (COM, 2005, 628), το οποίο επιδιώκει την ταχύτερη ανάπτυξη του τομέα της ενέργειας που παράγεται από βιομάζα ξύλου, αποβλήτων και γεωργικών καλλιεργειών. Ειδικότερα, ορίζει κίνητρα για τη δημιουργία αγοράς βιομάζας και την άρση των εμποδίων, στα οποία προσκρούει η ανάπτυξη της αγοράς αυτής. Χάρη αυτών των κανόνων, είναι εφικτή η μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από τα ορυκτά καύσιμα, η μείωση των εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και επίσης, γίνεται εφικτή η τόνωση της οικονομικής δραστηριότητας στις αγροτικές περιοχές (Μεμάκη, 2009).

Στις 10/01/2007, βγήκε μια πολύ σημαντική ανακοίνωση της επιτροπής, με τίτλο «Χάρτης πορείας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειες», ο οποίος παρουσιάζει τη μακροπρόθεσμη στρατηγική της Επιτροπής στον τομέα των ΑΠΕ στην ΕΕ. Με τη μακροπρόθεσμη στρατηγική, στοχεύει στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Στο χάρτη πορείας, η Επιτροπή προτείνει ως δεσμευτικό στόχο ένα μερίδιο 20% των ΑΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας της ΕΕ για το 2020, και ένα μερίδιο 10% για τα βιοκαύσιμα (ΕΕΚ, 2007).

Ενισχύει το νομοθετικό πλαίσιο που υπάρχει και προβλέπει ότι τα κράτη-μέλη θα θεσπίσουν δεσμευτικούς στόχους και σχέδια δράσης, τα οποία θα είναι προσαρμοσμένα στο αντίστοιχο δυναμικό τους.

Τα σχέδια δράσης θα περιλαμβάνουν ειδικά μέτρα και στόχους στους τομείς του ηλεκτρισμού, των βιοκαυσίμων, της θέρμανσης και ψύξης.

Το Νοέμβριο του 2008, η ευρωπαϊκή επιτροπή ανακοινώνει το σχέδιο δράσης για την υπεράκτια αιολική ενέργεια (COM, 2008, 768), η οποία επισημαίνει τα πλεονεκτήματα και τους ενδοιασμούς που υπάρχουν, γιατί αποτελεί μια πολύ συμφέρουσα πρόκληση για το άμεσο μέλλον. Το Ευρωπαϊκό Στρατηγικό Σχέδιο Ενεργειακών Τεχνολογιών (σχέδιο SET) (COM, 2007, 723), το οποίο υποβλήθηκε το 2007 και εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο το Μάρτιο του 2008, αποτελεί μαζί με το έβδομο πρόγραμμα-πλαίσιο δραστηριοτήτων έρευνας, τεχνολογικής ανάπτυξης και επίδειξης -7ο ΠΠ- (ΕΕ L 412 της 30.12.200) και το πρόγραμμα «Ευφυής ενέργεια-Ευρώπη» -ΠΕΕ- (ΕΕ L 310 της 09.11.200), το συνολικό πλαίσιο της ΕΕ, με βάση το οποίο πρέπει να αντιμετωπισθούν αυτές οι προκλήσεις.

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια μπορεί και πρέπει να συμβάλει ουσιαστικά στην επίτευξη των στόχων της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ με σημαντικότατη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος (έως 30-40 φορές μεγαλύτερη μέχρι το 2020 και 100πλάσια μέχρι το 2030) σε σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ έως και σήμερα. (COM, 2007, 723; ΕΕ L 412 της 30.12.2006; ΕΕ L 310 της 09.11.2006; https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX:52008DC0768).

Τον Απρίλιο του 2009 ψηφίστηκε η τελευταία οδηγία 2009/28/ΕΚ, για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ. Η νέα οδηγία θέτει ως συνολικό στόχο, το 20% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ΑΠΕ το 2020. Η οδηγία παρέχει την απαιτούμενη πολιτική στήριξη στις αγορές ΑΠΕ, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης και δημιουργίας θέσεων απασχόλησης. Σύμφωνα με τη νέα οδηγία για τη χρήση ενέργειας από ΑΠΕ (Γεωργαντέας, 2011):

- Είναι και νομικά δεσμευτικός στόχος, το 20% συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2020, όπως και το 10% συμμετοχής τους στον τομέα μεταφορών.
- Προβλέπεται για πρώτη φορά αξιοποίηση των ΑΠΕ για όλες τις ενεργειακές χρήσεις, όπως η ηλεκτροπαραγωγή, η ψύξη και η θέρμανση, οι μεταφορές και τα βιοκαύσιμα.
- Όσον αφορά στους εθνικούς στόχους, στηρίζονται στο ακαθάριστο εθνικό προϊόν (ΑΕΠ), με σημείο αναφοράς το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ σε κάθε κράτος-μέλος κατά το έτος 2005. Για τη χώρα μας το ποσοστό προσδιορίζεται στο 18%.
- Προτείνεται εμπορία εγγυήσεων προέλευσης και παράλληλα δυνατότητα διατήρησης των εθνικών συστημάτων υποστήριξης.

6.2. Νομοθεσία για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα

Παραθέτουμε τους νόμους του Ελληνικού κράτους που οριοθετούν το νομικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ:

- Η απαρχή της εισόδου των ΑΠΕ στην Ελλάδα, έγινε με το Ν.1559/1985, «Ρύθμιση θεμάτων Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 135/Α/85). Ο συγκεκριμένος νόμος αποτελεί τον πρώτο νόμο, που προβλέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτός της ΔΕΗ. Αναλυτικότερα, επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς, που λειτουργούν με ΑΠΕ και ανήκουν σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα, τα οποία καλούνται "αυτοπαραγωγοί" και σε Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ). Αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρείται εκείνος που παράγει ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των δικών του αναγκών, ενώ ανεξάρτητος ο παραγωγός που τη διαθέτει αποκλειστικά στη ΔΕΗ. Με το νόμο αυτό, η ΔΕΗ εγκατέστησε 24 MW κυρίως μικρά αιολικά πάρκα και μερικά Φ/Β συστήματα μικρής ισχύος και οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης περιορίστηκαν στο ελάχιστο επίπεδο των 3 MW μέχρι το 1995. Το 1987 ιδρύθηκε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), με βασικό σκοπό την προώθηση και υποστήριξη όλων των δραστηριοτήτων ΑΠΕ και των δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας (ΕΞΕ) στη χώρα. Το ΚΑΠΕ είναι εθνικός φορέας για την προστασία του περιβάλλοντος, την αειφόρο ανάπτυξη και ειδικότερα την υλοποίηση καινοτόμων έργων και την εδραίωση νέων ενεργειακών τεχνολογιών.
- Με το Ν.2244/1994, «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 168/07-10-94), καθορίστηκαν σταθερές τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ, για το διασυνδεδεμένο σύστημα της χώρας, σε επίπεδο ίσο με το 90% του γενικού τιμολογίου στη μέση τάση και αποτελεί υποχρέωση της ΔΕΗ για αγορά του. Ανάλογα με το είδος του σταθμού ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής, είχε προβλεφθεί κλιμακωτή αποζημίωση και η τιμή ενέργειας προσαυξανόταν κατά μικρό ποσοστό της τάξης του 6.5%, με αποτέλεσμα το έτος 2006 η τιμή αυτή να αντιστοιχεί σε 0.07287 €/kWh. Για τα νησιά που δεν ανήκουν στο διασυνδεδεμένο σύστημα, η τιμή κατά το έτος 2006 αντιστοιχούσε σε 0.08458 €/kWh, καθώς η τιμολόγηση βασίζονταν στο 90% του τιμολογίου γενικής χρήσης (χαμηλή τάση).

  Ο νόμος αυτός άλλαξε τα δεδομένα και έδωσε νέα ώθηση, παρέχοντας ισχυρά οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα, με την προσέλκυση ιδιωτικών κεφαλαίων. Η βασική κατεύθυνση του νόμου εναρμονίζεται με τα μέτρα και τις διατάξεις, που ισχύουν σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ε.Ε., με σκοπό την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο κοινοτικό ενεργειακό ισοζύγιο.

- Το 1998 ψηφίστηκε ο αναπτυξιακός Νόμος 2601/98 (ΦΕΚ Α' 81/15-04-98), ο οποίος ενίσχυε την επενδυτική δραστηριότητα των μη κρατικών φορέων στον ενεργειακό τομέα. Κάθε νέα επιχείρηση που θα επένδυε σε ΑΠΕ, θα επιχορηγούνταν σε ποσοστό 40%, σε οποιαδήποτε περιοχή της Ελλάδας και αν δραστηριοποιούνταν. Θα επιδοτούνταν το επιτόκιο δανεισμού για τα τρία πρώτα χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης. Επίσης, οι υφιστάμενες επιχειρήσεις εφόσον ήταν κερδοφόρες, μπορούσαν να λάβουν αντίστοιχη ενίσχυση, ανάλογα με τη γεωγραφική περιφέρεια της χώρας, μέσω της πραγματοποίησης αυξημένων αποσβέσεων ή της φοροαπαλλαγής κάποιου μέρους των κερδών τους.
- Ο Ν.2773/1999 (ΦΕΚ Α΄ 286/22-12-99), «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις», διατήρησε το ευνοϊκό τιμολογιακό καθεστώς των ΑΠΕ, έδωσε έμφαση στο θέμα της προτεραιότητας πρόσβασης στο δίκτυο και προσάρμοσε το ελληνικό δίκαιο στους κανόνες που θεσπίστηκαν με την Οδηγία 96/92/ΕΚ.
- Ο Ν.2941/2001 (ΦΕΚ 201/12-09-01), «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότηση ΑΠΕ, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. «ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ» και άλλες διατάξεις», αντιμετώπισε το θέμα εγκατάστασης ΑΠΕ σε δάση και δασικές εκτάσεις με διατάξεις που έγιναν αποδεκτές και κρίθηκαν συνταγματικές από το Συμβούλιο της Επικρατείας. Επίσης, κάλυψε σημαντικά κενά της νομοθεσίας και της αδειοδότησης.
- Με τη ψήφιση του Ν.3010/2002 (ΦΕΚ 91 Α/25/4/2002), «Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11/Ε.Ε. και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις», γίνεται προσαρμογή της εθνικής νομοθεσίας που διέπει την προστασία του περιβάλλοντος στο κοινοτικό κεκτημένο.
- Με το Ν.3017/2002, «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ Α' 117), η ελληνική Βουλή επισημοποίησε τη δέσμευση της χώρας για δράσεις αντιστρατευόμενες την τάση επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Ο Ν.3175/2003, «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις», αποτέλεσε αναθεώρηση του Ν.2773/1999, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν οι καθυστερήσεις στη διαδικασία απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού, κυρίως εξαιτίας της δεσπόζουσας θέσης της ΔΕΗ Α.Ε. και καθιέρωσε ένα σύνολο κανόνων για την ορθολογική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Επίσης, εισήγαγε απλουστευμένες διαδικασίες σχετικά με τις απαλλοτριώσεις, που είναι αναγκαίες για την ενίσχυση και επέκταση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να εξυπηρετηθεί και η ανάπτυξη των ΑΠΕ.

- Ο Ν.3468/2006, «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 129), στόχευε στη ρύθμιση θεμάτων ανάπτυξης, ένταξης στο σύστημα/δίκτυο και τιμολόγησης έργων ΑΠΕ και Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Συγκεκριμένα, θεσμοθετήθηκε εθνικός στόχος συμμετοχής της ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 20.1 % κατά το έτος 2010 και σε ποσοστό 29% μέχρι το έτος 2020. Ταυτόχρονα, απλοποιήθηκε η αδειοδοτική διαδικασία για τις ΑΠΕ, τροποποιήθηκε το τιμολογιακό καθεστώς, προς όφελος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, προκειμένου να ενισχυθούν οι επενδύσεις και αποσυνδέθηκε η τιμή πώλησης ενέργειας από ΑΠΕ, από τα τιμολόγια της ΔΕΗ. Τέλος, θεσμοθετήθηκε πλαίσιο για τους υβριδικούς σταθμούς και αυξήθηκε το όριο μέχρι του οποίου ένα ΥΕ χαρακτηρίζεται ως μικρό από 10 σε 15 MW.
- Με το Ν.3734/2009 (ΦΕΚ Α' 8/28.01.2009), «Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις», γίνεται εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 2004/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Φεβρουαρίου 2004 για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας, βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της Οδηγίας 92/42/ΕΟΚ (ΕΕ L 52/50) και συμπλήρωση του νομικού πλαισίου για την προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας. Επίσης, απαλείφεται ο όρος «θεώρηση» αντί οικοδομικής άδειας και γίνεται πρόβλεψη για «έγκριση εργασιών» για τις μη δομικές κατασκευές των αιολικών και Φ/Β σταθμών. Τέλος, προβλέπονται νέες τιμές πώλησης για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β σταθμούς.
- Με την Κοινή Υπουργική Απόφαση της 4ης Ιουνίου 2009 (ΦΕΚ Β 1079/04.06.2009) θεσπίστηκε Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων (ΦΒΣ) σε κτηριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτηρίων. Το Πρόγραμμα αφορά στην εγκατάσταση συστημάτων μέχρι 10 kWp σε κατοικίες και πολύ μικρές επιχειρήσεις, στο 15 Ηπειρωτικό Σύστημα και στα Διασυνδεδεμένα Νησιά και εφαρμόζεται από την 1η Ιουλίου 2009.
- Ο Ν.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», έχει ως στόχο την εναρμόνιση με τις διατάξεις της οδηγίας 28/2009 και τη θεσμοθέτηση του νέου εθνικού δεσμευτικού στόχου για τη συμμετοχή των ΑΠΕ, στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2020 και 40% για τον ηλεκτρισμό. Απλοποιείται η διαδικασία έκδοσης της άδειας παραγωγής έργων ΑΠΕ και οι μικρές εγκαταστάσεις ΑΠΕ εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής.

Ο ρόλος της ΡΑΕ αναβαθμίζεται και περιορίζεται η αδειοδοτική διαδικασία, σε 2 μήνες. Επίσης, οι διαδικασίες Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) συγχωνεύονται σε μία διαδικασία και δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την κατασκευή ιδιωτικών δικτύων από παραγωγούς ΑΠΕ, με τη διασφάλιση της πρόσβασης τρίτων στα έργα σύνδεσης. Προωθούνται οι φωτοβολταϊκές επενδύσεις σε κτήρια και στέγαστρα ανεξαρτήτως ισχύος και από τους κατ' επάγγελμα αγρότες για φωτοβολταϊκά έως 100 kW.

- Ο Ν.4001/2011, «Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις», έχει σαν σκοπό την ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των διατάξεων της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13ης Ιουλίου 2009, «Σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και για την κατάργηση της Οδηγίας 2003/54/ΕΚ» και της Οδηγίας 2009/73/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13ης Ιουλίου 2009, «Σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά Φυσικού Αερίου και την κατάργηση της Οδηγίας 2003/55/ΕΚ». Θεσμοθετούνται οι διατάξεις με τις οποίες ασκούνται οι δραστηριότητες της παραγωγής, της προμήθειας, της αγοράς, της μεταφοράς και της διανομής Φυσικού Αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και της αποθήκευσης και της υγροποίησης Φυσικού Αερίου και της αεριοποίησης υγροποιημένου Φυσικού Αερίου εντός της Ελληνικής Επικράτειας.
- Με το Ν.4093/2012, «Έγκριση Μεσοπρόθεσμου Πλαισίου Δημοσιονομικής Στρατηγικής 2013−2016 − Επείγοντα Μέτρα Εφαρμογής του ν. 4046/2012 και του Μεσοπρόθεσμου Πλαισίου Δημοσιονομικής Στρατηγικής 2013−2016», επιβάλλεται έκτακτη ειδική εισφορά αλληλεγγύης στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, η οποία υπολογίζεται επί του τιμήματος των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, που λαμβάνουν χώρα κατά το χρονικό διάστημα από 1.7.2012 έως και 30.6.2014 και αφορά στους λειτουργούντες σταθμούς, καθώς και όσους σταθμούς τεθούν σε δοκιμαστική λειτουργία ή ενεργοποιηθεί η σύνδεσή τους εφεξής. Η υποχρέωση καταβολής της ανωτέρω εισφοράς δύναται να παραταθεί για ένα ακόμη έτος με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). Ταυτόχρονα, η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β σταθμό συνάπτεται για είκοσι έτη.
- Με το Ν.4152/2013, «Επείγοντα μέτρα εφαρμογής των νόμων 4046/2012, 4093/2012 και 4127/2013», τα αιτήματα χορήγησης προσφοράς σύνδεσης για σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα και το Δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας, υποβάλλονται από τους ενδιαφερόμενους στο Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.) για ισχύ έως και 8 MW, ενώ τα αιτήματα για σταθμούς ισχύος άνω των 8 MW, υποβάλλονται από τους ενδιαφερόμενους στο Διαχειριστή του Συστήματος (ΑΔΜΗΕ Α.Ε.).

- Ο Ν.4203/2013, «Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλες διατάξεις», ορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών, ρυθμίζει τα θέματα τιμών αποζημίωσης ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ και ορίζει και τους όρους δόμησης για τις αιολικές εγκαταστάσεις.
- Με το Ν.4254/2014, «Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις», γίνεται επανακαθορισμός των στοιχείων τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας των λειτουργούντων σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και καθορίζονται οι προϋποθέσεις για την ένταξή τους στην κατηγορία ΜΕ (με χρήση ενίσχυσης).

6.3 Κανόνες Χωροταξικού Σχεδιασμού των ΑΠΕ

Το «Γενικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης», αποτελεί σύνολο κειμένων και διαγραμμάτων με το οποίο (ΦΕΚ 128 Α/03.07.2008; http://www.ypeka.gr/?tabid=513):

- Καταγράφονται και αξιολογούνται οι παράγοντες εκείνοι που επηρεάζουν τη μακροπρόθεσμη χωρική ανάπτυξη και διάρθρωση του εθνικού χώρου,
- Αποτιμώνται οι χωρικές επιπτώσεις των διεθνών, ευρωπαϊκών και εθνικών πολιτικών,
- Προσδιορίζονται με προοπτική δεκαπέντε ετών οι βασικές προτεραιότητες και οι στρατηγικές κατευθύνσεις για την ολοκληρωμένη χωρική ανάπτυξη και την αειφόρο οργάνωση του εθνικού χώρου.

Τα «Ειδικά Πλαίσια Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης» αποτελούν σύνολα κειμένων ή και διαγραμμάτων με τα οποία εξειδικεύονται ή και συμπληρώνονται οι κατευθύνσεις του Γενικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης, που αφορούν την ανάπτυξη και οργάνωση του εθνικού χώρου (http://www.ypeka.gr/?tabid=513). Ο σκοπός του «Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» είναι (ΦΕΚ 2464 Β/03.12.2008):

- Η διαμόρφωση πολιτικών χωροθέτησης έργων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, ανά κατηγορία δραστηριότητας και κατηγορία χώρου.
- Η καθιέρωση κανόνων και κριτηρίων χωροθέτησης, που θα επιτρέπουν αφενός τη δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων ΑΠΕ και αφετέρου την αρμονική ένταξή τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.
- Η δημιουργία ενός αποτελεσματικού μηχανισμού χωροθέτησης των εγκαταστάσεων ΑΠΕ, ώστε να επιτευχθεί ανταπόκριση στους στόχους των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών.

Το «Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης», έχει στόχο να οριοθετήσει ένα σαφέστερο πλαίσιο, βάση του οποίου θα λειτουργούν οι αδειοδοτούσες αρχές και οι ενδιαφερόμενες επιχειρήσεις.

Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να εστιάσουν στις καταλληλότερες από χωροταξικής απόψεως περιοχές εγκατάστασης και να περιοριστούν έτσι, οι αβεβαιότητες και οι συγκρούσεις χρήσεων γης που συχνά παρατηρούνται (Ανανιάδου-Τζημοπουλου, Τσιούρης, 2009).

6.3.1 Κανόνες Χωροθέτησης Αιολικών Εγκαταστάσεων

Εφόσον επιτευχθούν οι στόχοι για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, τότε είναι εφικτή η κάλυψη από 50 έως και 87% του συνόλου, που θα παραχθεί από αυτές. Άρα, είναι αναμενόμενο να παρατηρηθεί μεγάλη αύξηση της εγκατάστασης αιολικών σταθμών, γεγονός που απαιτεί ορθολογικό προγραμματισμό και σχεδιασμό του τρόπου και του τόπου εγκατάστασής τους (Ανανιάδου Τζημοπουλου; Τσιούρης, 2009).

Συνεπώς, ο χωροταξικός σχεδιασμός των αιολικών εγκαταστάσεων επιδιώκει τρεις αλληλένδετους στόχους (Μαλεβίτη, 2013). Αρχικά, τον εντοπισμό κατάλληλων περιοχών που θα επιτρέπουν, ανάλογα με τις χωροταξικές και περιβαλλοντικές ιδιαιτερότητές τους, πρώτα από όλα τη μεγαλύτερη δυνατή χωρική συγκέντρωση αιολικών εγκαταστάσεων και κατά δεύτερον την επίτευξη οικονομιών κλίμακας στα απαιτούμενα δίκτυα. Δεύτερος αναγκαίος στόχος, είναι η καθιέρωση κανόνων και κριτηρίων χωροθέτησης, που θα επιτρέπουν αφενός τη δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων και αφετέρου την αρμονική ένταξή τους στο περιβάλλον. Και τέλος, στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού μηχανισμού χωροθέτησης των αιολικών εγκαταστάσεων, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ανταπόκριση στους στόχους των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών.

Ειδικότερα για τη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών, ισχύουν τα ακόλουθα κριτήρια αποκλεισμού, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Μαμάσης, Ευστρατιάδης, 2019):

- περιοχές Natura,
- μια ανεμογεννήτρια ανά 2 Km^2,
- περιοχές διατηρητέων μνημείων και αρχαιολογικών ζωνών προστασίας Α,
- περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης, πυρήνες εθνικών δρυμών κηρυγμένα μνημεία της φύσης, αισθητικά δάση, περιοχές RAMSAR,
- μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις και μόνιμες καλλιέργειες,
- υγρότοποι, ποταμοί, λίμνες,
- ακτές κολύμβησης,
- οικιστικές περιοχές & παραδοσιακοί οικισμοί, τουριστικές και οικιστικές περιοχές εκτός σχεδίου, περιοχές οργανωμένης ανάπτυξης παραγωγικών δραστηριοτήτων,
- εγκαταστάσεις αεροπλοΐας,
- τμήματα λατομικών περιοχών και μεταλλευτικών/εξορυκτικών ζωνών που λειτουργούν επιφανειακά.

Τα υπόλοιπα κριτήρια επιλογής ήταν τα εξής (Μπαλάρας κ.α., 2006):

- κύρια διεύθυνση ανέμου,
- τοπικές περιβαλλοντικές επιδράσεις,
- απόσταση από τις ήδη υπάρχουσες δεξαμενές του νησιού,
- επίδραση του θορύβου στα οικοσυστήματα της περιοχής,
- σύνδεση με το οδικό δίκτυο του νησιού,
- απόσταση από κατοικημένες περιοχές,
- απόσταση από περιοχές τουριστικού ενδιαφέροντος.

Για να αρχίσει λοιπόν ένα έργο και για να επιλεχθούν τα επιτρεπτά σημεία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν όλες οι παραπάνω παράμετροι και να γίνει ενδελεχής έλεγχος πριν την έναρξη εργασιών.

6.3.2 Κανόνες Χωροθέτησης Μικρών Υδροηλεκτρικών

Οι μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες είναι σε πιο πλεονεκτική θέση σε σχέση με άλλες ΑΠΕ, λόγω της υψηλής ενεργειακής απόδοσής τους. Οι στόχοι του Ειδικού Πλαισίου, όσον αφορά στο χωροταξικό σχεδιασμό των μικρών υδροηλεκτρικών έργων αφορούν αρχικά, τον εντοπισμό υδατικών διαμερισμάτων με εκμεταλλεύσιμο υδραυλικό δυναμικό, την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υποδοχέων μικρών υδροηλεκτρικών έργων, τον καθορισμό κριτηρίων και κανόνων ένταξης των έργων στο φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον της περιοχής εγκατάστασης και τέλος την εφαρμογή των αρχών διαχείρισης των υδάτων σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (Ανανιάδου-Τζημοπουλου, Τσιούρης, 2009).

6.3.3 Κανόνες Χωροθέτησης λοιπών Εγκαταστάσεων Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ

Οι υπόλοιπες ΑΠΕ που μπορούν να θεωρηθούν εκμεταλλεύσιμες είναι: η βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια, και η ηλιακή ενέργεια. Σύμφωνα με το «Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», επιδιώκεται η αναγνώριση περιοχών που κρίνονται ως οι καταλληλότερες για την εγκατάσταση των προαναφερθέντων ΑΠΕ, έχοντας ως σημαντικότερο κριτήριο τη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων και επίσης, ορίζονται οι κατηγορίες ζωνών αποκλεισμού-ασυμβατότητας, που περιλαμβάνουν τις ασύμβατες χρήσεις και την τήρηση, όπου απαιτείται, ελάχιστων αποστάσεων από αυτές.

7 Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας

7.1 Εισαγωγή

Ορισμένες ΑΠΕ θέτουν ορισμένους τεχνικούς και λειτουργικούς περιορισμούς κατά τη χρήση τους. Παραδείγματος χάρη, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια απαιτούν αποθηκευτικά μέσα λόγω της διακύμανσής τους, εν αντιθέσει με τη γεωθερμία και τη βιομάζα, οι οποίες χαρακτηρίζονται από σταθερότητα και κατ' επέκταση, υπάρχει καλύτερη προβλεψιμότητα. Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση των ΑΠΕ έχει ως στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς δυσμενείς περιβαλλοντικές συνέπειες, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να διασφαλίζεται η ποιότητα παραγωγής και η αξιοπιστία του συστήματος.

Για αυτό το λόγο, οι ΑΠΕ μπορούν να συνδυάζονται με τις ήδη υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ή/και μεταξύ τους. Ο συνδυασμός διαφορετικών, αλλά συμπληρωματικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας βασισμένων στις ΑΠΕ και ο συνδυασμός ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας, είναι γνωστός σαν υβριδικό σύστημα ενέργειας. Συνήθως, τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν δύο ή και περισσότερες ΑΠΕ, συνδυασμένες με συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Το προφανές πλεονέκτημα μίας τέτοιας λύσης, είναι ότι σε περίπτωση αδυναμίας παροχής ενέργειας από τη μία πηγή χρησιμοποιείται η εφεδρική, οπότε το σύστημα δεν τίθεται εύκολα εκτός λειτουργίας και αυξάνεται η διαθεσιμότητά του. Ασφαλώς, μια τέτοια επιλογή αυξάνει αρκετά το κόστος επένδυσης και εγκατάστασης της μονάδας, αλλά αυξάνει και την αξιοπιστία του (Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011).

«Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας» ή απλά «Υβριδικά Συστήματα» ονομάζονται τα συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την ίδια διάταξη, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό, όμως, με τουλάχιστον μία μορφή ΑΠΕ, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου, αλλά και ένα σύστημα διαχείρισης φορτίου. Συνεπώς, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μία εναλλακτική επιλογή σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, τα οποία στηρίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Manwell, 2004).

Για να σχεδιαστεί ένα υβριδικό σύστημα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες (Καγκαράκης, 1992):

- η εθνική πολιτική για την προώθηση των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας και για την προώθηση των ΑΠΕ,
- τα χαρακτηριστικά του φορτίου και της περιοχής στην οποία βρίσκεται το σύστημα (ημερήσιες kWh, φορτίο αιχμής),
- η διαθεσιμότητα και η βέλτιστη εκμετάλλευση των ΑΠΕ,
- το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ στο υβριδικό σύστημα,
- το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος,
- την αξιοπιστία και την επίδρασή του στο περιβάλλον.

Ένα υβριδικό σύστημα, όπως προαναφέρθηκε, συνδυάζει τουλάχιστον δύο τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Από ΑΠΕ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες ή μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα και από τις συμβατικές τεχνολογίες, συνήθως γίνεται χρήση ντιζελογεννητριών, μονάδων που παράγουν ενέργεια από τη χρήση βιομάζας ή κυψελών καυσίμου. Επίσης, περιλαμβάνονται και ηλεκτρονικά ισχύος, όπως είναι οι ανορθωτές, οι αντιστροφείς και οι ρυθμιστές τάσης, και μπαταρίες για την αποθήκευση ενέργειας.

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο και μπορεί να εγκαθίστανται, είτε αποκλειστικά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ως συστήματα υποστήριξης σε περιπτώσεις διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, είτε μπαίνουν σε λειτουργία τις ώρες αιχμής, όταν η τιμή της kWh είναι υψηλή. Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο, περιλαμβάνουν μονάδες ΑΠΕ, οι οποίες είτε διασυνδέονται απευθείας στο δίκτυο, είτε αποθηκεύουν την ενέργεια τους, ώστε να χρησιμοποιηθεί, όταν υπάρξει ανάγκη. Αυτό εξαρτάται από την τιμή της παραγόμενης kWh, από την εκάστοτε μορφή ΑΠΕ και από το φορτίο, που πρέπει να καλυφθεί σε περίπτωση ανάγκης (Φραγκιαδάκης, 2007).

Υπάρχουν, όμως και τα μη συνδεδεμένα με το δίκτυο, τα «Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα», τα οποία είναι ανεξάρτητα από τα μεγάλα εθνικά δίκτυα και χρησιμοποιούν και αυτά ΑΠΕ, σε συνδυασμό με συμβατικές πηγές ενέργειας. Η ισχύς μπορεί να κυμαίνεται από πολλά MW, όπως για παράδειγμα στα αυτόνομα δίκτυα απομονωμένων νησιών, αλλά έως και λίγα kW, όπως στις περιπτώσεις απομονωμένων εξοχικών κατοικιών. Μικρά υβριδικά συστήματα ισχύος λίγων kW, μπορούν να χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για εφαρμογές κατανάλωσης ισχύος, όπως για παράδειγμα σε αναμεταδότες τηλεπικοινωνιών.

Ένα υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει ένα ή και περισσότερα αιολικά πάρκα (Α/Π), έναν υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ), ένα αντλιοστάσιο και δύο δεξαμενές, με το αιολικό πάρκο να είναι εγκατεστημένο όχι απαραίτητα στην ίδια ή παρακείμενη θέση με τα υπόλοιπα. Η κάτω και η άνω δεξαμενή του υβριδικού συστήματος τοποθετούνται με τέτοια υψομετρική διαφορά, που να μπορεί να εξασφαλιστεί ικανοποιητικό μανομετρικό ύψος. Η χωρητικότητα των δεξαμενών εξαρτάται από το διαθέσιμο μανομετρικό ύψος και από τις απαιτήσεις για αποθήκευση ενέργειας του υβριδικού συστήματος. Η αποθηκευτική ικανότητά του, συνήθως μετριέται σε ισοδύναμες ώρες λειτουργίας των υδροστρόβιλων στην ονομαστική τους ισχύ. Συνήθως, φυσικοί (τοπογραφία περιοχής) αλλά και οικονομικοί περιορισμοί (κόστος εξοπλισμού) μειώνουν την αποθηκευτική ικανότητα σε λιγότερο από μία μέρα. Οι τιμές που συναντώνται στη πράξη σε πολλές μελέτες κυμαίνονται γύρω στις είκοσι ώρες.

Η διαφορά ενός αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι, ότι πρέπει να έχει τη δυνατότητα να παρέχει όλη την ενέργεια που απαιτείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου, όταν είναι απαραίτητο. Επίσης, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής άεργου ισχύος, ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου.

Δηλαδή, όταν η ηλεκτρική παραγωγή από τις ανανεώσιμες μονάδες του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, η περίσσεια ενέργεια πρέπει να αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο, ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα. Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό, οπότε επηρεάζονται έντονα από τη σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας. Γι' αυτό το λόγο, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου (Βρεττός, 2010).

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν τουλάχιστον μία συμβατική γεννήτρια ντίζελ AC ή DC, ένα σύστημα διανομής, ένα διανεμημένο φορτίο AC, συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και κάποιες ανανεώσιμες πηγές ισχύος, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά κ.α. Οι συσκευές αποθήκευσης λειτουργούν σε ορισμένες περιπτώσεις και ως φορτία. Επίσης, περιλαμβάνουν σύγχρονους πυκνωτές, διατάξεις αυτόματης απόρριψης φορτίου και ένα σύστημα διαχείρισης και εποπτικού ελέγχου του αυτόνομου δικτύου.

Οι σταθμοί που παράγουν ηλεκτρική ισχύ από ΑΠΕ λειτουργούν όχι μόνο, όταν η ενέργειά τους μπορεί να απορροφηθεί άμεσα από το δίκτυο, αλλά και όταν δεν είναι εφικτή η απορρόφηση. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται άντληση νερού, έτσι ώστε να ανυψωθεί η στάθμη του σε έναν ταμιευτήρα, από τον οποίο θα μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου, ώστε αυτή να απορροφηθεί από το δίκτυο. Για να γίνουν τα έργα αυτά ελκυστικότερα οικονομικά, θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, είτε από το δίκτυο, είτε από συμβατικές πηγές ενέργειας, κατά τις ώρες βασικού φορτίου, ώστε να αποθηκεύεται ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, με στόχο τη χρησιμοποίηση της σε ώρες αιχμής φορτίου, καθώς τότε η ενέργεια είναι ακριβότερη.

Τα υβριδικά πάρκα είναι τα πιο κατάλληλα για μία συνδυαστική χρήση των ΑΠΕ, καθώς συνδυάζουν αιολική, ηλιακή και υδροηλεκτρική ενέργεια με τις υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ρεύματος, που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα ή πετρέλαιο. Με τον τρόπο αυτό, οι ανανεώσιμες και οι συμβατικές πηγές ενέργειας αλληλοσυμπληρώνονται, όταν η φύση αδυνατεί. Τα υβριδικά συστήματα ισχύος είναι μία τεχνολογία που αναπτύχθηκε, ώστε να είναι εφικτή η τροφοδοσία με ηλεκτρική ισχύ AC καθορισμένης συχνότητας σε απομακρυσμένες περιοχές. Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο κατανάλωσης μας απαλλάσσει από τη δαπάνη κατασκευής του δικτύου μεταφοράς και ελαχιστοποιεί τις απώλειες ισχύος, που εμφανίζονται στο δίκτυο αυτό, ιδιαίτερα σημαντικό γεγονός, ειδικά για δίκτυα μεγάλων αποστάσεων.

Ο καταλληλότερος και οικονομικότερος τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα ελληνικά νησιά είναι η αντλησιοταμίευση, που έχει τη μορφή αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού έργου. Αποτελείται, από το αιολικό πάρκο, τον υδροστρόβιλο, το αντλιοστάσιο, δύο δεξαμενές για την ανακύκλωση του νερού και σωληνώσεις. Οι δύο δεξαμενές πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και με ικανή υψομετρική διαφορά.

Το αιολικό πάρκο παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αν δε μπορεί να απορροφηθεί από το μη διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο, αξιοποιείται για άντληση νερού από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη δεξαμενή. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια του νερού και αποθηκεύεται στην υψηλότερη δεξαμενή. Έτσι, λοιπόν, τις ώρες αυξημένης ζήτησης ή όταν η αιολική ενέργεια δεν είναι δυνατόν να εξυπηρετήσει την απαιτούμενη ζήτηση, τότε το νερό της ψηλότερης δεξαμενής χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του υδροστρόβιλου. Η συνδυασμένη χρήση αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση αποτελεί λύση, που μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστική αύξηση της κάλυψης των αναγκών από ΑΠΕ, σε ένα αυτόνομο νησί μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους.

Επίσης, μπορεί να συνδυαστεί με μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες θα χρησιμοποιούν μέρος της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή πόσιμου νερού. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα του νερού, όχι μόνο για ενεργειακή χρήση, αλλά και για ύδρευση ή άρδευση, καθώς, σε αρκετά ελληνικά νησιά καταγράφεται έλλειψη νερού.

Τα υβριδικά έργα, είναι τα έργα αυτά που μας παρέχουν δυνατότητα για μεγαλύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ σε δίκτυα με περιορισμένη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι τα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Οι καταστάσεις λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος είναι οι ακόλουθες:

- λειτουργία υδροστρόβιλων: η αποθηκευμένη υδραυλική ενέργεια στην άνω δεξαμενή μετατρέπεται μέσω της λειτουργίας των υδροστρόβιλων σε ηλεκτρική, ενώ οι ανεμογεννήτριες και οι αντλίες είναι εκτός λειτουργίας,
- αντλησιο-αιολική συνεργασία: η παραγόμενη αιολική ισχύς χρησιμοποιείται για άντληση και αποθήκευση ενέργειας στην άνω δεξαμενή, ενώ οι υδροστρόβιλοι είναι εκτός λειτουργίας,
- άντληση από το δίκτυο: οι αντλίες λειτουργούν απορροφώντας ενέργεια από το δίκτυο και όχι από την αιολική ενέργεια του υβριδικού συστήματος,
- λειτουργία μόνο του αιολικού πάρκου: το αιολικό πάρκο του υβριδικού συστήματος παρέχει την ενέργεια απ’ ευθείας στο δίκτυο, χωρίς ταυτόχρονη άντληση,
- ταυτόχρονη παραγωγή και άντληση: ένας συνδυασμός των δύο πρώτων καταστάσεων λειτουργίας. Παράλληλα με τους υδροστρόβιλους (των οποίων η ισχύς μπορεί να υποκαθίσταται από αιολική, στο πλαίσιο της υδροαιολικής συνεργασίας), λειτουργούν και οι αντλίες που αξιοποιούν την αιολική ισχύ του υβριδικού συστήματος για αποθήκευση νερού στην άνω δεξαμενή. Αυτή η κατάσταση λειτουργίας προϋποθέτει την ύπαρξη ξεχωριστών υδραυλικών μηχανών για παραγωγή και άντληση και έχει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της αιολικής ισχύος ακόμη και όταν παράγουν οι υδροστρόβιλοι, γεγονός αρκετά σημαντικό δεδομένου ότι οι υδροστρόβιλοι μπορεί να είναι σε λειτουργία αρκετές ώρες την ημέρα, συνήθως 4-8 ώρες, αλλά ορισμένες φορές πολύ περισσότερες (Παπαευθυμίου, 2012).

7.2 Πλεονεκτήματα Υβριδικών Συστημάτων

Τα βασικότερα οφέλη των υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα (Μυσίρης, 2015):

- τα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας χαρακτηρίζονται ως τα συστήματα, τα οποία εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε τεχνολογίας και παρέχουν ενέργεια ισάξιας ποιότητας με αυτή που παρέχεται από το δίκτυο, παράγοντας σε εύρος από 1 kW έως μερικές εκατοντάδες kW. Συνεπώς, εξασφαλίζεται η αξιοπιστία και η υψηλή απόδοση του συστήματος
- Τα υβριδικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογίες με καύσιμο, λειτουργούν με την απαραιτήτως ελάχιστη κατανάλωση, επειδή η παραγωγή ενέργειας μέσω αυτού, γίνεται μόνο κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης ή χαμηλού ανανεώσιμου δυναμικού. Συνεπώς, η κατανάλωση καυσίμου είναι πολύ μειωμένη σε σχέση με μονάδες που χρησιμοποιούν μόνο συμβατικές τεχνολογίες. Άρα, αποτελούν μία λύση ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον.
- Τα υβριδικά συστήματα συνήθως, εγκαθίστανται σε αγροτικές περιοχές, που είναι απομονωμένες από το δίκτυο ή σε νησιά μη συνδεδεμένα με το δίκτυο. Επειδή, οι αγροτικές περιοχές δεν εμφανίζουν υψηλό φορτίο ζήτησης, θεωρείται μη συμφέρουσα η δημιουργία δικτύου για την ηλεκτροδότησή τους. Άρα, η παροχή ενέργειας από υβριδικά συστήματα που βασίζονται σε ΑΠΕ, κρίνεται πιο οικονομική.
- Τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται, επίσης, σε νοσοκομειακές μονάδες ή και σε τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, χάρη της υψηλής αποδοτικότητας και αξιοπιστίας του συστήματος. Αποτελούν την πιο αποτελεσματική λύση για παροχή ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών ρεύματος ή οποιασδήποτε έκτακτης ανάγκης.
- Τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούν διαφορετικές ενεργειακές πηγές, αειφόρων και συμβατικών πηγών ενέργειας, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η εξάρτηση από συγκεκριμένες ενεργειακές πηγές.

Ειδικότερα για τη νησιωτική Ελλάδα, πρέπει να επισημάνουμε ότι επιτυγχάνεται:

- επαρκής ηλεκτρική ενέργεια, τόσο κατά τους χειμερινούς, όσο και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες,
- αποφυγή γενικών ή μερικών διακοπών ρεύματος,
- εξασφάλιση των σημαντικών ποσοτήτων νερού ύδρευσης και άρδευσης, τόσο για τους μόνιμους κατοίκους, όσο και για τους επισκέπτες,
- μείωση της ανεργίας, λόγω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας,
- μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, λόγω της μείωσης της λειτουργίας των τοπικών σταθμών παραγωγής.

Όλα τα προαναφερθέντα καθιστούν σαφές ότι τα υβριδικά συστήματα αποτελούν την καλύτερη αποκεντρωμένη λύση.

7.3. Εφαρμογές Υβριδικών Συστημάτων

Ορισμένοι από τους τομείς που βρίσκουν εφαρμογή είναι τα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής σε κεντρικό δίκτυο, τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα και η τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού (Manwell, 2004).

7.3.1 Συστήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής σε Κεντρικό Δίκτυο

Τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα αποτελούνται από τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δίκτυα διατρέχονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και η τάση και η συχνότητα που τα χαρακτηρίζει δεν επηρεάζονται από την παρουσία επιπρόσθετων γεννητριών ή φορτίων, είναι δηλαδή δίκτυα άπειρου ζυγού. Η σύνδεση ενός υβριδικού σταθμού με ένα κεντρικό δίκτυο, ονομάζεται διεσπαρμένη παραγωγή. Το κεντρικό δίκτυο είναι αυτό, που έχει την ευθύνη για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας, αλλά και για την παραγωγή αεργού ισχύος, συνεπώς ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος απλοποιείται, καθώς πλέον, δεν απαιτείται επιπλέον σύστημα ελέγχου.

Στην περίπτωση, όπου υπάρχει ζήτηση για περισσότερη ενέργεια από αυτήν που μπορεί να παράγει ο σταθμός, το ζητούμενο έλλειμμα ενέργειας παρέχεται από το κεντρικό δίκτυο. Και στην περίπτωση, όμως που υπάρχει πιθανή περίσσεια ενέργειας, που παράγεται από το υβριδικό σύστημα, αυτή απορροφάται από το κεντρικό δίκτυο. Μπορεί να παρατηρηθεί, ότι ο υβριδικός σταθμός επηρεάζει τη σταθερή τάση του κεντρικού δικτύου, οπότε τότε γίνεται λόγος για ασθενές δίκτυο και απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός και διατάξεις ελέγχου, ώστε να σταθεροποιηθούν τα ζητούμενα μεγέθη.

7.3.2 Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα (ΑΥΣ) χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων ή νησιωτικών περιοχών, οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή, χρειάζεται μόνο σύστημα διανομής της ενέργειας και όχι σύστημα μεταφοράς. Ο λόγος που κρίνεται απαραίτητη η μετατροπή ενός συμβατικού αυτόνομου σταθμού σε υβριδικό, είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και η μείωση της λειτουργίας των συμβατικών γεννητριών. Η κύρια διαφορά ενός αυτόνομου και ενός διασυνδεδεμένου υβριδικού συστήματος είναι, ότι το αυτόνομο θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα για κάλυψη όλης της ζητούμενης ενέργειας ανά πάσα χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου σε περιπτώσεις, που είναι απαραίτητο.

Επίσης, θα πρέπει να έχει ικανότητες παραγωγής αεργού ισχύος και ρύθμισης συχνότητας, ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες ΑΠΕ του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, τότε η περίσσεια ενέργειας θα πρέπει να αποθηκευτεί ή ακόμα και να απορριφθεί, για να μην προκληθεί αστάθεια στο σύστημα. Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό και συνεπώς, επηρεάζονται έντονα από τη σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας.

Για αυτούς τους λόγους, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου.

7.3.3 Τροφοδότηση Απομονωμένων Φορτίων ή Φορτίων Ειδικού Σκοπού

Για την τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού, τα οποία μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος ή ακόμα και μεταβλητής τάσης και συχνότητας, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα χωρίς δίκτυο διανομής. Τέτοια φορτία είναι οι ηλεκτρικοί φάροι, τα φανάρια σήμανσης αυτοκινητοδρόμων, η άντληση νερού, τα συστήματα αφαλάτωσης, καθώς και οι ηλεκτρικοί μύλοι.

Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει, φωτοβολταϊκά πάνελ σε συνδυασμό με μπαταρίες και ηλεκτρονικά ισχύος. Σε τέτοιου τύπου συστήματα, ο έλεγχος συχνότητας και τάσης, όπως και η διαχείριση της περίσσειας ισχύος, δεν είναι από τις κύριες παραμέτρους. Υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα χρησιμοποίησης και μίας συμβατικής γεννήτριας, που θα λειτουργεί, όποτε η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ δεν επαρκεί, αλλά συνήθως δε βρίσκεται σε λειτουργία ταυτόχρονα με τις γεννήτριες.

7.3.4 Λειτουργία Υδροηλεκτρικής Μονάδας

Μια υδροηλεκτρική μονάδα περιλαμβάνει ταμιευτήρα, φράγμα, κλειστό αγωγό πτώσεως, υδροστρόβιλο (τουρμπίνα), ηλεκτρογεννήτρια και διώρυγα φυγής. Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων και παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Ουσιαστικά, οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται τη φυσική διαδικασία του κύκλου του νερού και η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Το νερό μετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς.

Αναλυτικότερα, κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον κλειστό αγωγό πτώσεως μπαίνει σε κίνηση ένας υδροστρόβιλος, ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Μία τουρμπίνα που είναι εγκατεστημένη σε μεγάλη μονάδα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90 rpm. Τα φράγματα είναι ο φυσικός ταμιευτήρας νερού και κατασκευάζονται σε σημεία όπου υπάρχουν ποταμοί και όπου η μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει.

Όσον αφορά στην ποσότητα του ηλεκτρισμού που μπορεί να παραχθεί, αυτή καθορίζεται από διάφορους παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα ηλεκτρισμού που θα παραχθεί είναι, πρώτον ο όγκος του νερού που ρέει και δεύτερον η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του υδροστροβίλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών.

Συνεπώς, επειδή ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα, οι καταλληλότερες περιοχές για την κατασκευή υδροηλεκτρικών μονάδων, είναι αυτές που καταγράφονται σημαντικές βροχοπτώσεις, που έχουν πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση. Συνήθως, η τελική παραγόμενη ενέργεια, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής.

Όπως προαναφέραμε, τα υδροηλεκτρικά έργα χωρίζονται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας, εκ των οποίων τα μικρής κλίμακας (μικρότερα από 30 MW) επιβαρύνουν πολύ λιγότερο το περιβάλλον και για αυτό θεωρούνται μονάδες παραγωγής από ΑΠΕ. Για αυτό το λόγο, στη συνέχεια αναφέρονται τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, θεωρούνται η σύγχρονη μορφή των γνωστών σε όλους, παραδοσιακών νερόμυλων. Τα μικρής κλίμακας δε χρειάζονται μεγάλη περισυλλογή νερού, είναι συνεχούς ροής και για αυτό το λόγο δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων. Επίσης, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διακρίνονται σε «μίνι-υδροηλεκτρικά» και «μίκρο-υδροηλεκτρικά» ανάλογα με την ισχύ τους, αντίστοιχα <500 kW και <100 kW.

Στην Ελλάδα, το 80% των υδροηλεκτρικών έργων μικρής κλίμακας βρίσκονται σε ορεινές περιοχές και το υπόλοιπο 20% σε περιοχές με μικρότερο υψόμετρο. Αυτά που βρίσκονται σε ορεινές περιοχές, εκμεταλλεύονται την υψομετρική διαφορά μικρών υδατορευμάτων, χωρίς να υπάρχουν δεξαμενές αποθήκευσης νερού, με εκμετάλλευση της διαθέσιμης παροχής, επιτρέποντας στις πλημμύρες να περνούν από την υδροληψία χωρίς αποθήκευση. Τα έργα με μικρότερη υψομετρική διαφορά, έχουν συνήθως ένα πολύ μικρό ταμιευτήρα και δεν αλλοιώνουν ουσιαστικά τη γεωμορφολογία στη θέση υδροληψίας.

Το πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών έργων μικρής κλίμακας είναι, ότι μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ανάλογα με τη ζήτηση (δηλαδή δεν απαιτούνται συστήματα αποθήκευσης ή εφεδρείας), τουλάχιστον στις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες υφίσταται επαρκής ροή νερού. Το κόστος δε, είναι πολλές φορές ανταγωνιστικό των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

Έτσι, ένα έργο των 5 MW υποκαθιστά:

- 1400 τόνους/έτος ορυκτού καυσίμου,
- αποτρέπει την εκπομπή 16000 τόνων CO_2 και πάνω από 100 τόνων SO_2 ανά έτος,
- ενώ, καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό για περισσότερες από 5000 οικογένειες.

7.4 Υπάρχουσα Κατάσταση στην Ελλάδα

Βάσει νομοθεσίας (Ν. 3468/2006), ως υβριδικό σύστημα ή υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Χρησιμοποιεί τουλάχιστον μία μορφή ΑΠΕ.
- 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 σταθμός από το δίκτυο, 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 ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του υβριδικού σταθμού. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, σε ετήσια βάση.
- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού δε μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό έως και 20%.

Από τα πρώτα υβριδικά μοντέλα ανεμογεννήτριες-ντιζελογεννήτριες-μπαταρίες που δημιουργήθηκαν στην Ελλάδα, ήταν στο νησί της Κύθνου. Πρόκειται για ένα σύστημα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1.7 MW. Οι ντιζελογεννήτριες ποικίλουν από 100-550 kW. Υπάρχουν 5 ανεμογεννήτριες από 20 kW. Τα επίπεδα της μπαταρίας κυμαίνονται από 600-2400 kWh. Ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από το συνδυασμό τεχνολογιών (συμβατικών και ανανεώσιμων) με ένα σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

8 Αφαλάτωση

Η πρώτη βιβλιογραφία για την περιγραφή της αφαλάτωσης εντοπίζεται στην «Έξοδο» της Παλαιάς Διαθήκης (1500 π.Χ.). Σύμφωνα με τη Βίβλο, για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε από το Μωυσή στη τοποθεσία Mei Mara στην έρημο Sour του Σινά, όταν τοποθετώντας ένα κομμάτι ξύλου σε μη πόσιμο νερό, το μετέτρεψε σε πόσιμο παρέχοντας νερό στο διψασμένο λαό του (Delyannis, 2003).

Ιστορικά, η αφαλάτωση εφαρμόστηκε κατά τον 4^{ο} αιώνα π.Χ. από τους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς, με την εξάτμιση του θαλασσινού νερού, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη. Αναφέρεται επίσης, στην αραβική γραμματεία του 8ου αιώνα, που βασίζεται στην απόσταξη του νερού (Kalogirou, 2005). Δέκα αιώνες αργότερα, με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας, για να αποφευχθεί η διάβρωση των μηχανών, απαιτούντο μεγάλης ποσότητας αφαλατωμένου ύδατος (Κασάπη, 2009).

Πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, εκατοντάδες φορητές συσκευές αφαλάτωσης χρησιμοποιήθηκαν από τα στρατεύματα. Κατά το τέλος του 1960, έρευνα των τεχνολογιών αφαλάτωσης είχε δείξει σημαντική πρόοδο, στην οποία συνέβαλε και η ενσωμάτωση των διαδικασιών μεμβρανών, οδηγώντας σε σημαντική βελτίωση της τεχνικής (Einav et al., 2002; Κασάπη, 2009).

Σήμερα, παγκοσμίως λειτουργούν περίπου 13600 μονάδες αφαλάτωσης και έχουν παραγωγή 25.9x10^{6} m^{3}/ημέρα καθαρό νερό. Το 11% αυτών των μονάδων εγκαταστάθηκαν πριν το 2000. Το 38% αυτών βρίσκονται στον Περσικό Κόλπο και το 17% στις ΗΠΑ (Μουτάφης, 2008; Καραγιάννης, 2010).

8.1 Ορισμός και Γενικά Στοιχεία

Με τον όρο αφαλάτωση χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μία αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Η αφαλάτωση είναι μία μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Σκοπός της αφαλάτωσης είναι η παραγωγή πόσιμου νερού, μειώνοντας τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα επιτρεπτά επίπεδα ορίων. Η αφαλάτωση εμφανίζεται φυσικά στον υδρολογικό κύκλο, καθώς το νερό εξατμίζεται από τους ωκεανούς και τις λίμνες σχηματίζοντας τα σύννεφα και τη βροχόπτωση, απαλλαγμένα από τα διαλυμένα στερεά (National Academy of Sciences, 2004). Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, ελλειμματική ποσότητα πόσιμου νερού και με πρόσβαση στο θαλασσινό νερό. Η διαδικασία της αφαλάτωσης χρονολογείται κατά τον 20ο αιώνα, ως τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων λειψυδρίας. Το 97.3% των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα, αναμεμειγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα άλατα, σε τέτοια μορφή όπου η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ως ικανό για βιομηχανικές διεργασίες, καθίσταται αδύνατη (Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011; Μουτάφης, 2008).

Η πρόοδος στις τεχνολογίες αφαλάτωσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης της αντίστροφης ώσμωσης (Reverse Osmosis, RO), οδήγησε σε σημαντικές μειώσεις του κόστους των διαδικασιών αφαλάτωσης, και διευκόλυνε την ευρύτερη χρήσης της. Ωστόσο, υπολογίζεται ότι πάνω από 75 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε φρέσκο νερό, που παράγεται μέσω της αφαλάτωσης θαλασσινού υφάλμυρου νερού (Khawaji et al., 2008). Μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν σε περίπου 125 χώρες, με τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού της θάλασσας να συμβάλλουν κατά 59%, ενώ οι μονάδες αφαλάτωσης υφάλμυρων υδάτων κατά 24%, στη συνολική παγκόσμια ικανότητα αφαλάτωσης, (National Academy of Sciences, 2004).

Η τεχνική της αφαλάτωσης νερού έρχεται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα έλλειψης υδατικών πόρων που οφείλονται σε μία σειρά από παράγοντες, όπως η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση ειδικά σε αστικές περιοχές, οι εποχιακές μεταπτώσεις ιδιαίτερα εξαιτίας της τουριστικής ανάπτυξης των περιοχών, οι αυξανόμενες αρδευτικές ανάγκες στις σύγχρονες καλλιεργητικές μεθόδους, η έλλειψη υδατικών πόρων λόγω γεωμορφολογικών και άλλων χαρακτηριστικών κλπ.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παρούσα κατάσταση προκαλεί έντονο προβληματισμό και ανησυχία, καθώς περίπου το 40% του πληθυσμού, δηλαδή 1.1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε αποθέματα φρέσκου νερού. Ενώ, για το 2025 οι προβλέψεις είναι δυσοίωνες και αγγίζουν περίπου το 60%.

Στην Ελλάδα υπάρχουν περιοχές που πλήττονται ιδιαίτερα από την έλλειψη υδατικών πόρων, όπως παραδείγματος χάρη, πολλά νησιά του Αιγαίου και της υπόλοιπης χώρας. Τα νησιά έχουν περιορισμένες λεκάνες απορροής, λιγοστούς υπόγειους υδατικούς πόρους και επιβαρύνονται σημαντικά από την τουριστική περίοδο. Είναι χαρακτηριστικό, ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι επισκέπτες είναι πολλαπλάσιοι του μόνιμου πληθυσμού, με ότι αυτό συνεπάγεται για τις ανάγκες νερού.

Συνήθως, οι τρόποι που ακολουθούνται για την αντιμετώπιση του προβλήματος του νερού είναι η καλύτερη αξιοποίηση των υπόγειων υδάτων, με γεωτρήσεις και αξιοποίηση των πηγαδιών, η μεταφορά νερού από άλλες περιοχές, είτε με υδροφόρα πλοία, είτε μέσω καναλιών/δικτύων από κοντινές περιοχές, η δημιουργία ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού και η εγκατάσταση συστημάτων αφαλάτωσης.

Η αξιοποίηση των υπόγειων υδάτων προϋποθέτει την ύπαρξη υδατικού δυναμικού. Η μεταφορά νερού από άλλες περιοχές σημαίνει αυτόματα υψηλό κόστος και είναι μία επιλογή που δε μπορεί να είναι μόνιμη. Η δημιουργία ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού προϋποθέτει σημαντικές λεκάνες απορροής και συνεπάγεται απαλλοτριώσεις γης και υψηλό κόστος κατασκευής. Παρόλα αυτά, οι ταμιευτήρες είναι έργα πολλαπλού σκοπού με πληθώρα θετικών αποτελεσμάτων και μπορούν να εξασφαλίσουν μεγάλες ποσότητες υδάτων. Η εγκατάσταση συστημάτων αφαλάτωσης έχει υψηλό λειτουργικό κόστος ως συνέπεια του υψηλού κόστους ενέργειας που ανεβάζει κατακόρυφα το κόστος υδροδότησης.

8.2 Τεχνολογίες ή μέθοδοι Αφαλάτωσης

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες αφαλάτωσης, για το διαχωρισμό των αλάτων από το νερό και η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ορισμένοι από αυτούς είναι η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, η προοριζόμενη χρήση του παραγόμενου νερού, το μέγεθος της εγκατάστασης, οι κύριες δαπάνες, τα ενεργειακά κόστη και η δυνατότητα ενεργειακής ανάκτησης.

Τα διάφορα συστήματα αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν σε βασικές κατηγορίες ανάλογα τη φύση των διεργασιών που περιλαμβάνουν. Οι πιο εμπορικά διαθέσιμες και διαδεδομένες μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στα συστήματα θερμικών διεργασιών, όπου το νερό αλλάζει τουλάχιστον δύο φάσεις, και τα συστήματα που χρησιμοποιούν μεθόδους αφαλάτωσης με μεμβράνες, όπου η διαδικασία ολοκληρώνεται σε μία μόνο φάση, την υγρή.

8.2.1 Θερμικές διεργασίες (Phase-change thermal processes)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τη χρήση θερμικών μέσων για να πραγματοποιηθεί μια αλλαγή της φάσης του νερού, ώστε να επιτευχθεί διαχωρισμός της νέας φάσης από το αλάτι. Οι διεργασίες απόσταξης ήταν οι πρώτες διαδικασίες αφαλάτωσης που εφαρμόστηκαν σε μεγάλη εμπορική κλίμακα και αποτελούν μεγάλη μερίδα της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης (Miller, 2003).

Το νερό κατά τις θερμικές διεργασίες εναλλάσσεται από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, έως ότου συμπυκνωθεί ξανά σε υγρή μορφή. Αυτό επιτυγχάνεται με την απόσταξη, αλλά και με τη λιγότερο διαδεδομένη κρυστάλλωση. Οι μονάδες που λειτουργούν με τη μέθοδο της απόσταξης, ουσιαστικά μιμούνται το φυσικό κύκλο του νερού, θερμαίνοντας το αλμυρό νερό και παράγοντας υδρατμούς, οι οποίοι συμπυκνώνονται και έτσι σχηματίζεται γλυκό νερό. Οι μονάδες αφαλάτωσης στηρίζονται στην αρχή της απόσταξης (National Academy of Sciences, 2004; Kalogirou, 2005):

- Πολυβάθμιας Εκτόνωσης (Multi-Stage Flash distillation - MSF), οι οποίες αποτελούν το 44% της παγκόσμιας δυναμικότητας του συνόλου των μονάδων αφαλάτωσης. Χρησιμοποιούν μια σειρά δοχείων, κάθε ένα με διαδοχικά χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση, για να εξατμιστεί γρήγορα το νερό, από όλη τη μάζα του διαλύματος τροφοδοσίας.
  Έπειτα, ο ατμός συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτήρα, ο οποίος χρησιμοποιεί ως μέσο ψύξης το εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας κατανάλωσης ενέργειας.
- Πολυβάθμιας Εξάτμισης (Multi-Effect Distillation - MED), η οποία είναι ταχέως αναπτυσσόμενη, όπου ο ατμός που παράγεται σε ένα δοχείο, συμπυκνώνεται στη συνέχεια στο επόμενο δοχείο, όπου θερμοκρασία και πίεση είναι χαμηλότερες, παρέχοντας πρόσθετη θερμότητα για την εξάτμιση. Η τεχνολογία MED χρησιμοποιείται με αυξανόμενη συχνότητα, όταν η θερμική εξάτμιση προτιμάται, λόγω της πιο μικρής κατανάλωσης ισχύος έναντι της MSF.

- Η εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression Distillation - VC), επίσης ταχέως αναπτυσσόμενη, είναι μια εξατμιστική διαδικασία όπου ο ατμός από τον εξατμιστήρα συμπιέζεται μηχανικά και η θερμότητά του χρησιμοποιείται για την επόμενη εξάτμιση του νερού τροφοδοσίας.
- Η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation) χρησιμοποιεί την ενέργεια του ήλιου για να εξατμίσει το νερό από ένα δοχείο χαμηλού βάθους, το οποίο στη συνέχεια συμπυκνώνεται στη διάφανη επιφάνεια, συνήθως από γυαλί, πάνω από το δοχείο και λόγω της κλίσης της ρέει προς τη βάση όπου και συλλέγεται.

Οι μονάδες που στηρίζονται στην απόσταξη παρουσιάζουν μικρό λειτουργικό κόστος, όταν είναι διαθέσιμη θερμική ή μηχανική ενέργεια με χαμηλό κόστος (Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011; Al-Karaghouli et al., 2009).

8.2.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης με μεμβράνες (Membrane processes)

Μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε δύο συστήματα αφαλάτωσης που έχουν μεγάλη επιτυχία, στην αντίστροφη ώσμωση και στην ηλεκτροδιάλυση. Οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούν την ιδιότητα των μεμβρανών, να διαχωρίζουν τα άλατα από το νερό, ωστόσο οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε μία από αυτές τις εφαρμογές (Κορωναίος, 2006). Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης αντιπροσωπεύει το 44% της παγκόσμιας παραγωγής αφαλατωμένου νερού και μαζί με τη μέθοδο MSF μονοπωλούν το συγκεκριμένο πεδίο έως σήμερα. Με μικρότερη παρουσία στο χώρο αλλά με ραγδαία ανάπτυξη είναι και η μέθοδος MED (Bourouni, 2012; Al-Karaghouli et al., 2009). Όσον αφορά στην ηλεκτροδιάλυση, τα ιόντα μετακινούνται μέσω ειδικά επιλεγμένων ανιονικών και κατιονικών μεμβρανών, καθώς εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Και οι δυο διαδικασίες είναι εμπορικά επιτυχείς σε μεγάλη κλίμακα (Miller, 2003; Tsiourtis, 2001).

Οι τεχνολογίες μεμβρανών για την αφαλάτωση και τον καθαρισμό νερού λειτουργούν με δύο κινητήριες δυνάμεις: πίεση και ηλεκτρικό πεδίο. Οι ακόλουθες τεχνολογίες μεμβρανών -που λειτουργούν με την άσκηση πίεσης- είναι διαθέσιμες στο εμπόριο για την επεξεργασία πόσιμου νερού χαμηλής ποιότητας για την παραγωγή υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού και για μια ποικιλία εφαρμογών (National Academy of Sciences, 2004).

8.2.2.1 Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis - RO)

Η αντίστροφη ώσμωση έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την κατασκευή διατάξεων και συστημάτων, από την πιο μεγάλη εγκατάσταση για την ύδρευση μίας κοινότητας ή μίας πόλης, έως και την κατασκευή της πιο μικρής συσκευής για την κάλυψη των αναγκών μίας οικίας. Από όλες τις μεθόδους αφαλάτωσης, η αντίστροφη ώσμωση βρίσκει τη μεγαλύτερη εφαρμογή, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, της καταλληλότητας για σύνδεση με φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες, καθώς και της παραγωγής υψηλών ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διεργασίες αφαλάτωσης (Μυσίρης, 2015). Με αυτή τη μέθοδο, το αλμυρό νερό διαχωρίζεται υπό πίεση μέσω ημιπερατών μεμβρανών από τα άλατα, χωρίς θέρμανση ή αλλαγή φάσης, αφήνοντας πίσω του συγκέντρωση άλμης υψηλού βαθμού.

Η κύρια απαίτηση της μεθόδου αυτής είναι η ενέργεια για τη συμπίεση του νερού. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην αντιστροφή του φυσικού φαινομένου της ώσμωσης. Όταν δυο υγρά -με διαφορετική περιεκτικότητα σε άλατα- έρχονται σε επαφή, τότε το υγρό με τη μικρότερη περιεκτικότητα, θα μετατοπισθεί προς το υγρό με την υψηλότερη, ούτως ώστε όλο το μείγμα να αποκτήσει την ίδια περιεκτικότητα σε άλατα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διάχυση.

Σε περίπτωση ωστόσο, που μεταξύ των δύο ουσιών παρεμβάλλεται μία ημιπερατή μεμβράνη, τότε αυτή αποτελεί εμπόδιο για τη διέλευση των αλάτων, αλλά το νερό διέρχεται ελεύθερα στο αλατούχο διάλυμα. Η ροή αυτή -από το αραιότερο προς το πυκνότερο υγρό- συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του αλατούχου διαλύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ώσμωση και συναντάται πολύ συχνά στη φύση και στους ζωντανούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, όπου οι μεμβράνες του ανθρώπινου οργανισμού είναι το δέρμα, τα νεφρά, οι πνεύμονες, καθώς και τα ίδια τα κύτταρα που λειτουργούν κατά κάποιο τρόπο ως μεμβράνες.

Η πίεση που πρέπει να ασκηθεί στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος, για να μη λάβει χώρα το φαινόμενο της ώσμωσης και να παραλάβουμε φιλτραρισμένο καθαρό νερό, ονομάζεται ωσμωτική πίεση. Στην περίπτωση που στο αλατούχο διάλυμα ασκηθεί πίεση -υψηλότερη της ωσμωτικής-, τότε η ροή αντιστρέφεται και έχουμε έξοδο καθαρού νερού από το αλατούχο διάλυμα προς το διαλύτη. Αυτό αποτελεί τη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης (Μουτάφης, 2008).

Για τις προαναφερθέντες διαδικασίες χρησιμοποιούνται διάφορα είδη μεμβρανών όπως (National Academy of Sciences, 2004; Fritzmann et al., 2007):

- Οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, που χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση αλάτων από υφάλμυρο και θαλασσινό νερό. Επίσης, για να αφαιρέσουν σημαντικές ποσότητες μερικών μοριακών οργανικών μολυσματικών παραγόντων από το νερό. Οι RO λειτουργούν υπό διαφορά πίεσης μεταξύ 5-8 MPa.
- Οι μεμβράνες νανοδιήθησης (Nanofiltration, NF), που χρησιμοποιούνται για την αποσκλήρυνση του νερού, αφαίρεση οργανικών ουσιών και θειικών αλάτων και μερική αφαίρεση ιών. Οι μεμβράνες αυτές λειτουργούν κάτω από διαφορά πίεσης μεταξύ 0.5-1.5 MPa.
- Οι μεμβράνες υπερδιήθησης (Ultrafiltration, UF), που χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση του χρώματος, διαλυμένων οργανικών ενώσεων μεγάλου βάρους, βακτηριδίων, και μερικών ιών. Οι μεμβράνες υπερδιήθησης επίσης λειτουργούν υπό διαφορά πίεσης μεταξύ 50-500 kPa.
- Οι μεμβράνες μικροδιήθησης (Microfiltration, MF), που χρησιμοποιούνται για τη μείωση της θολότητας και την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και βακτηριδίων. Οι μεμβράνες μικροδιήθησης λειτουργούν υπό διαφορά πίεσης μεταξύ 50-500 kPa.

- Η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), όπου είναι μια άλλη διαδικασία που είναι σημαντική στην αφαλάτωση, η οποία λειτουργεί κάτω από μια διαφορετική κινητήρια δύναμη, εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο, ώστε να απομακρυνθούν τα ιόντα προς τις αντίθετες κατευθύνσεις. Ουσιαστικά είναι διαχωρισμός των ιόντων του νερού μέσω της εφαρμογής ηλεκτρικού πεδίου, χρησιμοποιώντας κατιονικές και ανιονικές μεμβράνες. Η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal, EDR) λειτουργεί σύμφωνα με τις ίδιες αρχές, αλλά περιοδικά αντιστρέφει την πολικότητα του συστήματος για να περιορίσει το σχηματισμό επιστρώματος στην επιφάνεια των μεμβρανών.

Στην πράξη, υπάρχει ένα δοχείο που χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα με μία μεμβράνη. Η μεμβράνη αυτή είναι ένα πορώδες υλικό με πολύ μικρούς πόρους. Στο ένα διαμέρισμα, που το ονομάζουμε Α, τοποθετείται μία ποσότητα καθαρού αποσταγμένου νερού. Στο άλλο διαμέρισμα, το οποίο ονομάζουμε Β, τοποθετείται επίσης μία άλλη ποσότητα νερού (ίδιος όγκος με την Α), η οποία όμως, περιέχει άλατα. Οι στάθμες των δύο διαμερισμάτων βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Μετά από λίγη ώρα, παρατηρείται να ανεβαίνει η στάθμη του Β διαλύματος, επειδή τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο Α διαμέρισμα, διέρχονται μέσα από τη λεπτή διαχωριστική μεμβράνη προς το διάλυμα Β. Έτσι το διάλυμα Β εμπλουτίζεται με νερό, αυξάνοντας τον όγκο του. Αυτή η κίνηση των μορίων του νερού συμβαίνει συνέχεια, έως ότου αποκατασταθεί μία κάποια μοριακή ισορροπία, που τείνει να εξισορροπήσει τις περιεκτικότητες των δύο διαλυμάτων. Αυτή η διαδικασία -με πρωταγωνιστή τη διαχωριστική μεμβράνη- είναι η ώσμωση (Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011).

Αν τώρα τοποθετηθεί ένας πλωτήρας στην επιφάνεια του υγρού Β, έτσι ώστε να εφαρμόζει στεγανά και τοποθετήσουμε πάνω σε αυτό κάποιο βάρος, έτσι ώστε να σταματήσουμε την ανοδική του πορεία, προκαλούμε μία αντίσταση στην πορεία του νερού από το Α προς το Β. Τότε η ροή σταματά και τα δύο διαλύματα βρίσκονται κάτω από μία ισορροπία πιέσεων. Η πίεση που προκλήθηκε για να σταματήσει αυτή η άνοδος της στάθμης του διαλύματος Β, είναι η ωσμωτική πίεση.

Αν τώρα αυξηθεί αυτή η πίεση, δηλαδή η τεχνητή πίεση που προκλήθηκε στο διάλυμα Β αυξάνοντας το προστιθέμενο βάρος, θα πάψει να δέχεται καθαρό νερό μέσα από τη μεμβράνη από το διαμέρισμα Α. Τότε θα συμβεί το εξής φαινόμενο, το νερό που υπάρχει στο διάλυμα Β, θα περνά στο διαμέρισμα Α. Παρατηρούμε τότε τη στάθμη του Α να ανεβαίνει και φυσικά του Β να υποχωρεί. Από τους πόρους της μεμβράνης διέρχεται μόνο καθαρό νερό, ενώ το αλάτι δεν περνάει και παραμένει στο χώρο του διαμερίσματος Β.

Αποτέλεσμα αυτού θα είναι, όσο αυξάνεται η πίεση στο διαμέρισμα Β, το νερό που βρίσκεται στο Α, να εμπλουτίζεται με νέο καθαρό νερό από το διαμέρισμα Β. Η στάθμη του νερού του Α τώρα θα είναι υψηλότερη από αυτή του Β, ενώ στο Β θα παραμείνει μία μικρή ποσότητα συμπυκνωμένου διαλύματος NaCl (χλωριούχο νάτριο). Στο Α, θα έχουμε περισσότερη ποσότητα καθαρού νερού από ότι αρχικά.

Η τεχνική αυτή που εφαρμόστηκε και προκάλεσε το αντίθετο φαινόμενο της ώσμωσης ονομάζεται αντίστροφη ώσμωση (Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011).

Το νερό απόρριψης μαζί με την άλμη και τα υπόλοιπα σωματίδια αντιπροσωπεύει το 35-100% της παραγωγής του φρέσκου νερού, αναλόγως το νερό τροφοδοσίας.

Στις σύγχρονες εφαρμογές, η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης είναι αυτοματοποιημένη με μία αντλία υψηλής πίεσης, η οποία διοχετεύει συνεχώς θαλασσινό νερό σε ένα δοχείο υψηλής πίεσης, το οποίο περιέχει μεμβράνες.

Περίπου το 80% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης παρέχεται από δυο τεχνολογίες: τη πολυβάθμια εκρηκτική απόσταξη (MSF) και την αντίστροφη ώσμωση (RO). Οι διαδικασίες MSF και RO καταλαμβάνουν το 44% και 42% της παγκόσμιας ικανότητας αντίστοιχα (Eltawil et al., 2009; Garcia-Rodnguez, 2003). Η διαδικασία MSF αντιπροσωπεύει πάνω από το 93% της παραγωγής των θερμικών διαδικασιών, ενώ RO αντιπροσωπεύει πάνω από το 88% της παραγωγής των διαδικασιών μεμβρανών (He and Yan, 2009; Garcia-Rodriguez, 2003).

Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας διαχωρίζεται στο διήθημα, που αποτελεί το καθαρό νερό (περίπου το 30-40% του νερού εισόδου) και στο υπόλοιπο (60-70%) διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης αλάτων, τη λεγόμενη άλμη ή αλμόλοιπο. Το αλμόλοιπο περιλαμβάνει το 99.8% των αλάτων. Το διήθημα είναι νερό εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα κατάλληλο για ύδρευση, άρδευση και τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις (Ράπτης, 2012).

Στην τελευταία δεκαετία, δύο βελτιώσεις συνέβαλαν στη μείωση του κόστους λειτουργίας των μονάδων RO, οι εξελίξεις των μεμβρανών που μπορεί να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε χαμηλότερες πιέσεις και η χρήση των συσκευών ανάκτησης ενέργειας. Οι χαμηλής πίεσης μεμβράνες χρησιμοποιούνται ευρέως στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού μειώνοντας σημαντικά το ενεργειακό κόστος λειτουργίας (Bourouni, 2012; Al-Karaghouli et al., 2009).

Τα μειονεκτήματα των μονάδων RO σε απομακρυσμένες περιοχές είναι η απαίτηση για εξειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας της μονάδας, τα χημικά που απαιτούνται και η δυσκολία στην αντικατάσταση των μεμβρανών. Για την ενσωμάτωση ΑΠΕ είναι σημαντικό η μονάδα να μην είναι ευαίσθητη σε επαναλαμβανόμενες εκκινήσεις από την αστάθεια στην παροχή ρεύματος (Kondili, Kaldellis, 2008).

8.3 Επεξεργασία του θαλασσινού νερού για Αφαλάτωση

Το θαλασσινό νερό πρέπει να περάσει από ορισμένα στάδια επεξεργασίας, προκειμένου να επιτευχθεί η αφαλάτωση. Για την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών πρέπει το νερό να περάσει από ένα στάδιο προ επεξεργασίας, όπου καταστρέφονται οι μικροοργανισμοί και αφαιρούνται τα αιωρούμενα σωματίδια. Είναι μία απαραίτητη διαδικασία, προκειμένου να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Τα στάδια της προ επεξεργασίας του θαλασσινού νερού είναι τα ακόλουθα:

- φίλτρο εισόδου, όπου υπάρχει μία σίτα στην αναρρόφηση, ώστε να αποφευχθεί η είσοδος ψαριών, φυκιών και πλαστικών,
- γίνεται προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού, με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου,
- γίνεται προσθήκη οξέος, συνήθως θειικού, για τη ρύθμιση της οξύτητας και την αποφυγή εναπόθεσης αλάτων,
- γίνεται προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη για τη συσσωμάτωση των κολλοειδών και οργανικών ουσιών,
- τοποθετείται φίλτρο άμμου (που περιλαμβάνει άμμο, χαλίκια και ανθρακίτη) για την κατακράτηση των ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων,
- τοποθετούνται φίλτρα πολυπροπυλενίου για κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος έως και 1 μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες,
- γίνεται αποχλωρίωση, με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, για την αποφυγή καταστροφής των μεμβρανών λόγω παρουσίας ελεύθερου χλωρίου,
- και τέλος, γίνεται αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία.

Ακολουθεί το στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, κατά το οποίο αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την απαιτούμενη πίεση, για να διέλθει το νερό από τις μεμβράνες και να απορριφθούν τα άλατά του. Η πίεση κυμαίνεται 54-80 atm. Όταν ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, στο υπόλοιπο αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων και ταυτόχρονα ένα μέρος του νερού, που τροφοδοτείται στις μεμβράνες, απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές (ποσοστό 20-70% της ροής τροφοδοσίας). Η απόρριψη αυτή είναι απαραίτητη, γιατί διαφορετικά η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα συνέχιζε να αυξάνει, με αποτέλεσμα την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και την αύξηση της ωσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών.

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και η προετοιμασία του για τη διανομή του ως πόσιμου νερού. Στο στάδιο αυτό γίνεται:

- απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο,
- ρυθμίζεται το pH του νερού,
- αυξάνεται η σκληρότητα, με την προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα,
- γίνεται η τελική χλωρίωση.

Στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης η ενέργεια, που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Επειδή, η ωσμωτική πίεση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων και είναι αυτή, η οποία πρέπει να υπερνικηθεί, ώστε να λάβει μέρος η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης, η πίεση λειτουργίας είναι 15-25 bar για τα υφάλμυρα νερά και 54-80 bar για το θαλασσινό νερό.

Η σημαντικότερη απώλεια ενέργειας είναι η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση από τη συσκευή και για αυτό (σε μεγάλες κυρίως μονάδες) υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, όπως υδροστρόβιλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95% (Μουτάφης, 2008).

8.4 Αφαλάτωση με Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνήθως χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις κόστους και σαφώς επηρεάζουν και το κόστος του παραγόμενου νερού.

Το αφαλατωμένο νερό είναι αναγκαίο να καταναλώνεται κοντά στην περιοχή που παράγεται, γιατί η μεταφορά του αυξάνει σημαντικά το κόστος. Άρα, η απαιτούμενη ενέργεια -για τη λειτουργία μιας μονάδας- πρέπει να διατίθεται στην ευρύτερη περιοχή της μονάδας. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διατεθεί σε οποιαδήποτε ποσότητα και απόσταση είναι αυτό απαραίτητο, σε αντίθεση με τη θερμική ενέργεια, που η μεταφορά της ανεβάζει πολύ το κόστος, ακόμα και αν πρόκειται για μικρές αποστάσεις (Καραχάλιου, 2010).

Επίσης, η τροφοδοσία ενέργειας μπορεί να γίνει από πυρηνικό εργοστάσιο, όπου ο συνδυασμός πυρηνικής ενέργειας και αφαλάτωσης είναι οικονομικός μόνο όταν αφορά μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης. Το κόστος αφαλάτωσης των συστημάτων που χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια, είναι σαφώς μικρότερο, του κόστους αφαλάτωσης των συστημάτων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα (Nissan, Benzarti, 2008). Τα πειραματικά αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν πως αυτός ο συνδυασμός έχει αρκετά τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα.

Ένας άλλος τρόπος ενεργειακής τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης είναι η απορριπτόμενη ενέργεια. Οι ποσότητες θερμικής ενέργειας, που απορρίπτονται από χημικές και άλλες βιομηχανίες, είτε στο περιβάλλον ως νερό ψύξης, είτε στην ατμόσφαιρα ως αέρας ψύξης, μπορούν να αξιοποιηθούν υπό προϋποθέσεις στην αφαλάτωση, γιατί μπορεί η περιεκτικότητα σε θερμική ενέργεια να είναι χαμηλή, οι ποσότητες όμως είναι πολύ μεγάλες. Ιδιαίτερα χρήσιμη απορριπτόμενη ενέργεια είναι αυτή των απαερίων, των μηχανών Diesel και των αεροστροβίλων (Μυσίρης, 2015).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ένα μικρό σύστημα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης ώσμωσης, εξοπλισμένο με υδραυλική μονάδα ανάκτησης ενέργειας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, το οποίο είναι σε συνεχή λειτουργία από τον Ιανουάριο του 2004. Η μόνη ηλεκτρική κατανάλωση αυτού του συστήματος είναι ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, ο οποίος τροφοδοτείται από μια μπαταρία 310 Ah.

Η μετρημένη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας του σημερινού συστήματος το καθιστά κατάλληλο για τη μελλοντική σύζευξη με συστήματα ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες (Papadakis et al., 2005).

8.5 Αφαλάτωση με Αιολική και Ηλιακή Ενέργεια

Έχοντας ως στόχο τη μείωση του ενεργειακού κόστους και κατά συνέπεια το κόστος του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού, τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο τομέα της αφαλάτωσης έχει επικεντρωθεί στο συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Οι ΑΠΕ έχουν τη δυνατότητα να παράγουν θερμική ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία), ηλεκτρική ενέργεια (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες) και μηχανική ενέργεια (ανεμογεννήτριες), ενώ δε ρυπαίνουν το περιβάλλον. Είναι οικονομικά προσιτές, καθώς προέρχονται από δωρεάν πρώτη ύλη, αλλά δεν έχουν βρει ακόμα ευρεία εφαρμογή. Η αφαλάτωση (σε συνδυασμό με τις ΑΠΕ) αντιπροσωπεύουν περίπου μόνο 0.02% της συνολικής ικανότητας αφαλάτωσης (Garcia-Rodriguez, 2002). Οι κύριοι λόγοι που οι ΑΠΕ δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή είναι (Eltawil et al, 2009; Mathioulakis et al, 2007):

- οι ΑΠΕ δεν έχουν συνεχή παροχή ενέργειας, ούτως ώστε να ανταποκρίνονται στη ζήτηση της παραγωγής,
- οι αρχικές δαπάνες εγκατάστασης και των διαφόρων συστημάτων είναι ακόμα υψηλές,
- δε μπορούν να αποθηκευτούν σε τέτοια ποσότητα, ώστε να μην επηρεάζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης,
- η τεχνολογία του συνδυασμού αφαλάτωσης και ΑΠΕ δεν είναι επαρκώς εξελιγμένη, ώστε να παρέχεται φθηνή ενέργεια σε χαμηλό κόστος. Συνήθως, η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από φωτοβολταϊκά.

Υπάρχουν προσδοκίες, ότι το ποσοστό 0.02%, είναι εφικτό να αυξηθεί με την ταυτόχρονη εξέλιξη της τεχνολογίας, λόγω της φιλικότητας τους προς το περιβάλλον (Καραγιάννης, 2010).

8.5.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τόσο για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια είναι απαραίτητη στις θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης, ώστε να επιτευχθεί η αλλαγή φάσης και η ηλεκτρική ενέργεια απαιτείται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών κυψελών και των ηλιακών αποστακτηρίων, την καθιστούν ακριβή μέθοδο, εκτός και αν η μονάδα γίνεται σε απομονωμένη περιοχή (Καραγιάννης, 2010).

Η παραγωγή θερμικής ενέργειας χρειάζεται ένα σύστημα απόσταξης, το οποίο αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη και το αποστακτήριο (Eltawil et al, 2009) ή από ένα σύστημα που περιλαμβάνει και τα δύο. Η πρώτη περίπτωση ονομάζεται έμμεση ηλιακή αφαλάτωση, ενώ η δεύτερη ονομάζεται άμεση ηλιακή αφαλάτωση. Η έμμεση ηλιακή αφαλάτωση συνήθως, γίνεται μέσω ενός εμπορικά διαθέσιμου ηλιακού συλλέκτη και μίας επίσης, εμπορικά διαθέσιμης διάταξης αφαλάτωσης.

Οι θερμικοί συλλέκτες ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνουν τους στάσιμους και τους κινούμενους συλλέκτες (He, Yan, 2009). Μικρά συστήματα παραγωγής (όπως οι ηλιακοί αποστακτήρες) μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις, όπου η απαίτηση

σε νερό είναι χαμηλή και η γη είναι φθηνή. Υψηλές απαιτήσεις σε νερό καθιστούν απαραίτητα συστήματα βιομηχανικής ικανότητας (Garcia-Rodriguez, 2002).

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί από μία διάταξη φωτοβολταϊκών στοιχείων. Για την αφαλάτωση οι προσπάθειες συνδυασμού ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β (με τη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης) ήταν επιτυχείς και συνιστούν μια οικονομικά βιώσιμη και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη λύση (Μυσίρης, 2015).

Τα συστήματα ηλιακής αφαλάτωσης παρουσιάζουν περιορισμένα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας, αλλά απαιτούν μεγάλες περιοχές εγκατάστασης και υψηλές αρχικές επενδύσεις (He, Yan, 2009).

8.5.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια, μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια και να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης. Ήδη τέτοιες μικρές μονάδες αφαλάτωσης, που χρησιμοποιούν την αιολική ενέργεια, υπάρχουν στα ελληνικά νησιά.

Διαφορετικές προσεγγίσεις για τα συστήματα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας είναι δυνατές. Πρώτον, οι ανεμογεννήτριες -καθώς και το σύστημα αφαλάτωσης- συνδέονται στο σύστημα του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή τη περίπτωση, τα βέλτιστα μεγέθη του συστήματος ανεμογεννητριών και αφαλάτωσης, καθώς και η αποφυγή δαπανών για τη χρήση καυσίμων, είναι σημαντικά.

Η δεύτερη επιλογή βασίζεται λίγο πολύ στην άμεση σύνδεση των ανεμογεννητριών και του συστήματος αφαλάτωσης. Μειονέκτημά της είναι οι διακυμάνσεις του αιολικού δυναμικού, που προκαλούν διακυμάνσεις στην παροχή ενέργειας, άρα και στην παραγόμενη ποσότητα αφαλατωμένου νερού. Το αιολικό δυναμικό θεωρείται κατάλληλο, αν η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι πάνω από 5 m/s, ενώ όταν η ένταση του ανέμου είναι πολύ υψηλή, η ανεμογεννήτρια τίθεται εκτός λειτουργίας. Οι ανεμογεννήτριες, όμως νέας τεχνολογίας, μικρού και μεσαίου μεγέθους, προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης (Eltawil et al., 2009).

Σε σύγκριση με τη λύση των φωτοβολταϊκών, η αιολική ενέργεια είναι πιο συμφέρουσα από οικονομικής άποψης, ενώ απαιτείται και πολύ μικρότερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού (Καραγιάννης, 2010). Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι το μειωμένο κόστος παραγωγής νερού σε σχέση με τις δαπάνες, όπου απαιτούνται για τη μεταφορά νερού στα νησιά και τη χρήση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας (Eltawil et al., 2009).

Οι περιοχές των ακτογραμμών παρουσιάζουν υψηλή διαθεσιμότητα πηγών αιολικής ενέργειας, με την αιολική ενέργεια να αποτελεί την πιο ανταγωνιστική τεχνολογία ανανεώσιμων πόρων στην παραγωγή ενέργειας.

Σε συνδυασμό με μονάδες αντίστροφης ώσμωσης, που αποτελούν διαδικασίες αφαλάτωσης με τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις, η χρήση αιολικής

ενέργειας για την αφαλάτωση αποτελεί μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση (He, Yan, 2009; Ackermann, Soder, 2002). Ωστόσο, τα συστήματα αφαλάτωσης, που τροφοδοτούνται από την αιολική ενέργεια, αποτελούν τη συχνότερη εφαρμογή των ΑΠΕ σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (Garcia-Rodriguez et al., 2002).

Αν και η μηχανική συμπίεση ατμού (Mechanic Vapor Compression) είναι περισσότερο ενεργοβόρα σε σχέση με την αντίστροφη ώσμωση, παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα στις περιπτώσεις διακυμάνσεων του ενεργειακού πόρου. Τα συστήματα αυτά είναι καταλληλότερα για απομακρυσμένες περιοχές, καθώς είναι πιο ανθεκτικά απαιτούν λιγότερο εξειδικευμένο προσωπικό και λιγότερες χημικές ουσίες, από ότι τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης. Επιπλέον, δεν απαιτούν αντικατάσταση μεμβρανών και προσφέρουν καλύτερης ποιότητας προϊόν (Garcia-Rodriguez, 2002).

Η διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης είναι ενδιαφέρουσα για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσαρμόζεται στις αλλαγές της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας και είναι καταλληλότερη για απομονωμένες περιοχές από την αντίστροφη ώσμωση (Eltawil et al., 2009).

8.6 Αφαλάτωση με άλλες ΑΠΕ

Γεωθερμική ενέργεια

Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας, ανάλογα με τη μετρούμενη θερμοκρασία, είναι χαμηλής (κάτω των 100 ^{o}C), μεσαίας (100-150 ^{o}C) και υψηλής θερμοκρασίας (άνω των 150 ^{o}C). Μια γεωθερμική πηγή υψηλής πίεσης επιτρέπει την άμεση χρήση της μηχανικής ενέργειας για την τροφοδότηση μια μονάδας αφαλάτωσης, ενώ υψηλή θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια μονάδων ηλεκτροδιάλυσης αντίστροφης ώσμωσης (Eltawil et al., 2009). Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ, το κύριο πλεονέκτημα της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι η θερμική αποθήκευση είναι περιττή, δεδομένου ότι είναι συνεχής και προβλέψιμη (Eltawil et al., 2009). Η γεωθερμία στην αφαλάτωση αποτελεί πολύ καλή λύση για την Ελλάδα, καθώς στα εδάφη της βρίσκονται πάρα πολλές πηγές.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα στον ελληνικό χώρο είναι η Μήλος, στα εδάφη της οποίας έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκμετάλλευσης της γεωθερμίας (Μυσίρης, 2015).

Βιομάζα

Η βιομάζα μπορεί να παράγει ενέργεια με χαμηλούς ρύπους. Παρ' όλα αυτά, ο συνδυασμός της με την αφαλάτωση, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδο, γιατί τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα σε άνυδρες περιοχές και η ανάπτυξη της βιομάζας απαιτεί πιο πολύ νερό από αυτό που θα προκύψει από τη μονάδα της αφαλάτωσης (Καραγιάννης, 2010).

Επίσης, η οικονομική απόδοση τέτοιων εγκαταστάσεων επηρεάζεται και από την απόσταση μεταξύ του τόπου, που παράγεται η βιομάζα και του τόπου, όπου αυτή καταναλώνεται.

Ωστόσο, χρήση της βιομάζας στην αφαλάτωση δεν αποτελεί μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση, δεδομένου ότι τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι κατά κανόνα διαθέσιμα σε ξηρές περιοχές και η ανάπτυξη βιομάζας απαιτεί περισσότερο φρέσκο νερό, από αυτό που θα μπορούσε να παράγει στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009).

Ενέργεια από την Θάλασσα

Το 1980 άρχισε να ερευνάται η αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας των ωκεανών και ιδιαίτερα στους ωκεανούς των τροπικών περιοχών. Καθώς υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας μέχρι και 27° C, μεταξύ του νερού της επιφάνειας και του πυθμένα σε βάθος 500-1000 m, αυτή η διαφορά είναι κατάλληλη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και αφαλατωμένου νερού (Garcia-Rodriguez, 2003).

Έρευνες γίνονται και για την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας των κυμάτων και των παλιρροϊκών φαινομένων, παρόλο που το κόστος της εκμετάλλευσης αυτής της μορφής ενέργειας είναι πολύ υψηλό, γεγονός που αποτρέπει τη χρήση της σε διαδικασίες αφαλάτωσης (Καραχάλιου, 2010). Η χρήση της ωκεάνιας ενέργειας για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού δεν είναι αυτή την περίοδο πρακτικά εφαρμόσιμη, καθώς η τεχνολογία της ενέργειας κυμάτων δεν είναι ακόμα εμπορικά διαθέσιμη, η παλιρροιακή ενέργεια είναι εξαιρετικά δαπανηρή και η ενέργεια της ωκεάνιας θερμικής κλίσης είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο (Garcia-Rodriguez, 2002).

8.7 Συνδυασμός Μεθόδων Αφαλάτωσης και ΑΠΕ

Όλες οι μέθοδοι αφαλάτωσης δεν μπορούν να συνδυαστούν με όλες τις ΑΠΕ. Δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί πρακτικά εφαρμόσιμοι, δεδομένου ότι πολλοί από αυτούς τους πιθανούς συνδυασμούς είναι πιθανόν να μην είναι βιώσιμοι υπό ορισμένες συνθήκες. Οι παράγοντες που εξετάζονται για την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας αφαλάτωσης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι (Kalogirou, 1998; Tzen, Morris, 2003):

- η ποσότητα του φρέσκου νερού που απαιτείται σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή σε συνάρτηση με το εύρος της εφαρμοσιμότητας των διαφόρων διαδικασιών αφαλάτωσης,
- η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σε ισορροπία με την κατανάλωση ενέργειας,
- η καταλληλόλητα της διαδικασίας για εφαρμογές ηλιακής ενέργειας,
- οι απαιτήσεις επεξεργασίας του θαλασσινού νερού,
- το κύριο κόστος εξοπλισμού και των εισαγόμενών υλικών,
- η απαιτούμενη έκταση περιοχής για την εγκατάσταση του εξοπλισμού,
- τα κριτήρια ευρωστίας και απλότητας της λειτουργίας,
- η περιορισμένη συντήρηση, το συμπαγές μέγεθος και η εύκολη πρόσβαση στην περιοχή,
- αποδοχή και υποστήριξη από την τοπική κοινωνία με ελάχιστη επιρροή στην κοινωνική συνοχή,

- οργάνωση σε τοπικό επίπεδο με σχετικά απλή κατάρτιση.

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης, είναι η επικρατέστερη από τις μεθόδους αφαλάτωσης, όταν συνδυάζεται με φιλικές προς το περιβάλλον μονάδες παραγωγής ενέργειας, γεγονός που οφείλεται κυρίως στις χαμηλές ενεργειακές της απαιτήσεις σε σχέση με τις θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης.

8.8 Κόστος αφαλάτωσης

Το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να διαχωριστεί σε κόστος επένδυσης και λειτουργικό κόστος. Το λειτουργικό κόστος μπορεί να επιμεριστεί περαιτέρω, σε κόστος ενέργειας, συντήρησης, επισκευών, προσωπικού, ανταλλακτικών και εκσυγχρονισμού της μονάδας.

Το κόστος ενέργειας αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα διαμόρφωσης της οικονομικής απόδοσης των συστημάτων αφαλάτωσης, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις αντιπροσωπεύει το 60% του συνολικού λειτουργικού κόστους (Zotalis et al., 2014; Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011). Άρα, η αύξηση της οικονομικής αποδοτικότητας και η μείωση του λειτουργικού κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης συσχετίζονται με τον περιορισμό του κόστους ενέργειας.

Άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το κόστος για τις μονάδες αφαλάτωσης είναι η τεχνολογία αφαλάτωσης, τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids - TDS) και ο τρόπος συγκέντρωσης του ακατέργαστου νερού για την τροφοδότηση του εργοστασίου. Το κόστος αφαλάτωσης μειώνεται, όταν χρησιμοποιείται νερό με λιγότερη περιεκτικότητα σε άλατα και όταν η δυναμικότητα των μονάδων αυξάνεται και επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακας (Zotalis et al., 2014).

8.9 Η Υπάρχουσα Κατάσταση στην Ελλάδα

Η υδροδότηση είναι ένα διαχρονικό πρόβλημα της νησιωτικής Ελλάδας, δεδομένων των μεγάλων αναγκών και της έλλειψης υδατικών πόρων. Οποιαδήποτε επιλογή και αν έγινε για τη λύση του προβλήματος υδροδότησης δεν απέδωσε και θεωρήθηκε αποτυχημένη. Οι λόγοι είναι πολλοί, όπως αστοχίες στις μελέτες των έργων, κακή εκτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας, υπερεκτίμηση της αποδοτικότητας των έργων, αδυναμίες διαχείρισης από τις τοπικές αρχές κλπ.

Εξαιτίας όλων αυτών των λόγων, το αποτέλεσμα ήταν (και πολλές φορές είναι ακόμη) τα νησιά, προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες τους σε υδατικούς πόρους, να προσφεύγουν στη λύση της μεταφοράς νερού μέσω υδροφόρων πλοίων. Μία επιλογή περιστασιακή, καθόλου οικονομικά συμφέρουσα αλλά κυρίως, μία επιλογή με επικινδυνότητα, ως προς την ασφάλεια παροχής νερού, αφού εξαρτάται από μία σειρά αστάθμητων παραγόντων, όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα υδροφόρων πλοίων, η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων σε άλλες περιοχές κλπ. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις το μεταφερόμενο νερό δεν είναι αρκετό να καλύψει τις ανάγκες των νησιών, με συνέπεια να γίνονται συνεχείς διακοπές και να υπάρχει πληθώρα προβλημάτων σε κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες (Εμμανουηλίδης, Κάραλης, 2011).

Σε εθνικό επίπεδο, η τεχνολογία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι της αντίστροφης ώσμωσης, με την οποία παράγεται το 74.4% του συνολικού νερού αφαλάτωσης. Αμέσως μετά, ακολουθεί η ED με την οποία παράγεται το 10.2% του συνολικού νερού αφαλάτωσης στην Ελλάδα, την ίδια στιγμή που με τις μεθόδους MED και MSF παράγεται το 8.5% και 6.8% του αφαλατωμένου νερού αντίστοιχα (Zotalis et al., 2014).

9 Περιγραφή περιοχής μελέτης

9.1 Ιστορία

Η Κάρπαθος καταγράφεται ως το δεύτερο μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων (Γαλάνη-Μουτάφη, 2002) και η ιστορία της ξεκινάει από τη 2η χιλιετία π.Χ., όπου παρατηρούνται οι πρώτοι κάτοικοι, Κρήτες στην καταγωγή. Οι Κρήτες έφτασαν στο νησί, λόγω της στενής σχέσης που είχε το νησί με την Κρήτη, κατά τη διάρκεια της Εποχής του Χαλκού. Σύμφωνα με τη μυθολογία, ο πρώτος κάτοικος της Καρπάθου ήταν ο Τιτάνας Ιαπετός, γιός του Ουρανού και της Γαίας, πατέρας των θεών και των ανθρώπων, πολύ πριν τους θεούς του Ολύμπου. Στο νησί έζησε επίσης ο Προμηθέας, γιος του Ιαπετού, που έκλεψε τη φωτιά από το Δία, για να την προσφέρει στους ανθρώπους. Σχετικά με το όνομα της Καρπάθου υπάρχουν διάφορες εκδοχές. Μία από αυτές συνδέει την ονομασία του νησιού με το φυτό κάρπασο, που ευδοκιμούσε στην Κάρπαθο. Το ίδιο φυτό ωστόσο έδωσε το όνομά του στην Καρπασία, πόλη της Κύπρου. Άλλη παράδοση επίσης, αναφέρει ότι το νησί είχε και την ονομασία Πορφυρία, το οποίο προερχόταν από τα κόκκινα κοχύλια.

Το νησί κατοικήθηκε πρώτη φορά τη Νεολιθική εποχή. Οι επαφές, που είχε το νησί με την Κρήτη, έπαιξαν ιδιαίτερο ρόλο στην ανάπτυξη του νησιού. Τότε το σπουδαιότερο λιμάνι ήταν το Ποτίδαιο (σημερινά Πηγάδια). Οι σχέσεις συνεχίστηκαν έως και το 14ο αιώνα, όπου τον έλεγχο της Καρπάθου απέκτησαν οι Μυκηναίοι, με απομεινάρια τάφων τους και οικισμών τους να αποδεικνύουν την ύπαρξή τους αυτή την περίοδο. Η Κάρπαθος συμμετείχε στην πρώτη Αθηναϊκή Συμμαχία, που έγινε το 478 π.Χ.. Ο Πελοποννησιακός Πόλεμος (431-404 π.Χ.) τη βρήκε σύμμαχο των Αθηναίων. Όμως, μετά την ήττα των Αθηναίων το 404 π.Χ., υπέκυψε στους Σπαρτιάτες και επανήλθε στους Αθηναίους το 397 π.Χ. που έδωσαν και την αυτονομία στο νησί (www.neakriti.gr/?page=newsdetail&DocID=1255671).

Στην κλασική εποχή, ως μέλος πλέον της Αθηναϊκής Συμμαχίας, το νησί ανθίζει οικονομικά και πνευματικά. Στην εποχή του Διοκλητιανού (μεταξύ του 245–313 μ.Χ.), ανήκει στην επαρχία Νήσων (provincial insularum) και αποτελεί ναύσταθμο της Ρώμης στη Μεσόγειο. Από τα μέσα του 7ου έως τα μέσα του 10ου αιώνα ωστόσο, οι πειρατές σκορπούν τρόμο στο νησί και γίνονται αιτία για την εγκατάλειψη και την ερήμωση που επέρχεται την εν λόγω περίοδο. Σήμερα, ακόμα υπάρχουν τα μεσαιωνικά ορεινά χωριά, που διατηρούνται από εκείνη την εποχή (Σπιλάνης, 2000).

Στο πέρασμα των αιώνων, την Κάρπαθο κατέκτησαν οι Άραβες, ο Γενοβέζος πειρατής Μορέσκο και οι Ενετοί. Από το πρώτο μισό του 16ου αιώνα (1538) μέχρι και τις αρχές του 20ού (1912) όπου τα Δωδεκάνησα περιήλθαν στην κατοχή των Ιταλών, η Κάρπαθος βρισκόταν στα χέρια των Τούρκων (το 1821 πήρε μέρος στην Ελληνική Επανάσταση). Οι Τούρκοι δεν κατοικούσαν στο νησί, παρά έστελναν φορολογικούς υπαλλήλους να εισπράξουν το φόρο και έφευγαν. Για το λόγο αυτό, δεν υπάρχουν στοιχεία που θυμίζουν την τουρκική κατοχή στο νησί.

Οι Τούρκοι προφανώς απέφυγαν να κατοικήσουν στην Κάρπαθο, διότι η Κάρπαθος αποτελούσε στόχο των πειρατών, που έσπερναν το φόβο στην περιοχή. Η απελευθέρωση ήρθε το 1823, όπου η Κάρπαθος ενώθηκε με την Ελλάδα και εντάχθηκε στην επαρχία της Σαντορίνης. Όμως, το 1830 με το Πρωτόκολλο του Λονδίνου, τα Δωδεκάνησα δόθηκαν ξανά στην Τουρκία και τελικά το 1912 τα κατέλαβαν οι Ιταλοί. Κατά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, το 1943 έφθασαν γερμανικά στρατεύματα στο νησί και ενώθηκαν μαζί με τους Ιταλούς. Η ένωσή της με την Ελλάδα έγινε αρκετά πρόσφατα στη σύγχρονη ιστορία, μόλις την 7η Μαρτίου 1948 μαζί με τα υπόλοιπα Δωδεκάνησα (http://www.greeka.com/dodecanese/karpathos/karpathos-history.htm).

9.2 Οικονομία και Απασχόληση των κατοίκων

Μία χαρακτηριστική δραστηριότητα των κατοίκων της Καρπάθου κατά την αρχαιότητα, ήταν η συλλογή κόκκινων κογχυλιών και δημιουργούσαν χρώμα που το χρησιμοποιούσαν για τη βαφή υφασμάτων (Γιούτλου, 2011).

Οι κύριες ασχολίες των κατοίκων του νησιού για πολλά χρόνια, ήταν ο πρωτογενής και δευτερογενής τομέας (γεωργία και κτηνοτροφία) και οικονομικά βρίσκονταν σε δεινή θέση, γεγονός που συχνά τους ωθούσε στην μετανάστευση σε άλλες πόλεις της Ελλάδος, είτε στο εξωτερικό (http://www.greek-tourism.com).

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια ο τουρισμός έχει προστεθεί στις ενασχολήσεις των κατοίκων και αυτό έχει συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη, στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, καθώς και στο γεγονός ότι κάποιο μέρος του πληθυσμού αποφάσισε να παραμείνει στο νησί. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι παρά την πολιτιστική μεταβολή, εξαιτίας της εισχώρησης πολλών ξενόφερτων στοιχείων με τον τουρισμό, το νησί εξακολουθεί να κρατάει τις παραδόσεις του, και να διατηρεί τα ήθη και τα έθιμα του. Παραδείγματος χάρη, το χωριό της Ολύμπου εξακολουθεί να προβάλλει τα ήθη και τα έθιμα της Καρπάθου μέσω του παραδοσιακού γάμου, της παραδοσιακής ενδυμασίας και της τοπικής κουζίνας (http://www.goldengreece.gr/places/dodekanisa/karpathos/karpathos_karpathos.html).

Οι απασχολούμενοι στην Κάρπαθο κατανέμονται κατά τομέα ως εξής :

- Ο Πρωτογενής Τομέας απασχολεί ποσοστό 14%, που δραστηριοποιείται στους κλάδους της γεωργίας, αλιείας, μελισσοκομίας και κυρίως κτηνοτροφίας. Η γεωργική γη καλύπτει το 7% της συνολικής έκτασης του νησιού. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της έκτασης το κατέχουν οι δενδρώδεις καλλιέργειες (ελιές, αμπέλια, συκιές, ροδιές, αμυγδαλιές κ.τ.λ.), ακολουθούν οι αροτραίες (σιτάρι, κριθάρι κ.τ.λ.) και τέλος τα κηπευτικά. Το χαμηλό ποσοστό του πρωτογενούς τομέα, οφείλεται στο ανάγλυφο του εδάφους, στο μικρό και πολυτεμαχισμένο κλήρο και στους ισχυρούς ανέμους. Η ελαιοκαλλιέργεια καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό από την καλλιεργούμενη έκταση.

Σύμφωνα με στοιχεία του Ελαιοκομικού Μητρώου (2011) στην Κάρπαθο υπάρχουν 1362 ελαιοκαλλιεργητές, που καλλιεργούν 3607 τεμάχια συνολικής έκτασης 12525 στρ. με 126 χιλιάδες δέντρα.
Ο παραγόμενος ελαιόκαρπος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για παραγωγή ελαιόλαδου και λιγότερο για παραγωγή επιτραπέζιας ελιάς.

- Ο Δευτερογενής Τομέας απασχολεί ποσοστό 25%, που δραστηριοποιείται στον κατασκευαστικό κλάδο (οικοδομές), στον κλάδο της μεταποίησης (επιπλοποιία-ξυλουργεία), στον κλάδο των βιοτεχνιών ειδών βιοτικής ανάγκης (αρτοποιεία-ζαχαροπλαστεία-εμφιαλωτήρια). Τέλος, ένα μικρό ποσοστό ασχολείται με τις παραδοσιακές τέχνες (κατασκευές παραδοσιακών μουσικών οργάνων-κέντημα-υποδηματοποιία). Ο δευτερογενής τομέας στηρίζει σε μεγάλο βαθμό τις δραστηριότητές του στον τριτογενή τομέα και κυρίως τον τουρισμό, που αποτελεί και το βασικό άξονα οικονομικής ανάπτυξης του νησιού.
- Ο Τριτογενής Τομέας απασχολεί το μεγαλύτερο αριθμό ενεργού πληθυσμού του νησιού, το 58%, και αφορά τα μεταποιητικά επαγγέλματα, τον τουρισμό και τον κλάδο των υπηρεσιών. Η οικονομία της Καρπάθου στηρίζεται και αναπτύσσεται κυρίως, από τον τουρισμό. Καθοριστικό ρόλο έπαιξε η λειτουργία του αεροδρομίου, που επιτρέπει τις απευθείας πτήσεις από το εξωτερικό και η κατασκευή μεγάλου αριθμού ξενοδοχείων και καταλυμάτων. Ο κλάδος των μεταφορών και των επικοινωνιών στην Κάρπαθο δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένος, ενώ το εμπόριο έχει καθαρά εποχιακό χαρακτήρα.
- Τέλος, ένα 3% δε δήλωσε κλάδο οικονομικής δραστηριότητας κατά την απογραφή του 2001.

9.3 Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Η Κάρπαθος είναι το δεύτερο σε έκταση νησί του ελληνικού συμπλέγματος της Δωδεκανήσου (μετά τη Ρόδο). Η γεωγραφική θέση του νησιού είναι σημαντική, αφού αποτελεί βασικό κρίκο της νησιώτικης γέφυρας, που ενώνει την Κρήτη με τη Μικρά Ασία και με τη μακρόστενη κορμοστασιά της δεσπόζει στις νοτιοανατολικές πύλες του Αιγαίου. Έχει έκταση 301.2 km^2, 160 km μήκος ακτών, ενώ η έκτασή της, μαζί με τις γύρω νησίδες, είναι 324.7 km^2. Στο βόρειο άκρο του νησιού, υπάρχει η νησίδα Σαρία, που έχει έκταση 21 km^2 και χωρίζεται από την Κάρπαθο με ένα στενό πλάτους μόνο 100 m. Βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του Νομού Δωδεκανήσου, στη μέση του Καρπάθιου πελάγους, μεταξύ Ρόδου και Κρήτης και έχει πρωτεύουσα τα Πηγάδια ή Κάρπαθος με 2180 κατοίκους (Γαλάνη–Μουτάφη, 2002).

9.4 Διοικητικά και Δημογραφικά Στοιχεία

Η Κάρπαθος αποτελείται από το Δήμο Καρπάθου, που περιλαμβάνει τους οικισμούς στο νότιο και κεντρικό μέρος του νησιού, και την Κοινότητα Ολύμπου, που περιλαμβάνει το βόρειο μέρος και τις νησίδες Σαρία και Χαμηλή. Μαζί με τη νήσο Κάσο, τη νήσο Σαρία και άλλες μικρές νησίδες γύρω απ' αυτές, συγκροτούν την Επαρχία Καρπάθου, μία από τις 4 της Δωδεκανήσου. Ο συνολικός πληθυσμός της είναι περίπου 7550 κάτοικοι.

Αποτελείται από 12 γραφικά και όμορφα χωριά, τα οποία στην πλειονότητά τους βρίσκονται στο νότιο τμήμα του νησιού, που είναι σχετικά επίπεδο.

Απέχει 72 ναυτικά μίλια από τη Ρόδο και 242 ναυτικά μίλια από το λιμάνι του Πειραιά. Η Κάρπαθος ανήκει διοικητικά στην ομώνυμη επαρχία μαζί με τη γειτονική Κάσο. Λόγω της γεωγραφικής απομόνωσης, τα δυο νησιά έχουν αποκτήσει περισσότερες εμπορικές συναλλαγές και έχουν πολιτιστικές επιρροές με το νησί της Κρήτης.

Το 1912 η Κάρπαθος, σύμφωνα με τις απογραφές της ιταλικής διοίκησης, είχε πληθυσμό περίπου τους 10 χιλιάδες κατοίκους. Μετά από το 1912 και την έναρξη της ιταλικής κατοχής, στο νησί άρχισε να διαφαίνεται μία τάση των κατοίκων για μετανάστευση. Οι προορισμοί ήταν αρχικά η Μ. Ασία, η Αίγυπτος, η Αθήνα, ενώ κατά την περίοδο του μεσοπολέμου, επέλεγαν την Αμερική, Αυστραλία και Ν. Αφρική. Το μεταναστευτικό ρεύμα συνεχίστηκε και στις δεκαετίες του '60 και ΄70. Το αποτέλεσμα αυτής της πληθυσμιακής μετακίνησης ήταν η Κάρπαθος στην απογραφή του 1971, να απαριθμεί 5433 κατοίκους, ενώ το 1981 να έχει 4649 κατοίκους.

Στην δεκαετία του ’80, η βελτίωση των οικονομικών συνθηκών, η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας -λόγω της τουριστικής ανάπτυξης και της θέσπισης κινήτρων αποκέντρωσης από την πολιτεία- και η αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου, είχαν ως αποτέλεσμα τον επαναπατρισμό πολλών Καρπαθίων. Έτσι, το 1991 ο πληθυσμός της νήσου ανήλθε στους 5323 και το 2001 σε 6511 κατοίκους. Ο παραγωγικός πληθυσμός του νησιού που περιλαμβάνει την ηλικιακή ομάδα 15-64 έτη, αντιστοιχεί σε 4239 κατοίκους, ποσοστό 65% (58.2% το 1991), αριθμός κοντινός με αυτόν που αντιστοιχεί στο 67.1% που συναντάται σε εθνικό επίπεδο (Γιούτλου, 2011).

9.5 Κλιματολογικές Συνθήκες

Το κλίμα της Καρπάθου είναι μεσογειακό, πράγμα που δημιουργεί ιδανικές συνθήκες για τουρισμό καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους, με χαρακτηριστικό τους βορειοανατολικούς ενισχυμένους ανέμους, που φυσούν κυρίως τις βραδινές ώρες την καλοκαιρινή περίοδο («μελτέμια»). Ο δε χειμώνας είναι ήπιος και δεν παρουσιάζονται ποτέ ακραία καιρικά φαινόμενα (λιγοστή βροχή, ήπιες θερμοκρασίες). Για το λόγο αυτό, ονομαζόταν στην αρχαιότητα και «Ανεμόεσσα» (Γιαννικάκη, 2014).

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού του αεροδρομίου της Καρπάθου, η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 19 °C, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 12.8 °C (Φεβρουάριος) και 25.8 °C (Αύγουστος). Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα ισούται με 9.7 °C καταγράφεται το Φεβρουάριο, ενώ η μέση μέγιστη καταγράφεται τον Αύγουστο και ανέρχεται σε 28.9 °C. Το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι 352.2 mm. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία ανέρχεται σε 70.9%.

9.6 Φυσικός Πλούτος της Καρπάθου

Το νησί αποτελεί πλούσιο βιότοπο και για αυτόν τον λόγο διαθέτει προστατευμένες περιοχές, όπου επιζούν πληθυσμοί προς εξαφάνιση, όπως η μεσογειακή φώκια. Οι περιοχές «Κεντρική Κάρπαθος: Λίμνη-Λάστος-Κυρά Παναγιά» καθώς και «Βόρεια Κάρπαθος και Σαρία», έχουν ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο NATURA 2000, με κωδικούς GR4210002 και GR4210003 αντίστοιχα και έχουν αναγνωριστεί από την επιστημονική κοινότητα ως βιότοποι CORINE, ανάμεσα στους 39 της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου (http://natura2000.eea.europa.eu).

Το έδαφος της Καρπάθου είναι ορεινό. Οι ορεινοί όγκοι διατρέχουν το νησί από βορρά προς νότο, δημιουργώντας μεγάλες κλίσεις, χαράδρες, ρέματα και απόκρημνες ακτές. Στο κέντρο του νησιού, υπάρχει η κορυφή του όρους «Λάστος» με υψόμετρο 1215 m, που είναι η δεύτερη ψηλότερη στα Δωδεκάνησα. Ενδιάμεσα δημιουργούνται μικρές κοιλάδες, στις οποίες καλλιεργούνται κυρίως ελαιόδεντρα. Στο νότιο τμήμα του νησιού, οι κλίσεις του εδάφους είναι μικρότερες και εκεί δίνεται η δυνατότητα και άλλων καλλιεργειών.

Η Κάρπαθος παράγει εκλεκτής ποιότητας κρασί, λάδι, τυρί, μέλι, εσπεριδοειδή, φρούτα και άλλα. Οι Καρπάθιοι ασχολούνται, όμως και με τα παραδοσιακά είδη λαϊκής τέχνης, όπως παραδοσιακά πιάτα, υφαντά κ.ά. Στη θάλασσα της Καρπάθου, αλιεύονται πολλά και νοστιμότατα ψάρια. Στο νότιο και στο κεντρικό τμήμα του νησιού, βρίσκονται πλακώδεις ασβεστόλιθοι και σε ορισμένα μέρη υπάρχει και γύψος. Στην κεντρική Κάρπαθο, επίσης υπάρχουν πηγές με τρεχούμενο νερό, οι οποίες περιβάλλονται από βλάστηση με υδροχαρή φυτά (https://docplayer.gr/8432821-Perifereia-notioy-aigaioy-geniki-dieythynsi-perifereiakis-agrotikis-oikonomias-kai-ktiniatrikis-epiheirisiako-shedio-agrotikis-anaptyxis-2014-2020.html).

Η Κάρπαθος παρ’ ότι είναι ένα γυμνό και βραχώδες νησί που δεν έχει καθόλου δάση, διαθέτει μία μεγάλη γκάμα βοτάνων, αμπελώνες και ελιές. Διαθέτει ωστόσο ένα πυκνό πευκοδάσος στην περιοχή του κέντρου. Η πανίδα του νησιού χαρακτηρίζεται πλούσια, καθώς στις βραχοσπηλιές της Καρπάθου ζει η μεσογειακή φώκια, Monachus - monachus και η χελώνα Careta-Careta (Γιαννικάκη, 2014).

Από πτηνά, συναντάμε τα προστατευόμενα είδη, το Μαυροπετρίτη και τον Αιγαιόγλαρο. Η Κάρπαθος, όπως και πολλά άλλα ελληνικά νησιά, αποτελεί πέρασμα για μεταναστευτικά πουλιά. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί το αμφίβιο Mertensiella luscani, που είναι προσαρμοσμένο στο ξηρό κλίμα του νησιού και το καλοκαίρι ζει κάτω από τις υγρές πέτρες ή μέσα σε δροσερά ξεροπόταμα. Το είδος αυτό υπάρχει μόνο στην Κάρπαθο και στο Καστελόριζο (Γιούτλου, 2011).

Σημαντική τοποθεσία του νησιού είναι ο κόλπος Τρίστομο, ένα σημαντικό τμήμα της θαλάσσιας έκτασης της Καρπάθου. Είναι κλειστός κόλπος, που σχηματίζει φυσικό λιμάνι και είναι αλιευτικό πεδίο με μεγάλη παραγωγικότητα. Το 2002 συστάθηκε ο φορέας διαχείρισης Καρπάθου Σαρίας, ο οποίος έχει θέσει ως στόχους την προστασία των βιοτόπων και του πληθυσμού της μεσογειακής φώκιας.

Ο ρόλος του είναι η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση των κατοίκων και των επισκεπτών, η περιβαλλοντική εκπαίδευση και ο σχεδιασμός επιχειρησιακών πολιτικών περιβάλλοντος. Τελικός στόχος είναι ο χαρακτηρισμός της περιοχής ως περιφερειακό θαλάσσιο πάρκο στα πλαίσια του νόμου για τη βιοποικιλότητα.

9.7 Πολιτιστικοί Πόροι

Η Κάρπαθος, αν και μικρό νησί και απομακρυσμένο, διαθέτει πολύ πλούσιο λαϊκό πολιτισμό και διατηρεί με μεγάλη προσήλωση τις παραδόσεις της, τα ήθη και έθιμα της. Η Κάρπαθος έχει μεγάλο λαογραφικό πλούτο ειδικά, το Δημοτικό Διαμέρισμα Ολύμπου, που λόγω και της γεωγραφικής απομόνωσης, έχει διατηρηθεί αναλλοίωτος ο παραδοσιακός τρόπος ζωής των κατοίκων (ενδυμασία, απασχόληση, μουσική, χορός, εδέσματα).

Σπουδαίας σημασίας για την Κάρπαθο, αποτελούν τα λαογραφικά έργα του Μανωλακάκη, Μιχαηλίδη Νουάρου, Αλεξιάδη, Μελά κλπ. Είναι αξιοθαύμαστο το γεγονός, ότι όχι μόνο οι μόνιμα διαμένοντες, αλλά και οι Καρπάθιοι της διασποράς, διατηρούν την παράδοση αλλά και την εθιμική λαογραφία της Καρπάθου.

Στην Κάρπαθο, επίσης αξίζει κανείς να επισκεφθεί τις 18 παλαιοχριστιανικές βασιλικές του νησιού, τα ερείπια της αρχαίας πόλης της Βρυκούς στα βόρεια του νησιού, τα ερείπια της Αρκεσίας στο Παλαιόκαστρο της Αρκάσας, καθώς και το Κάστρο και την αρχαία ακρόπολη του Απερίου. Επίσης, την ρωμαϊκή δεξαμενή, θολωτούς τάφους, τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους και τα παραδοσιακά κτήρια, τα οποία είναι διάσπαρτα σε όλο το νησί. Επίσης, σε όλο το νησί υπάρχουν διάσπαρτα οικοδομήματα των Ιταλών, όπως γεφύρια, υδραγωγεία, πηγές, κτήρια, νεκροταφεία κ.α. Τα μουσεία που υπάρχουν στο νησί είναι το αρχαιολογικό μουσείο πόλεως Καρπάθου, το λαογραφικό μουσείο Μενετών, το αρχαιολογικό μουσείο Αρκάσας, το αγροτικό μουσείο Πυλών και το λαογραφικό μουσείο Όθους. Στην περιοχή Βολάδα, υπάρχει λαογραφική συλλογή με παραδοσιακές φορεσιές, όπως επίσης και μία πινακοθήκη στο Απέρι (https://docplayer.gr/8432821-Perifereia-notioy-aigaioy-geniki-dieythynsi-perifereiakis-agrotikis-oikonomias-kai-ktiniatrikis-epiheirisiako-shedio-agrotikis-anaptyxis-2014-2020.html).

Δημοτικά τραγούδια ζωντανεύουν και αυτοσχέδιες μαντινάδες χαρμολύπης μας παρουσιάζουν το ποιητικό ταλέντο του Καρπάθιου, στο καθιστό γλέντι. Στα γλέντια αυτά, συμμετέχουν πάντα τα τοπικά μουσικά όργανα (τσαμπούνα, λύρα, λαούτο, βιολί) και συνοδεύονται από πλούσια τραπέζια (τάβλα) με παραδοσιακά φαγητά, που παρατίθεται για όλους τους προσκαλεσμένους.

9.8 Υπηρεσίες και Έργα Υποδομής

9.8.1 Αερολιμένας

Ο Κρατικός Αερολιμένας Καρπάθου βρίσκεται στην περιοχή του Αφιάρτη, στη νότια Κάρπαθο, 15 km νότια της πόλης της Καρπάθου. Ο διάδρομος του αεροδρομίου δημιουργήθηκε στην τελική του μορφή το 1986 και είναι από τους μεγαλύτερους στην Ελλάδα έως και τα Βαλκάνια. Ο αερολιμένας λειτουργούσε από το 1970, με εγκαταστάσεις περίπου 100 m^2.

Το 1993 όμως χτίστηκε κτήριο 800 m^2, το οποίο κατεδαφίστηκε το 2005, για να χτιστεί τελικά καινούργιο 12500 m^2 τον Ιούλιο του 2009. Στον αερολιμένα λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός, αστυνομία, εκδοτήριο εισιτηρίων, δέκα γραφεία check-in, γραφεία ενοικίασης αυτοκινήτων, Duty Free, αναψυκτήρια και πρατήριο εφημερίδων, καθώς και σταθμός ταξί. Υπάρχει χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων και λεωφορείων, ενώ ο χώρος στάθμευσης αεροσκαφών χωράει τρία μεγάλα αεροσκάφη, δύο μικρότερα και δύο ελαφρύτερα.

9.8.2 Ακτοπλοϊκή Σύνδεση

Στην περιοχή Πηγάδια είναι το μεγαλύτερο λιμάνι της Καρπάθου, από το οποίο γίνεται η επικοινωνία του νησιού με άλλα νησιά του Αιγαίου και το λιμάνι του Πειραιά. Το κεντρικό λιμάνι αντιμετωπίζει προβλήματα χώρου και χωρίς επέκταση δεν θα μπορεί να εξυπηρετήσει την ακτοπλοϊκή σύνδεση του νησιού. Λίγο έξω από το λιμάνι, βρίσκεται το υπολιμεναρχείο Καρπάθου–Κάσου. Το λιμάνι της Καρπάθου διαθέτει υπηρεσίες τελωνείου, για να εξυπηρετεί και κινήσεις εξωτερικού. Στα Πηγάδια κατασκευάστηκε μία νέα μαρίνα, που από τον Ιούλιο του 2007 μπορούσε να παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα και νερό σε κάθε σκάφος. Επίσης, το νησί διαθέτει και ένα δεύτερο νεότερο λιμάνι, στο Βόρειο τμήμα του νησιού στο χωριό Διαφάνι, στο οποίο μπορεί να αράξει μόνο ένα πλοίο. Στα δυτικά του νησιού στα όρια της κοινότητας Αρκάσας, στον οικισμό Φοινίκι υπάρχει μικρό λιμανάκι χαρακτηρισμένο ως αλιευτικό καταφύγιο. Από τα τέσσερα πρατήρια που υπάρχουν στην Κάρπαθο, μόνο το ένα διαθέτει βυτιοφόρο για τον ανεφοδιασμό των σκαφών.

9.8.3 Υποδομές Υγείας

Στην Κάρπαθο δεν υπάρχει κάποιο νοσοκομείο, αν και έχει δρομολογηθεί η κατασκευή του, αλλά υπάρχει ένα Κέντρο Υγείας στα Πηγάδια, που προσφέρει τις πρώτες βοήθειες στους ασθενείς, ενώ είναι υπό κατασκευή νέα πτέρυγα και πέντε αγροτικά ιατρεία. Υπάρχουν τρία περιφερειακά ιατρεία (Απερίου, Μεσοχωρίου, Μενετών) και ένα πολυδύναμο αατρείο στον Όλυμπο.

9.8.4 Υποδομές Εκπαίδευσης

Το επίπεδο εκπαίδευσης σήμερα στην Κάρπαθο δεν διαφέρει από το επίπεδο της Δωδεκανήσου γενικότερα, αλλά και από το μέσο επίπεδο της περιφέρειας στην Ελλάδα. Στο νησί λειτουργούν έξι νηπιαγωγεία και δώδεκα δημοτικά σχολεία. Οι υποδομές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης περιλαμβάνουν τρία γυμνάσια, δύο λύκεια και ένα επαγγελματικό λύκειο.

9.8.5 Ύδρευση - Άρδευση

Στην Κάρπαθο υπάρχουν κάποιες φυσικές πηγές, από τις οποίες εξυπηρετούνται η ύδρευση και η άρδευση των δημοτικών διαμερισμάτων του νησιού. Εκτός όμως από τις πηγές, η τροφοδοσία του νερού του νησιού γίνεται κατ' αποκλειστικότητα από γεωτρήσεις, οι οποίες καλύπτουν μέρος των αναγκών. Οι γεωτρήσεις αυτές, βρίσκονται στα παράλια και σύμφωνα με μελέτες της υπηρεσίας ύδρευσης, λόγω της χρόνιας άντλησης, έχει προκληθεί εισροή του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των χλωριόντων.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το νερό να μην είναι πλέον πόσιμο και οι κάτοικοι, καθώς και οι επισκέπτες (κυρίως της πρωτεύουσας), να καταφεύγουν στην αγορά εμφιαλωμένου νερού.

Επίσης, πρόβλημα δημιουργεί το γεγονός ότι οι γεωτρήσεις δουλεύουν ακατάπαυστα όλο το χρόνο και τους θερινούς μήνες παρουσιάζουν σημαντική πτώση της στάθμης, έχοντας ως επακόλουθο τη μείωση της παροχής. Κατά συνέπεια, η ποσότητα του νερού να μην επαρκεί να καλύψει τις ανάγκες υδροδότησης του νησιού. Σημαντική συμβολή, στην επίλυση των προβλημάτων ύδρευσης και άρδευσης του νησιού, αναμένεται να έχει το υπό κατασκευή φράγμα από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, στην περιοχή Σχοινά χωρητικότητας $1.1*10^6$ m^3. Το 1989 ξεκίνησαν οι διαδικασίες για την κατασκευή του φράγματος, όπου οι υδάτινες απορροές και οι βροχοπτώσεις απέδιδαν τα μέγιστα. Ωστόσο, το έργο έμεινε ανεκπλήρωτο από το 1999 και έπειτα αφού είχε αποπερατωθεί μόλις το 25% του έργου.

Η πρωτεύουσα του νησιού αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα υδροδότησης, τόσο σε ποσότητα, όσο και σε ποιότητα, γιατί εκεί συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος της οικονομικής δραστηριότητας και η τουριστική υποδομή του νησιού.

9.8.6 Αποχετευτικό Δίκτυο

Τη χειμερινή περίοδο, παρατηρείται υπερχείλιση των φρεατίων, άρα παρατηρείται και το φαινόμενο της δυσοσμίας, λόγω των πολλών βροχοπτώσεων και λόγω της ανεπαρκούς υποδομής.

9.8.7 Κατασκευή Οδικού Δικτύου

Τα τελευταία δέκα χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική βελτίωση στο οδικό δίκτυο της Καρπάθου, αφού οι περισσότεροι δρόμοι έχουν διαπλατυνθεί και ασφαλτοστρωθεί. Οι μετακινήσεις των κατοίκων, αλλά και των επισκεπτών, έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Βέβαια, στο βόρειο τμήμα του νησιού, ακόμη πολλοί δρόμοι είναι υπό κατασκευή. Ειδικότερα, το τμήμα του δρόμου, που συνδέει την Όλυμπο με το λιμάνι στο Διαφάνι, είναι ασφαλτοστρωμένο. Πολλές από τις παραλίες του νησιού έχουν συνδεθεί με το κεντρικό οδικό δίκτυο, γεγονός που εξυπηρετεί την ανάπτυξη του τουρισμού.

Αντίθετα τα τμήματα του κεντρικού οδικού δικτύου, που διέρχονται μέσα από τους οικισμούς, δημιουργούν προβλήματα στην κίνηση των οχημάτων κατά την τουριστική περίοδο. Απαιτείται η νέα χάραξη παρακαμπτήριων δρόμων, για την αποσυμφόρηση της κίνησης εντός των οικισμών.

9.8.8 Υποδομές Τηλεπικοινωνιών και Ενέργειας

Η παραγωγή ενέργειας του νησιού στηρίζεται, κυρίως στην καύση mazut και diesel, από το εργοστάσιο της ΔΕΗ στο Βρόντη, το οποίο καλύπτει και το γειτονικό νησί της Κάσου. Το 12% της παραγωγής προέρχεται από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα, ενώ εδώ και μερικά χρόνια έχουν αρχίσει να εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά πάνελ και σε στέγες σπιτιών. Το 2015 η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς ήταν 1.23 MW και η φωτοβολταϊκή 1.16 MW. Οι ανεμογεννήτριες, που είναι εγκατεστημένες στο νησί, είναι οκτώ και ανήκουν κάποιες στο δήμο και άλλες σε ιδιώτες.

Ο αυτόνομος σταθμός παραγωγής (ΑΣΠ) της Δ.Ε.Η. βρίσκεται πέντε χιλιόμετρα περίπου μακριά από την πρωτεύουσα και διαθέτει οκτώ μηχανές εσωτερικής καύσης συνολικής ονομαστικής ισχύος 19.4 MW. Οι δύο κυριότερες έχουν ονομαστική ισχύ 5.3 MW και χρησιμοποιούν ως καύσιμο mazut, ενώ οι υπόλοιπες diesel. Στην παραγωγή του σταθμού εμπεριέχεται και ένα ποσοστό ιδιωτικών καταναλώσεων 5%. Τα τελευταία χρόνια άρχισε η κατασκευή σημαντικού αριθμού ιδιωτικών φωτοβολταϊκών σταθμών. Το δίκτυο του ΟΤΕ και των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας καλύπτει πλήρως τις σύγχρονες ανάγκες επικοινωνίας.

10 Επεξεργασία Ιστορικών Χρονοσειρών για την Παραγωγή Συνθετικών

Η μελέτης της παρούσας εργασίας έχει διάρκεια ζωής 40 έτη. Για το λόγο αυτό, καθίσταται αναγκαία η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 40 ετών, καθώς τα ιστορικά διαθέσιμα δεδομένα είναι αρκετά μικρότερης διάρκειας και όχι ίδιου μήκους μεταξύ τους. Ακόμη, η διερεύνηση διαστασιολόγησης του συστήματος δε μπορεί να γίνει βάσει μόνο των ιστορικών δεδομένων, διότι είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί η στοχαστικότητα των φυσικών μεγεθών, που αποτελούν τα στοιχεία εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης (που αναλύεται στην ενότητα 13.2). Τα δεδομένα αυτά είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και η ταχύτητα ανέμου.

10.1 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Βροχόπτωσης

Η διαθέσιμη ιστορική χρονοσειρά της βροχόπτωσης είναι μήκους 30 ετών, ωστόσο λόγω έλλειψης αρκετών τιμών στα παλαιότερα έτη, αξιοποιήσιμα είναι μόνο τα πιο πρόσφατα 27 έτη. Οι μετρήσεις έχουν ημερήσιο βήμα, ωστόσο για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής το χρονικό βήμα μετατρέπεται αρχικά σε μηνιαίο. Στη συνέχεια, παράγονται συνθετικές μηνιαίες χρονοσειρές 40 ετών, οι οποίες έχουν τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με την ιστορική. Στον πίνακα 10.1, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις σε mm ανά μήνα της ιστορικής χρονοσειράς.

Πίνακας 10.1: Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση Βροχόπτωσης ανά μήνα

Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
59.78	38.47
43.31	26.72
27.18	25.94
16.28	14.40
14.80	18.79
0.68	3.19
0.00	0.00
0.00	0.00
9.36	21.28
25.26	40.40
38.87	28.80
59.13	54.44

Για τη βροχόπτωση πραγματοποιείται παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με AR(2) «Μοντέλο Αυτοσυσχέτισης Δεύτερης Τάξης» και ARMA(1,1) «Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης Πρώτης Τάξης και Κυλιόμενου Μέσου Πρώτης Τάξης» και ακολουθεί ο έλεγχος Anderson για την επιλογή της βέλτιστης συνθετικής χρονοσειράς (Mimikou et al., 2016).

Στην περίπτωση της βροχόπτωσης, επιλέγεται το ARMA(1,1). Στη συνέχεια, από την αρχική ιστορική χρονοσειρά, υπολογίζεται η μέση ημερήσια διακύμανση για κάθε μήνα. Στον πίνακα 10.2 παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες βροχοπτώσεις των ιστορικών δεδομένων, βάσει των οποίων η παραγόμενη μηνιαία συνθετική χρονοσειρά μετατρέπεται σε ημερήσια. Όπως είναι γνωστό, η βροχόπτωση είναι αθροιστικό μέγεθος, οπότε αν αθροιστεί ο κάθε μήνας, προκύπτει η μέση τιμή του.

Πίνακας 10.2: Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση ανά μήνα

Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση ανά Μήνα												
Α/Α	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
1	2.30	0.23	1.08	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	0.09	0.44	1.19
2	2.23	1.31	0.38	0.89	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.04	5.03
3	1.58	1.39	0.33	1.24	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	1.48
4	2.61	0.20	0.58	1.29	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	1.51
5	2.24	0.43	2.33	0.28	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	1.89
6	2.26	0.66	1.53	2.99	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.60	0.66	0.73
7	4.13	2.71	1.65	1.27	1.40	0.63	0.00	0.00	0.00	0.16	1.26	1.56
8	0.45	2.96	0.66	1.88	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.26	2.60
9	0.20	2.04	1.32	0.46	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.76
10	3.52	3.36	0.60	0.28	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	3.09	0.34	2.66
11	0.70	1.93	0.50	0.32	0.97	0.00	0.00	0.00	3.70	1.76	0.43	1.41
12	2.40	2.74	1.92	0.84	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.24	1.05
13	1.68	0.99	1.47	0.35	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.41	1.67
14	2.27	1.35	1.90	0.78	0.09	0.00	0.00	0.00	0.23	0.03	2.00	3.28
15	1.58	2.68	0.20	0.27	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19	0.33	1.18
16	2.29	2.07	0.09	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.14	0.81	1.35
17	2.18	2.64	0.85	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	2.51	2.22
18	0.95	1.68	1.67	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	2.27	2.08
19	3.38	1.08	0.35	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	2.78	2.91
20	1.10	0.69	0.44	0.44	1.42	0.00	0.00	0.00	0.32	1.04	3.21	0.46
21	2.09	1.59	0.46	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.65	1.72	2.64	0.29
22	1.69	0.59	0.06	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.55	0.67	0.87	3.02
23	0.78	1.05	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	4.23	1.12	1.52
24	1.17	1.27	0.84	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.58	0.88	0.77
25	1.90	3.12	0.06	0.07	0.35	0.01	0.00	0.00	0.02	1.36	0.31	0.59
26	1.18	0.21	0.69	0.00	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	4.11	0.24
27	4.30	0.97	1.75	0.51	2.72	0.00	0.00	0.00	1.23	1.62	1.17	4.48
28	1.87	1.25	0.28	0.14	0.63	0.00	0.00	0.00	0.67	0.54	0.36	5.77
29	0.83	0.10	0.45	0.01	0.43	0.00	0.00	0.00	0.16	0.06	2.88	0.72
30	1.24	0.00	1.03	0.07	0.62	0.00	0.00	0.00	0.06	1.26	2.33	2.73
31	2.70	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17	0.00	1.98

10.2 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Θερμοκρασίας

Για την παραγωγή τη συνθετικής χρονοσειράς της θερμοκρασίας ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Όπως και στη βροχόπτωση, επιλέγεται το μοντέλο ARMA(1,1). Ωστόσο, η θερμοκρασία δεν είναι αθροιστικό μέγεθος, για το λόγο αυτό η μέση μηνιαία θερμοκρασία κάθε μήνα προκύπτει από το μέσο όρο των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών και όχι από το άθροισμα τους (όπως στη βροχόπτωση). Στον πίνακα 10.3 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας κάθε μήνα της ιστορικής χρονοσειράς, ενώ στον πίνακα 10.4 οι αντίστοιχες μέσες ημερήσιες τιμές, βάσει των οποίων μετατρέπεται η μηνιαία συνθετική χρονοσειρά σε ημερήσια.

Πίνακας 10.3: Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση Θερμοκρασίας ανά μήνα

Μέση Τιμή	**Τυπική Απόκλιση**
11.58	3.73
10.33	3.36
12.69	3.56
14.34	3.88
18.34	4.18
21.08	4.95
23.34	5.16
23.93	4.96
21.74	4.22
19.11	5.63
15.16	4.81
12.94	3.96

Πίνακας 10.4: Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία ανά μήνα

Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία ανά Μήνα												
Α/Α	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΑΙ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
1	11.73	11.13	12.21	13.01	15.73	20.02	23.07	23.74	23.95	20.59	17.33	13.41
2	11.02	11.10	12.17	14.00	16.54	19.82	24.48	23.99	23.75	21.26	16.59	13.48
3	11.52	9.92	12.96	13.54	17.73	19.85	23.19	21.94	23.73	20.46	16.64	15.23
4	11.64	11.51	12.91	14.64	15.32	19.80	22.69	25.95	23.57	20.65	18.04	14.01
5	11.56	10.54	13.08	14.35	16.89	21.69	21.86	24.01	24.44	20.09	17.72	13.78
6	12.39	12.19	13.77	12.74	15.38	21.82	22.59	24.28	23.43	20.96	17.46	14.12
7	11.51	11.26	11.49	15.69	17.54	20.09	22.61	24.31	22.18	21.07	16.43	14.70
8	10.70	10.45	13.75	13.68	17.19	20.42	24.41	24.15	24.65	20.90	16.67	13.48
9	11.21	10.22	12.38	14.91	18.69	20.67	23.80	23.04	22.94	19.92	16.13	12.48
10	12.03	10.79	11.72	15.02	17.35	20.52	24.15	24.20	23.07	18.64	15.85	12.31
11	11.43	12.06	12.24	14.65	17.51	20.61	22.34	25.14	23.89	20.01	16.01	12.71
12	12.26	11.67	11.00	15.06	18.45	23.46	23.44	23.09	22.75	19.07	15.25	13.86
13	12.40	11.01	12.16	16.59	18.66	21.93	23.62	23.98	23.68	19.24	16.09	13.14
14	13.01	11.93	11.95	14.30	17.15	22.38	24.17	21.97	22.71	17.90	16.08	13.58
15	11.88	10.33	12.13	15.16	18.71	21.16	23.41	23.98	21.83	19.33	15.19	13.29
16	10.45	10.75	13.18	14.41	17.70	22.24	23.56	25.26	22.81	18.95	15.41	13.22
17	11.09	12.00	12.64	16.75	18.08	23.41	23.42	23.24	21.59	19.00	14.99	12.04
18	10.64	11.61	13.09	14.54	19.11	22.64	24.36	24.08	22.63	18.76	15.32	12.52
19	12.24	11.42	12.14	13.45	18.30	22.91	22.39	23.96	21.89	18.89	16.52	13.02
20	11.60	10.95	11.80	15.07	18.21	21.73	23.32	24.03	22.56	19.72	15.68	11.56
21	11.47	10.44	12.37	15.27	19.61	23.68	24.32	24.22	19.57	18.78	14.32	13.30
22	11.87	11.16	12.33	15.26	20.58	19.72	23.32	23.40	20.94	18.77	15.67	13.28
23	11.09	12.03	12.43	15.20	20.63	23.83	23.59	23.11	22.95	18.76	16.05	12.10
24	11.26	12.55	12.77	14.00	19.78	23.13	21.67	23.02	20.88	18.43	14.88	12.69
25	11.03	12.04	12.80	16.51	19.74	23.40	21.95	25.09	21.86	18.28	13.99	12.19
26	11.38	11.44	13.32	16.03	19.04	25.48	23.04	24.44	21.01	17.85	12.73	11.66
27	11.86	12.09	14.16	14.76	19.20	21.47	23.11	23.46	21.72	17.95	13.86	13.01
28	12.18	12.27	13.07	14.92	19.87	21.93	23.82	24.01	21.60	17.68	14.46	12.84
29	11.84	3.41	14.05	14.58	19.40	21.85	22.91	24.05	20.76	17.34	13.58	11.16
30	11.28	0.00	12.56	16.39	19.99	21.97	24.99	24.92	20.56	16.50	15.03	11.49
31	11.41	0.00	14.85	0.00	20.32	0.00	23.99	23.88	0.00	16.75	0.00	11.44

10.3 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Ανέμου

Οι συνθετικές χρονοσειρές του ανέμου παράγονται με διαφορετική μεθοδολογία από τα προηγούμενα δύο μεγέθη. Όντας γνωστή η ημερήσια διακύμανση του ανέμου ανά μήνα, αρχικά συμπληρώνονται ορισμένα τρίωρα που λείπουν. Η συμπλήρωση αυτή (όπως και ολόκληρη η μεθοδολογία που αναλύεται παρακάτω) πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρείται η εποχικότητα και η ημερήσια διακύμανση του ανέμου για τον κάθε μήνα ξεχωριστά. Τα βήματα της μεθοδολογίας αυτής είναι τα ακόλουθα (Negra et al., 2007):

- Δημιουργείται πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει κλάσεις ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.
- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης της, State Probability $p_{ws,i}$, με τη σχέση (10.1):

$$p_{ws,i} = \frac{\sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,ij}}{\sum_{k=1}^{M_{WS}} \sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,kj}} \qquad (10.1)$$

  Όπου $p_{ws,i}$ η πιθανότητα εμφάνισης, Dws,ij ο χρόνος παραμονής στην εκάστοτε κλάση πριν μεταβεί στην επόμενη ή προηγούμενη.
- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης, Freq, (συμβάντα ανά έτος) δηλαδή πόσο συχνά ο άνεμος μετακινείται στην κλάση που εξετάζουμε από μία προηγούμενη ή επόμενη κλάση, με τη σχέση (10.2):

$$f_{ws,i} = N_{ws,i,i+1} + N_{ws,i,i-1} \qquad (10.2)$$

- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η συχνότητα που ο άνεμος μετακινείται από προηγούμενη κλάση στην κλάση που εξετάζουμε, Up (συμβάντα ανά έτος).
- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η συχνότητα που ο άνεμος μετακινείται από επόμενη κλάση στην κλάση που εξετάζουμε, Down (συμβάντα ανά έτος).
- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η μέση διάρκεια παραμονής στη συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση (10.3):

$$d_{ws,i} = \frac{p_{ws,i}}{f_{ws,i}} \qquad (10.3)$$

- Υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών $\lambda_{ws,i+}$ και $\lambda_{ws,i-}$, οι οποίοι σχετίζονται με την πιθανότητα να έχουμε μετακίνηση στην αμέσως προηγούμενη ή στην αμέσως επόμενη αντίστοιχα, από μία συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση (10.4):

$$\lambda_{ws,i\pm} = \frac{N_{ws,i\pm}}{P_{ws,i}} \qquad (10.4)$$

Αφού οι παράμετροι ορίζονται κάθε μήνα και ταξινομούνται σε πίνακες, παράγονται οι χρονοσειρές ανέμου στο αντίστοιχο χρονικό βήμα της ιστορικής χρονοσειράς, ακολουθώντας τα ακόλουθα βήματα:

- Το διάνυσμα της ταχύτητας αποκτά μια αρχική ταχύτητα. Στο πρώτο χρονικό, ως αρχική τιμή επιλέγεται η μέση ετήσια ταχύτητα.

- Για κάθε χρονικό βήμα, δημιουργούνται δύο τυχαίοι αριθμοί U_1^i και U_2^i στο διάστημα (0,1), οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα το διάνυσμα της ταχύτητας να μετατοπιστεί στην αμέσως επόμενη ή προηγούμενη κλάση.
- Υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης στην αμέσως επόμενη και στην αμέσως προηγούμενη κλάση, με τις σχέσεις (10.5) και (10.6):

$$TUU^i = \frac{h}{\lambda_{up}} \ln\left(U_1^i\right) \qquad (10.5)$$

$$TUD^i = \frac{h}{\lambda_{down}} \ln\left(U_2^i\right) \qquad (10.6)$$

  Όπου h η περίοδος προσομοίωσης σε τρίωρα (καθώς τα δεδομένα είναι σε τέτοιο χρονικό βήμα διαθέσιμα). Η μικρότερη εκ των δύο τιμών των σχέσεων (10.5) και (10.6) καθορίζει σε ποια κατάσταση θα βρεθεί το νέο διάνυσμα της ταχύτητας του ανέμου.
- Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση που μία εκ των παραμέτρων TTU και TTD λαμβάνει την τιμή μηδέν. Σε περίπτωση που TTU=0, τότε θεωρείται ότι ο άνεμος δε μπορεί να μετατοπιστεί σε μεγαλύτερη κλάση και επομένως μετατοπίζεται στην αμέσως χαμηλότερη σε χρονικό διάστημα TTD. Αντίθετα, σε περίπτωση που TTD=0, τότε θεωρείται ότι ο άνεμος δε μπορεί να μετατοπιστεί σε μικρότερη κλάση και επομένως μετατοπίζεται στην αμέσως μεγαλύτερη σε χρονικό διάστημα TTU. Χαρακτηριστικά, όταν η τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι μηδενική, τότε αναγκαστικά θα μετατοπιστεί σε μεγαλύτερη κλάση. Ενώ αντίστοιχα, ο άνεμος δε μπορεί να λάβει τιμές μεγαλύτερες από αυτές που δεν έχουν παρατηρηθεί στην ιστορική χρονοσειρά.
- Σε περίπτωση που TTU < TTD, το διάνυσμα της ταχύτητας μεγαλώνει κατά μία μονάδα $ws(t^{i-1}:t^i) = ws^{i-1}+1$ (σχέση 10.7), ενώ σε περίπτωση που TTU > TTD το διάνυσμα της ταχύτητα μικραίνει κατά μία μονάδα $ws(t^{i-1}:t^i) = ws^{i-1}-1$ (σχέση 10.8). Μετά από κάθε βήμα, το χρονικό διάστημα αυξάνεται κατά $t^i = t^{i-1}+TTU^i$ (σχέση 10.9), σε περίπτωση που TTU < TTD ή $t^i = t^{i-1}+TTD^i$ (σχέση 10.10) σε περίπτωση που TTD < TTU.
- Τα βήματα 2-4 επαναλαμβάνονται, μέχρις ότου το t να ισούται ή να ξεπερνάει το h.

Η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών ανέμου πραγματοποιείται με τη χρήση του προγράμματος MATLAB και ο κώδικας αναπτύσσεται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι ετήσιες συνθετικές χρονοσειρές να παράγονται ταυτόχρονα για όλα τα χρόνια διάρκειας ζωής του συστήματος της μελέτης. Οπότε, η διαδικασία -που αναλύεται παραπάνω- λαμβάνει χώρα μόνο μία φορά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τα υπολογισμένα μεγέθη της μεθοδολογίας, για κάθε κλάση ανά μήνα.

Πίνακας 10.5: Συχνότητα κάθε κλάσης ανά μήνα (%)

Κλάσεις	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
[0-1]	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
(1-2]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.05
(2-3]	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.05	0.02	0.02	0.06	0.10	0.14	0.10
(3-4]	0.12	0.12	0.11	0.12	0.10	0.06	0.02	0.03	0.08	0.12	0.16	0.12
(4-5]	0.11	0.11	0.12	0.13	0.10	0.06	0.03	0.03	0.08	0.10	0.12	0.11
(5-6]	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.07	0.03	0.05	0.09	0.10	0.11	0.11
(6-7]	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.07	0.04	0.05	0.08	0.09	0.09	0.11
(7-8]	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.06	0.08	0.10	0.09	0.08	0.10
(8-9]	0.08	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08
(9-10]	0.07	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.07	0.05	0.07
(10-11]	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.11	0.10	0.12	0.08	0.07	0.04	0.06
(11-12]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.09	0.10	0.10	0.07	0.04	0.02	0.03
(12-13]	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.08	0.13	0.10	0.05	0.05	0.02	0.03
(13-14]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.10	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01
(14-15]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.08	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01
(15-16]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
(16-17]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
(17-18]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
(18+]	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00

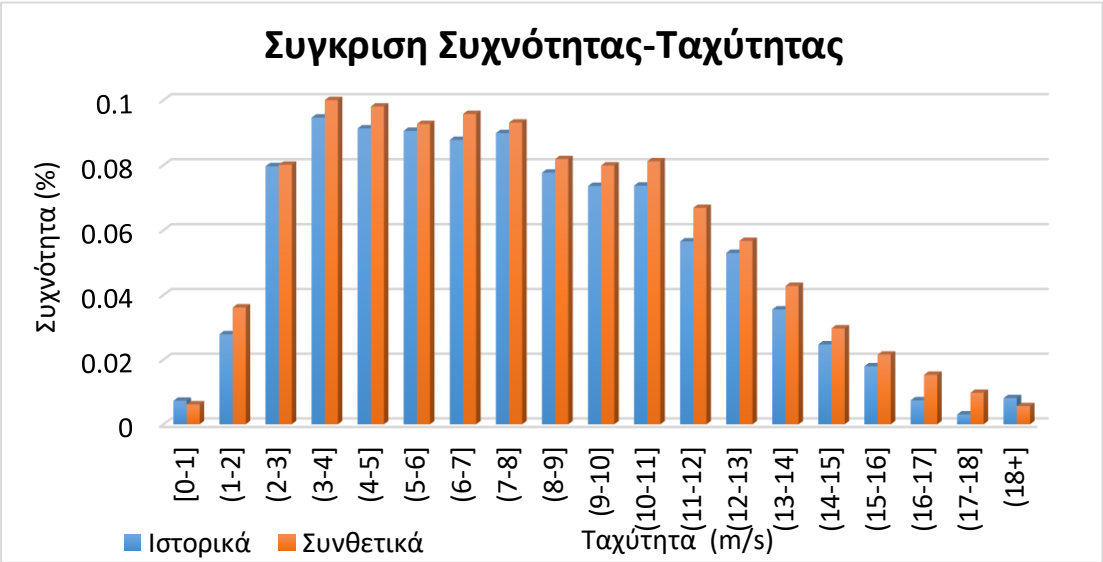
Πίνακας 10.6: λ_{up} κάθε κλάσης ανά μήνα

Κλάσεις	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
[0-1]	72.9	30.2	45.1	45.4	65.1	18.3	4.7	8.8	32.0	37.8	168.0	57.9
(1-2]	87.9	76.2	90.0	70.0	93.8	89.8	115.7	96.2	95.0	82.9	80.3	94.6
(2-3]	61.9	59.8	62.2	68.5	52.3	60.4	59.6	75.0	80.7	70.5	68.3	68.0
(3-4]	54.0	48.8	51.2	63.8	58.4	43.0	48.1	49.9	60.1	53.2	53.1	62.4
(4-5]	47.5	46.3	51.4	39.3	40.6	50.8	24.3	62.6	52.8	43.9	43.8	59.0
(5-6]	44.6	39.1	48.9	43.4	43.3	42.1	42.0	43.0	43.1	43.2	41.6	56.8
(6-7]	47.9	48.0	42.7	45.5	41.8	42.9	46.6	38.2	50.3	41.8	43.8	46.6
(7-8]	47.9	38.9	40.6	41.9	38.1	45.1	51.2	46.6	44.6	44.3	38.4	41.5
(8-9]	45.6	41.3	41.8	39.7	35.4	43.2	51.6	51.1	43.3	42.4	43.2	44.9
(9-10]	30.6	35.7	47.8	34.3	41.5	50.6	41.3	63.7	46.8	55.2	37.4	44.7
(10-11]	39.0	46.2	29.1	33.4	39.2	48.4	45.4	44.4	47.2	36.8	36.1	41.1
(11-12]	35.7	27.5	31.2	32.1	44.9	53.8	62.1	51.9	45.1	61.5	39.4	57.1
(12-13]	30.8	34.1	21.6	27.7	19.5	35.1	60.1	49.4	42.7	42.4	24.8	42.5
(13-14]	28.8	26.2	4.0	26.2	29.8	30.9	40.4	52.4	33.8	37.8	18.3	26.9
(14-15]	19.5	53.6	22.0	12.6	9.7	40.7	38.7	36.8	44.7	30.5	43.9	35.3
(15-16]	0.0	17.4	26.1	9.6	49.5	19.0	30.4	43.8	22.9	18.2	39.4	0.0
(16-17]	0.0	0.0	29.2	0.0	41.2	48.5	18.3	31.5	13.5	0.0	0.0	0.0
(17-18]	0.0	28.3	62.0	48.0	0.0	54.0	86.0	83.5	32.0	0.0	0.0	52.9
(18+]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Πίνακας 10.7: λ_{down} κάθε κλάσης ανά μήνα

Κλάσεις	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
[0-1]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(1-2]	2.3	7.4	19.5	8.0	13.0	4.3	0.0	24.0	8.3	6.4	19.1	10.3
(2-3]	22.8	23.0	25.9	29.5	23.8	22.1	18.6	15.8	26.6	35.2	43.9	44.0
(3-4]	61.4	49.9	55.4	47.5	46.7	43.0	37.4	47.7	56.0	66.8	63.6	61.3
(4-5]	51.8	55.0	56.7	54.7	56.1	52.0	58.2	52.5	55.9	65.5	73.1	60.2
(5-6]	52.2	44.9	49.5	54.1	49.6	49.8	27.3	41.6	50.3	52.5	55.8	46.1
(6-7]	44.6	52.9	39.5	50.5	39.8	34.7	42.1	43.4	46.3	51.8	54.7	51.4
(7-8]	48.6	42.0	51.1	50.5	41.4	42.0	35.7	35.2	44.6	53.5	52.5	45.4
(8-9]	47.2	52.5	51.1	53.5	54.3	37.4	45.3	49.4	48.3	56.0	46.2	44.1
(9-10]	43.1	44.1	38.6	39.8	40.7	38.1	39.7	37.0	49.2	47.5	73.3	50.6
(10-11]	40.3	43.8	36.7	35.8	39.2	34.3	47.9	46.6	52.0	61.7	44.7	44.7
(11-12]	46.5	46.8	40.4	45.4	55.1	47.2	51.6	48.7	57.9	41.5	39.4	46.6
(12-13]	59.7	34.1	30.2	34.6	37.5	49.8	41.3	51.3	48.9	42.4	41.3	44.9
(13-14]	49.0	36.1	56.0	78.5	41.7	59.3	62.6	45.2	55.1	78.3	24.4	49.3
(14-15]	58.4	53.6	55.1	44.2	38.8	44.8	55.4	61.0	56.6	71.2	43.9	52.9
(15-16]	80.4	29.0	39.2	48.0	49.5	52.3	63.0	53.6	72.6	18.2	68.9	26.5
(16-17]	70.9	45.2	29.2	68.6	27.5	27.7	78.6	59.8	80.8	72.1	98.5	0.0
(17-18]	0.0	56.5	31.0	0.0	49.5	13.5	39.7	48.7	32.0	0.0	0.0	0.0
(18+]	0.0	15.6	19.8	0.0	20.6	30.8	25.0	33.1	0.0	0.0	0.0	22.0

Σε αυτό το στάδιο, γίνεται σύγκριση της συνθετικής χρονοσειράς με την ιστορική, για να ελεγχθεί η αξιοπιστία του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών. Αυτός ο έλεγχος πραγματοποιείται μόνο στον άνεμο, διότι είναι το πιο ευαίσθητο στοιχείο εισόδου του μοντέλου και η διατήρηση της ωριαίας διακύμανσης και της μηνιαίας εποχικότητας του είναι υψηλής σημασίας. Στο σχήμα 10.1, φαίνεται η σύγκριση συχνότητας-ταχύτητας των δύο χρονοσειρών και είναι εμφανές ότι η αξιοπιστία του μοντέλου είναι αρκετά υψηλή.



Σχήμα 10.1: Σύγκριση Ιστορικής και Συνθετικής Χρονοσειράς

11 Εκτίμηση Ενεργειακών, Υδρευτικών και Αρδευτικών Αναγκών

Για την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης, είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι ενεργειακές, υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες του νησιού. Αυτές οι εκτιμήσεις ωστόσο, δεν πρέπει να συμπεριλαμβάνουν μόνο τις υπάρχουσες συνθήκες στο νησί, καθώς πρέπει να λάβουν υπόψιν και την αλλαγή αυτών των συνθηκών μέσα στα επόμενα έτη, όπου αποτελούν τη διάρκεια ζωής του υπό μελέτη συστήματος. Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται η διαδικασία με την οποία παράγονται οι συνθετικές χρονοσειρές των αναγκών.

11.1 Εκτίμηση Ενεργειακών Αναγκών

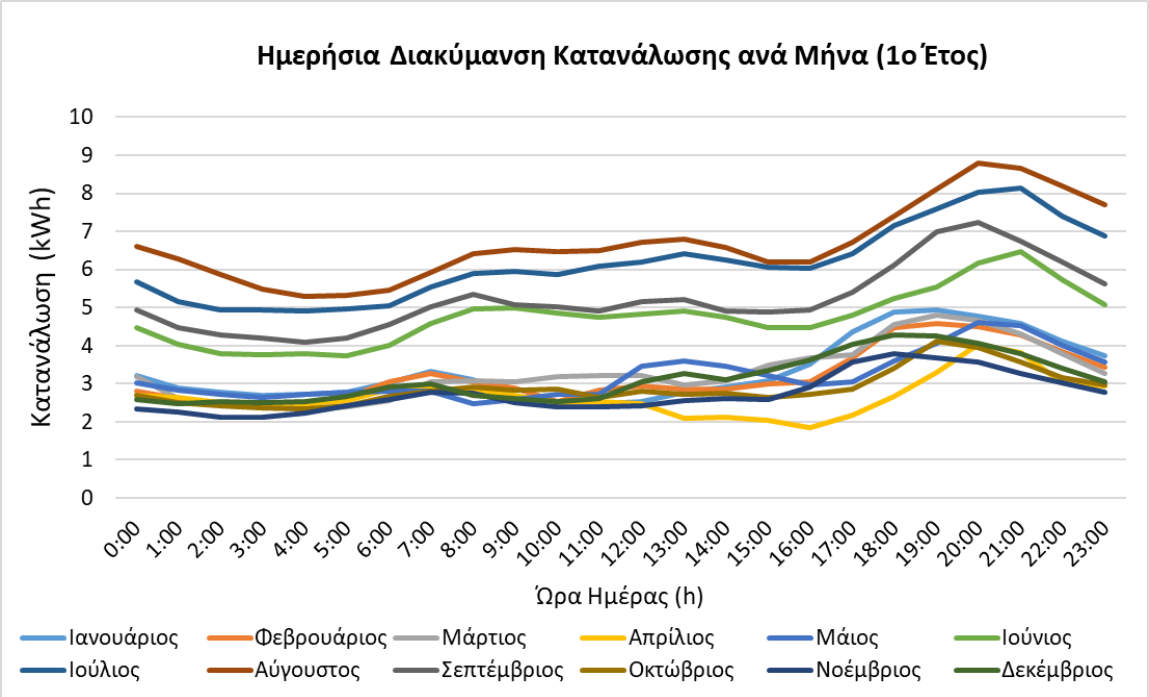
Η εκτίμηση των ηλεκτρικών αναγκών γίνεται βάσει των καταναλώσεων των πέντε διαθέσιμων ετών 2014 έως 2018. Δεδομένο αποτελεί η συνολική μηνιαία ζήτηση σε ενέργεια κάθε μήνα, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ημερήσια. Ακόμη, είναι γνωστή η ημερήσια διακύμανση της ζήτησης της ενέργειας για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο κάθε μήνα, σύμφωνα με το οποίο μετατρέπεται η προηγούμενη χρονοσειρά ημερήσιας ζήτησης σε ωριαία. Τέλος, για να είναι η εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών όσο το δυνατόν πιο ακριβής για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, αφού υπολογίζεται η μέση ωριαία κατανάλωση σε ενέργεια για ένα έτος, γίνεται αναγωγή αυτής της ετήσιας χρονοσειράς στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος, όπως ακριβώς και στις υδρευτικές ανάγκες. Στον πίνακα 11.1 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του νησιού του πρώτου και τελευταίου έτους, στον πίνακα 11.2 οι μέσες ημερήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του νησιού του πρώτου και τελευταίου έτους, στο σχήμα 11.1 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του πρώτου έτους και στο σχήμα 11.2 οι μέσες ημερήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του τελευταίου έτους.

Πίνακας 11.1: Εκτιμώμενη Μέση Μηνιαία Ενεργειακή Ζήτηση

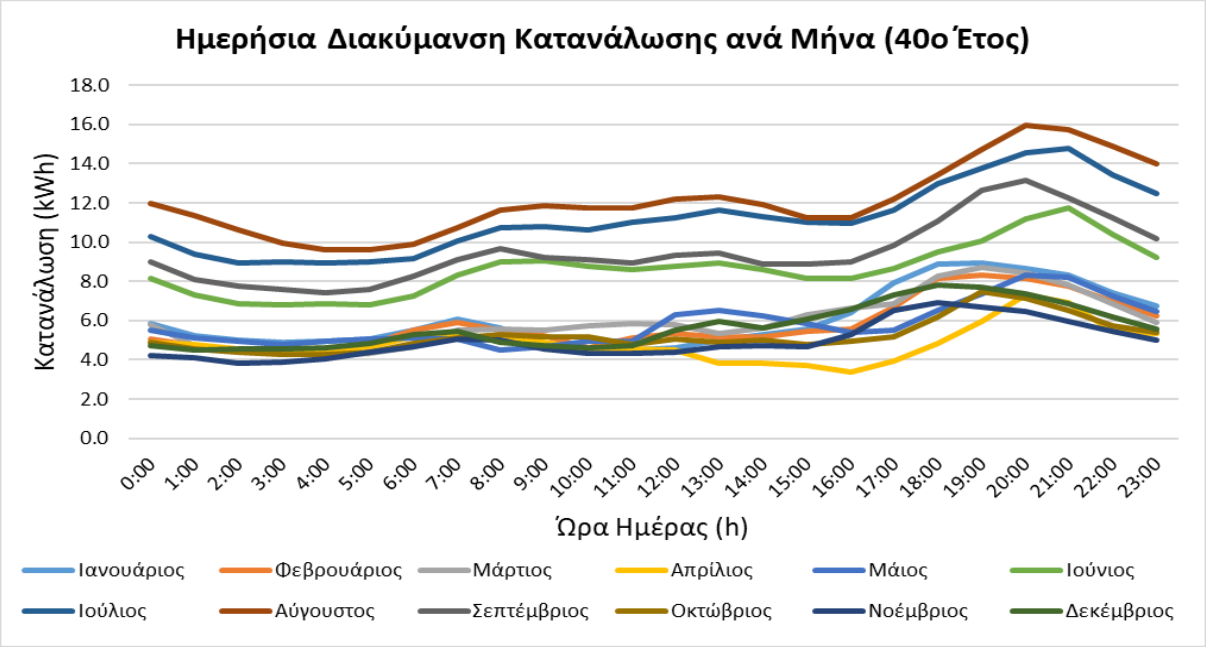
Μήνας	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 1ου Έτους (MWh/month)	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 40ου Έτους (MWh/month)
Ιανουάριος	2674.68	4851.93
Φεβρουάριος	2219.94	4027.01
Μάρτιος	2264.26	4107.40
Απρίλιος	2148.92	3898.18
Μάιος	2852.85	5175.13
Ιούνιος	3824.92	6938.48
Ιούλιος	4970.41	9016.42
Αύγουστος	5486.91	9953.36
Σεπτέμβριος	4107.51	7451.09
Οκτώβριος	2525.25	4580.86
Νοέμβριος	2083.66	3779.80
Δεκέμβριος	2496.61	4528.90

Πίνακας 11.2: Εκτιμώμενη Μέση Ημερήσια Ενεργειακή Ζήτηση

Μήνας	Μέση Ημερήσια Ζήτηση 1ου Έτους (MWh/d)	Μέση Ημερήσια Ζήτηση 40ου Έτους (MWh/d)
Ιανουάριος	86.28	156.51
Φεβρουάριος	79.28	143.82
Μάρτιος	73.04	132.50
Απρίλιος	71.63	129.94
Μάιος	92.03	166.94
Ιούνιος	127.50	231.28
Ιούλιος	160.34	290.85
Αύγουστος	177.00	321.08
Σεπτέμβριος	136.92	248.37
Οκτώβριος	81.46	147.77
Νοέμβριος	69.46	125.99
Δεκέμβριος	80.54	146.09



Σχήμα 11.1: Ημερήσια Διακύμανση Κατανάλωσης ανά μήνα (1ο Έτος)



Σχήμα 11.2 Ημερήσια Διακύμανση Κατανάλωσης ανά μήνα (40ο έτος)

11.2 Εκτίμηση Υδρευτικών Αναγκών

Η εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών προκύπτει βάσει των πληθυσμιακών δεδομένων του νησιού. Εφόσον όμως το έργο έχει διάρκεια ζωής 40 έτη, είναι απαραίτητη η αναγωγή του πληθυσμού και των αντίστοιχων αναγκών του στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος, ώστε να είναι όσο πιο ακριβή γίνεται τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου. Στον πίνακα 11.3 παρουσιάζεται ο πληθυσμός του νησιού, ο οποίος αποτελείται από τους μόνιμους κατοίκους, τους παραθεριστές και τους τουρίστες του νησιού. Η αύξηση του τουριστικού πληθυσμού υπολογίζεται βάσει των δεδομένων αφίξεων-αναχωρήσεων στο λιμάνι και το αεροδρόμιο του νησιού και από τον αριθμό των ξενοδοχείων και των λοιπών καταλυμάτων που υπάρχουν στην Κάρπαθο.

Η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο θεωρείται 150 l/ημέρα/κάτοικο για το μόνιμο πληθυσμό, 200 l/ημέρα/κάτοικο για τους παραθεριστές και 150 l/ημέρα/κάτοικο για τον τουριστικό πληθυσμό (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2015).

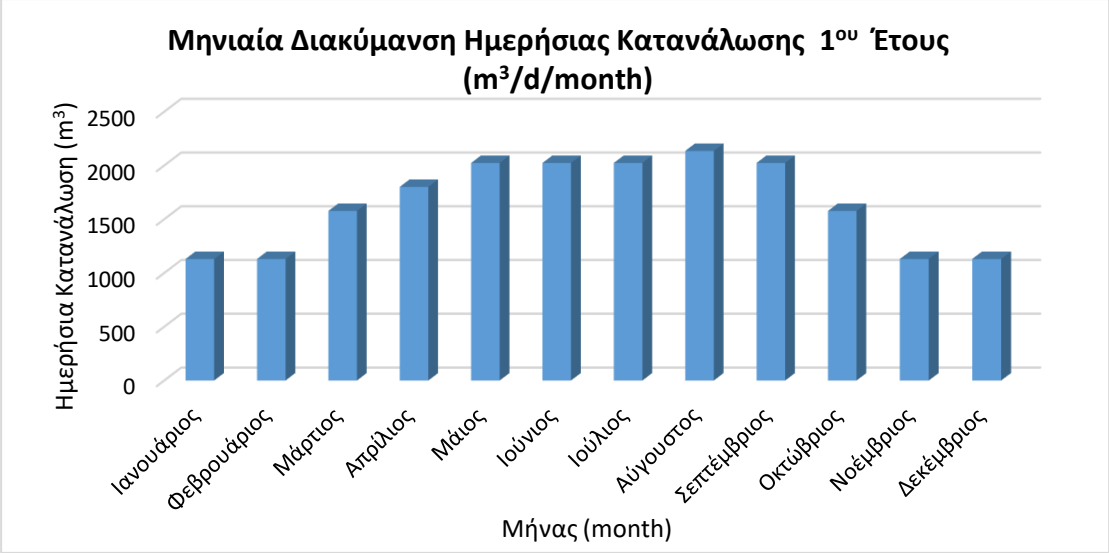
Στη συνέχεια, υπολογίζεται η μηνιαία διακύμανση του ημερήσιου πληθυσμού για ένα έτος. Είναι προφανές ότι τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω του έντονου τουρισμού, οι υδρευτικές ανάγκες του νησιού είναι αρκετά αυξημένες, σε σχέση με αυτές των χειμερινών μηνών. Στον πίνακα 11.4 και το σχήμα 11.3, παρουσιάζονται η εκτιμώμενη μηνιαία διακύμανση του ημερήσιου πληθυσμού και η εκτιμώμενη μέση μηνιαία και ημερήσια κατανάλωση αντίστοιχα για το έτος 2019.

Πίνακας 11.3: Εκτίμηση Μηνιαίου Πληθυσμού

Μήνας	Μόνιμοι	Παραθεριστές	Τουρίστες
Ιανουάριος	7537	0	0
Φεβρουάριος	7537	0	0
Μάρτιος	7537	586	2196
Απρίλιος	7537	879	3295
Μάιος	7537	1172	4393
Ιούνιος	7537	1172	4393
Ιούλιος	7537	1172	4393
Αύγουστος	7537	1318	4942
Σεπτέμβριος	7537	1172	4393
Οκτώβριος	7537	586	2196
Νοέμβριος	7537	0	0
Δεκέμβριος	7537	0	0

Πίνακας 11.4: Εκτιμώμενη Μέση Ημερήσια και Μηνιαία Υδρευτική Ζήτηση

Μήνας	Ζήτηση Μόνιμων (m^3/d/month)	Ζήτηση Παραθεριστών (m^3/d/month)	Ζήτηση Τουριστών (m^3/d/month)	Ζήτηση/Ημέρα/Μήνα (m^3/d/month)	Ζήτηση/Μήνα (m^3/month)
Ιανουάριος	1130.55	0	0	1130.55	35047.05
Φεβρουάριος	1130.55	0	0	1130.55	31655.40
Μάρτιος	1130.55	117.20	329.46	1577.21	48893.51
Απρίλιος	1130.55	175.80	494.19	1800.54	54016.20
Μάιος	1130.55	234.40	658.92	2023.87	62739.97
Ιούνιος	1130.55	234.40	658.92	2023.87	60716.10
Ιούλιος	1130.55	234.40	658.92	2023.87	62739.97
Αύγουστος	1130.55	263.70	741.285	2135.54	66201.59
Σεπτέμβριος	1130.55	234.40	658.92	2023.87	60716.10
Οκτώβριος	1130.55	117.20	329.46	1577.21	48893.51
Νοέμβριος	1130.55	0	0	1130.55	33916.50
Δεκέμβριος	1130.55	0	0	1130.55	35047.05



Σχήμα 11.3 Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης 1ου Έτους

Αρχικά εκτιμώνται οι υδρευτικές ανάγκες για το παρόν έτος και έπειτα λαμβάνει χώρα η αναγωγή αυτών, στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος. Η αύξηση αυτή του πληθυσμού υπολογίζεται για 40 έτη (όσα και η διάρκεια του συστήματος της μελέτης), με σταθερή γεωμετρική αύξηση ανά έτος, μέσω της αναδρομικής σχέσης (11.1) (Τσακίρης, 2010):

$$P_i = \alpha * P_{i-1} \qquad (11.1)$$

Όπου:

- $\alpha = 1 + \gamma \qquad (11.2)$ και
- $\gamma = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}} \qquad (11.3)$

Στον πίνακα 11.5 παρουσιάζονται τα στοιχεία της πληθυσμιακής αναγωγής, στους πίνακες 11.6 και 11.7, η αναγωγή του μέσου εκτιμώμενου ετήσιου πληθυσμού για τα επόμενα 40 έτη και οι αντίστοιχοι ετήσιοι συντελεστές αναγωγής. Ενώ στον πίνακα 11.8, παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης και στο σχήμα 11.4, η διακύμανση αυτή ανά πέντε έτη.

Πίνακας 11.5: Στοιχεία Πληθυσμιακής Αναγωγής

Αναγωγή Πληθυσμού	
P_0	10725
P_{40}	19456
α	1.015
γ	0.015
n	40
Συνολική Αύξηση Πληθυσμού	0.81

Πίνακας 11.6: Πληθυσμός και Συντελεστές Αναγωγής ανά έτος (1η 20ετία)

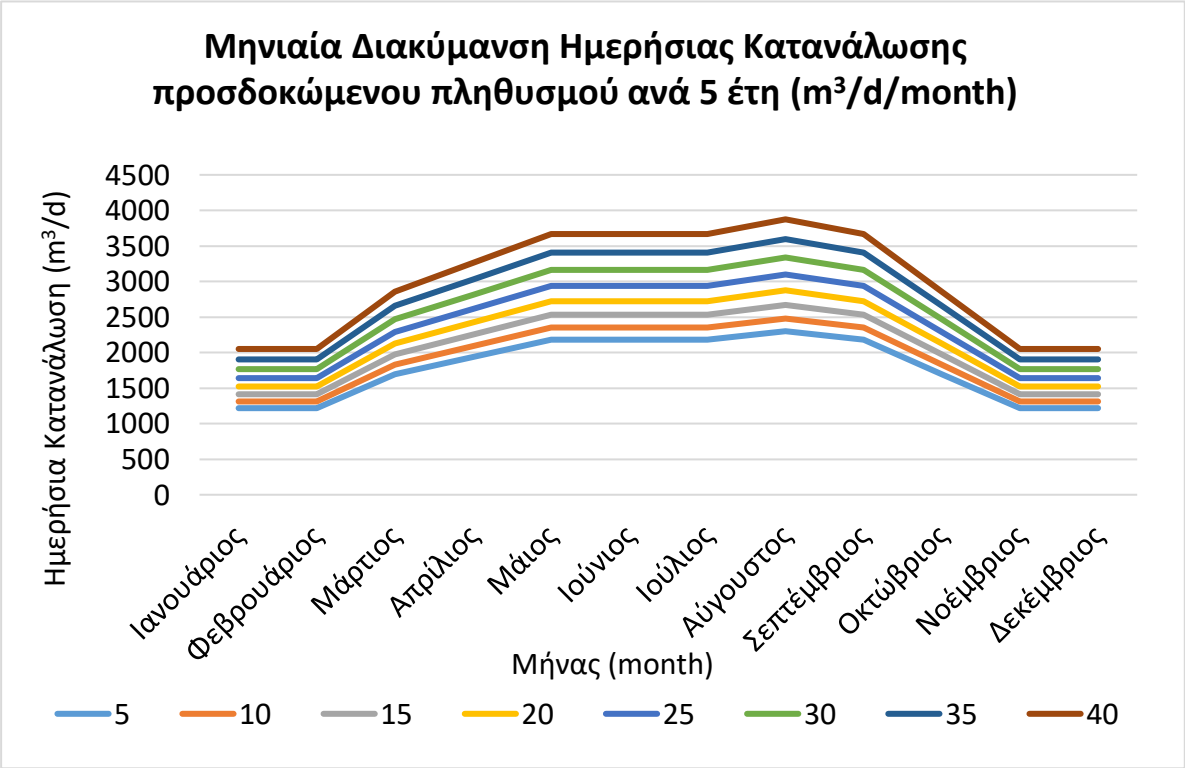
Α/Α	Έτος	Πληθυσμός	Συντελεστής Αναγωγής
1	2020	10886	1.02
2	2021	11049	1.03
3	2022	11215	1.05
4	2023	11383	1.06
5	2024	11554	1.08
6	2025	11727	1.09
7	2026	11903	1.11
8	2027	12082	1.13
9	2028	12263	1.14
10	2029	12447	1.16
11	2030	12634	1.18
12	2031	12823	1.20
13	2032	13016	1.21
14	2033	13211	1.23
15	2034	13409	1.25
16	2035	13610	1.27
17	2036	13814	1.29
18	2037	14021	1.31
19	2038	14232	1.33
20	2039	14445	1.35

Πίνακας 11.7: Πληθυσμός και Συντελεστές Αναγωγής ανά έτος (2η 20ετία)

Α/Α	Έτος	Πληθυσμός	Συντελεστής Αναγωγής
21	2040	14662	1.37
22	2041	14882	1.39
23	2042	15105	1.41
24	2043	15332	1.43
25	2044	15562	1.45
26	2045	15795	1.47
27	2046	16032	1.50
28	2047	16272	1.52
29	2048	16516	1.54
30	2049	16764	1.56
31	2050	17016	1.59
32	2051	17271	1.61
33	2052	17530	1.63
34	2053	17793	1.66
35	2054	18060	1.68
36	2055	18331	1.71
37	2056	18606	1.73
38	2057	18885	1.78
39	2058	19168	1.79
40	2059	19456	1.81

Πίνακας 11.8: Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Ζήτησης ανά 5 έτη

Έτος	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
5	1218	1218	1699	1940	2180	2180	2180	2301	2180	1699	1218	1218
10	1312	1312	1830	2090	2349	2349	2349	2478	2349	1830	1312	1312
15	1413	1413	1972	2251	2530	2530	2530	2670	2530	1972	1413	1413
20	1523	1523	2124	2425	2726	2726	2726	2876	2726	2124	1523	1523
25	1640	1640	2288	2612	2937	2937	2937	3099	2937	2288	1640	1640
30	1767	1767	2465	2814	3163	3163	3163	3338	3163	2465	1767	1767
35	1904	1904	2656	3032	3408	3408	3408	3596	3408	2656	1904	1904
40	2051	2051	2861	3266	3671	3671	3671	3874	3671	2861	2051	2051



Σχήμα 11.4: Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης προσδοκώμενου πληθυσμού ανά 5 έτη

11.3 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών

Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών του νησιού προκύπτει από το άθροισμα των κτηνοτροφικών αναγκών και των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό.

11.3.1 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών Ζωικής Παραγωγής

Για την ακριβή εκτίμηση της κατανάλωσης των ζώων σε νερό είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το είδος των ζώων, το πλήθος τους, την ηλιακή κατανομή τους, καθώς και το ποσοστό υγρασίας του γρασιδιού (ξηρό ή χλωρό γρασίδι). Για το νησί της Καρπάθου, θεωρείται υψηλή η ηλικιακή κατανομή και ξηρό το γρασίδι. Έτσι, γνωρίζοντας το πλήθος του κάθε είδους, προκύπτουν οι αρδευτικές ανάγκες της ζωικής παραγωγής. Οι τιμές που επιλέγονται, όπως και οι καταναλώσεις, παρουσιάζονται στους πίνακες 11.9 και 11.10.

Πίνακας 11.9: Ημερήσια και Ετήσια Κατανάλωση κάθε είδους κατά κεφαλήν

Είδος	Κατανάλωση κατά κεφαλήν (L/d)	Ετήσια Κατανάλωση κατά κεφαλήν (L/y)
Πρόβατα	12	4380
Αίγες	5	1825
Χοίροι	40	14600
Κουνέλια	5	1825
Κότες	5	1825
Βοοειδή	140	51100
Σύνολο	207	75555

Πίνακας 11.10: Συνολική Ημερήσια και Ετήσια Κατανάλωση κάθε Είδους

Είδος	Πλήθος	Ημερήσια συνολική (m^3/d)	Ετήσια συνολική (m^3/y)
Πρόβατα	7329	87.95	32101.02
Αίγες	7395	36.98	13495.88
Χοίροι	361	14.44	5270.60
Κουνέλια	439	2.20	801.18
Κότες	4243	21.22	7743.48
Βοοειδή	10	1.40	511.00
Σύνολο	19777	164.17	59923.15

11.3.2 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών Καλλιεργειών

Για την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών, πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η εξατμοδιαπνοή των καλλιεργειών του νησιού. Χρησιμοποιείται η μέθοδος Blaney-Criddle, η οποία θεσμοθετήθηκε το 1992 από το υπουργείο γεωργίας ως η πιο ακριβής μέθοδος για την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό, όσον αφορά στην Ελλάδα.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μία εμπειρική σχέση, που συνδέει την εξατμοδιαπνοή, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας (Μπαλτάς, 2019). Η σχέση αυτή (11.4) ορίζεται ως:

$$ET = k_c F = k_c \frac{(1.8T + 32)p}{3.94} \qquad (11.4)$$

όπου

- ET: η ημερήσια δυνητική εξατμοδιαπνοή σε mm,
- k_c: ο εμπειρικός συντελεστής καλλιέργειας ,
- T: η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ^{o}C και
- p: το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας (του εκάστοτε μήνα).

Το ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας, για τον εκάστοτε μήνα, είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους του νησιού (φ=35.62819) και της μέσης αστρονομικής διάρκειας της ημέρας σε h (N), οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 11.11.

Πίνακας 11.11: Μέση Διάρκεια Αστρονομικής Ημέρας σε ώρες και ποσοστό

Μήνας	N	p
Ιανουάριος	9.82	0.41
Φεβρουάριος	10.62	0.44
Μάρτιος	11.70	0.49
Απρίλιος	12.88	0.54
Μάιος	13.88	0.58
Ιούνιος	14.36	0.60
Ιούλιος	14.16	0.59
Αύγουστος	13.38	0.56
Σεπτέμβριος	12.20	0.51
Οκτώβριος	11.12	0.46
Νοέμβριος	10.14	0.42
Δεκέμβριος	9.64	0.40

Για τον υπολογισμό του φυτικού συντελεστή k_c, τα απαραίτητα στοιχεία είναι η διάρκεια του κάθε ένα από τα τέσσερα στάδια βλάστησης (αρχικό, κύριο, μέσο και τελικό), η ημερομηνία φύτευσης, οι αντίστοιχοι συντελεστές για το κάθε στάδιο βλάστησης και το μέγιστο ύψος της εκάστοτε καλλιέργειας. Τα στοιχεία αυτά υπάρχουν στο FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 Crop Evapotranspiration.

Ωστόσο, όσον αφορά στα αμπέλια και τις λεμονιές, τα στοιχεία λαμβάνονται από τους Παναγούλια και Δήμου (2000), καθώς ανταποκρίνονται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα. Ενώ τέλος, για τα ελαιόδεντρα ο φυτικός συντελεστής λαμβάνεται μηδενικός, όντας μη αρδευόμενο είδος καλλιέργειας. Ακολουθούν οι πίνακες 11.12, 11.13, και 11.14 με τα στοιχεία.

*Πίνακας 11.12: Φυτικοί Συντελεστές για τα Λεμόνια και τα Αμπέλια (*Πηγή: Παναγούλια, Δήμου, 2000)

Μήνας	**Λεμονιά**	**Αμπέλι**
Απρίλιος	0.55	0.45
Μάιος	0.5	0.6
Ιούνιος	0.5	0.7
Ιούλιος	0.5	0.7
Αύγουστος	0.5	0.7
Σεπτεμβριος	0.6	0.7
Οκτώβριος	0.8	0.6
Νοέμβριος	0	0.35

Πίνακας 11.13: Διάρκεια Σταδίων Βλάστησης σε Ημέρες

Καλλιέργεια	**Ini**	**Dev**	**Mid**	**Late**	**Total**	**Plant Date**
Κουκιά	20	30	30	10	90	3
Βρώμη με σανό	30	140	40	30	240	11
Πατάτες άνοιξης	30	35	50	30	145	4
Λάχανα	20	30	15	10	75	4
Κουνουπίδια	35	50	40	15	140	9
Σπανάκι	20	20	15	5	60	9
Κρεμμύδια ξερά	15	25	70	40	150	4
Σκορδά ξερά	15	25	70	40	150	4
Μαρούλια	20	30	15	10	75	4
Τομάτες υπαίθρου	30	40	45	30	145	4
Φασολάκια χλωρά	20	30	30	10	90	3
Μπαμιες	20	30	30	10	90	3
Κολοκυθάκια	20	30	25	15	90	5
Αγγουρια υπαίθρου	20	30	40	15	105	6
Μελιτζάνες υπαίθρου	30	45	40	25	140	5
Αγκινάρες	40	40	250	30	360	4

Πίνακας 11.14: Φυτικοί Συντελεστές για κάθε Στάδιο Βλάστησης

Καλλιέργεια	Kc Ini	Kc Dev	Kc Mid	Kc End	Max Crop Height (m)
κουκιά	0.50	0.78	1.05	0.90	0.40
βρώμη με σανό	0.30	0.73	1.15	0.25	1.00
πατάτες άνοιξης	0.50	0.78	1.05	0.95	0.40
λάχανα	0.70	0.85	1.00	0.95	0.30
κουνουπίδια	0.70	0.88	1.05	0.95	0.40
σπανάκι	0.70	0.85	1.00	0.95	0.30
κρεμμύδια ξερά	0.70	0.88	1.05	0.75	0.40
σκόρδα ξερά	0.60	0.88	1.15	0.80	0.60
μαρούλια	0.70	0.85	1.00	0.95	0.30
τομάτες υπαίθρου	0.60	0.88	1.15	0.90	0.60
φασολάκια χλωρά	0.50	0.78	1.05	0.90	0.40
μπάμιες	0.50	0.78	1.05	0.90	0.40
κολοκυθάκια	0.50	0.73	0.95	0.75	0.30
αγγούρια υπαίθρου	0.50	0.75	1.00	0.90	0.30
μελιτζάνες υπαίθρου	0.60	0.83	1.05	0.90	0.80
αγκινάρες	0.50	0.75	1.00	0.95	0.70

Βάσει των παραπάνω δεδομένων, υπολογίζονται οι φυτικοί συντελεστές κάθε καλλιέργειας με ακρίβεια δεκαήμερου (καθώς αυτή είναι η καλύτερη διαθέσιμη ακρίβεια) και γίνεται αναγωγή σε ημερήσια κλίμακα. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το ποσοστό της κάθε καλλιέργειας ως προς τη συνολική έκταση των καλλιεργειών, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν τα ελαιόδεντρα, εφόσον θεωρούνται μη αρδευτικό είδος. Κατόπιν, πολλαπλασιάζοντας τον εκάστοτε φυτικό συντελεστή καλλιέργειας με το αντίστοιχο ποσοστό που καταλαμβάνει αυτή η έκταση, υπολογίζεται ο σταθμισμένος ημερήσιος φυτικός συντελεστής των καλλιεργειών της Καρπάθου. Με τη σχέση της μεθόδου Blaney-Criddle (που αναφέρεται στην υποενότητα 9.1.2), προκύπτει η ημερήσια εξατμοδιαπνοή της συνολικής αρδευόμενης έκτασης του νησιού, από την οποία αφαιρείται η ημερήσια βροχόπτωση και προκύπτουν έτσι οι αρδευτικές ανάγκες σε mm. Αυτές πολλαπλασιάζονται με τη συνολική αρδευόμενη έκταση σε m^2 και προκύπτει ο συνολικός απαιτούμενος όγκος αρδευτικού νερού σε m^3. Ο όγκος αυτός διαιρείται με το βαθμό απόδοσης κατά την εφαρμογή και προκύπτει από τη σχέση (11.5) (Παναγούλια, Δήμου, 2000):

$$E_p = E_d * E_a \qquad (11.5)$$

Όπου:

- E_d:ο βαθμός απόδοσης διανομής
- E_a: ο βαθμός απόδοσης άρδευσης.

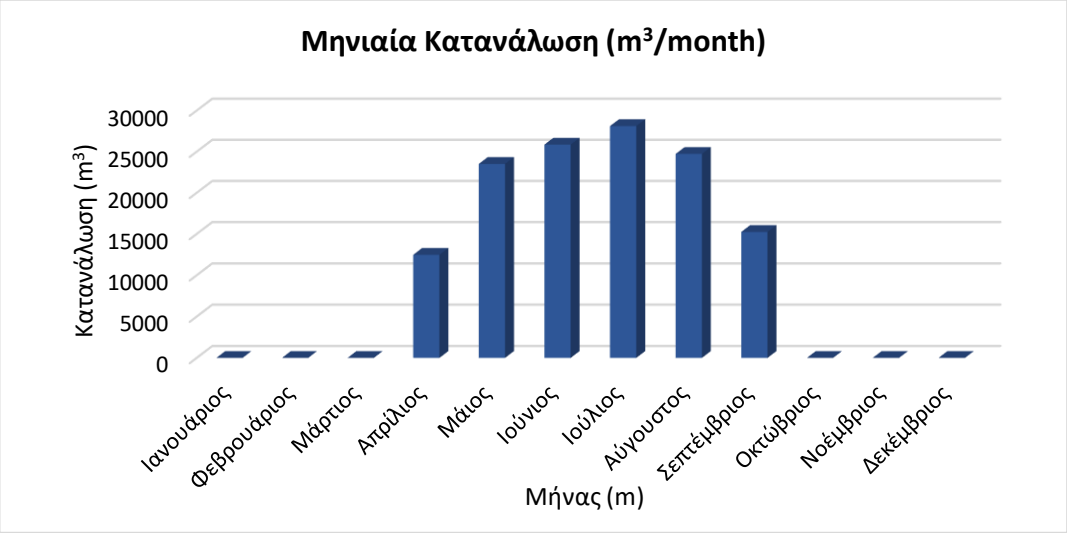
Πίνακας 11.15: Συντελεστές Απόδοσης

Ed	0.7
Ea	0.95
Ep	0.665

Στο πίνακα 11.16 και στο σχήμα 11.5, διαφαίνονται ενδεικτικά οι μέσες ημερήσιες και μηνιαίες αρδευτικές καταναλώσεις των ιστορικών δεδομένων.

Πίνακας 11.16: Ημερήσια και Μηνιαία Αρδευτική Ζήτηση

Μήνας	**Ημερήσια Κατανάλωση (m^3/day)**	**Μηνιαία Κατανάλωση (m^3/month)**
Ιανουάριος	0.00	0.00
Φεβρουάριος	0.00	0.00
Μάρτιος	0.00	0.00
Απρίλιος	415.94	12478.20
Μάιος	758.60	23516.64
Ιούνιος	862.02	25860.63
Ιούλιος	907.00	28117.09
Αύγουστος	797.95	24736.47
Σεπτέμβριος	508.15	15244.63
Οκτώβριος	0.00	0.00
Νοέμβριος	0.00	0.00
Δεκέμβριος	0.00	0.00



Σχήμα 11.5: Μέση Μηνιαία Αρδευτική Ζήτηση (m^3/month)

12 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας

12.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Ανεμογεννήτριες

Βάσει των κριτηρίων (που αναφέρονται στην υποενότητα 4.3.1), επιλέγεται η θέση χωροθέτησης των ανεμογεννητριών. Πιο συγκεκριμένα, οι προστατευόμενες περιοχές, σύμφωνα με το δίκτυο Natura 2000, βρίσκονται στο βόρειο και κεντρικό μέρος του νησιού, ενώ παράλληλα το ίδιο ισχύει και για τους περισσότερους οικισμούς. Επιπρόσθετα, στο νότιο μέρος (ιδιαίτερα στο σύνορα με την Κάσο), το αιολικό δυναμικό είναι αρκετά πιο ισχυρό. Συμπερασματικά, η θέση των ανεμογεννητριών βρίσκεται στο νότιο μέρος της Καρπάθου και με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS (και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους) το υψόμετρο υπολογίστηκε στα 80 m (https://www.arcgis.com/index.html#).

Γνωρίζοντας πλέον το υψόμετρο της θέσης των ανεμογεννητριών (80 m) και το υψόμετρο του σταθμού (17 m) από τον οποίο προέρχονται οι μετρήσεις για τον άνεμο, λαμβάνει χώρα η υψομετρική διόρθωση της ταχύτητας της παραγόμενης συνθετικής χρονοσειράς του ανέμου, με τη σχέση (12.1):

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{ln\frac{z_2}{z_0}}{ln\frac{z_1}{z_0}} \qquad (12.1)$$

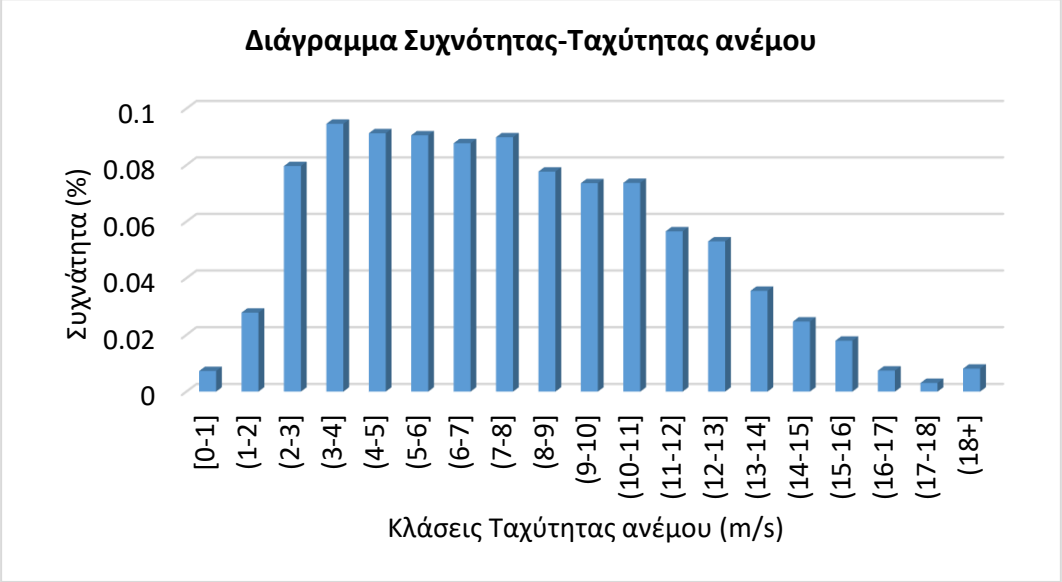
Όπου:

- u_1 και u_2: η ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο $z_1 = 17$ m και $z_2 = 150$ m αντίστοιχα και
- z_0:η παράμετρος τραχύτητας του εδάφους, που στην περίπτωση αυτή θεωρείται ίση με 0.002, διότι στη θέση αυτή η χλόη είναι χαμηλή και κάτω από 10 cm.

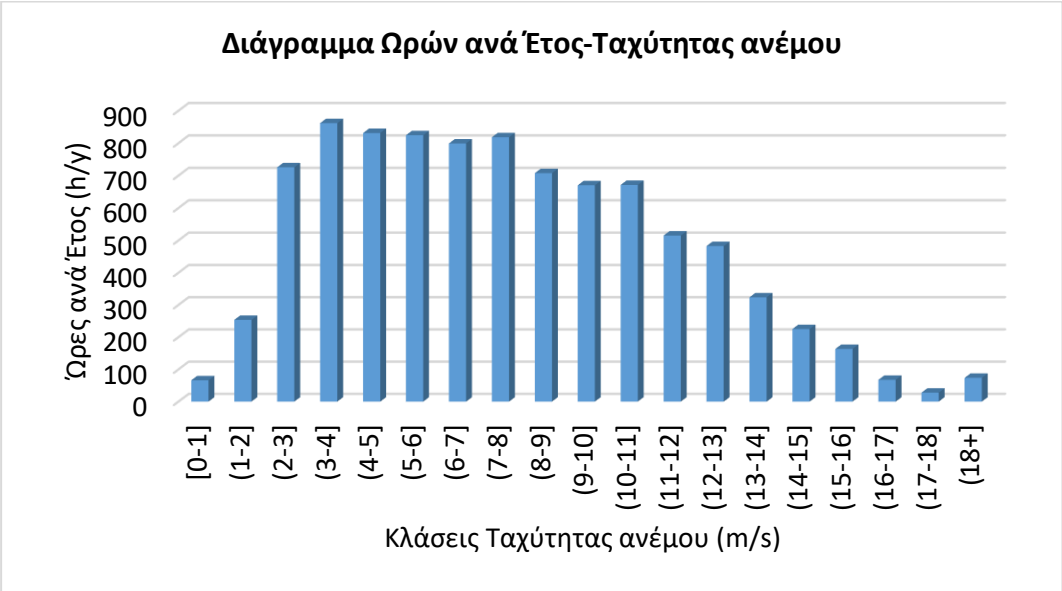
Πίνακας 12.1: Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)

Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)	
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1 cm	0.1
Χλόη ύψους 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2.0-5.0
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 1-2 m	40-70

Για να μετατραπεί η χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου σε ενέργεια, χρειάζεται να επιλεχθεί ο βέλτιστος τύπος ανεμογεννήτριας για το συγκεκριμένο αιολικό δυναμικό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μελέτη τριών διαφορετικών τύπων ανεμογεννητριών. Η διερεύνηση αυτή γίνεται με βάση την ιστορική χρονοσειρά ανέμου, η οποία κατηγοριοποιείται σε κλάσεις ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Στη συνέχεια, για την εκάστοτε κλάση, υπολογίζεται το πλήθος των ωρών που συγκεντρώνει και αυτό διαιρείται με τα έτη της χρονοσειράς, για να μετατραπεί σε μέσο πλήθος ωρών ανά έτος. Ενώ διαιρώντας το πλήθος αυτό με το συνολικό πλήθος των παρατηρήσεων, προκύπτει η συχνότητα κάθε κλάσης. Με τον τρόπο αυτό, προκύπτουν τα διαγράμματα συχνότητας-ταχύτητας ανέμου (σχήμα 12.1) και ωρών ανά έτος-ταχύτητας ανέμου (σχήμα 12.2).



Σχήμα 12.1: Διάγραμμα Συχνότητας-Ταχύτητας Ανέμου

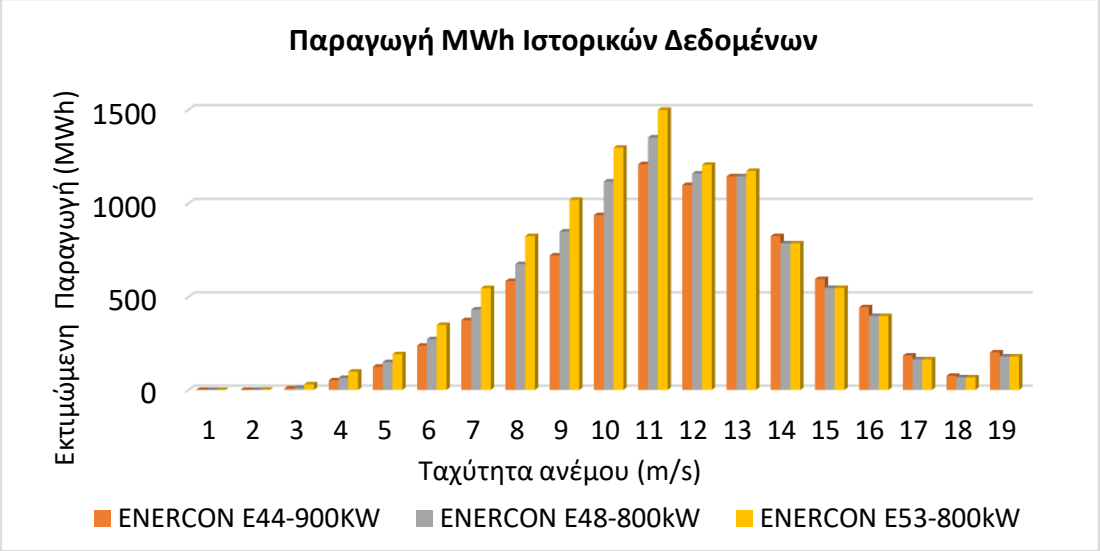


Σχήμα 12.2: Διάγραμμα Ωρών ανά Έτος-Ταχύτητας Ανέμου

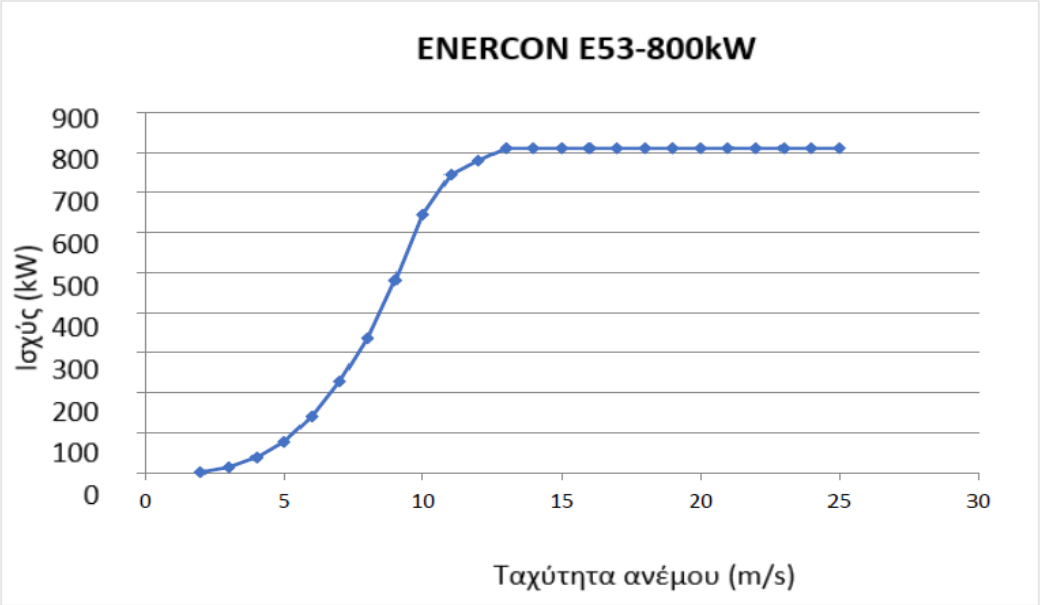
Γνωρίζοντας πλέον τη συχνότητα των κλάσεων, υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια της ιστορικής χρονοσειράς, χρησιμοποιώντας την καμπύλη ισχύος για κάθε μία από τις τρεις διαφορετικές ανεμογεννήτριες. Κάθε καμπύλη ισχύος διαθέτει τρία χαρακτηριστικά μεγέθη, την ταχύτητα κατωφλιού (ελάχιστη ταχύτητα), την ονομαστική ταχύτητα (ταχύτητα όπου μεγιστοποιείται η παραγόμενη ενέργεια) και την ανώτατη ταχύτητα. Αν η τιμή της ταχύτητας του ανέμου σε κάποιο χρονικό βήμα είναι χαμηλότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή για την παραγωγή αιολικής ενέργειας ή ξεπερνά τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα της καμπύλης, τότε η παραγόμενη αιολική ενέργεια στο βήμα αυτό ισούται με μηδέν. Στον πίνακα 12.2, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης ισχύος και στο σχήμα 12.3 παρουσιάζεται η εκτιμώμενη παραγωγή αιολικής ενέργειας των ανεμογεννητριών ανά έτος για τις ανεμογεννήτριες ENERCON E44-900KW, ENERCON E48-800kW και ENERCON E53-800kW. Βάσει αυτού του ιστογράμματος, για το νησί της Καρπάθου επιλέγονται ανεμογεννήτριες ENERCON E53 με ισχύ 800kW, της οποίας η καμπύλη ισχύος διαφαίνεται στο σχήμα 12.4.

Πίνακας 12.2: Χαρακτηριστικά Μεγέθη Καμπυλών Ισχύος

Ταχύτητα (m/s)	**ENERCON E44-900KW**	**ENERCON E48-800kW**	**ENERCON E53-800kW**
Κατωφλίου (m/s)	3	3	2
Ονομαστική (m/s)	17	14	13
Ανώτατη (m/s)	25	25	25



Σχήμα 12.3: Παραγωγή Ενέργειας Ιστορικών Δεδομένων



Σχήμα 12.4: Καμπύλη Ισχύος ENERCON E53-800KW
(*Πηγή: https://www.enercon.de/en/products/*)

Μετά την επιλογή του τύπου των ανεμογεννητριών, ακολουθεί η μετατροπή της συνθετικής χρονοσειράς του ανέμου σε ενεργειακή χρονοσειρά. Η παραγόμενη χρονοσειρά του ανέμου έχει τρίωρο χρονικό βήμα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιώντας την καμπύλη ισχύος, υπολογίζεται πρώτα η συνθετική χρονοσειρά της εκτιμώμενης αιολικής ενέργειας με τρίωρο βήμα και μετά γίνεται αναγωγή αυτής σε ωριαίο χρονικό βήμα.

12.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά

Για την εκτίμηση της ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό πάρκο, είναι απαραίτητη η ιστορική χρονοσειρά της ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος για το νησί της Καρπάθου. Δυστυχώς, αυτά τα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα. Για το λόγο αυτό, η εκτίμηση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με τη χρήση του πίνακα 12.3, όπου παρουσιάζονται η ηλιακή ισχύς και η ηλιακή ενέργεια στο Αιγαίο, την Κρήτη και την Κάρπαθο ανά μήνα. Δεδομένα υπάρχουν μόνο για το Αιγαίο και την Κρήτη και για τον υπολογισμό των μεγεθών για την Κάρπαθο γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των άλλων δύο περιοχών, βάσει της απόστασης της Καρπάθου από το καθένα.

Πίνακας 12.3: Ηλιακή Ισχύς και Ενέργεια στο Έδαφος (Πηγή: RETScreen Data, NASA)

	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (NASA)					
	Αιγαίο		Κρήτη		Κάρπαθος	
Μήνας	**kWh/m²**	**W/m²**	**kWh/m²**	**W/m²**	**kWh/m²**	**W/m²**
Ιανουάριος	62	83	74	100	68	91.5
Φεβρουάριος	81	120	93	138	87	129
Μάρτιος	130	175	145	195	137.5	185
Απρίλιος	173	241	189	262	181	251.5
Μάιος	223	300	232	312	227.5	306
Ιούνιος	249	346	254	353	251.5	349.5
Ιούλιος	254	341	261	351	257.5	346
Αύγουστος	227	305	235	316	231	310.5
Σεπτέμβριος	174	242	186	258	180	250
Οκτώβριος	121	162	134	180	127.5	171
Νοέμβριος	71	99	83	115	77	107
Δεκέμβριος	52	70	65	87	58.5	78.5
Σύνολο	1817	207	1951	222.25	1884	214.625

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας κάθε ημέρας, η μέση ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος κάθε μήνα (από τον πίνακα 12.3) διαιρείται με τον αριθμό των ημερών του αντίστοιχου μήνα και πολλαπλασιάζεται με το εμβαδόν του φωτοβολταϊκού πάρκου και την εγκατεστημένη ισχύ ανά τετραγωνικό μέτρο. Αν αυτή η τιμή ξεπερνά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ του φωτοβολταϊκού πάρκου πολλαπλασιασμένη με τη μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας του αντίστοιχου μήνα, τότε η τιμή αυτή ισούται με τον προαναφερθέντα πολλαπλασιασμό. Έτσι, προκύπτει η εκτιμώμενη χρονοσειρά της ημερήσιας παραγόμενης ηλιακής ενέργειας για τα επόμενα 40 έτη. Κατόπιν, με βάση τις ώρες ηλιοφάνειας της κάθε ημέρας του κάθε μήνα, η παραγόμενη ημερήσια χρονοσειρά μετατρέπεται σε ωριαία.

12.3 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Υδροηλεκτρικό Έργο

Ο υπολογισμός της υδροηλεκτρικής ενέργειας του έργου δε μπορεί να γίνει μεμονωμένα, όπως με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Αυτό συμβαίνει γιατί η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια υπολογίζεται σε κάθε ωριαίο βήμα, μέσω του μοντέλου προσομοίωσης, που αναλύεται στην υποενότητα 13.2. Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια που παράγεται από τον υδροστρόβιλο προκύπτει από τη σχέση (12.2):

$$E_{YHE} = \gamma * Q * H * n \qquad (12.2)$$

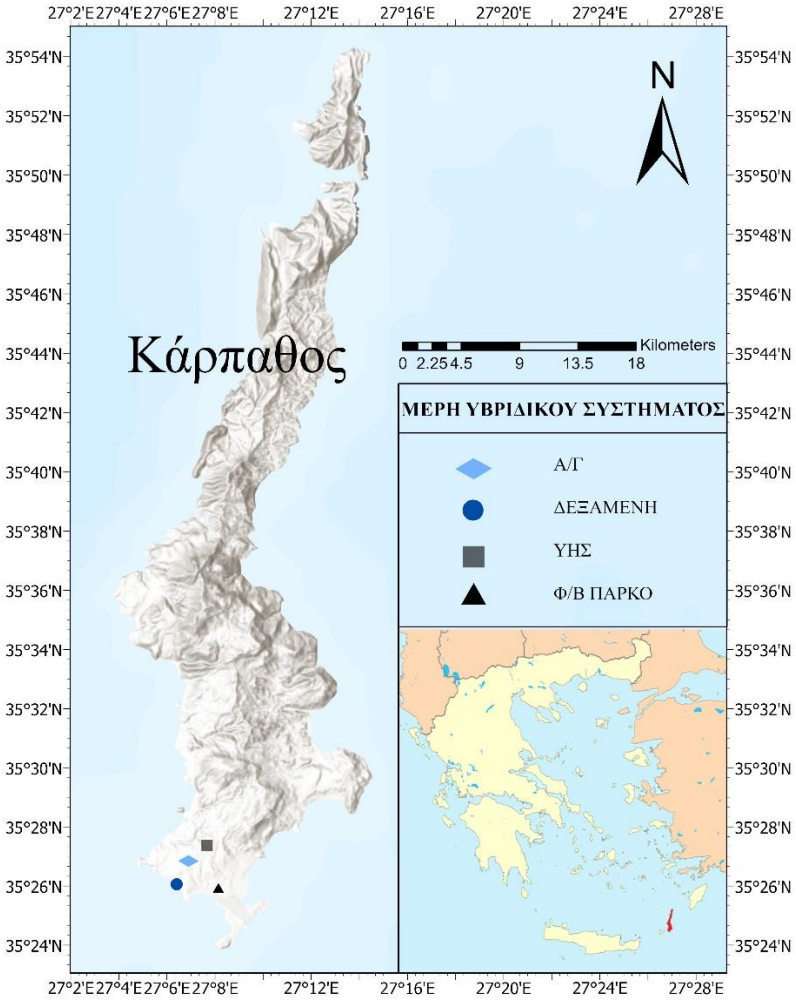
Όπου:

- γ: το ειδικό βάρος του νερού (9.81 kN/m^3),
- Q: η παροχή που διέρχεται από το στρόβιλο,
- H: η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη και ενός χαρακτηριστικού ενεργειακού υψομέτρου κατάντη,
- n: ο συντελεστής απόδοσης του στροβίλου.

13 Ανάπτυξη Μεθοδολογίας – Αποτελέσματα

13.1 Περιγραφή Υβριδικού Συστήματος

Το έργο της παρούσας μελέτης αποτελείται από μία δεξαμενή στο επίπεδο της θάλασσας 3000 m^3, ένα φωτοβολταϊκό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 1.8 MW, δεκαπέντε ανεμογεννήτριες των E53-800kW, μια μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 1000 m^3/day, έναν αντλητικό σταθμό 1,500 kW για την άντληση του νερού, καθώς και ένα υδροηλεκτρικό έργο παροχής 5 m^3/sec (που συνοδεύεται από μία δεξαμενή χωρητικότητας 25000 m^3). Στο σχήμα 13.1 διαφαίνονται οι προτεινόμενες θέσεις των φωτοβολταϊκών, των ανεμογεννητριών και της μίας εκ των δύο δεξαμενών στη νήσο της Καρπάθου.



Σχήμα 13.1: Χάρτης Προτεινόμενων Θέσεων Υβριδικού Συστήματος
Έκταση Ελλάδας: 131,957 km², Έκταση Καρπάθου: 301.2 km²

Οι ανεμογεννήτριες θα τοποθετηθούν σε ύψος 80 m, τα φωτοβολταϊκά σε ύψος 30 m, το υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ) βρίσκεται σε μανομετρικό ύψος 100 m, ενώ η ενέργεια αφαλάτωσης είναι ίση με 6 kWh/m^3.

13.2 Τρόπος Λειτουργίας Συστήματος

Ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, στη συνέχεια των αρδευτικών και τέλος η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού. Από την παραγωγή ενέργειας, μόνο το 30% της αιολικής ενέργειας και το 20% της ηλιακής ενέργειας οδηγείται κατευθείαν στο δίκτυο. Το υπόλοιπο οδηγείται πρώτα στη μονάδα αφαλάτωσης (για να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή παραγωγή νερού) και το υπόλοιπο αυτής καταναλώνεται για την άντληση νερού προς τη δεξαμενή του υδροηλεκτρικού έργου, το οποίο χρησιμοποιείται ως «μπαταρία» ενέργειας. Ο όγκος που παράγεται από τη μονάδα αφαλάτωσης προσδιορίζεται από το προσφερόμενο ρεύμα σε κάθε ωριαίο βήμα διαιρούμενο με 4 kWh/m^3, καθώς και από τη μέγιστη δυναμικότητα της μονάδας, όπου ανέρχεται στα 1000 m^3/day. Ο παραγόμενος όγκος νερού οδηγείται στο δίκτυο για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών ή σε μία δεξαμενή αποθήκευσης 3000 m^3, αν υπάρχει περίσσεια νερού. Στη συνέχεια, η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια οδηγείται στο δίκτυο για την κάλυψη κάποιου ποσοστού του ενεργειακού ελλείμματος. Το τελικό ενεργειακό έλλειμμα καλύπτεται από τους τοπικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας του νησιού.

Για την ωριαία προσομοίωση της λειτουργείας του υβριδικού συστήματος χρειάζονται τα ακόλουθα δεδομένα:

- οι συνθετικές χρονοσειρές των υδρευτικών αναγκών 40 ετών αναγόμενες στην εκτιμώμενη αύξηση του πληθυσμού με χρονικό βήμα μίας ώρας,
- οι συνθετικές χρονοσειρές των αρδευτικών αναγκών 40 ετών με χρονικό βήμα μίας ώρας,
- οι συνθετικές χρονοσειρές των ενεργειακών αναγκών 40 ετών αναγόμενες στην εκτιμώμενη αύξηση του πληθυσμού με χρονικό βήμα μίας ώρας,
- οι συνθετικές χρονοσειρές 40 ετών του ανέμου με χρονικό βήμα μίας ώρας,
- η καμπύλη απόδοσης των ανεμογεννητριών ,
- το πλήθος των ανεμογεννητριών,
- το εμβαδόν της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πάρκου,
- η ονομαστική ισχύς των φωτοβολταϊκών,
- η ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος με ωριαίο χρονικό βήμα,
- η δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης,
- η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης,
- η χωρητικότητα της εκάστοτε δεξαμενής,
- η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου,
- η μέγιστη, ελάχιστη στάθμη του φράγματος και το υψόμετρο του πυθμένα,
- το υψόμετρο του αγωγού φυγής ,
- η παροχετευτικότητα του αγωγού.

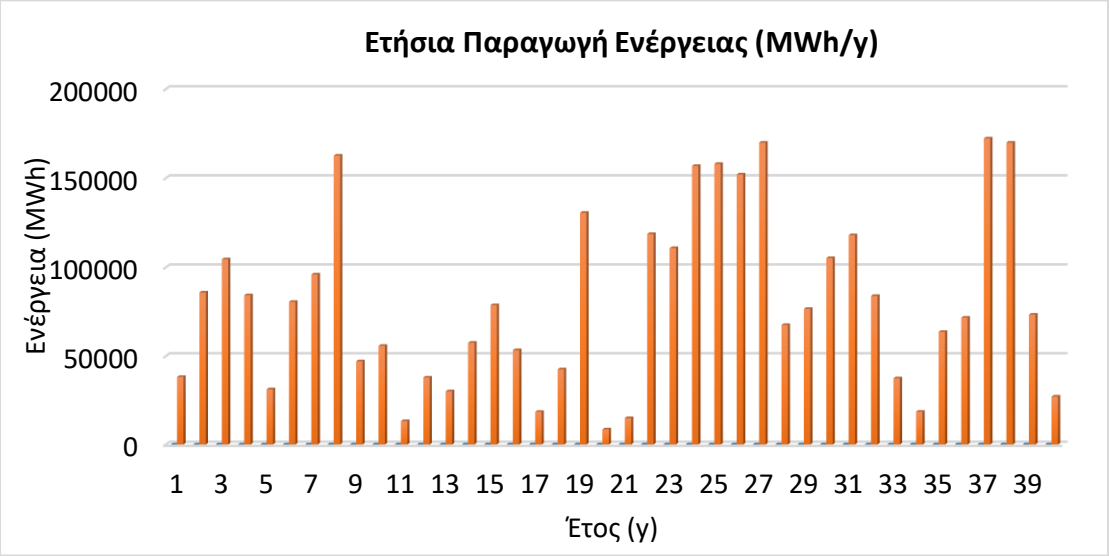
Βάσει των προηγούμενων στοιχείων εισόδου του μοντέλου, προκύπτουν τα εξής στοιχεία εξόδου:

- η παραγόμενη αιολική ενέργεια στο ίδιο χρονικό βήμα,
- η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πάρκο σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το ΥΗΕ σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- η προσφερόμενη στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- το έλλειμμα σε ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- η παραγόμενη ποσότητα υδρευτικού και αρδευτικού νερού σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- η κατανάλωση υδρευτικού και αρδευτικού νερού σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- η στάθμη των δεξαμενών σε ωριαίο χρονικό βήμα,
- η αξιοπιστία ύδρευσης και άρδευσης του υβριδικού συστήματος ανά έτος και ανά μήνα,
- το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του νησιού από το υβριδικό σύστημα ανά έτος και ανά μήνα,
- οι ποσότητες Water for Energy, Energy for Water και Water for Food σε ετήσιο χρονικό βήμα,
- τα συνολικά έσοδα και έξοδα του συστήματος για το νερό και το ρεύμα σε ετήσιο χρονικό βήμα.

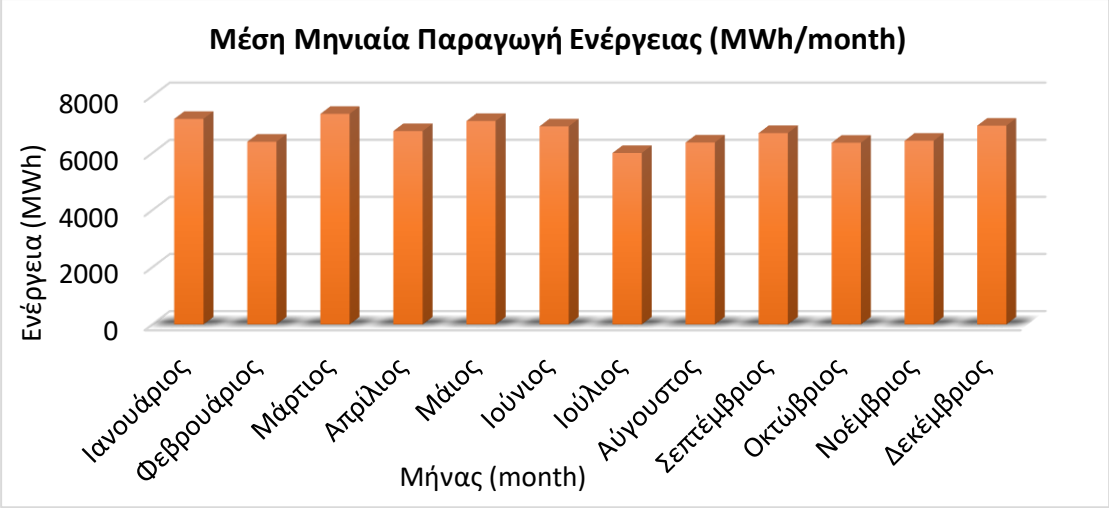
14 Αποτελέσματα Μοντέλου Προσομοίωσης

14.1 Άμεσα Αποτελέσματα Μοντέλου Προσομοίωσης

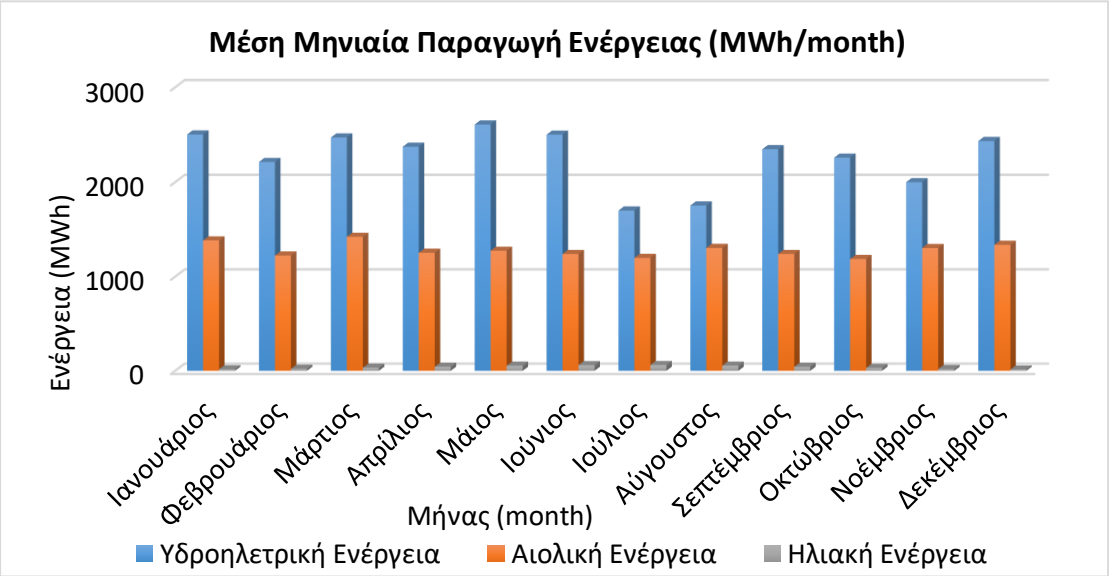
Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να καταστεί το νησί της Καρπάθου αυτόνομο, όσον αφορά στις υδρευτικές, αρδευτικές και ενεργειακές του ανάγκες. Σημαντικό μέρος αυτού αποτελεί η παραγωγή ενέργειας, καθώς και η κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών. Αρχικά, υπολογίζεται η παραγόμενη αιολική και ηλιακή ενέργεια. Μέρος αυτής (30% και 20% αντίστοιχα) οδηγείται απευθείας στο δίκτυο, για την κάλυψη ενός ποσοστού της ζήτησης. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την υπόλοιπη ενέργεια, λειτουργεί η μονάδα αφαλάτωσης, με την οποία καλύπτονται οι υδρευτικές-αρδευτικές ανάγκες ή μέρος αυτών. Ενώ, η ενέργεια που δε χρησιμοποιείται για αφαλάτωση οδηγείται στο υδροηλεκτρικό έργο. Τέλος, η υδροηλεκτρική παραγόμενη ενέργεια καταλήγει στο δίκτυο για τη μείωση του ενεργειακού ελλείμματος. Στο σχήμα 14.1, παρουσιάζεται η ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά και το υδροηλεκτρικό έργο, για όλα τα έτη ζωής του έργου. Η συνολική ετήσια παραγωγή είναι σταθερά μεγαλύτερη από 10000 MWh και η μέγιστη ετήσια παραγωγή ανέρχεται στις 150000 MWh. Στο σχήμα 14.2, παρουσιάζεται η μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στο σχήμα 14.3 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία παραγωγή αιολικής, ηλιακής και υδροηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ενέργειας παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, οπότε οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται όταν η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει αντίστοιχα υψηλές τιμές.



Σχήμα 14.1: Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας

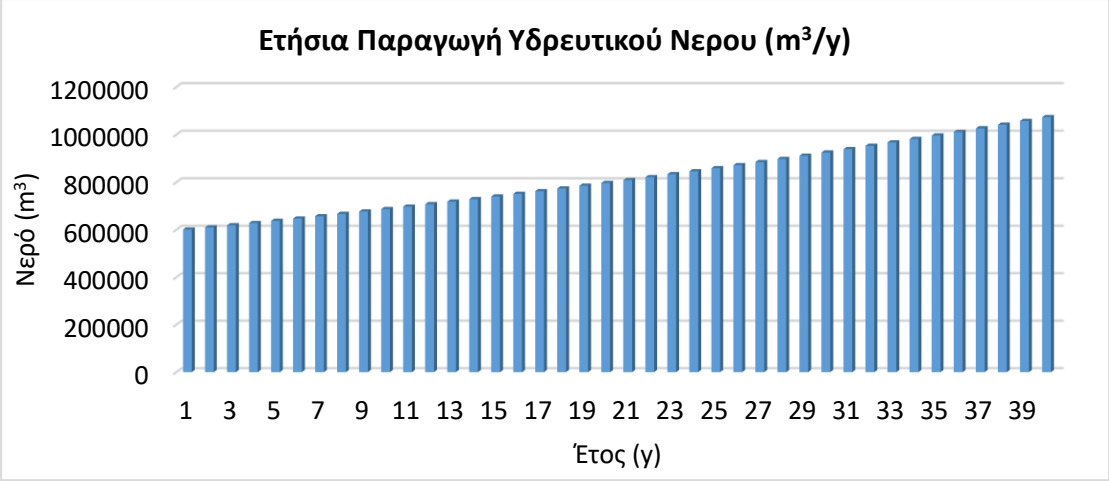


Σχήμα 14.2: Μέση Μηνιαία Παραγωγή Ενέργειας

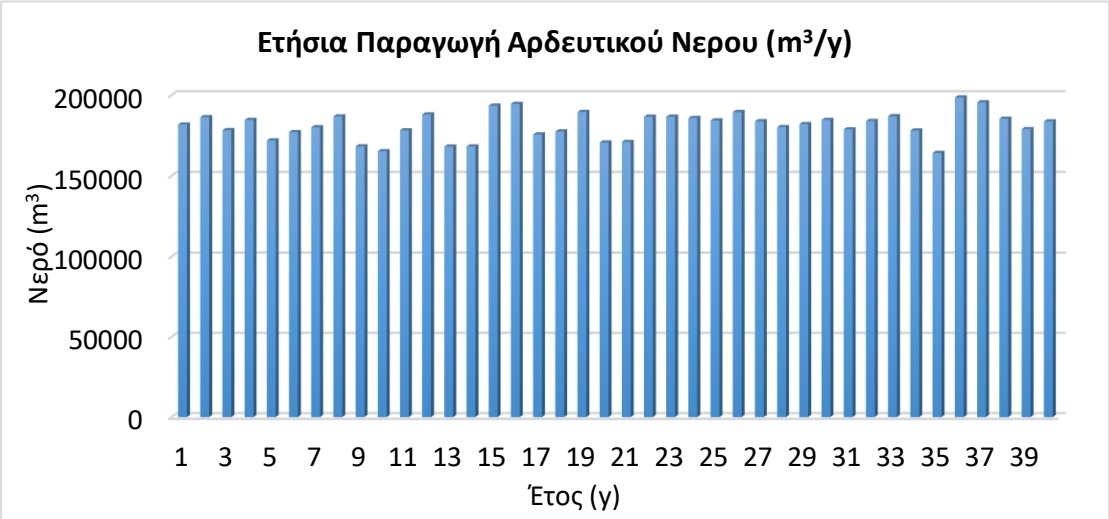


Σχήμα 14.3: Μέση Μηνιαία Παραγωγή Ενέργειας κάθε είδους ενέργειας

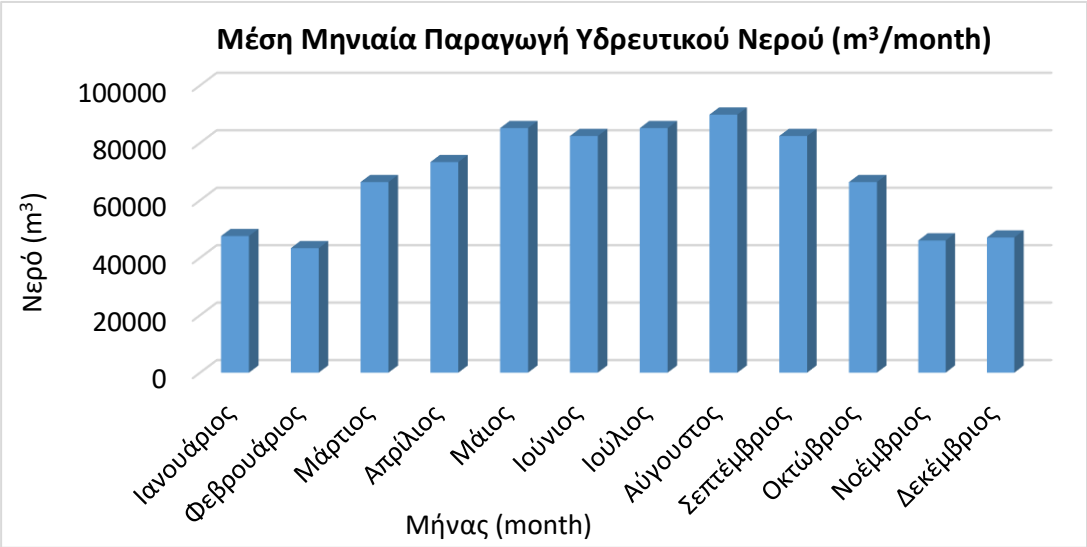
Στη συνέχεια, ακολουθούν οι υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες του νησιού, βάσει των οποίων ορίζεται η αξιοπιστία του υβριδικού συστήματος. Λόγω του υδροηλεκτρικού έργου που λειτουργεί ως μπαταρία ενέργειας, χρησιμοποιείται τέτοια μονάδα αφαλάτωσης, ώστε τις περισσότερες ώρες του χρόνου ένα μεγάλο μέρος των αναγκών σε νερό να καλύπτεται από αυτή και ο περισσευούμενος όγκος νερού να οδηγείται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης. Στα σχήματα 14.4 και 14.5, παρουσιάζονται οι συνολικοί παραγόμενοι υδρευτικοί και αρδευτικοί όγκοι ανά έτος. Ακολουθούν τα σχήματα 14.6 και 14.7, όπου παρουσιάζονται οι μέσοι μηνιαίοι παραγόμενοι όγκοι για ύδρευση και άρδευση. Η σταθερά αυξανόμενη αύξηση της παραγωγής υδρευτικού νερού οφείλεται στην ετήσια σταθερή γεωμετρική αύξηση του πληθυσμού. Ακόμη, είναι εμφανές ότι στην άρδευση οι όγκοι από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο είναι μηδενικοί, διότι η εξατμοδιαπνοή των αντίστοιχων μηνών θεωρείται ίση με μηδέν.



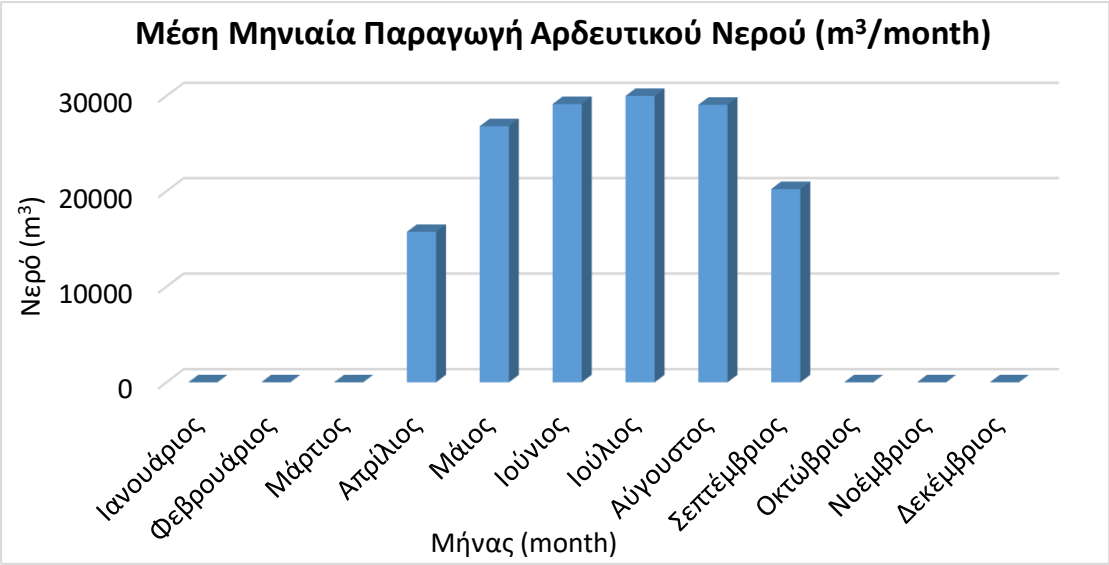
Σχήμα 14.4: Ετήσια Παραγωγή Υδρευτικού Νερού



Σχήμα 14.5: Ετήσια Παραγωγή Αρδευτικού Νερού



Σχήμα 14.6: Μέση Μηνιαία Παραγωγή Υδρευτικού Νερού



Σχήμα 14.7: Μέση Μηνιαία Παραγωγή Αρδευτικού Νερού

Όπως φαίνεται στους πίνακες 14.1 και 14.2, η ύδρευση προσεγγίζει αξιοπιστία ίση με 99.99%. Αυτό συμβαίνει διότι ο απαιτούμενος όγκος νερού προσφέρεται απευθείας από τη μονάδα αφαλάτωσης, είτε από τη δεξαμενή, που αποθηκεύεται το νερό μετά την αφαλάτωση. Συνεπώς, σε διάγραμμα συνολικής ετήσιας κατανάλωσης υδρευτικού νερού δε θα υπήρχε καμία διαφορά με τα προηγούμενα διαγράμματα. Στον πίνακα 14.3, παρουσιάζεται η αξιοπιστία αναφορικά με την ύδρευση και την άρδευση σε μηνιαία βάση. Ενώ στο σχήμα 14.8, παρουσιάζεται το ποσοστό της μέσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών της Καρπάθου.

Πίνακας 14.1: Ετήσια Αξιοπιστία Ύδρευσης και Άρδευσης (1ης 20ετίας)

Έτος	Αστοχία Ύδρευσης	Αστοχία Άρδευσης	Αξιοπιστία Ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία Άρδευσης (%)
1	-	-	99.99	99.99
2	-	81	99.99	99.08
3	-	1222	99.99	86.05
4	-	900	99.99	89.73
5	-	950	99.99	89.16
6	-	85	99.99	99.03
7	-	740	99.99	91.55
8	-	930	99.99	89.38
9	-	-	99.99	99.99
10	-	1638	99.99	81.30
11	-	143	99.99	98.37
12	-	1950	99.99	77.74
13	-	1081	99.99	87.66
14	-	1949	99.99	77.75
15	-	348	99.99	96.03
16	-	1750	99.99	80.02
17	-	1633	99.99	81.36
18	-	1478	99.99	83.13
19	-	834	99.99	90.48
20	-	1995	99.99	77.23

Πίνακας 14.2: Ετήσια Αξιοπιστία Ύδρευσης και Άρδευσης (2ης 20ετίας)

Έτος	Αστοχία Ύδρευσης	Αστοχία Άρδευσης	Αξιοπιστία Ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία Άρδευσης (%)
21	-	553	99.99	93.69
22	-	780	99.99	91.10
23	-	314	99.99	96.42
24	-	-	99.99	99.99
25	-	319	99.99	96.36
26	-	578	99.99	93.40
27	-	1141	99.99	86.97
28	-	1264	99.99	85.57
29	-	1277	99.99	85.42
30	-	-	99.99	99.99
31	-	802	99.99	90.84
32	-	1059	99.99	87.91
33	-	694	99.99	92.08
34	-	1309	99.99	85.06
35	-	863	99.99	90.15
36	-	691	99.99	92.11
37	-	1751	99.99	80.01
38	-	-	99.99	99.99
39	-	1142	99.99	86.96
40	-	1165	99.99	86.70

Πίνακας 14.3: Μέση Μηνιαία Αξιοπιστία Ύδρευσης και Άρδευσης

Μήνας	Αστοχία Ύδρευσης	Αστοχία Άρδευσης	Αξιοπιστία Ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία Άρδευσης (%)
Ιανουάριος	-	-	99.99	99.99
Φεβρουάριος	-	-	99.99	99.99
Μάρτιος	-	-	99.99	99.99
Απρίλιος	-	-	99.99	99.99
Μάιος	-	1228	99.99	95.74
Ιούνιος	-	5958	99.99	79.31
Ιούλιος	-	15272	99.99	46.97
Αύγουστος	-	12647	99.99	56.09
Σεπτέμβριος	-	304	99.99	98.94
Οκτώβριος	-	-	99.99	99.99
Νοέμβριος	-	-	99.99	99.99
Δεκέμβριος	-	-	99.99	99.99

Σχήμα 14.8: Ποσοστό Κάλυψης Αρδευτικών Αναγκών

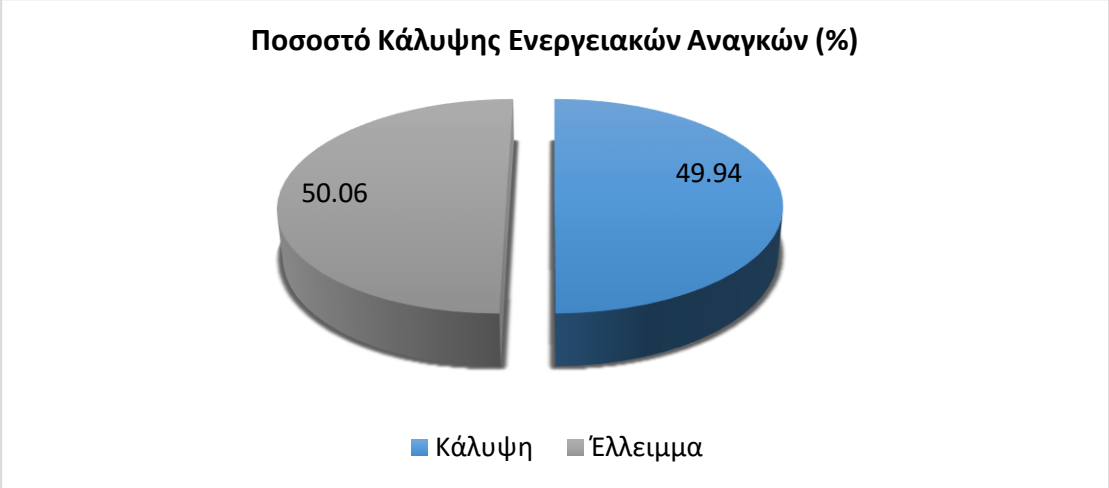
Στον πίνακα 14.4, παρουσιάζεται η συνολική παραγόμενη ενέργεια ανά έτος και τα αντίστοιχα ποσοστά κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Στον πίνακα 14.5, παρουσιάζεται η μέση παραγόμενη ποσότητα ενέργειας ανά μήνα και τα αντίστοιχα ποσοστά της. Στο σχήμα 14.9, παρουσιάζεται το μέσο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του συστήματος, ενώ στο σχήμα 14.10, παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία συμβολή της αιολικής, ηλιακής και υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 14.4: Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια ανά έτος

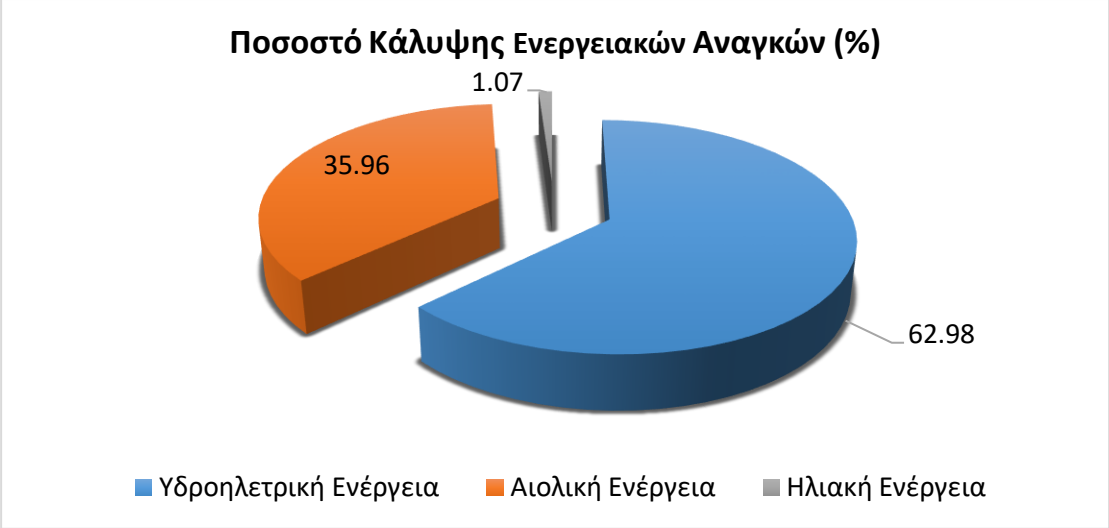
Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Κάλυψη Ενέργειας (%)	Έτος	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Κάλυψη Ενέργειας (%)
1	38240.95	31.79	21	14950.56	8.31
2	85870.09	65.38	22	118663.59	69.91
3	104466.91	71.57	23	110773.73	59.19
4	84328.35	64.88	24	156883.19	93.87
5	31261.84	19.35	25	158021.79	92.67
6	80618.18	57.14	26	152117.10	86.92
7	95982.23	63.83	27	169963.52	97.11
8	162693.71	97.28	28	67604.63	38.47
9	47119.12	39.60	29	76640.88	47.32
10	55869.40	50.02	30	105175.61	60.30
11	13270.45	5.19	31	118013.52	70.68
12	37897.19	31.07	32	83908.43	51.22
13	30119.46	18.87	33	37432.65	21.31
14	57569.21	44.11	34	18562.83	6.21
15	78712.18	49.50	35	63710.39	34.66
16	53395.32	40.29	36	71745.52	44.58
17	18505.73	11.92	37	172294.07	93.23
18	42533.08	31.18	38	169931.65	91.06
19	130583.76	81.87	39	73434.27	40.74
20	8565.80	0.83	40	27139.43	13.95

Πίνακας 14.5: Μέση Μηνιαία Παραγόμενη Ενέργεια

Μήνας	Παραγωγή Ενέργειας (MWh)	Κάλυψη Ενέργειας (%)
Ιανουάριος	7196.32	58.09
Φεβρουάριος	6397.37	54.32
Μάρτιος	7371.45	66.27
Απρίλιος	6769.50	56.97
Μάιος	7122.83	53.65
Ιούνιος	6933.63	46.78
Ιούλιος	6002.03	34.28
Αύγουστος	6369.29	35.15
Σεπτέμβριος	6700.67	43.02
Οκτώβριος	6360.79	47.57
Νοέμβριος	6431.21	55.03
Δεκέμβριος	6959.16	56.40



Σχήμα 14.9: Ποσοστό Κάλυψης Ενεργειακών Αναγκών



Σχήμα 14.10: Ποσοστό Κάλυψης Ενεργειακών Αναγκών κάθε είδους ενέργειας

Αφού υπολογιστούν όλα τα προηγούμενα μεγέθη σε ετήσια κλίμακα, μπορούν να εξεταστούν οι αλληλεπιδράσεις Νερού-Ενέργειας-Τροφής, όπου υφίστανται μεταξύ των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών, της μονάδας αφαλάτωσης και της Καρπάθου. Για να γίνει αυτό, υπολογίζεται ο συνολικός απαιτούμενος όγκος νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος (Water for Energy), η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή νερού ανά έτος (Energy for Water), καθώς και ο συνολικός απαιτούμενος όγκος νερού για την παραγωγή τροφίμων (Water for Food) –όπου ουσιαστικά είναι ο παραγόμενος όγκος αρδευτικού νερού-. Για την παραγωγή νερού διατίθεται σταθερά ενέργεια πάνω από 1750 MWh, ενώ για παραγωγή ενέργειας τα αντίστοιχα κυβικά μέτρα είναι πολύ μικρής τάξης και μπορούν να χαρακτηριστούν οριακά ασήμαντα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες 14.6 και 14.7 για την κάθε εικοσαετία.

Πίνακας 14.6: Αλληλεπιδράσεις Ενέργεια-Νερού-Τροφής (1ης 20ετίας)

Έτος	Water for Energy (m^3)	Water for Food (m^3)	Energy for Water (MWh)
1	134.07	181761.33	1888.37
2	290.14	186353.88	2153.08
3	351.64	178302.92	2190.00
4	262.78	184649.55	2190.00
5	113.24	171921.33	1936.71
6	257.32	177097.08	2174.75
7	301.09	180084.40	2154.49
8	505.86	186838.43	2190.00
9	155.45	168248.87	2108.01
10	177.81	165227.24	2106.52
11	59.38	178201.33	1918.47
12	125.77	188040.93	2127.43
13	96.92	168126.27	1788.31
14	187.39	168192.39	2106.81
15	252.67	193506.07	2128.31
16	173.82	194562.77	2151.08
17	73.62	175625.98	2047.06
18	149.24	177488.68	2092.61
19	384.52	189580.53	2190.00
20	39.80	170637.52	1854.21

Πίνακας 14.7: Αλληλεπιδράσεις Ενέργεια-Νερού-Τροφής (2ης 20ετίας)

Έτος	Water for Energy (m^3)	Water for Food (m^3)	Energy for Water (MWh)
21	57.99	170991.88	1857.46
22	348.31	186644.22	2099.03
23	316.57	186639.02	2083.80
24	447.98	185829.59	2190.00
25	449.09	184368.22	2190.00
26	449.44	189540.13	2190.00
27	483.13	183832.66	2190.00
28	209.15	180215.91	2013.90
29	240.86	182015.68	2133.39
30	326.70	184639.67	2190.00
31	357.31	178767.20	2115.59
32	258.37	183979.26	2049.23
33	123.79	186934.87	2097.89
34	74.57	178096.07	1927.13
35	212.72	164197.06	1966.26
36	227.74	198580.21	2081.12
37	496.72	195554.79	2190.00
38	495.96	185423.02	2190.00
39	230.62	178915.77	2015.36
40	107.67	183728.30	2071.27

14.2 Ανάλυση Κόστους Οφέλους

Τα ελλειμματικά ισοζύγια των ποσοτήτων νερού στα νησιά για ύδρευση και άρδευση, αντιμετωπίζονται κατά κύριο λόγο με τη μεταφορά νερού μέσω υδροφόρων πλοίων. Για το λόγο αυτό παρατηρείται συνεχής ετήσια αύξηση του κόστους μεταφοράς του νερού. Με βάση την προκήρυξη του υπουργείου Αιγαίου και νησιωτικής πολιτικής ορίζεται ως μέγιστη επιτρεπόμενη προσφορά τα 12.77 €/m^3, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το υφιστάμενο κόστος. Στόχος της συγκεκριμένης ενότητας είναι η μελέτη του κατά πόσο είναι οικονομικά συμφέρουσα η εγκατάσταση στην Κάρπαθο, του υβριδικού συστήματος Αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών-Φωτοβολταϊκών για την κάλυψη των αναγκών σε ενέργεια και νερό.

14.2.1 Οικονομικές Έννοιες

Ως κεφάλαιο ορίζεται το κόστος αγοράς των παγίων, καθώς και τα έξοδα για τη μεταφορά των παγίων ή και τα έξοδα για τη διαμόρφωση των εγκαταστάσεων, όπου θα λειτουργήσουν οι μονάδες. Όλο το απαιτούμενο χρηματικό ποσό μέχρι την έναρξη λειτουργίας των μονάδων (Δαμίγος, Καλιαμπάκος, 2019).

Τόκος είναι η απόδοση του κεφαλαίου για μία χρονική περίοδο και ως Επιτόκιο ορίζεται ο τόκος του κεφαλαίου για μία νομισματική μονάδα σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Χρηματοροή ονομάζεται το χρηματικό ποσό που εισέρχεται ή εξέρχεται από μία οικονομική οντότητα (επιχείρηση, δραστηριότητα) μία χρονική στιγμή. Τα έσοδα αποτελούν τις θετικές χρηματοροές, ενώ τα έξοδα αποτελούν τις αρνητικές. Η διαφορά θετικών και αρνητικών αποτελεί τις καθαρές χρηματοροές.

Η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) ή net present value (NPV) είναι η αξία που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των ετήσιων καθαρών χρηματοροών, που προβλέπονται σε ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα μίας επένδυσης. Η ΚΠΑ είναι ένα χρήσιμο εργαλείο, που χρησιμοποιείται στην οικονομική επιστήμη, στα χρηματοοικονομικά και στη λογιστική για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι.

$$KΠA = \left[\sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{KTP_{\tau}}{(1+\varepsilon)^{\tau}}\right] - E_0 \qquad (14.1)$$

όπου,

- ΚΤΡ: η καθαρή ταμειακή ροή, δηλαδή η διαφορά εσόδων – εξόδων σε κάθε περίοδο,
- ε: το επιτόκιο προεξόφλησης,
- ν: η διάρκεια ζωής του έργου,
- τ: η περίοδος προεξόφλησης,
- E_0: η αρχική επένδυση.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR) είναι ένας δείκτης, ο οποίος μετρά την απόδοση μιας μακροχρόνιας επένδυσης και υπολογίζεται από την επίλυση της σχέσης (14.2):

$$KΠA = 0 = \left[\sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{KTP_{\tau}}{(1+IRR)^{\tau}}\right] - E_0 \qquad (14.2)$$

- Αν IRR>ε, αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της επένδυσης είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση εγκρίνεται, καθώς είναι οικονομικά βιώσιμη.
- Αν IRR<ε, αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση απορρίπτεται, γιατί είναι ασύμφορη.
- Αν IRR=ε, η επένδυση είναι οριακή και ενδεχομένως η επένδυση να μην αποφέρει κέρδη.

Η μέθοδος αποπληρωμής ενός δανείου γίνεται είτε με σταθερό χρεωλύσιο ή με σταθερό τοκοχρεωλύσιο, που αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο. Ο υπολογισμός του τοκοχρεωλύσιου γίνεται με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης (14.3):

$$T.Δ. = \frac{\varepsilon * (1+\varepsilon)^{\nu}}{(1+\varepsilon)^{\nu} - 1} * K \qquad (12.3)$$

όπου,

- Τ.Δ.: η τοκοχρεωλυτική δόση,
- ε: επιτόκιο δανεισμού,
- ν: περίοδος αποπληρωμής του δανείου.

Για την ομαλή λειτουργία του έργου, υπολογίζεται η ύπαρξη τμήματος διεύθυνσης και διαχείρισής του, το οποίο θα είναι αρμόδιο για την απρόσκοπτη λειτουργία του, την ανάλυση δεδομένων, την προμήθεια των απαραίτητων αναλωσίμων καθώς και τη διαχείριση του απαραίτητου προσωπικού ή για επίλυση έκτακτων προβλημάτων.

14.2.2 Εκτίμηση Κόστους

Το εκτιμώμενο συνολικό κόστος επένδυσης αποτελείται από το κόστος κατασκευής του συστήματος της μελέτης, καθώς και από τα ετήσια κόστη για λειτουργία και συντήρηση του. Η εκτίμηση τους αναλύεται στη συνέχεια.

14.2.2.1 Εκτίμηση Συνολικού Κόστους Κατασκευής Έργου

Το αρχικό κόστος ή κόστος επένδυσης, είναι αυτό που απαιτείται για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, την κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης, την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου και την κατασκευή του υδροηλεκτρικού έργου. Η εκτίμηση του κόστους αυτού αποτυπώνεται στον πίνακα 14.8.

Πίνακας 14.8: Εκτίμηση Συνολικού Κόστους Κατασκευής Έργου

Α/Α	Περιγραφή Δαπάνης	Εκτίμηση Δαπανών (*10^6 €)
1	**Δαπάνες Μελετών-Επιβλέψεων-Αδειοδοτήσεων**	
	Αρχιτεκτονική & Η/Μ μελέτες, Αδειοδότηση, Επιβλέψεις	0.125
2	**Μονάδα Αφαλάτωσης**	
	Διαμόρφωση γηπέδου και λοιπά έργα υποδομής	0.08
	Φρεάτιο άντλησης θαλασσινού νερού, φίλτρο, σωληνώσεις	0.07
	Εξοπλισμός	0.75
	Μεταφορά-Εγκατάσταση εξοπλισμού	0.17
	Σύνδεση	0.03
	Περανοφόρο ανυψωτικό	0.012
	Δοκιμές, θέση σε λειτουργία	0.03
	Αποκατάσταση και βελτίωση περιβάλλοντος χώρου	0.01
	Εκπαίδευση προσωπικού	0.01
3	**Αντλιοστάσιο**	
	Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	0.15
4	**Δεξαμενές**	
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	0.22
5	**Υδροστρόβιλος**	
	Πλήρης εξοπλισμός υδροστροβίλου (Υδροστρόβιλος, μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης)	0.7
	Αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	0.08
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	0.02
6	**Ανεμογεννήτριες**	
	Πλήρης εξοπλισμός ανεμογεννητριών Enercon E44 (μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης, γερανοί ανέγερσης)	18
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	0.03
	Εκπαίδευση προσωπικού	0.01
7	**Φωτοβολταϊκά**	
	Πλήρης εξοπλισμός φωτοβολταϊκών (μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης)	6
	Συνολο	26.50
	ΦΠΑ(24%)	6.36
	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ	**32.86**

14.2.2.2 Εκτίμηση Ετήσιων Δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης

Στον πίνακα 14.9, αποτυπώνονται αναλυτικά οι εκτιμήσεις αναφορικά με το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης των σχεδιαζόμενων μονάδων αφαλάτωσης, ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών, καθώς και του υδροηλεκτρικού έργου.

Πίνακας 14.9: Εκτίμηση Ετήσιων Δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης

Α/Α	Περιγραφή Δαπάνης	Εκτίμηση Δαπανών ($*10^6$ €)
1	**Δαπάνες Διοίκησης – Διαχείρισης Έργου**	
	Αμοιβή προσωπικού διαχείρισης	0.08
2	**Μονάδα Αφαλάτωσης**	
	Συντήρηση μονάδας, χημική λειτουργίας και καθαρισμού, αντικατάσταση	0.08
	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια	0.05
3	**Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί**	
	Συντήρηση του εξοπλισμού, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	0.005
4	**Δεξαμενές**	
	Συντήρηση, αναλώσιμα	0.015
5	**Υδροστρόβιλος**	
	Συντήρηση μονάδας, αναλώσιμα	0.01
6	**Ανεμογεννήτριες**	
	Συντήρηση μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	0.02
	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια	0.05
7	**Φωτοβολταϊκά**	
	Πλήρης εξοπλισμός φωτοβολταϊκών (μεταφορά	0.01
	Συνολο	0.32
	ΦΠΑ(24%)	0.08
	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ	**0.40**

14.2.3 Αξιολόγηση Επένδυσης

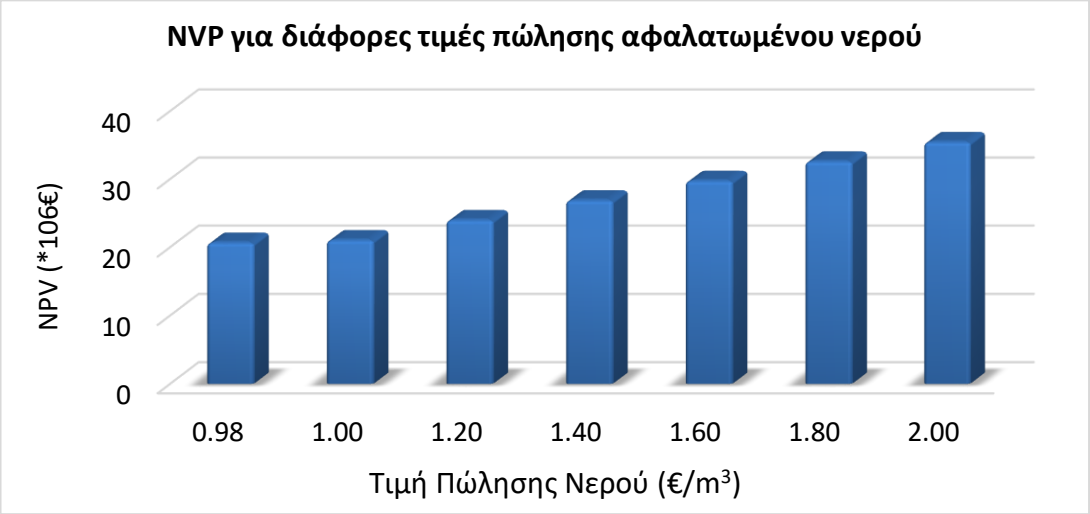
Στη συνέχεια, είναι αναγκαίο να οριστεί η διάρκεια ζωής της μελέτης, όπου σε αυτή την περίπτωση ισούται με 40 έτη. Το ύψος της επένδυσης ανέρχεται στα $32.86*10^6$ €. Για το ποσό αυτό δίνεται επιχορήγηση κατά 40.00%, ήτοι $13.14*10^6$ €, από επιχειρησιακό πρόγραμμα για την προώθηση των ΑΠΕ στα νησιά, λαμβάνεται τραπεζικό δάνειο για το 50.00% της επένδυσης, δηλαδή $16.43*10^6$ € και η ιδία συμμετοχή ανέρχεται στο 10.00%, ήτοι $3.29*10^6$ €. Η περίοδος αποπληρωμής του δανείου θεωρείται ίση με 10 έτη, με τη μέθοδο των ισοτοκοχρεωλυσίων. Συνεπώς, σύμφωνα με τη σχέση (14.3), το τοκοχρεωλύσιο υπολογίζεται στα $2.34*10^6$ € και βάσει αυτού, στον πίνακα 14.10 παρουσιάζεται η αποπληρωμή του δανείου.

Πίνακας 14.10: Αποπληρωμή Δανείου

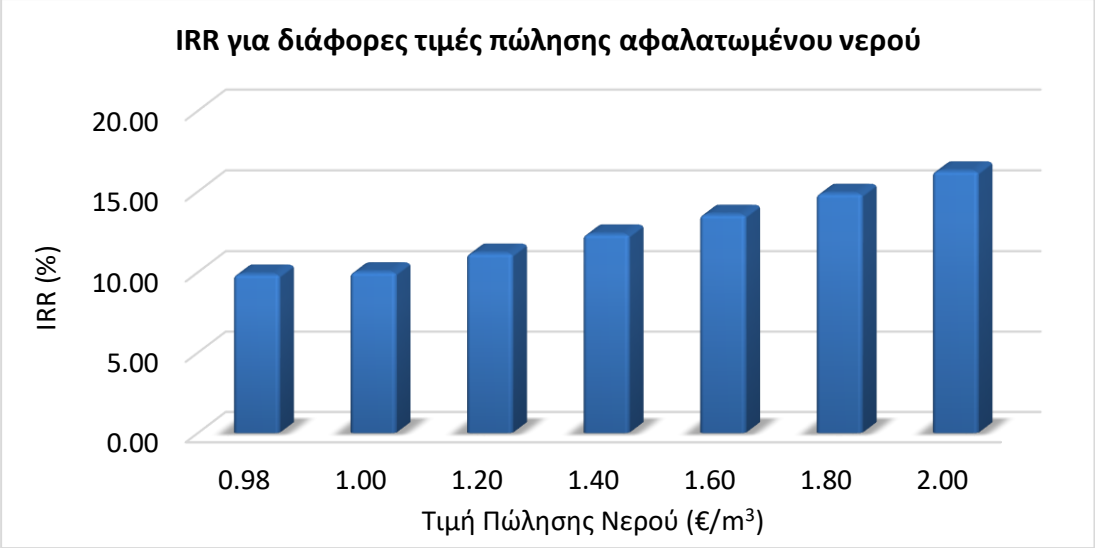
Έτος	Τοκοχρεωλύσιο (*10^6€)	Χρεωλύσιο (*10^6€)	Τόκοι (*10^6€)	Υπόλοιπο Χρεωλυσίου (*10^6€)
0				0.00
1	2.34	1.19	1.15	15.24
2	2.34	1.27	1.07	13.97
3	2.34	1.36	0.98	12.61
4	2.34	1.46	0.88	11.15
5	2.34	1.56	0.78	9.59
6	2.34	1.67	0.67	7.92
7	2.34	1.78	0.55	6.14
8	2.34	1.91	0.43	4.23
9	2.34	2.04	0.30	2.19
10	2.34	2.19	0.15	0.00
Σύνολο	23.39	16.43	6.96	

Ο συντελεστής φορολογίας των καθαρών κερδών ισούται με 35.00%, το επιτόκιο προεξόφλησης με 3.00%. Ο συντελεστής απόσβεσης ισούται με 2.50%, ενώ η υπολειμματική αξία του έργου θεωρείται μηδενική, θεωρώντας ότι το κράτος παραχωρεί το δικαίωμα εκμετάλλευσης σε μια ιδιωτική εταιρεία για ορισμένο χρόνο και μετά την παρέλευση του χρόνου αυτού, το έργο μεταβιβάζεται πάλι στο κράτος, το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί το ίδιο το έργο ή να το παραχωρήσει πάλι σε άλλη εταιρεία. Τα έσοδα της επένδυσης προκύπτουν από την πώληση του νερού και της ενέργειας.

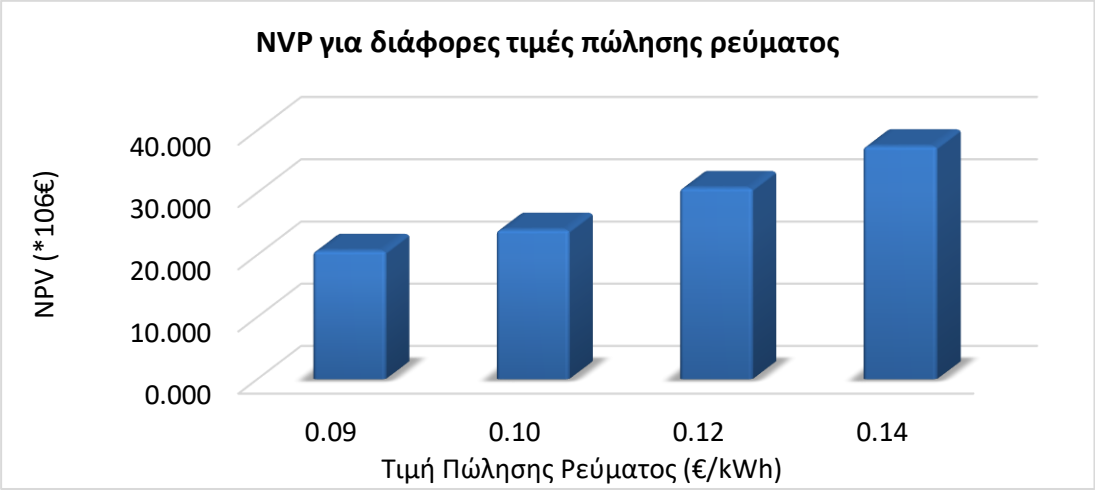
Στα σχήματα 14.11 και 14.12, παρουσιάζονται οι μεταβολές της NPV και του IRR για διάφορες τιμές του νερού, με σκοπό να φανεί η αποδοτικότητα του έργου ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού. Και στα σχήματα 14.13 και 14.14, παρουσιάζονται οι αντίστοιχες μεταβολές για την τιμή πώλησης του ρεύματος.



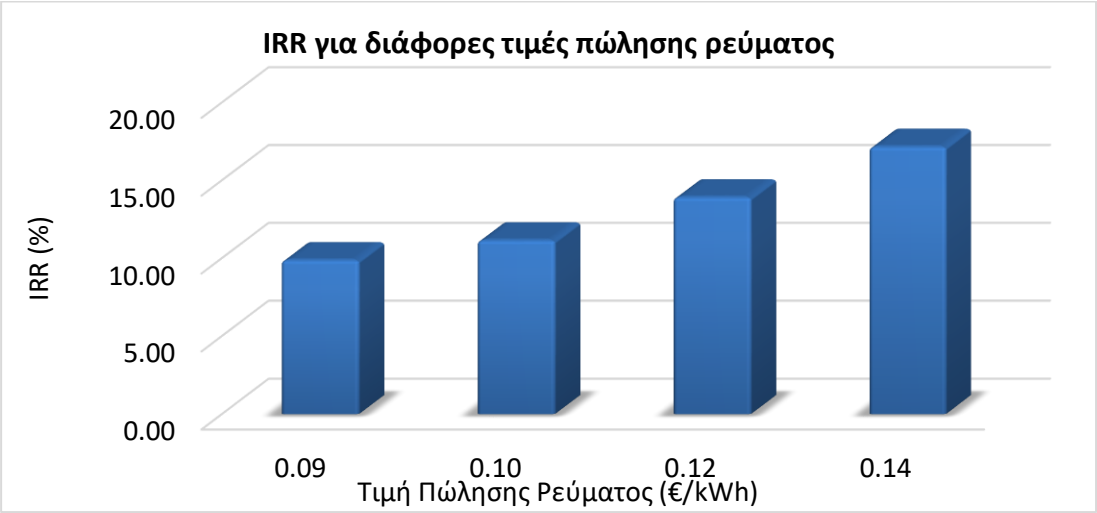
Σχήμα 14.11: NPV για διάφορες τιμές πώλησης αφαλατωμένου νερού



Σχήμα 14.12: IRR για διάφορες τιμές πώλησης αφαλατωμένου νερού



Σχήμα 14.13: NPV για διάφορες τιμές πώλησης ρεύματος



Σχήμα 14.14: IRR για διάφορες τιμές πώλησης ρεύματος

Λόγω της μεγάλης ποσότητας της παραγόμενης ενέργειας, αλλά και του παραγόμενου νερού, παρατηρείται ότι για μικρή αύξηση στην τιμή πώλησης είτε της ενέργειας, είτε του νερού, η ΚΠΑ αυξάνεται σημαντικά. Αντίστοιχα, όσο αυξάνεται η τιμή πώλησης του νερού ή της ενέργειας, τόσο αυξάνεται το κόστος κεφαλαίου που μηδενίζει την παρούσα αξία της επένδυσης.

Ενώ παράλληλα, δεν πρέπει να παραλείπονται τα οφέλη από την ενεργειακή αυτονομία του νησιού στο ποσοστό που αυτή μπορεί να επιτευχθεί, καθώς και τα πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη ενός τέτοιου έργου, όπου μειώνει σημαντικά τη χρήση συμβατικών καυσίμων.

15 Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα

15.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα ερευνητική εργασία περιγράφει τις ΑΠΕ (κυρίως αυτές που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) και το θεσμικό πλαίσιο που τις διέπουν στην Ελλάδα και στην Ευρώπη, ενώ ακολουθεί μια βιβλιογραφική επισκόπηση του τρόπου λειτουργίας της καθεμίας. Η εργασία ολοκληρώνεται με τη διερεύνηση διαστασιολόγησης ενός υβριδικού συστήματος, με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών στο νησί της Καρπάθου. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μία μονάδα αφαλάτωσης, δεκαπέντε ανεμογεννήτριες, ένα φωτοβολταϊκό πάρκο έκτασης τεσσάρων στρεμμάτων και ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο. Για τη μοντελοποίηση και επίλυση αυτού του συστήματος, έλαβε χώρα η συλλογή δεδομένων βροχόπτωσης, ανέμου και θερμοκρασίας, όπως επίσης και η εκτίμηση των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής μελέτης. Βάσει αυτών των δεδομένων, επιλέγεται ο βέλτιστος τύπος και το πλήθος των ανεμογεννητριών και η έκταση του φωτοβολταϊκού πάρκου, η δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς και οι υπόλοιπες απαραίτητες παράμετροι του μοντέλου.

Γενικότερα, συμπεραίνεται ότι η Κάρπαθος αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα έλλειψης ενέργειας και νερού για την κάλυψη των ενεργειακών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της, θέτοντας σε κίνδυνο τους κατοίκους του νησιού (λόγω λειψυδρίας), αλλά και τη γεωργική, κτηνοτροφική και οικονομική ανάπτυξη του νησιού. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται πιο έντονα τους θερινούς μήνες λόγω των αυξημένων αναγκών νερού (κυρίως των αρδευτικών), όπως επίσης και λόγω του αυξημένου τουρισμού. Επιπρόσθετα, οι ενεργειακές και υδρευτικές ανάγκες αυξάνονται συνεχώς λόγω της αύξησης του πληθυσμού, γεγονός που οξύνει σταθερά το πρόβλημα. Η Κάρπαθος θα δύναται να καλύψει ένα αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό των αναγκών αυτών, με την κατασκευή κατάλληλων έργων για την εκμετάλλευση τόσο της αιολικής ενέργειας, όσο και της ηλιακής και υδροηλεκτρικής.

Τέτοια έργα αποτελούν η εγκατάσταση αιολικού ή/και φωτοβολταϊκού πάρκου, μίας μονάδας αφαλάτωσης, είτε ενός υδροηλεκτρικού έργου. Τα έργα αυτά είναι δυνατόν να εγκατασταθούν ανεξάρτητα, αλλά και να ενσωματωθούν σε ήδη υπάρχον δίκτυο. Τα υβριδικά έργα, είναι τα έργα αυτά που μας παρέχουν δυνατότητα για μεγαλύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ σε δίκτυα με περιορισμένη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η Ευρώπη καθιστά δυνατή την κατασκευή υβριδικών συστημάτων, και γενικότερα τη χρήση των ΑΠΕ, προσφέροντας σημαντικές χρηματοδοτήσεις.

Ακόμη, η αφαλάτωση είναι πολύ σημαντική τόσο για τα ελληνικά άνυδρα νησιά, όσο και για ολόκληρο τον πλανήτη, λόγω της συνεχούς αυξανόμενης έλλειψης νερού. Η τεχνολογία, που αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης, έχει εξελιχθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, μειώνοντας σημαντικά το κόστος και αυξάνοντας αντίστοιχα τη δυναμικότητά της. Η πιο ευρέως χρησιμοποιημένη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης, λόγω της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και της υψηλής δυναμικότητας αφαλάτωσης, αλλά και της καταλληλότητάς της να συνδέεται με ΑΠΕ, όπως φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες.

Τα βασικά συμπεράσματα της εν λόγω εργασίας, που προέκυψαν από τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης, είναι τα ακόλουθα:

- Ο πληθυσμός στο νησί της Καρπάθου αυξάνεται αρκετά τους θερινούς μήνες λόγω τουρισμού, ενώ γενικά παρατηρείται και σταθερή γεωμετρική αύξηση του πληθυσμού (τόσο των μόνιμων κατοίκων, όσο και των παραθεριστών/ τουριστών). Αυτό, κατά συνέπεια, προκαλεί τις αντίστοιχες αυξήσεις στις ενεργειακές και υδρευτικές ανάγκες.
- Η αξιοπιστία της ύδρευσης προσεγγίζει το 99.99%, ενώ για τις ενεργειακές και αρδευτικές ανάγκες, η μέση αξιοπιστία υπολογίστηκε 50.63% και 89.75% αντίστοιχα.
- Η παραγωγή αιολικής ενέργειας παρουσιάζει εμφανή διακύμανση, λόγω της έντονης και απρόβλεπτης διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου. Η μέση μηνιαία παραγωγή αιολικής ενέργειας παρατηρείται τον Ιανουάριο και το Μάρτιο (περίπου 1400 MWh), όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι αρκετά πιο υψηλές από τους άλλους μήνες.
- Η παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας στην Κάρπαθο είναι πολύ ικανοποιητική, λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού του νησιού και των αυξημένων ωρών ηλιοφάνειας και καλύπτει το 37.02% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας του υβριδικού συστήματος.
- Από την ανάλυση κόστους οφέλους, προκύπτει ότι με αύξηση στην τιμή πώλησης του ρεύματος κατά 0.02 €/kWh παρατηρείται περίπου $6.70*10^6$ € αύξηση στην καθαρή παρούσα αξία και του νερού κατά 0.2 €/m^3 παρατηρείται αύξηση $2.90*10^6$ €, γεγονός που μπορεί να μειώσει αρκετά τα απαιτούμενα χρόνια για την απόσβεση του.

15.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Βάσει της παρούσας μελέτης και των αποτελεσμάτων της, ορισμένα ζητήματα που χρήζουν μελλοντικής έρευνας, είτε για την αντιμετώπιση κάποιων ελλείψεων, είτε για τη βελτίωση της παρούσας ερευνητικής μελέτης είναι τα ακόλουθα:

- Αρχικά, η μεθοδολογία αυτή δύναται να εφαρμοστεί και σε άλλα ελληνικά νησιά, τα οποία καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες από τοπικούς αυτόνομους ενεργειακούς σταθμούς, που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα.
- Ακόμη, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της μεταφοράς ενέργειας από την Κάρπαθο στην Κρήτη, στην περίπτωση όπου τα νησιά διασυνδεθούν.
- Επιπλέον, θα μπορούσε με περαιτέρω έρευνα και μελέτη, να καταστεί εφικτός ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα και η βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος, καθιστώντας το νησί πιο πράσινο.
- Επίσης, όπως κάθε μοντέλο μαθηματικής προσομοίωσης, έτσι και αυτό, εμπεριέχει αβεβαιότητα στα δεδομένα εισόδου, η οποία μεταφέρεται στα αποτελέσματα. Ένα λοιπόν ζήτημα για μελλοντική έρευνα, αποτελεί η ποσοτικοποίηση αυτής της αβεβαιότητας, η προσπάθεια μείωσής της και ο υπολογισμός των αντίστοιχων επιπέδων εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων.
- Επιπρόσθετα, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος της παρούσας μελέτης, καθώς και των παραμέτρων που βαθμονομούνται στο μοντέλο, με σκοπό τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της.
- Τέλος, περαιτέρω έρευνας χρήζει και η βελτιστοποίηση του μοντέλου, για την καλύτερη χρονική και χωρική κατανομή του νερού των διαφορετικών χρήσεων και της ενέργειας, για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελίδης Π., 2015, Σημειώσεις μαθήματος «Υδροδυναμικά έργα», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.

Ανανιάδου – Τζημοπούλου Μ. & Τσιούρης Σ. Ε., 2009, «Κλιματική Αλλαγή, βιώσιμη ανάπτυξη και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις: Ζήτη.

Αντωνόπουλος. Κ, 2001, «Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα», ΕΜΠ, Αθήνα.

Άρθρο του Γιώργο Λευθεριώτη, Δρ. Φυσικός, Περιφ. Δυτ. Ελλάδος Δ/νέσει Σχεδιασμού και Ανάπτυξης και του Λεονάρδο Τηνιακό, Δρ. Γεωλόγος, Περιφ. Δυτ. Ελλάδος και Πρόεδρος της Εταιρείας Προστασίας Τοπίου και Περιβάλλοντος Πάτρας, με τίτλο «Αιολικά Πάρκα», από την ιστοσελίδα της Οικολογικής Κίνησης Πάτρας.

Βατάλης, Κ. 2007, «Εισαγωγή στο Δίκαιο Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Αθήνα: Εκδόσεις Σάκκουλα

Βρεττός Ε., 2010, «Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ - Συσσωρευτών – Υδρογόνου», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

Γαλάνη - Μουτάφη Β. Έρευνες για τον τουρισμό στην Ελλάδα και στην Κύπρο. Μία ανθρωπολογική προσέγγιση, Αθήνα 2002

Γελεγένης, Π. Α. 2005, «Πηγές Ενέργειας. Συμβατικές και Ανανεώσιμες», Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.

Γεωργαντέας Ν., 2011, «Σχεδιασμός, Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Αιολικής, Ηλιακής Ενέργειας και Diesel για την Ενεργειακή Αυτονομία των Νησιών. Η Περίπτωση της Αστυπάλαιας», Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

Γεωργιάδου, Ε., 1996, «Βιοκλιματικός σχεδιασμός και καθαρές τεχνολογίες δόμησης», Αθήνα: Παρατηρητής

Γιαννικάκη, Θ. (2014). Προοπτικές ανάπτυξης τουρισμού στο νησί της Καρπάθου. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρήτης – Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Τουριστικών Επιχειρήσεων.

Γιούτλου, Ε. (2011). Ο πολιτισμός και οι παραδόσεις της Καρπάθου και πώς έχουν βοηθήσει στην ανάπτυξη του τουρισμού του νησιού. Ηράκλειο: ΑΤΕΙ Κρήτης – Σχολή Δημόσιας Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Τουριστικών Επιχειρήσεων.

Δαμίγος Δ., Καλιαμπάκος Δ., Σημειώσεις μαθήματος Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων στα πλαίσια του ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2019

Εμμανουηλίδης Γ. και Κάραλης Γ., 2011, «Μονάδες αφαλάτωσης στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου, Τεχνολογίες, θεσμικό πλαίσιο, χρήση ΑΠΕ και μελέτες περίπτωσης: Πάτμος, Λειψοί, Θηρασιά. Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου – Σύμβουλος των νησιών στον ενεργειακό σχεδιασμό».

Καγκαράκης Κ., 1992, «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα.

Καλδέλλης Ι., 2005, «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας», Εκδόσεις Σταμούλης, Β' Έκδοση.

Καπλάνης Σ., 2003, «Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», Τόμος Ι, Αθήνα, Εκδ. Ιων

Καραγιάννης Ι., 2010, «Οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση συστημάτων αφαλάτωσης νερού με χρήση ανανεώσιμων και μη πηγών ενέργειας . Εναλλακτικές στρατηγικές στον ελληνικό νησιωτικό χώρο», Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Καραχάλιου Ι. 2010 «Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.

Κασάπη, Κ.Α., 2009, «Τεχνικές Αφαλάτωσης με τη Χρήση ΑΠΕ - Εφαρμογή στη Ρόδο». Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας, Πολιτικών Μηχανικών. Οικολογική Ποιότητα και Διαχείριση Υδάτων σε Επίπεδο Λεκάνης Απορροής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κατερινόπουλος Φ., 2007, «Μικροϋδροηλεκτρικά έργα: Τεχνολογία, διαδικασία μελέτης και εφαρμογές», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.

Κορωναίος Χ., 2006, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ. και Ευστρατιάδης Α., 2015. Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων Υδροδοτικά Έργα.

Κρητικός Α., 2010. «Ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά». Αθήνα. Εκδόσεις: Νέων Τεχνολογιών.

Λευκή Βίβλος, 2009, «Η προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος: προς ένα ευρωπαϊκό πλαίσιο δράσης», Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Βρυξέλλες.

Μαλεβίτη Ε., 2013 «Ενεργειακή διαχείριση και Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας». Αθήνα Εκδόσεις: Πεδίο

Μαμάσης, Ν. και Ευστρατιάδης, Α. «Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία», 1ο και 5ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Αιολική Ενέργεια, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ακαδημαϊκό έτος 2018-19

Μεμάκη Α.,2009, «Συγκριτική Αξιολόγηση Καλλιέργειας Ηλίανθου σε Τρεις Νομούς (Αιτωλοακαρνανία, Καρδίτσα και Κιλκίς)», Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, Αθήνα.

Μουτάφης, Π., 2008. «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Αθήνα.

Μπαλάρας, Κ., Αργυρίου, Α.Α. και Καραγιάννης, Φ., 2006, «Συμβατικές & ήπιες μορφές ενέργειας». ΣΕΛΚΑ-4Μ, Αθήνα.

Μπαλτάς Ε., Σημειώσεις μαθήματος Προχωρημένη Υδρολογία στα πλαίσια του ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2019

Μπαρτζώκας Χ., 2009, «Ενεργειακά Βιώσιμες Κοινότητες. Η Περίπτωση της Πρώην Επαρχίας Αποκορώνου Χανίων». Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.

Μπέρτσιου Μ. 2016, «Αξιολόγηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στους Φούρνους Κορσέων». Διπλωματική εργασία του ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Επιβλέπ: Μπαλτάς Ε.).

Μυσίρης Π., 2015, «Αξιολόγηση ενός Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Νήσο Δονούσα», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

Παναγούλια, Δ. και Δήμου, Γ., 2000. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΕΡΓΑ. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα

Παπαδόπουλος. Μ. Π., 1997, «Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

Παπαευθυμίου Σ., 2012, «Συμβολή στην Ανάλυση Υβριδικών Αιολικών - Αντλησιοταμιευτικών Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ράπτης Δ., 2012, «Μελέτη αφαλάτωσης με μικρές μονάδες. Ειδικά με αυτόνομη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης και χρήση ΑΠΕ», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Σπιλάνης, Γ. (2000). Τουρισμός και περιφερειακή ανάπτυξη – Η περίπτωση των νησιών του Αιγαίου. Στο: Π. Τσάρτας (επιμ.). Τουριστική ανάπτυξη: Πολυεπιστημονικές προσεγγίσεις, Αθήνα.

Τσούτσος Θ. & Κανάκης Ι., 2013, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Αθήνα. Εκδόσεις: Παπασωτηρίου.

Φραγκιαδάκης.Ι.Ε, 2007, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Ackermann, T., and Soder, L., 2002, An overview of wind energy-status 2002. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 2006, FAO Irrigations and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements.

Al-Karaghouli A., Renne D. and Kazmerski L., 2009, Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Bourouni K., 2012, Optimization of Renewable Energy Systems: The Case of Desalination at Arzu Sencan Sahin "Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems", ISBN 978-953-51-0600-5, 308 pages, Publisher: InTech. Available at: http://www.intechopen.com/books/modeling-and-optimization-ofrenewable-energy-systems/optimization-of-renewable-energy-systems-the-caseof-desalination/

Clifton-Brown, J.C.; Lewandowski, I. 2000, Water Use Efficiency and Biomass Partitioning of Three Different Miscanthus Genotypes with Limited and Unlimited Water Supply. Annals of Botany.

Delyannis, E., 2003, Historic background of desalination and renewable energies. Solar Energy.

Einav, R., Harussi, K„ and Perry, D., 2002, The footprint of the desalination processes on the environment. Desalination.

Eltawil, M.A., Zhengming, Z., and Yuan, L., 2009, A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Fritzmann, C., Lowenberg, J., Wintgens, T., and Melin T., 2007, State-of-the-art of reverse osmosis desalination. Desalination.

Garcia-Rodriguez, L., 2002, Seawater desalination driven by renewable energies: a review. Desalination.

Garcia-Rodriguez, L., 2003, Renewable energy applications in desalination: state of the art. Solar Energy.

He, T.X., and Yan, L.J., 2009, Application of alternative energy integration technology in seawater desalination. Desalination.

Kagel, A., 2008, The State of Geothermal Technology. Part II: Surface Technology. Washington, DC: Geothermal Energy Association

Kalogirou, S., 1998, Use of parabolic trough solar energy collectors for sea-water desalination. Applied Energy.

Kalogirou, S.A., 2005, Seawater desalination using renewable energy sources. Progress in Energy and Combustion Science.

Khawaji, A.D., Kutubkhanah I.K., and Wie, J.M., 2008, Advances in seawater desalination technologies. Desalination.

Kiniry, J.R., Lynd Lee, Greene Nathanel, Johnson Mari-Vaugh. V., Casler Michael, Laser Mark S., 2008, Biofuels and Water Use: Comparison of Maize and Switchgrass and General Perspectives. In New Research on Biofuels. J. H. Wright and D. A. Evans, eds

Kondili E. and Kaldellis J., 2008, Wind Energy Based Desalination Processes and Plants. Xth World Renewable Energy Congress.

Macknick, et al., 2011, A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.

Manwell J F., 2004 Hybrid energy systems, Encyclopedia of Energy.

Mathioulakis, E., Belessiotis, V., and Delyannis, E., 2007, Desalination by using alternative energy: review and state-of-the-art. Desalination.

Miller, J.E., 2003, Review of Water Resources and Desalination Technologies. Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories.

Mimikou M.A., Baltas E.A., and Tsihrintzis V.A., (2016), Hydrology and Water Resource Systems Analysis, CRC Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA ISBN: 978-1-4665-8130-2.

Mohamed E., Papadakis G., Mathioulakis E., Belessiotis V., 2005, The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse osmosis desalination system; experimental and economical evaluation, Desalination

National Academy of Sciences, 2004, Review of the Desalination and Water Purification Technology Roadmap. Committee to Review the Desalination and Water Purification Technology Roadmap, National Research Council. Available from: http://www.nap.edu/catalog/10912.html·

Negra, N.B., Birgitte, B.J., Sorensen, P., 2007. Model of a Synthetic Wind Speed Time Series Generator.

S.A. Sherif, F. Barbir, T.N. Veziroglu., 2005: «Wind energy and the hydrogen economy - review of the technology. Solar Energy 78»

Nissan S., & Benzarti N., (2008). A comprehensive economic evaluation of integrated desalination systems using fossil fuelled and nuclear energies and including their environmental costs. Desalination, 229(1).

Seachinger et al., 2008, Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science.

Tsiourtis, N.X., 2001, Desalination and the environment. Desalination.

Tzen, E. and Morris, R., 2003., Renewable energy sources for desalination. Solar Energy.

Zotalis K., Dialynas E., Mamassis N. and Angelakis A., 2014, Desalination Technologies: Hellenic Experience. Water, 6.

Ιστοσελίδες

(http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=608&language=el-GR)

ArcGIS Web Application,

http://natura2000.eea.europa.eu

COM (2004) 366 , COM (2005) 628, COM (2007) 723, 22.11.2007, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52007DC0723&from=EN

COM (2008) 768, https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0768:FIN:EN:PDF

ENERCON, https://www.enercon.de/home/ , (προσπέλαση 17/03/2019)

European Commission 1999, https://ec.europa.eu/economy_finance/publications/european_economy/1999/index_en.htm

http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm

http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm

http://www.goldengreece.gr/places/dodekanisa/karpathos/karpathos_karpathos.html

http://www.greeka.com/dodecanese/karpathos/karpathos-history.htm

http://www.greek-tourism.com

http://www.opengov.gr/minenv/wpcontent/uploads/downloads/2018/11/NECP_131118_final.pdf

http://www.rae.gr/site/file/system/docs/ActionReports/national_2015

http://www.rae.gr/site/file/system/docs/ActionReports/national_2009

http://www.ypeka.gr/?tabid=513

http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=608&language=el-GR

http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=698&language=el-GR

http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=zkMN5DrZKKo%3D&tabid=513

http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=znJpFQj917U%3D&tabid=513&language=el-GR

https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/?fuseaction=list&coteId=1&year=2004&number=366&language=hr

https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/?fuseaction=list&coteId=1&year=2005&number=628&version=ALL&language=el

https://ecopress.gr/?p=8142

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX:52008DC0768

https://www.kodiko.gr/nomologia/document_navigation/397827/p.d.-106-2007

HWEA Wind Energy Statistics 2017 http://eletaen.gr/wp-content/uploads/2018/07/2017-hwea-wind-statistics-greece.pdf

PAE, National Report PAE, 2015

www.neakriti.gr/?page=newsdetail&DocID=1255671

ΑΔΜΗΕ,2016 http://www.admie.gr/fileadmin/groups/ADMIE_DADY/Periodiko_energwn/energon4.saloniа.pdf

Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, http://www.ypai.gr/

ΕΕ L 310 της 09.11.2006, p. 15. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32006D1639

ΕΕ L 412 της 30.12.2006, p. 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32006D1982

ΕΕΚ, 2007, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=OJ:C:2007:060:FULL&from=IT

Ελληνική Στατιστική Αρχή, http://www.statistics.gr/

ΕΣΗΑΠΕ, 2006 http://www.hellasres.gr/Greek/with-frames/my-index-01.htm

ΙΕΝΕ, Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης, «Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, ετήσια έκθεση 2019https://www.iene.gr/articlefiles/file/meletes/iene-meleti-2019.pdf

ΚΑΠΕ, 2017 http://www.cres.gr/cres/pages/prokyrixeis/prokyr_old_2017.html

ΚΑΠΕ,2016 http://www.cres.gr/cres/pages/prokyrixeis/prokyr_old_2016.html

Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, http://www.pnai.gov.gr/

Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Γενική Διεύθυνση Περιφερειακής Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνοτροφίας, Επιχειρησιακό Σχέδιο Αγροτικής Ανάπτυξης 2014-2020 Κάρπαθος (https://docplayer.gr/8432821-Perifereia-notioy-aigaioy-geniki-dieythynsi-perifereiakis-agrotikis-oikonomias-kai-ktiniatrikis-epiheirisiako-shedio-agrotikis-anaptyxis-2014-2020.html).

PAE, National Report PAE, 2009

ΥΠΕΝ (2018), “Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα”,

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, http://www.ypai.gr/site/home.csp

ΦΕΚ 128 Α/03.07.2008

ΦΕΚ 201/12-09-01 http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm

ΦΕΚ 2464 Β/03.12.2008

ΦΕΚ 91 Α/25/4/2002 https://www.e-nomothesia.gr/kat-periballon/n-3010-2002.html

ΦΕΚ Α' 8/28.01.2009 http://www.rae.gr/old/downloads/sub2/8(28-1-09)_3734.pdf

ΦΕΚ Α΄ 286/22-12-99 https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-2773-1999.html

ΦΕΚ Α’ 117 https://www.e-nomothesia.gr/kat-epikheireseis/nomos-4399-2016-phek-117a-22-6-2016.html

ΦΕΚ Α’ 129 https://www.e-nomothesia.gr/kat-ygeia/n-3868-2010.html

ΦΕΚ Α’ 135/Α/85

ΦΕΚ Α’ 168/07-10-94 http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm

ΦΕΚ Α’ 81/15-04-98 file:///C:/Users/User/Downloads/document%20(2).pdf

ΦΕΚ Β 1079/04.06.2009 http://www.cres.gr/pvcatalog/FEK_1079_2009.pdf