

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΥΡΕΥΝΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ**

Φοιτήτρια: Παπακωνσταντίνου Νεφέλη
Επιβλέπων Καθηγητής: Μπαλτάς Ευάγγελος

Αθήνα, Νοέμβριος 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
EXTENDED ABSTRACT	vii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενική αναφορά.....	1
1.2 Αντικείμενο της εργασίας.....	3
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	3
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	5
2.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα	5
2.2 Πλεονεκτήματα Υβριδικών Συστημάτων.....	6
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Υβριδικά Συστήματα	7
2.4 Υβριδικά Συστήματα σε εφαρμογή	15
3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ	20
3.1 Αφαλάτωση – Ιστορικά Στοιχεία	20
3.2 Μέθοδοι Αφαλάτωσης	21
3.3 Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση	28
4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟΥ	33
4.1 Γεωγραφικά και Διοικητικά Χαρακτηριστικά	33
4.2 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά	33
4.3 Ιστορικά Στοιχεία.....	34
4.4 Φυσικό περιβάλλον	35
4.5 Κλιματικά Στοιχεία.....	36
4.6 Πληθυσμιακά Χαρακτηριστικά.....	38
4.7 Υποδομές.....	39
4.8 Οικονομικά Χαρακτηριστικά	40
5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	41
5.1 Τεχνική Περιγραφή Έργου	41
5.2 Εκτίμηση της Ζήτησης για Ύδρευση - Ηλεκτρική Ενέργεια	41
5.3 Μοντέλο Ανεμογεννητριών και Μετατροπή Ανεμολογικών Δεδομένων σε Ηλεκτρική Ενέργεια .	44
5.4 Ανάπτυξη μεθοδολογίας	46
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51

6.1 Αποτελέσματα	51
6.2 Αποτελέσματα για την διερεύνηση βέλτιστης κατανομής της παραγόμενης αιολικής ενέργειας	67
6.3 Συμπεράσματα	69
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τελειώνοντας την διπλωματική μου εργασία, και κατ' επέκταση τις σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, θα ήθελα να ευχαριστήσω, όλους όσους συνεισέφεραν στην αίσια έκβασή τους.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια σε όλα τα στάδια της εργασίας. Ταυτόχρονα, υπήρξε ο άνθρωπος που με μύησε στο συγκεκριμένο θέμα των υβριδικών συστημάτων και τον ευχαριστώ τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην υποψήφια διδάκτωρ Μαρίτα Μπέρτσου και στην υποψήφια διδάκτωρ Σοφία Σκρουφούτα για την πολύτιμη βοήθεια τους και καθοδήγηση καθόλη τη διάρκεια της εργασίας αλλά και για το χρόνο που μου προσέφεραν κάθε φορά με μεγάλη χαρά.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μηχανικό του Δήμου Μεγίστη καθώς και τον μηχανικό του ΤΣΠ της ΔΕΗ για τις πολύτιμες πληροφορίες του, χωρίς τη βοήθεια του δεν θα μπορούσαμε να γνωρίζουμε πολλά στοιχεία από την υπάρχουσα κατάσταση της περιοχής μελέτης.

Τελειώνοντας, ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους που ήταν πάντα δίπλα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθίσταται πλέον αδήριτη, καθώς οι ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως, και ειδικά στην Ελλάδα, καλύπτονται από το φθινό πλην ρυπογόνο λιγνίτη, γεγονός το οποίο επιβαρύνει αφόρητα το περιβάλλον. Ιδιαίτερα, πρέπει να σημειωθεί ότι τα ελληνικά νησιά δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής Ελλάδας, γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συμβατικά καύσιμα, τα οποία είναι οικονομικά ασύμφορα. Περαιτέρω, τα ελληνικά νησιά κατακλύζονται από τουρισμό, επομένως έχουν και αυξημένες ενεργειακές ανάγκες. Όλα τα προαναφερθέντα, σε συνδυασμό και με το γεγονός ότι τα περισσότερα νησιά είναι άνυδρα και η μεταφορά νερού προς αυτά γίνεται με υδροφόρα πλοία, καθιστά σημαντική την ανάπτυξη ενός υβριδικού συστήματος με αφαλάτωση, το οποίο αξιοποιεί το αιολικό δυναμικό των νησιών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την προσομοίωση και αξιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος με αφαλάτωση για το νησί Καστελόριζο, το οποίο αντιμετωπίζει έντονα προβλήματα έλλειψης νερού. Η εξέταση ενός υβριδικού έργου (ΥΒΕ) στο Καστελόριζο, για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και την κάλυψη των υδατικών αναγκών είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς μπορεί να δώσει λύσεις σε οξύτατα προβλήματα, όπως αυτά της λειψυδρίας ή της αστάθειας των τοπικών ηλεκτρικών δικτύων.

Το έργο αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες, μια μονάδα αφαλάτωσης, ένα Μικρό Υδροηλεκτρικό σταθμό (ΜΗΥΣ), ένα αντλιοστάσιο και μια δεξαμενή νερού. Οι ανεμογεννήτριες ηλεκτροδοτούν τον οικισμό, παρέχοντας ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας απευθείας στο δίκτυο, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό της παραγόμενης αιολικής ενέργειας (περίσσεια ενέργεια) διατίθεται για αφαλάτωση και άντληση. Το νερό της δεξαμενής τροφοδοτεί ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, το οποίο με τη σειρά του καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Εάν δεν μπορεί να καλυφθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, τίθεται σε λειτουργία ο τοπικός σταθμός παραγωγής diesel (ΤΣΠ), έτσι ώστε να καλύπτεται το ενεργειακό έλλειμμα.

Αρχικά, εξετάζεται η έννοια και η χρησιμότητα των υβριδικών σταθμών παραγωγής, καθώς και ο τρόπος συλλειτουργίας με μια μονάδα αφαλάτωσης. Η εξέταση του θα μας δώσει πληροφορίες γύρω από το πολύ σημαντικό ζήτημα της αποθήκευσης και ελεγχόμενης διανομής της παραγόμενης καθαρής ενέργειας.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που εφαρμόζεται, προκειμένου να συντεθεί και να εκτελεστεί ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης, με τον καλύτερο τρόπο και βάσει

των διαθέσιμων στοιχείων για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Το μοντέλο προσομοίωσης αναπτύσσεται σε πρόγραμμα Microsoft Excel, αφού πρώτα εκτιμάται η ζήτηση για ύδρευση και ηλεκτρική ενέργεια και μετατρέπονται τα ανεμολογικά δεδομένα (ταχύτητες ανέμου) σε ηλεκτρική ενέργεια.

Επιπρόσθετα, διερευνάται η βέλτιστη κατανομή της αιολικής ενέργειας μεταξύ της απευθείας διατιθέμενης στο δίκτυο και της υπολειπόμενης, που τροφοδοτεί τον αντλητικό σταθμό και τη μονάδα αφαλάτωσης.

Εν κατακλείδι, βάσει της προαναφερθείσας μεθοδολογίας, εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα, σχετικά με τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος και την απόδοσή του, αναφορικά με την κάλυψη των ενεργειακών και υδρευτικών αναγκών.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Many Greek islands face the problem of water scarcity. The water resources management is challenging, due to inadequate rainfall and morphology and salinization of groundwater aquifers is particularly intense, by virtue of over-pumping. The situation worsens during the summer months due to higher temperatures, drought and increased tourism. In addition, most Greek islands are not connected to the electricity supply network of the mainland. They mostly use conventional fuels for electricity generation, which are economically unprofitable and have a serious impact on the environment. The development of hybrid renewable energy systems (HRES) in collaboration with a desalination plant in such areas is a good solution to downsize these problems.

The recent research of the desalination industry has focused on reducing the cost of the produced desalinated water, by combining desalination plants with renewable energy sources. Reverse osmosis is the most applicable out of all the desalination processes. The reason for this lies in its low energy consumption, suitability for connection to solar systems and wind turbines, as well as, in the production of higher quantities of desalinated water, compared to other desalination processes.

Study area

The island of Kastelorizo is the south-easternmost island of the Dodecanese and the south-easternmost tip of Europe. It has an area of 9113km² and its soil is characterized as rocky and barren. Kastelorizo has joined the European Ecological Network NATURA 2000. Its climate is marine Mediterranean and is characterized by low thermometric range, mild winters and prolonged dry and cool summers, low annual rainfall and plenty of sunshine all year round. According to National Observatory of Athens, the average annual temperature is 21°C, the average monthly minimum 10,7°C and the average monthly maximum 34,5°C. The prevailing winds are mainly northwesterly, with intensities over 6km/hr. The permanent population of the island, amounts to 492 inhabitants, reaches up to 965 inhabitants and visitors during the summer season.

The daily demand for water supply is determined based on the inhabitants and the average daily consumption per inhabitant (0,45m³/day). The total annual demand for water supply amounts to 87.364,44m³. The mean monthly demand of water supply is shown in Figure 1.

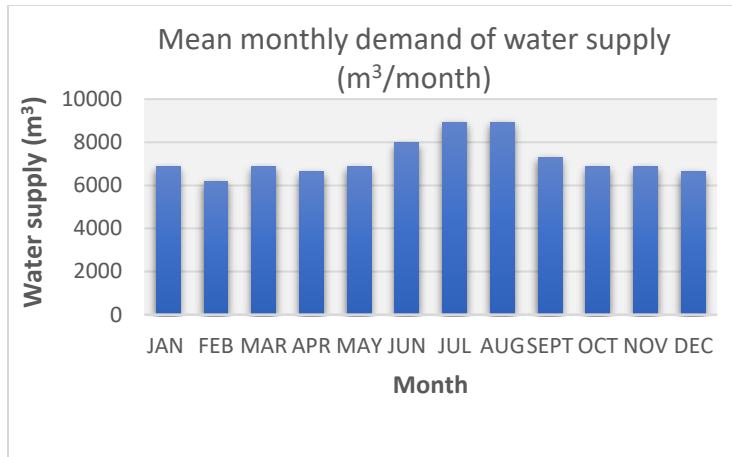


Figure 1: Mean monthly demand of water supply (m³/month)

The island is supplied with electricity from the autonomous power station of Public Power Corporation (PPC), which has an installed capacity of 1590kW on the island with diesel fuel. In Figure 2, is shown Mean monthly electricity demand.

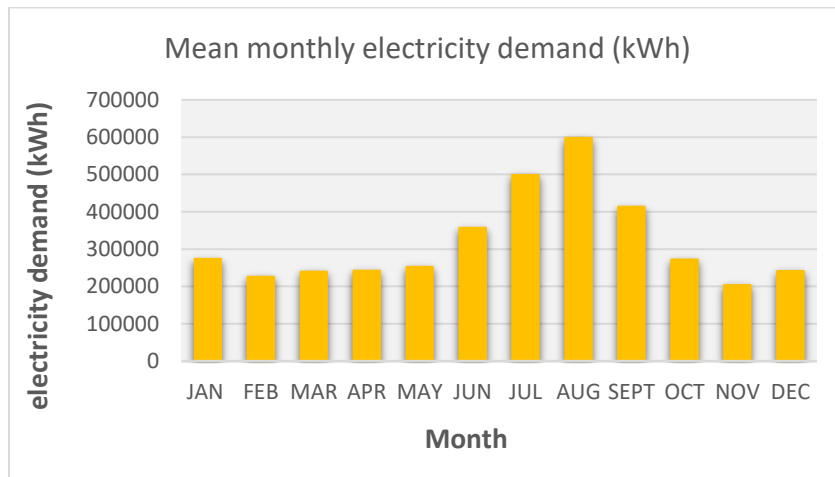


Figure 2: Mean monthly demand of water supply (m³)

METHOLOGY

The project under study consists of a reservoir at an altitude of 40m, a pumping station of 700kW in order to pump seawater to fill the reservoir, three wind turbines of 900kW each, a 700kW hydroelectric station and a desalination. The desalination plant is estimated to consume energy equal to 7kWh/m³.

In order to control the response of the HRES and its degree of reliability, in terms of the required demand for electricity and water, various operating scenarios are studied. The basic principle that applies in all scenarios, is that part of the energy produced by the wind

turbines is separated and disposed of by a percentage directly to the grid, while the rest distributes among other in uses, such as pumping or desalination, depending on the respective study scenario.

In Figures 3 to 6, the 4 under study scenarios are presented.

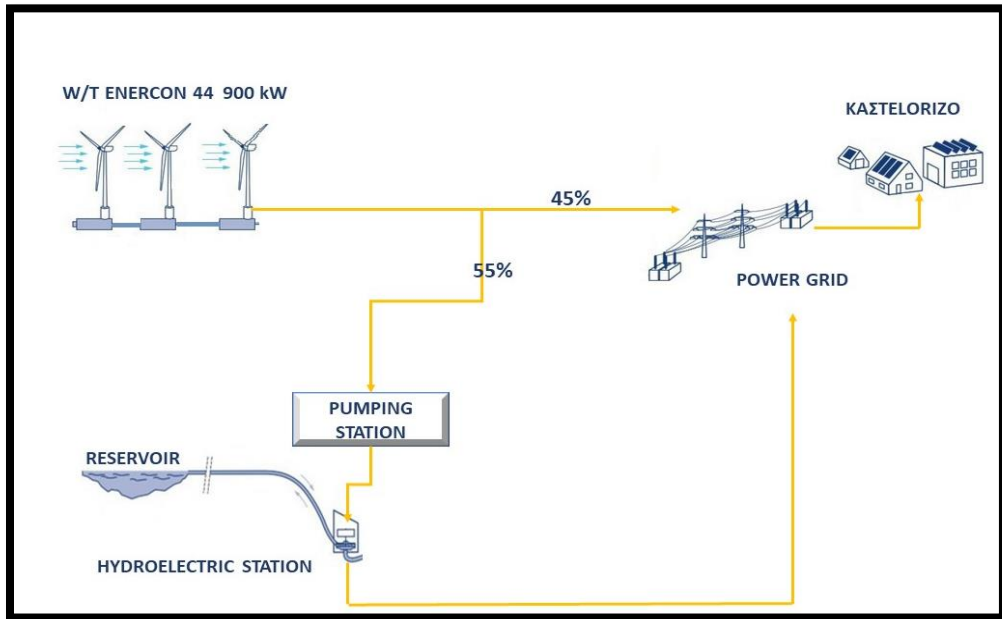


Figure 3: Diagram of Scenario 1

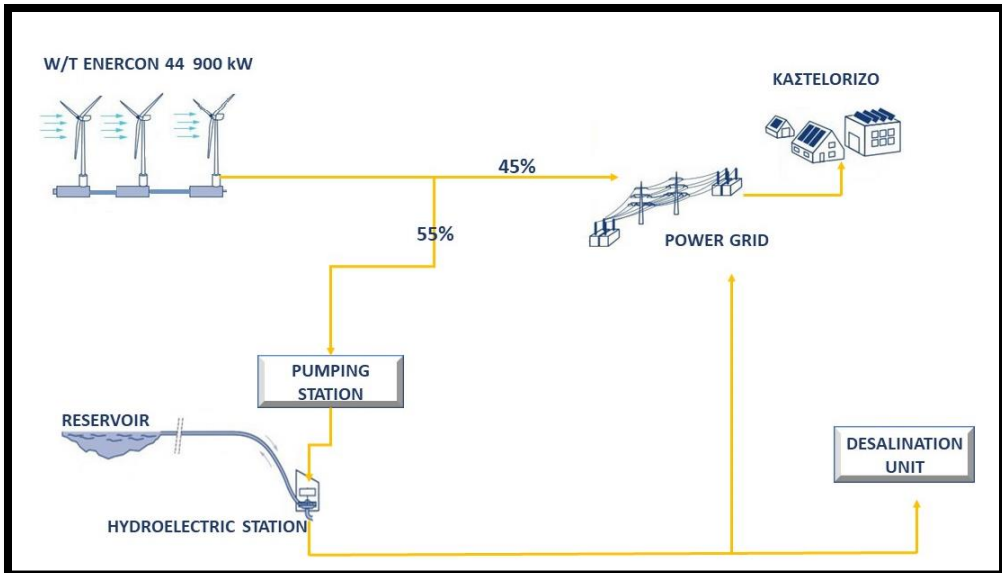


Figure 4: Diagram of Scenario 2.1

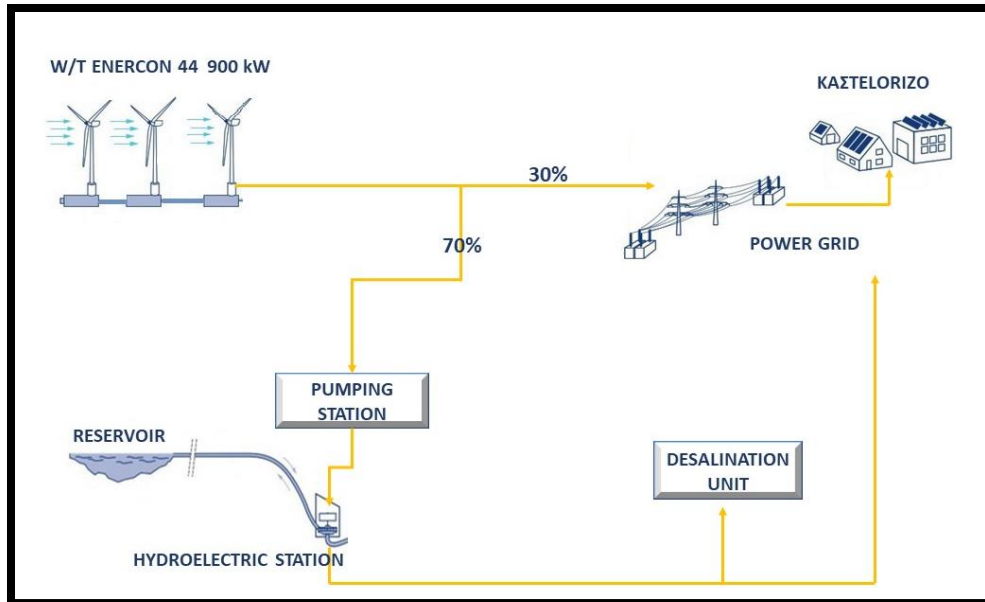


Figure 5: Diagram of Scenario 2.2

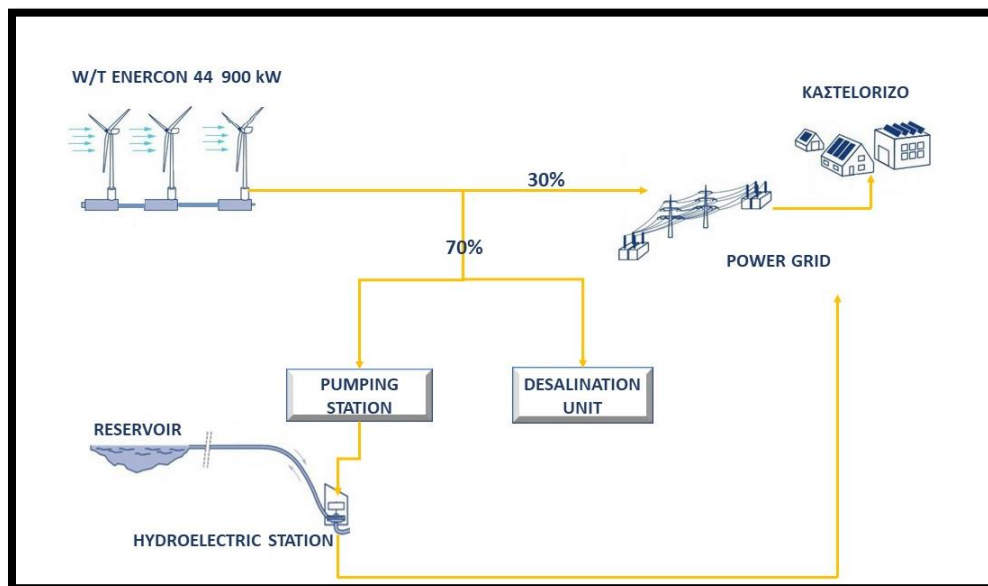


Figure 6: Diagram of Scenario 3

In addition, in each scenario examined, the percentage of wind energy shared between the grid and the HRES is different. This percentage results after an investigation, made in order to find the optimal separation of wind energy, in terms of the network and in terms of pumping or desalination. Therefore, in each scenario, different combinations of percentages are selected, starting with 20% to the grid and 80% towards the pumping or desalination up to 45%-55%. The optimal percentage is selected, by perusing the HRES' respond in terms of system reliability.

RESULTS

The results for each scenario examined are presented through diagrams. First the diagram of the reliability of the hybrid renewable energy systems emerges, which shows the percentage where the island is energy autonomous. The following is a diagram showing the contribution of each energy source to meeting energy needs. Finally, in cases where the desalination plant is connected to the system, the diagram of the reliability of the system in terms of water supply is obtained.

Scenario 1

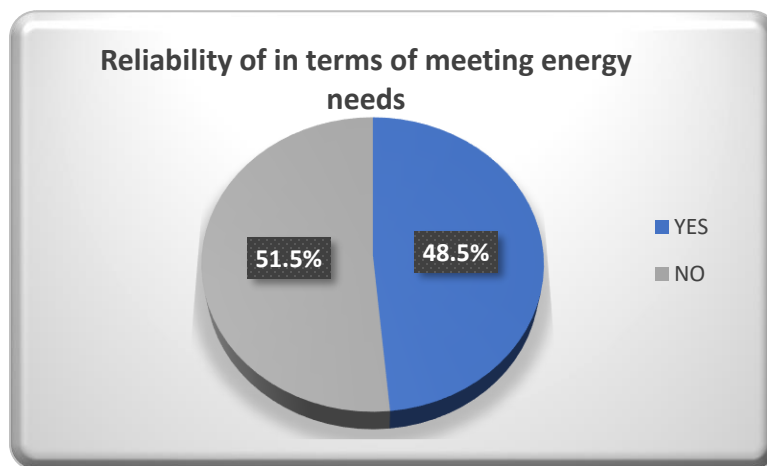


Figure 7: Reliability of in terms of meeting energy needs

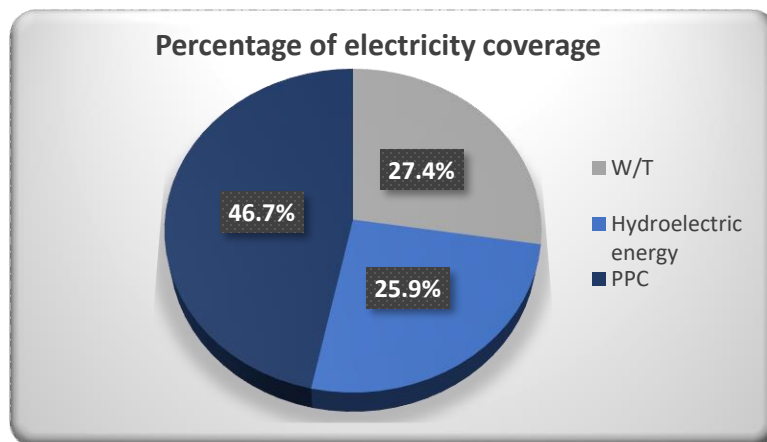


Figure 8: Percentage of electricity coverage

Scenario 2.1

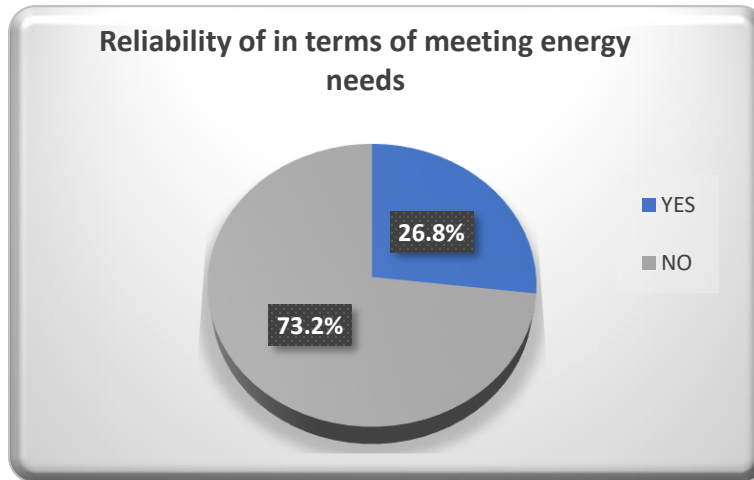


Figure 9: Reliability of in terms of meeting energy needs

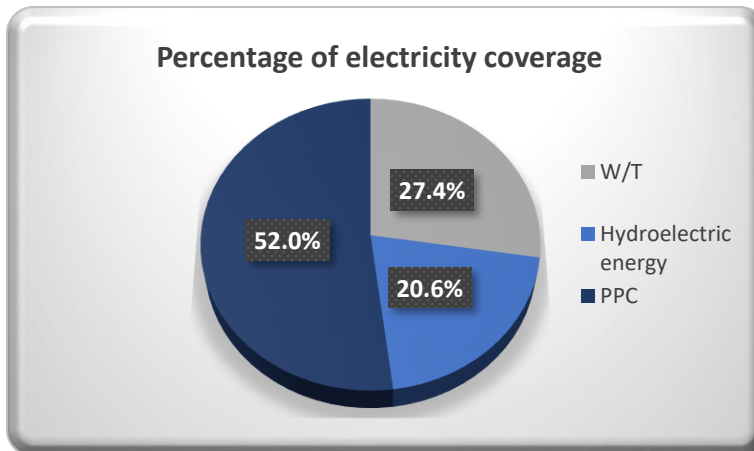


Figure 10: Percentage of electricity coverage

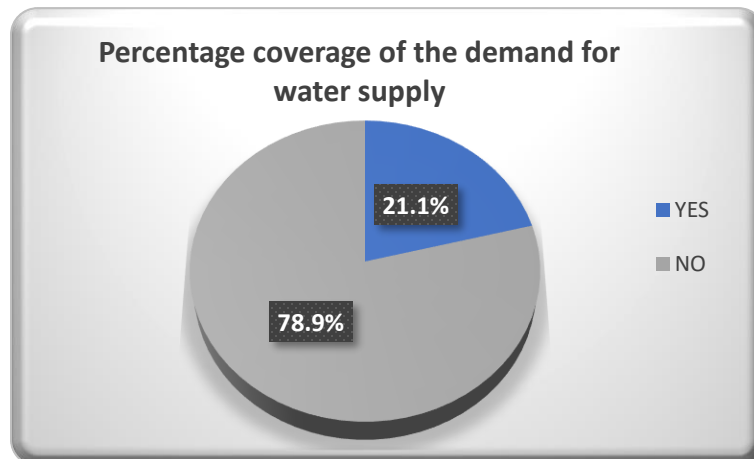


Figure 11: Percentage coverage of the demand for water supply

Scenario 2.2

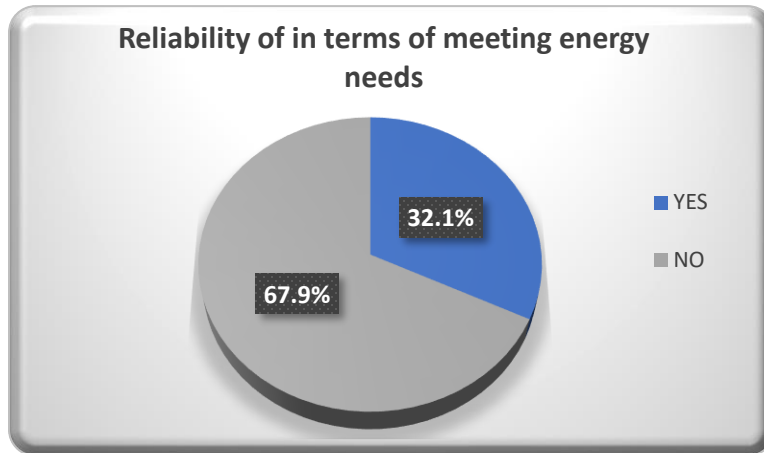


Figure 12: Reliability of in terms of meeting energy needs

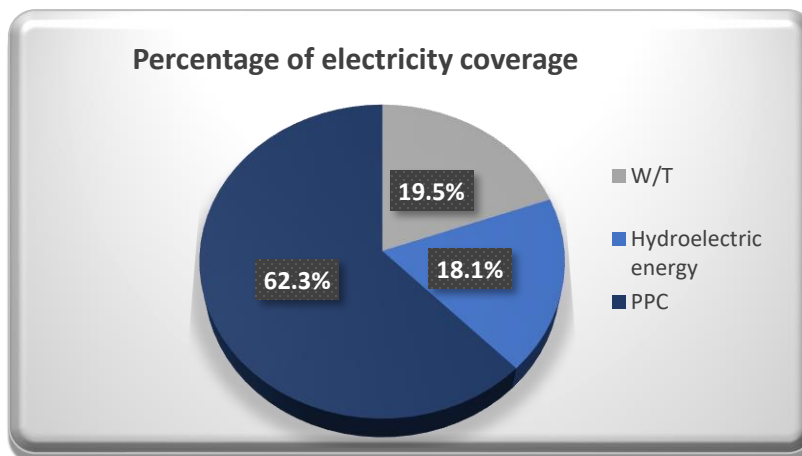


Figure 13: Percentage of electricity coverage

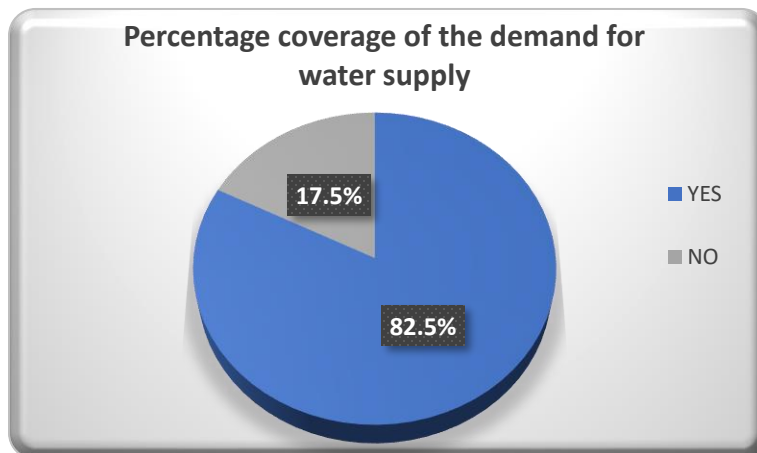


Figure 14: Percentage coverage of the demand for water supply

Scenario 3

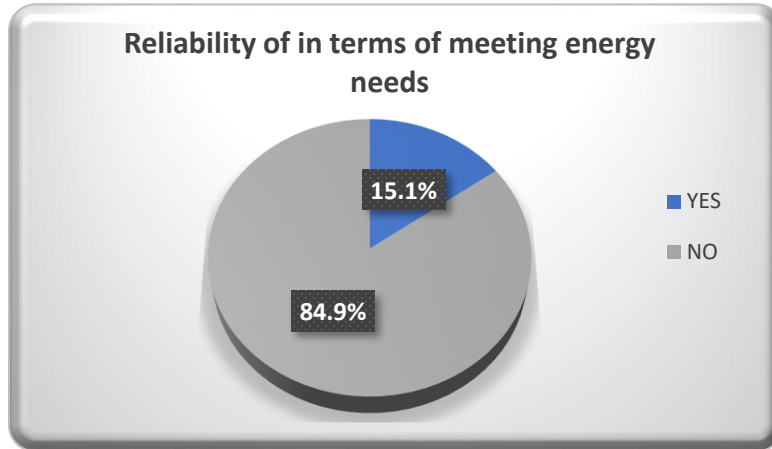


Figure 15: Reliability of in terms of meeting energy needs

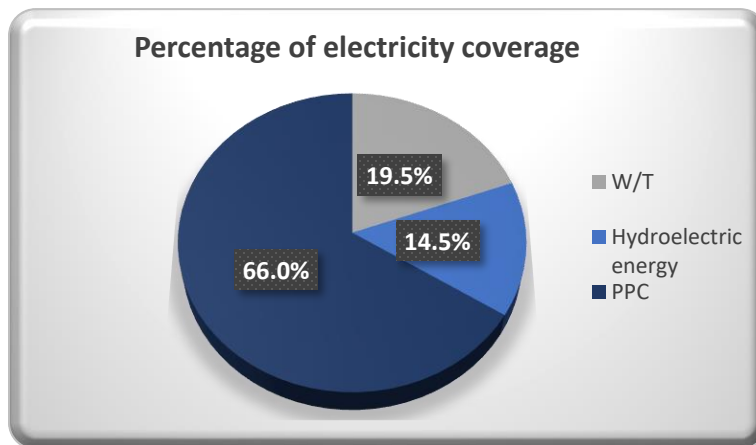


Figure 16: Percentage of electricity coverage

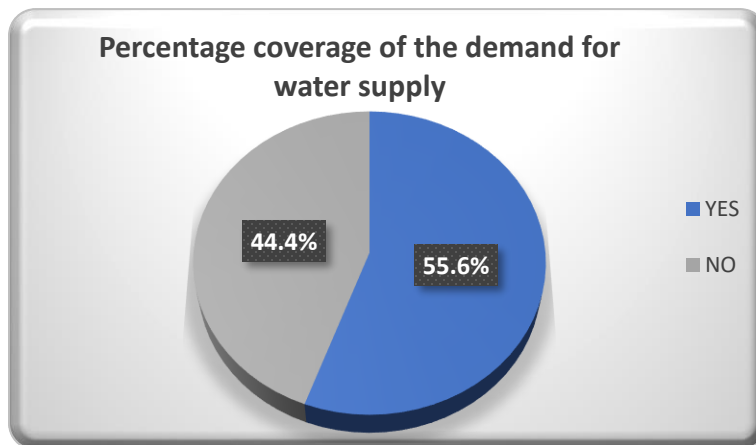


Figure 17: Percentage coverage of the demand for water supply

After investigating the optimal distribution of wind energy, Figure 18 for scenario 1 and Figure 19 for scenario 2.2 are presented. For scenario 2.2. the corresponding optimal distribution for water reliability was also taken into account, which is shown in Figure 20.

Scenario 1

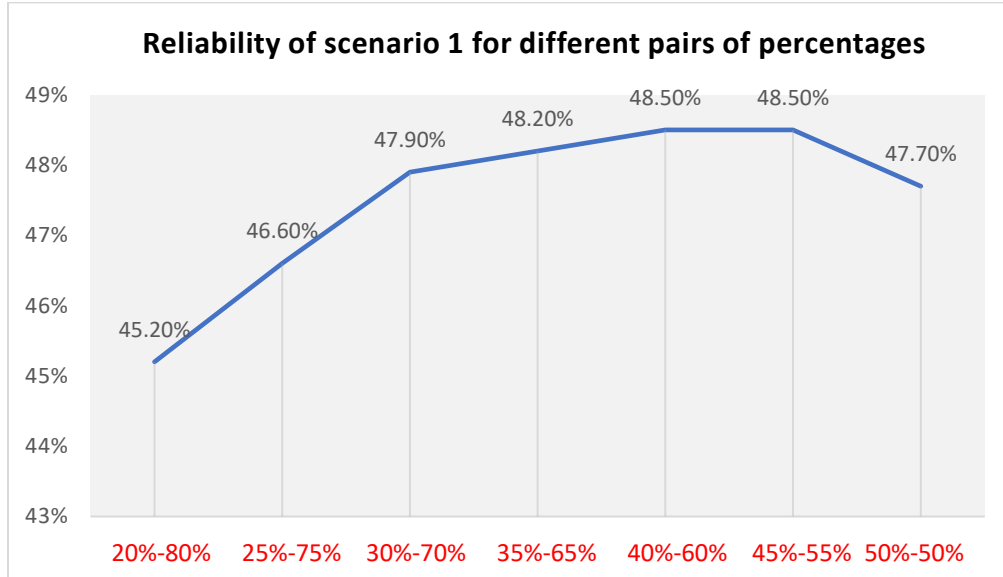


Figure 18: Reliability of scenario 1 for different pairs of percentages

Scenario 2.2

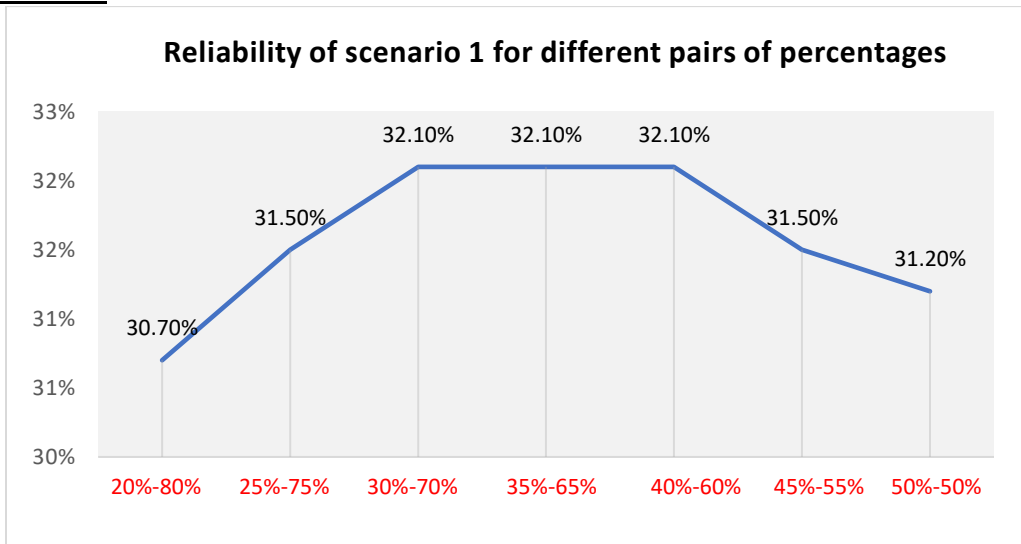


Figure 19: Reliability of covering Water supply for different pairs of percentages

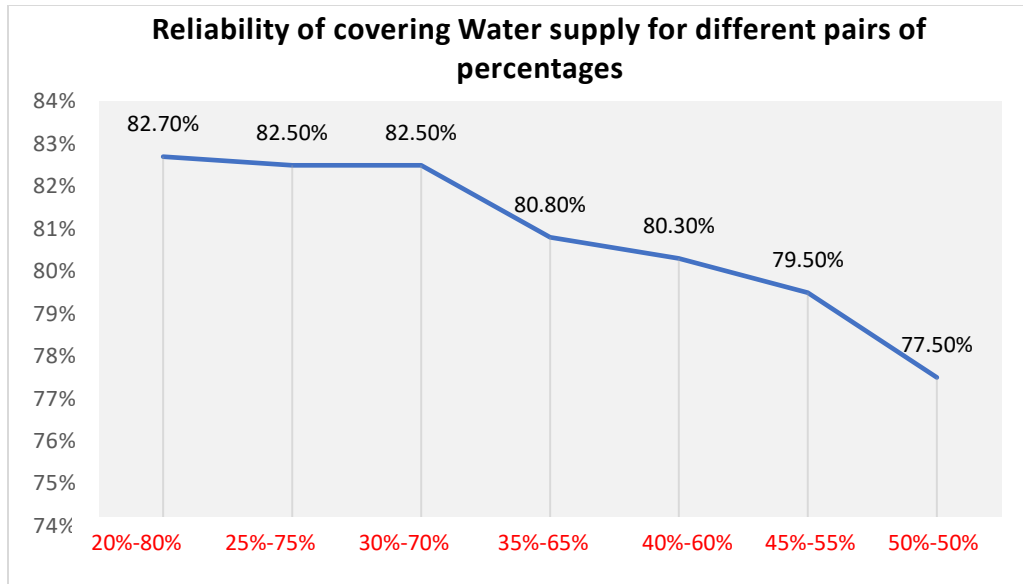


Figure 20: Reliability of covering Water supply for different pairs of percentages

CONCLUSIONS – FUTURE RESEARCH

The environmental impact of the use of conventional resources to meet energy needs, as well as, their impending depletion, lead to the urgent need to utilize RES and to the development of HRE.

Greece is an appropriate place for the installation of HRES, as it is characterized by rich wind and solar potential, while it still has a large island complex not interconnected, making the need for their installation imperative.

Reverse osmosis finds the greatest application, due to the low consumption of specific energy, the suitability of these systems for connection to PV or W/T and the high productivity of quantities of desalinated water, compared to other desalination processes.

The main conclusions that emerge from the simulation of the Hybrid Renewable Energy System under study are the following:

- In Scenario 1, the reliability rate is 48,5%, which is higher than the other scenarios. Therefore, Scenario 1 excels in electrical coverage. This makes sense, as it ignores desalination and all the energy produced by the HRES goes solely to meet the energy needs. Scenario 1 of "clean pump storage" offers the maximum reliability of the HPES, in terms of meeting the electrical needs.
- Scenario 2.1 and Scenario 2.2 have the same layout, but the percentage of separation of wind energy differs, as well as, the priority set regarding the disposal of

hydroelectric energy. The percentage of reliability, concerning the energy needs of Scenario 2.1 amounts to 26,8%, while the percentage of Scenario 2.2 is 32,1%. Also, the percentage of reliability in terms of meeting the water needs of Scenario 2.1 is 21,1%, while Scenario 2.2 amounts to 82,5%. Therefore, it appears that with the layout of Scenario 2.2, the HRES has a better response in terms of energy and water needs.

- Scenario 2.2 and Scenario 3 prioritize desalination, but differ in the way energy is disposed of in the desalination plant. It is observed that Scenario 2.2 presents greater reliability in terms of meeting water needs, as the reliability rate is 82,5%, while Scenario 3 is 55,6%. In addition, Scenario 2.2 excels in meeting energy needs, with a reliability rate of 32,1% compared to the 15,1% reliability rate of Scenario 3.
- For the optimal distribution of wind energy for Scenario 1, according to the Figure 18, the percentage of 45%-55% with a reliability of 48,5% is selected as optimal.
- For the optimal distribution of wind energy for scenario 2.2 from Figure 20, it is found that the optimal result for water needs is given by the pair 20%-80%, which has the highest reliability to meet the water needs with a percentage of 82,70%. The worst in terms of meeting electrical needs is the pair 20%-80%, while the worst in terms of water reliability is the pair 50%-50% with a rate of 77,5%. Therefore, the selected pair must meet the purpose of Scenario 2.2, that is the best possible reliability in meeting the water supply, but also combine high reliability to meet the electrical needs. So, the pair 30%-70% is selected, which combines the highest reliability to meet the needs of water supply and electricity.

Suggestions for Future Research

Based on this research work and its results and conclusions, reasonable questions arise, which need future study and research.

The existence of more and more accurate data related to water supply and electricity consumption, as well as temperature and wind data.

The production of stochastic time series would be a more comprehensive approach to meet the needs of the island, providing more accurate input data to the simulation model.

Finally, the development of an HRES that utilizes more than two RES, such as hydroelectric and solar energy, is of particular interest. For example, a HRES could combine wind turbines, photovoltaic systems and a small hydroelectric plant.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική αναφορά

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει οδηγήσει αναπόφευκτα στην αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να εξαντλούνται σταδιακά οι συμβατικές πηγές ενέργειας και τα ορυκτά καύσιμα. Περαιτέρω, οι συμβατικές πηγές ενέργειας, πέρα από το γεγονός ότι είναι ρυπογόνες, οξύνουν και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Γι' αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται, παγκοσμίως, η τάση της ολοένα μεγαλύτερης ανάγκης διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό ισοζύγιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), οι ΑΠΕ αποτελούν βασική προτεραιότητα, όπως διαφαίνεται από το θεσμικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια. Η αρχή έγινε το 1997 με τη Λευκή Βίβλο «Ενέργεια για το Μέλλον» για την προστασία του περιβάλλοντος και αργότερα, το 2000, με το Green Paper «Στρατηγική για την Ασφάλεια της Παροχής Ενέργειας» για την ανεξαρτησία του ενεργειακού εφοδιασμού. Επίσης, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο, που υπογράφηκε το Δεκέμβριο του 1997 από τα Ηνωμένα Έθνη για την Κλιματική Αλλαγή, ορίστηκε ο στόχος της μείωσης των εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ) στην ΕΕ κατά 8%, το 2008-12 από τα επίπεδα του 1990 (Παπαευθυμίου, 2012). Το 2009, η οδηγία 2009/28/ΕΚ για τις ΑΠΕ έθεσε δεσμευτικούς στόχους για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ, έτσι ώστε η ΕΕ να επιτύχει μερίδιο 20% της ενέργειας της από ΑΠΕ έως το 2020 και μερίδιο 10% των ΑΠΕ ειδικά στον τομέα των μεταφορών. Μέχρι το 2014, το μερίδιο της ενέργειας από ΑΠΕ ήταν 16% στην ΕΕ, ενώ εννέα κράτη μέλη είχαν ήδη επιτύχει τους στόχους τους για το 2020. Μέχρι το 2018, αυτό είχε αυξηθεί στο 18% με δώδεκα κράτη μέλη να έχουν επιτύχει τους στόχους τους, πριν το 2020. Στις 11 Δεκεμβρίου του 2018, η Επιτροπή υπέβαλε πρόταση για αναθεωρημένη οδηγία για τις ΑΠΕ, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι θα επιτευχθεί ο στόχος τουλάχιστον 32% των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ έως το 2030 και να διασφαλιστεί ότι η ΕΕ είναι παγκόσμιος ηγέτης στις ΑΠΕ.

Κατά συνέπεια και για την Ελλάδα ως κράτος μέλος της ΕΕ σύμφωνα με την ψήφιση της παραπάνω Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, ο στόχος ως προς τη συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ανέρχεται στο 18%. Στα πλαίσια αυτά, ψηφίστηκε και ο νόμος 3851/2010, όπου καθορίζονται οι στόχοι της Ελλάδας για το 2020, σύμφωνα με τους οποίους η συμμετοχή των ΑΠΕ θα πρέπει να αυξηθεί κατά 20% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας και κατά 40% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Το μερίδιο των ΑΠΕ, επί της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα, αυξήθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, φτάνοντας σε νέο ανώτατο επίπεδο της τάξεως του 12,5% το 2016.

Η αξιοποίηση εγκαταστάσεων διαφόρων μορφών ΑΠΕ, στο νησιωτικό χώρο και κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, στα οποία συναντάμε αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών. Κατά συνέπεια, επιτυγχάνεται τόσο μείωση των ρυπογόνων εκπομπών από την καύση πετρελαίου και λιγνίτη, όσο και μείωση του λειτουργικού κόστους των συμβατικών μονάδων παραγωγής.

Παρά το γεγονός ότι τα ελληνικά νησιά παρουσιάζουν πλούσιο αιολικό δυναμικό, ο βαθμός αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας παραμένει ιδιαίτερα χαμηλός. Αυτό οφείλεται κυρίως στην έντονη μεταβλητότητα της παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών (Α/Γ) και στην περιορισμένη δυνατότητά ελέγχου της ισχύος. Παρόμοια προβλήματα παρουσιάζουν και οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών (Φ/Β). Η εξάρτηση της παραγόμενης ενέργειας των ΑΠΕ, από τα φυσικά φαινόμενα, έχουν ως αποτέλεσμα την αδυναμία στήριξης ενός συστήματος με πάγιες ανάγκες.

Προκειμένου να εξαλειφθούν, όσο είναι δυνατόν, τα παραπάνω προβλήματα, ξεκίνησε ο σχεδιασμός και υλοποίηση υβριδικών ενεργειακών έργων. Στόχος τους είναι η παραγωγή ενέργειας που βασίζεται σε συνδυασμό διαφορετικών μορφών ΑΠΕ, όπως είναι η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική, με αποθήκευση των αιχμών της παραγόμενης ενέργειας με μέθοδους όπως η αντλησιοταμίευση. Στην Ελλάδα, χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου έργου αποτελεί το υβριδικό σύστημα (ΥΣ) της Ικάριας ισχύος 6,8MW. Σχεδιάστηκε και μελετήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας υδροηλεκτρική και αιολική ενέργεια, με τη χρήση λιμνοδεξαμενών που υπάρχουν στο νησί, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, υποκαθιστώντας σημαντικά τη χρήση πετρελαίου από τον υπάρχοντα πετρελαϊκό σταθμό(ΔΕΗ Ανανεώσιμες).

Ωστόσο, πέρα από την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα είναι η κάλυψη των αναγκών που σχετίζονται με την χρήση νερού (π.χ. ύδρευση). Δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι η Ελλάδα, καθώς και ολόκληρος ο πλανήτης, τα τελευταία χρόνια αντιμετωπίζουν ένα τεράστιο οικολογικό πρόβλημα, αυτό της απειλούμενης λειψυδρίας λόγω ελαχιστοποίησης των διαθέσιμων επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Το πρόβλημα συναντάται πολύ πιο έντονα στο νησιωτικό χώρο, όπου οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες λόγω της μορφολογίας και η υφαλμύρωση των υπόγειων υδροφορέων ιδιαίτερα έντονη λόγω της υπεράντλησης. Η κατάσταση επιδεινώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών, της ξηρασίας και της αυξημένης τουριστικής κίνησης. Η κατάσταση δεν είναι ίδια σε κάθε νησί. Πιο έντονα είναι τα προβλήματα στα άνυδρα νησιά των Κυκλάδων, όπως είναι το Κουφονήσι, η Ηράκλεια, η Δονούσα, η Αμοργός, η Πάτμος, το Καστελόριζο κ.α.. Έτσι, δημιουργείται η

ανάγκη να βρεθεί μια βιώσιμη λύση, διευκολύνοντας τη ζωή των κατοίκων. Η λύση στο σημαντικό πρόβλημα της λειψυδρίας είναι η μεταφορά του νερού, η κατασκευή φραγμάτων και η αφαλάτωση.

Σε αρκετά ελληνικά νησιά, τα τελευταία χρόνια προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες ύδρευσης γίνεται μεταφορά του νερού με υδροφόρα πλοία. Ωστόσο, είναι μια λύση με υψηλό κόστος, καθώς για τη μεταφορά ενός κυβικού στα απομακρυσμένα νησιά χρεώνεται έως και 12 €/m³. Επιπλέον, η κατασκευή ενός φράγματος για την αποθήκευση του βρόχινου νερού, έστω και μικρής κλίμακας, έχει επίσης υψηλό κόστος, απαιτεί πληθώρα υποδομών, ενώ προκαλεί σημαντική αλλοίωση στο περιορισμένο φυσικό ανάγλυφο των μικρών αυτών νησιών. Τέλος, η αφαλάτωση μπορεί να δώσει μόνιμη λύση στο πρόβλημα ύδρευσης των άνυδρων νησιών, καθώς αποτελεί μια σταθερή και εγγυημένη μέθοδο. Η υψηλή ενεργειακή της απαίτηση είναι ένα μελανό σημείο στην εφαρμογή της, πράγμα που μπορεί να ξεπεραστεί εύκολα με συνδυασμό εγκατάστασης ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος, που θα βασίζεται σε κατάλληλη μείξη ΑΠΕ, ώστε να καταστεί βιώσιμη ενεργειακά.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας είναι μια σύντομη βιβλιογραφική παρουσίαση των Υβριδικών Έργων (ΥΒΕ) και της αφαλάτωσης, καθώς και η αξιολόγηση ενός ΥΒΕ στο Καστελόριζο, το οποίο περιλαμβάνει τρεις ανεμογεννήτρια, μια δεξαμενή, ένα Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) με υδροστρόβιλο, ένα αντλιοστάσιο και μια μονάδα αφαλάτωσης. Ο σκοπός της προσομοίωσης ενός τέτοιου συστήματος είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του και η συνεργασία των διάφορων μορφών ενέργειας, που συμμετέχουν στην παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγχρόνως, η εκτίμηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας αυτού του συστήματος, ως προς την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης, καθώς και τη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί βασικός στόχος της προσομοίωσης.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο και τους στόχους της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια παρουσίαση των μορφών των ΑΠΕ και στη συνέχεια μια συνοπτική βιβλιογραφική επισκόπηση, που αφορά στην έννοια και τη χρησιμότητα των υβριδικών σταθμών παραγωγής. Ακολουθεί η παρουσίαση των χαρακτηριστικών των διάφορων τύπων ενέργειας, που συνεργάζονται σε τέτοιου είδους έργα. Τέλος, γίνεται μια ανασκόπηση των υβριδικών ενεργειακών έργων, που έχουν κατασκευαστεί παγκοσμίως.

Στο τρίτο κεφάλαιο, δίνεται μια σύντομη κατηγοριοποίηση των μεθόδων αφαλάτωσης και από αυτές περιγράφεται αναλυτικά μόνο η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης, που είναι η πιο διαδεδομένη στην Ελλάδα και η οποία εξετάζεται στο πλαίσιο μελέτης αυτής της εργασίας. Κλείνοντας, γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση στο συνδυασμό των συστημάτων αφαλάτωσης, με συμβατικές ή ΑΠΕ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης στη περιοχή μελέτης, που είναι το νησί Καστελόριζο. Τα στοιχεία που εξετάζονται είναι γεωγραφικά, μορφολογικά, κλιματικά, υποδομές και τομείς οικονομίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, δίνεται η τεχνική περιγραφή των στοιχείων του ΥΒΕ. Στη συνέχεια, δημιουργούνται πίνακες που αφορούν τόσο στη ζήτηση για ύδρευση, όσο και στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και γίνεται η μετατροπή των ανεμολογικών δεδομένων σε παραγόμενη ισχύ (kW) και εντέλει ενέργεια (kWh). Επιπλέον παρουσιάζεται η ανάπτυξη της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση του μοντέλου. Η προσομοίωση του μοντέλου, έγινε σύμφωνα με διάφορα σενάρια χρήσης της διαθέσιμης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της λειτουργίας και διασύνδεσης της μονάδας αφαλάτωσης. Τέλος το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της μεθοδολογίας σχετικά με την εύρεση του βέλτιστου ποσοστού απόδοσης της παραγόμενης αιολικής ενέργειας στο δίκτυο για τα προ εξέταση σενάρια.

Στο έκτο κεφάλαιο, για κάθε σενάριο που εξετάστηκε δίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω διαφόρων διαγραμμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εύρεση του βέλτιστου ποσοστού απόδοσης της παραγόμενης αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Τέλος συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας, έτσι όπως αυτά προκύπτουν, και δίνονται ερεθίσματα για περαιτέρω ανάλυση και ανάπτυξη.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα

Στη σημερινή εποχή, η ενεργειακή ζήτηση, σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, φέρνει στην επιφάνεια ζητήματα όπως η αναμενόμενη εξάντλησή τους. Επιπρόσθετα, η χρήση των ορυκτών καυσίμων είναι η κύρια αιτία πίσω από τη διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Αυτοί είναι οι βασικοί παράγοντες, που τις τελευταίες δεκαετίες, οι ΑΠΕ έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξης. Οι δύο κυρίες τεχνολογίες ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται για μαζική παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Ο στοχαστικός χαρακτήρας πολλών μορφών ΑΠΕ θέτει ορισμένους τεχνικοοικονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς, κατά τη χρήση τους, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Για παράδειγμα, η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει τη χρήση αποθηκευτικών μέσων, εξαιτίας των διακυμάνσεων στη διάθεση της. Το ίδιο ισχύει και για την αιολική ενέργεια. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν άλλες μορφές ΑΠΕ που παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα και υπάρχει καλύτερη προβλεψιμότητά τους, όπως η γεωθερμία και η βιομάζα. Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην έρευνα και ανάπτυξη των Υβριδικών Συστημάτων «ΥΣ» παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο όρος ΥΣ αφορά σε συστήματα, όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την ίδια διάταξη, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου, καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου. Με αυτήν την έννοια, τα ΥΣ αποτελούν μία εναλλακτική επιλογή αντί των συμβατικών συστημάτων, τα οποία τυπικά βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Βρετός, 2010)

Σύμφωνα με το νόμο 3468/2006 για τις ΑΠΕ ως ΥΣ ή αλλιώς υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

1. Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.
2. Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το δίκτυο 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 ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού. Η διαφορά

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

3. Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού δε μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

2.2 Πλεονεκτήματα Υβριδικών Συστημάτων

Τα ΥΣ εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε τεχνολογίας και παρέχουν ενέργεια τέτοιας ποιότητας, όπως αυτής του δικτύου, με ένα εύρος από 1kW μέχρι πολλές εκατοντάδες kW. Έτσι, μπορούν να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα, καινούρια και ανεξάρτητα συστήματα, μέσα σε μικρά συστήματα διανομής ενέργειας ή να ενταχθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες βασιζόμενες στο πετρέλαιο μετά από τις απαραίτητες επεμβάσεις στο υπάρχον σύστημα (Σαραφιανός κ.α., 2009).

Τα ΥΣ βρίσκουν εφαρμογές σε περιοχές, όπου η σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά και η μεταφορά του καυσίμου, θεωρούνται αντιοικονομικές επιλογές. Παρέχουν επίσης τη δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης με το δίκτυο, στις περιοχές που γίνεται η εγκατάστασή τους. Επιπλέον, λόγω της υψηλής αποδοτικότητας τους και της αξιοπιστίας τους, τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μία αποτελεσματική λύση παροχής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή ακόμη και σε εξειδικευμένους καταναλωτές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι νοσοκομειακές μονάδες.

Πλεονεκτήματα των ΥΣ παρουσιάζονται ως προς την ταχύτητα εγκατάστασης των επιμέρους μονάδων, το σχετικά σταθερό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Σαραφιανός κ.α., 2009). Φυσικά, τα παραπάνω πλεονεκτήματα εξαρτώνται για κάθε ΥΒΕ από τη σωστή χωροθέτηση του έργου, τον τρόπο λειτουργίας του, καθώς και τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης.

Ωστόσο, τα ΥΣ ενδέχεται να παρουσιάσουν προβλήματα που να έχουν επιπτώσεις στην αξιοπιστία της συνεργασίας υδροστροβίλου Α/Γ. Δηλαδή κατά πόσο ο υδροστροβίλος έχει την απαιτούμενη ταχύτητα απόκρισης, ώστε να παρακολουθεί πλήρως τις μεταβολές της αιολικής παραγωγής του ΥΣ. Όπως επίσης, προβλήματα μπορεί να δημιουργηθούν και στη συνεργασία αντλητικού σταθμού ανεμογεννητριών καθώς και των επιπτώσεων τους στο σύστημα.

Ένα ακόμα αρνητικό των ΥΣ θα μπορούσε να θεωρηθεί η πιθανή αισθητική αλλοίωση του φυσικού τοπίου από τις ανεμογεννήτριες και τον ταμιευτήρα θαλασσινού νερού. Όμως με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση, μπορεί να συμβάλει στην αναβάθμιση του φυσικού τοπίου.

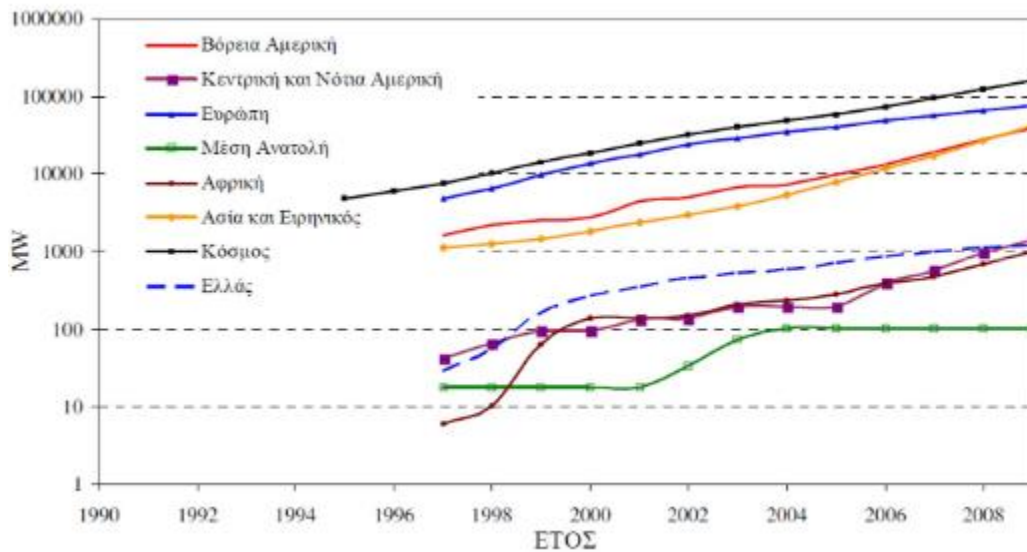
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Υβριδικά Συστήματα

Αιολική ενέργεια

Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε, για πρώτη φορά, για την κίνηση των πλοίων. Οι πρώτες αρχαιολογικές αναφορές σε μηχανές αξιοποίησης αιολικής ενέργειας τοποθετούνται στις περιοχές της Αιγύπτου, Περσίας, Μεσοποταμίας και Αιγαίου. Οι ανεμόμυλοι χρησίμευαν στην άντληση νερού και άλεση καρπών. Ο αρχαιότερος ανεμόμυλος εντοπίστηκε στην Περσία (900-500 π.Χ.), ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά εντοπίζεται στην Κίνα (13^ο αιώνας). Πρόκειται για ανεμόμυλους οριζόντιου άξονα, 49 κατασκευασμένους από απλά, φυσικά υλικά, όπως ξύλα και καλάμια. Στην Ευρώπη, οι πρώτοι ανεμόμυλοι πιθανολογείται ότι δημιουργήθηκαν τον 13^ο αιώνα και επρόκειτο για ανεμόμυλους οριζόντιου άξονα. Στην Αμερική, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας εντοπίζεται, αρχικά, το 17^ο αιώνα, με την κατασκευή ανεμόμυλων για άντληση νερού. Η πρώτη απόπειρα ηλεκτροπαραγωγής από τον άνεμο πραγματοποιείται το 1888, στο Ohio, όπου κατασκευάζεται ανεμόμυλος, διαμέτρου 17m και μέγιστης απόδοσης 12kW. (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012). Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, στην Αμερική κατασκευάζονται οι ισχυρότερες ανεμογεννήτριες, από το MIT, σπάζοντας το φράγμα του 1MW. Στην Ελλάδα, η πρώτη ένδειξη αξιοποίησης του ανέμου παρατηρείται στο Αιγαίο (13^ο αιώνας). Ήδη το 1960, μεγάλος αριθμός ανεμόμυλων καταμετρείται στα ελληνικά νησιά, ενώ η πρώτη απόπειρα ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια, πραγματοποιείται στην Κύθνο, γύρω στο 1982.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ελεύθερη άφθονη ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία είναι ανεξάρτητη από ορυκτά καύσιμα και φιλική προς το περιβάλλον. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ικανοποιητικών ταχυτήτων ανέμου, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Δευτερευόντως, από περιβαλλοντική σκοπιά, ο εκπεμπόμενος θόρυβος καθώς και η οπτική όχληση καθιστούν αρκετά δύσκολη την εγκατάστασή τους σε μέρη με τις παραπάνω ευαισθησίες. Ωστόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας βελτιώνει αρκετά τα δυο πρώτα προβλήματα, πράγμα όμως που σημαίνει και μεγαλύτερο κόστος αγοράς. Όσον αφορά στην οπτική όχληση, αποτελεί ένα καθαρά υποκειμενικό κριτήριο και εξαρτάται από την αισθητική του κάθε ανθρώπου. Τέλος, η πρόσκρουση πουλιών στις ανεμογεννήτριες καλό είναι να λαμβάνεται υπόψη, όταν

πρόκειται για την εγκατάσταση αιολικών μηχανών σε προστατευόμενες περιοχές(Μυσίρης,2015).

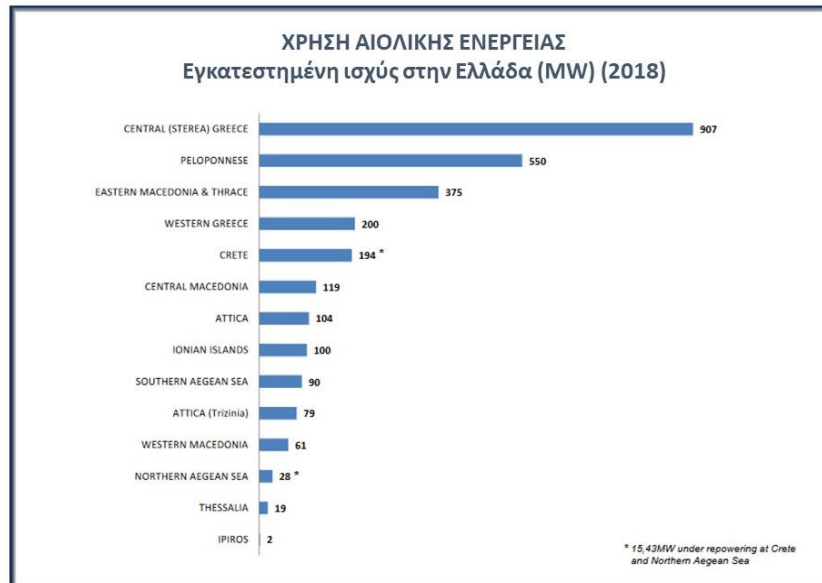


Σχήμα 2.1: Χρονική εξέλιξη εγκατεστημένης αιολικής ισχύος (MW) σε διάφορες περιοχές (Πηγή: Μαμάσης κ.α. 2012)

Παγκοσμίως, παρατηρείται μια αυξητική τάση, όσον αφορά στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. Η διείσδυση της αιολικής ενέργειας αυξάνεται, και στον ελλαδικό χώρο. Σύμφωνα με το δελτίο τύπου της ελληνικής επιστημονικής ένωσης αιολικής ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ) για το 2018 η συνολική ισχύς αυξήθηκε κατά 7,2% σε σχέση με το 2017. Το σύνολο της αιολικής ισχύος στο τέλος του 2018 ήταν 2.828,5MW. Η ισχύς αυτή κατανέμεται ως εξής:

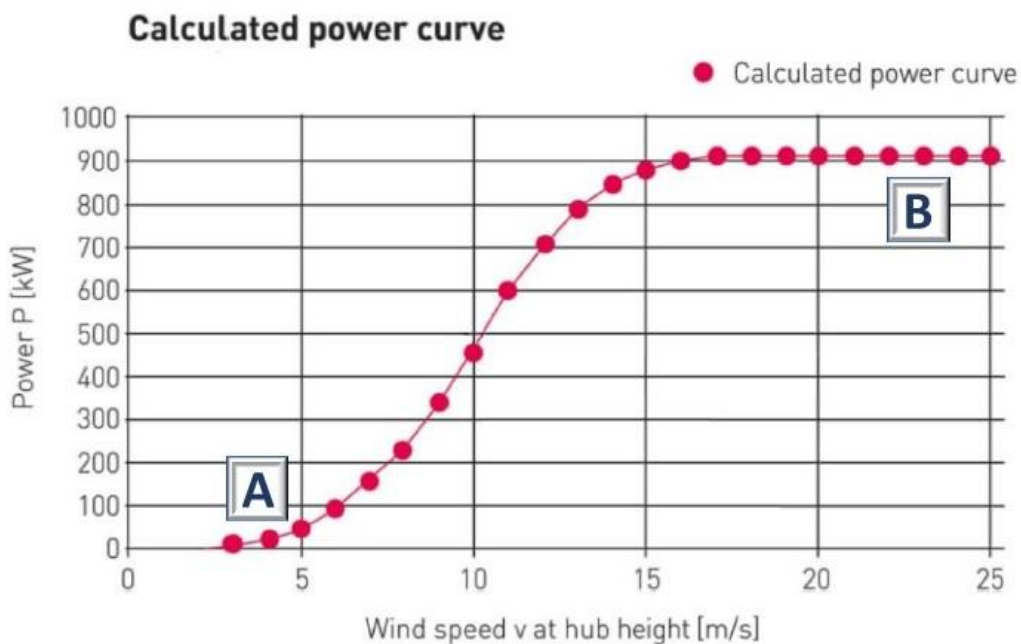
- Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά : 310MW
- Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα: 2.518,5MW

Στο επόμενο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύ ανά περιφέρεια.



Σχήμα 2.2: Εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα να περιφέρεια (Πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ, 2018)

Προκειμένου να υπολογιστεί η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από μια Α/Γ χρειάζεται η καμπύλη ισχύος της, η οποία συνδέει την ισχύ της Α/Γ με την ταχύτητα του ανέμου.



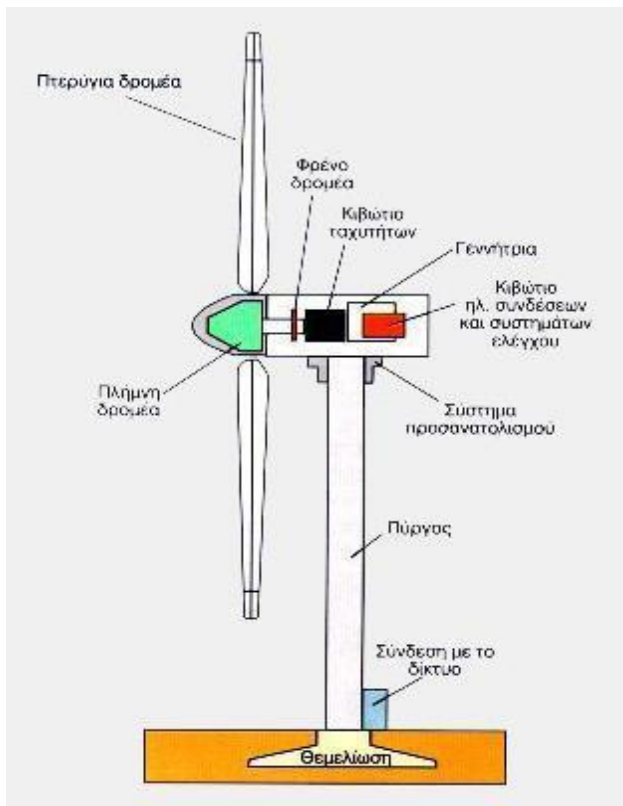
Σχήμα 2.3: Καμπύλη ισχύος - ταχύτητας ανέμου της Α/Γ Enercon E44 - 900 kW (Πηγή: <https://www.enercon.de/home/>)

Στο Σχήμα 2.3, διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά σημεία: το Α, το οποίο παρουσιάζει την ταχύτητα που η γεννήτρια ξεκινάει την παραγωγή ρεύματος, και το σημείο Β, στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου για τη συγκεκριμένη Α/Γ θεωρείται απαγορευτική για τη συνέχιση της περιστροφής των πτερωτών, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος καταστροφής

της. Η καμπύλη ισχύος της εκάστοτε Α/Γ παρέχεται από τον κατασκευαστή και η εκτίμησή της βασίζεται συνήθως σε εμπειρικές μετρήσεις πεδίου. Για το λόγο αυτό, υφίστανται αβεβαιότητες σχετικά με τη μέτρηση της ταχύτητας και την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στην πτερωτή. Γενικά, ο βαθμός απόδοσης μιας Α/Γ κυμαίνεται στο 35% της αναμενόμενης θεωρητικής ισχύος της.

Τα βασικά μέρη, από τα οποία αποτελείται μία Α/Γ, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4 και είναι τα εξής:

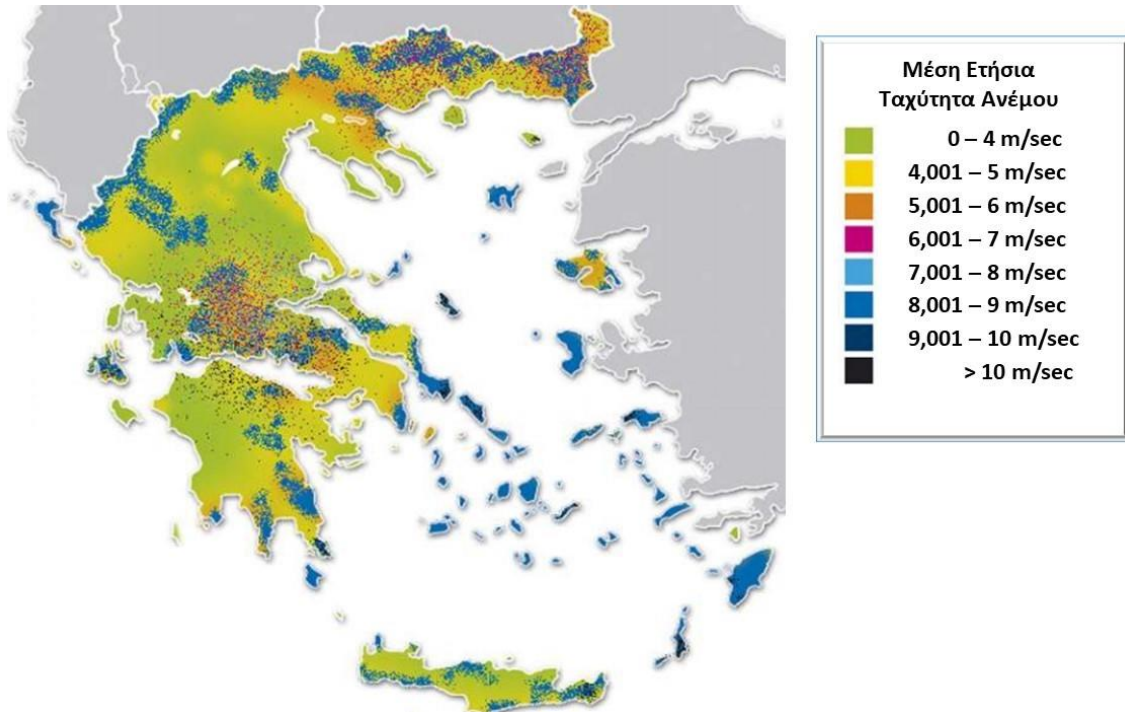
1. Ο πύργος στήριξης, πάνω στον οποίο τοποθετείται η άτρακτος και ο ρότορας. Είναι κυλινδρικής μορφής και συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα.
2. Ο θάλαμος ή αλλιώς η άτρακτος, που περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα που είναι ο κύριος άξονας, το σύστημα πέδησης (δισκόφρενο), το κιβώτιο ταχυτήτων, η ηλεκτρογεννήτρια και η διάταξη προσανατολισμού.
3. Τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ασφαλούς λειτουργίας, που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της Α/Γ σε όλες τις συνθήκες.
4. Τα πτερύγια.



Σχήμα 2.4: Τομή Α/Γ οριζόντιου άξονα (Πηγή: ΚΑΠΕ, 2015)

Οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν, κυρίως στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές, προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας της Ελλάδας

(Σχήμα 2.5). Ειδικότερα, λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού της νησιωτικής Ελλάδας, μπορεί να δώσει λύσεις στις απομακρυσμένες περιοχές και στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.



Σχήμα 2.5: Αιολικό δυναμικό της (Ελλάδας Πηγή: ΚΑΠΕ, 2013)

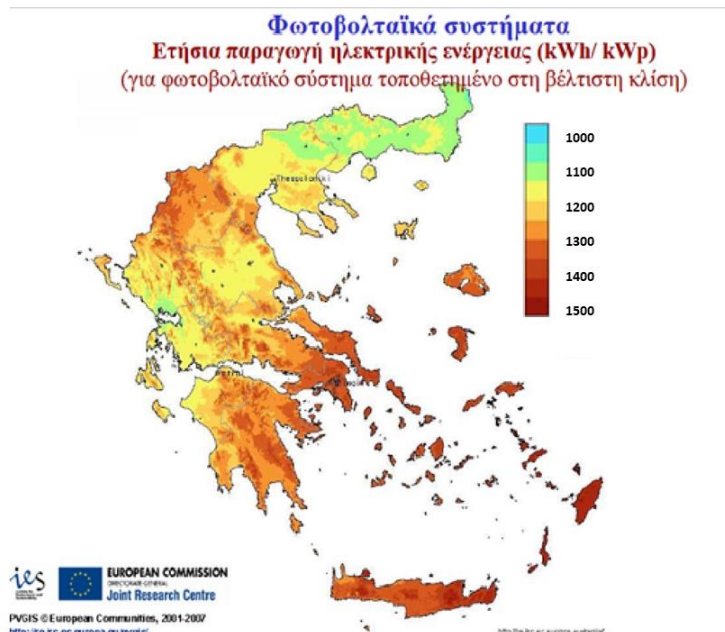
Ηλιακή ενέργεια - Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ο ήλιος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να μετατραπεί, είτε άμεσα, είτε έμμεσα, σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα εκμεταλλεύονται απευθείας την ηλιακή ενέργεια, μετατρέποντάς τη σε ηλεκτρική χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων, που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά, όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα φυσικά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών, καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις. Η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων μεταφράζεται ως δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δημιουργούμενων πόλων, δηλαδή μια υποτυπώδη ηλεκτρική γεννήτρια.

Οι πρώτες εφαρμογές των Φ/Β συστημάτων αναπτύχθηκαν μόλις τη δεκαετία του '50, με σκοπό την ηλεκτροδότηση των δορυφόρων. Το υψηλό τους κόστος, όμως, εμπόδισε την περαιτέρω διάδοσή τους την εποχή εκείνη. Στις αρχές της δεκαετίας του 70, μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, έγινε ιδιαίτερα αισθητή παγκοσμίως η ανάγκη απεξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Υπήρξαν τότε τα κίνητρα για

την ανάπτυξη της Φ/Β βιομηχανίας και, έτσι, άρχισε δειλά η μαζική παραγωγή Φ/Β στοιχείων για ευρύτερη καταναλωτική χρήση.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι ότι έχουν μηδενικό κόστος λειτουργίας, διότι δεν καταναλώνουν πρώτη ύλη, μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, δεν παράγουν υποπροϊόντα και δε μολύνουν το περιβάλλον, δεν προκαλούν ηχορύπανση, αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη. επίσης, μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας, όπως ένα αιολικό πάρκο, σε ΥΣ και επεκτείνονται εύκολα και ανά πάσα στιγμή, για να καλύψουν κάποια αύξηση των αναγκών σε ενέργεια των χρηστών. Στον αντίποδα, το κόστος εγκατάστασής τους είναι αρκετά υψηλό και παρουσιάζουν σχετικά μικρή απόδοση, 13 έως 20%. Πάραυτα, μέσω επιχειρησιακών προγραμμάτων ανάπτυξης για τη διείσδυση και προώθηση των ΑΠΕ, η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων έχει αυξηθεί παγκοσμίως (Ρίππη, 2013). Ιδιαίτερα σε χώρες πλούσιες σε ηλιακή ακτινοβολία, όπως η Ελλάδα, μπορούν να αποτελέσουν βασικό πυλώνα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Σχήμα 2.6, παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για Φ/Β, τοποθετημένα με τη βέλτιστη κλίση για τον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 2.6: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για Φ/Β τοποθετημένα στη βέλτιστη κλίση (Πηγή: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis/>)

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Το νερό όταν βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο έχει δυναμική ενέργεια, η οποία αποταμιεύεται με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού και μετατρέπεται σε κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η εκμετάλλευση της ενέργειας που παράγεται από

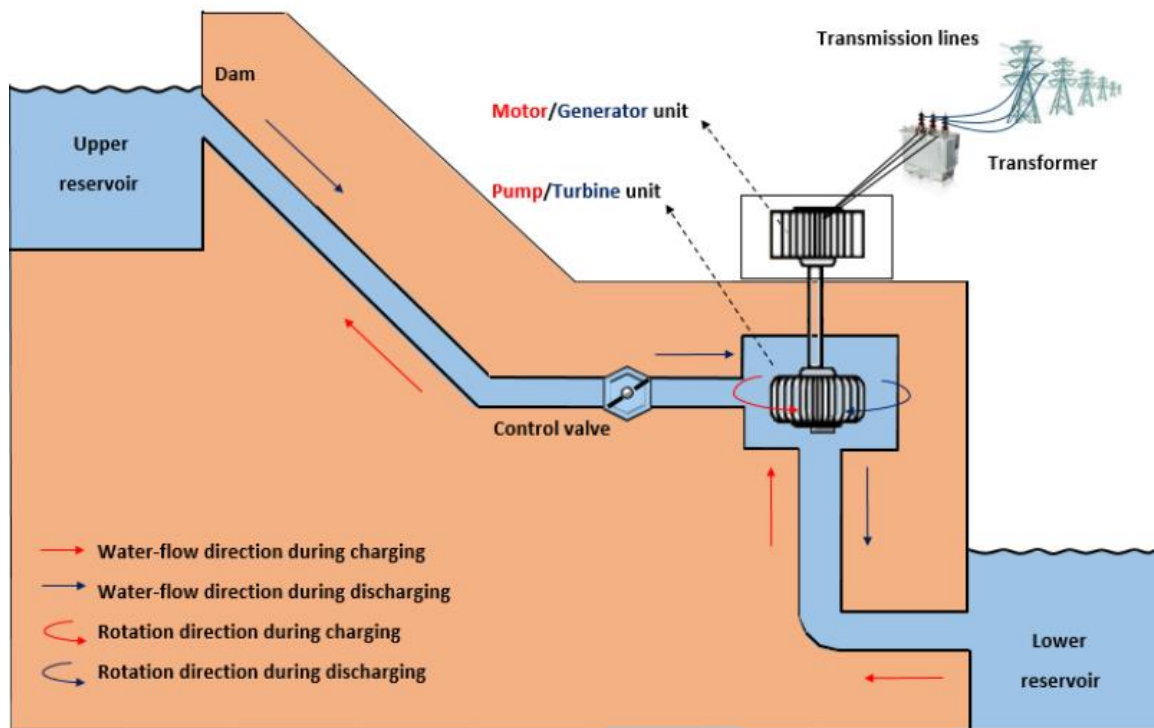
τον κύκλο του νερού γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδροστρόβιλοι, φράγματα, υδατοταμιευτήρες, ηλεκτρογεννήτριες, διώρυγες φυγής, κλειστοί αγωγοί πτώσεως). Η υδραυλική ενέργεια ονομάζεται και εν μέρει υδροηλεκτρική. Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων, με τη χρήση υδραυλικών τουρμπινών (μηχανική ενέργεια), παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Με την εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Από την αρχαιότητα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, προερχόμενη από πολλά είδη νερόμυλων, έχει χρησιμοποιηθεί για άρδευση και λειτουργία διάφορων μηχανικών συσκευών, όπως για παράδειγμα στα ελαιοτριβεία, στα πριονιστήρια, στους κλωστοϋφαντουργικούς μύλους, στους γερανούς αποβάθρων και στους οικιακούς ανελκυστήρες.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια πολύ σημαντική πηγή ηλεκτρισμού, με ικανότητα παραγωγής κοντά στο 1TW, που αποτελεί το 16,5% (3400TWh) της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς. Σε περισσότερες από είκοσι χώρες, η υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει περισσότερο από το 90% της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες από τις νέες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις βρίσκονται στην Ασία (κυρίως στην Κίνα) και στη Λατινική Αμερική (κυρίως στη Βραζιλία). Η Κίνα έχει μακράν τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ (210GW) και στοχεύει σε νέα έργα. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγει περίπου το 8% του ηλεκτρισμού των ΗΠΑ το οποίο, αν και ακούγεται κάπως μέτριο, εξακολουθεί να είναι σημαντικά περισσότερο από όσο παρέχουν σε συνδυασμό οι άλλες ΑΠΕ, κάτι που αποδεικνύει τη χρησιμότητα της συγκεκριμένης πηγής ενέργειας. Στις ΗΠΑ και τις άλλες χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), όπου έχουν ήδη αναπτυχθεί οι καλύτερες τοποθεσίες, η εστίαση έχει μετατοπιστεί από την ανάπτυξη νέων περιοχών στη βελτίωση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, προσθέτοντας δυνατότητες παραγωγής σε υφιστάμενα φράγματα, όπου δεν έχουν γίνει ακόμα εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια εδραιωμένη ώριμη τεχνολογία, αλλά υπάρχει ακόμα ενδιαφέρον στην ανάπτυξη φθηνότερων και καλύτερων τεχνολογιών για εφαρμογές μικρής ισχύος και χαμηλού ύψους πτώσης.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ένα σαφές πλεονέκτημα ,ως προς τις περισσότερες άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ: πρόκειται για μια πολύ πιο ευέλικτη πηγή ενέργειας. Μπορεί να παρέχει ενέργεια φορτίου βάσης, ενέργεια αιχμής, στρεφόμενη εφεδρεία και αποθήκευση ενέργειας. Μπορεί να καλύπτει λεπτό προς λεπτό διακυμάνσεις του φορτίου, γρηγορότερα και με μεγαλύτερο εύρος και ευελιξία, από ότι τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Όσον αφορά στην αποθήκευση, είναι ένα ιδανικό συμπλήρωμα για τις μεταβλητές και απρόβλεπτες ΑΠΕ.

Οι κυριότερες συνιστώσες ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι το φράγμα ή η δεξαμενή νερού που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την αύξηση του ύψους πτώσης του νερού, η περιοχή υδροληψίας, στην οποία απομακρύνονται τα ογκώδη απορρίμματα με τη βοήθεια εσχάρων και επιτυγχάνεται η ομαλή είσοδος του νερού, ο αγωγός πτώσης που οδηγεί το νερό στους υδροστροβίλους, ο υδροηλεκτρικός σταθμός με όλο τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος, ο αγωγός φυγής, που οδηγεί το εξερχόμενο νερό από τους υδροστροβίλους πίσω στο φυσικό περιβάλλον (Μυσίρης, 2015).



Σχήμα 2.7: Κύρια χαρακτηριστικά των Υδροηλεκτρικών Έργων (Πηγή: Ν. Μαμάσης, και Α. Ευστρατιάδης, 2018)

Ο κυριότερος μηχανολογικός εξοπλισμός των υδραυλικών έργων είναι οι υδροστροβίλοι και οι αντλίες. Ο υδροστροβίλος απορροφά την υδραυλική ενέργεια του νερού, προκειμένου να τη μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια κατά την περιστροφική του κίνηση και στη συνέχεια μέσω γεννητριών να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Αντίθετα, η αντλία προσδίδει μηχανική ενέργεια στη ροή του νερού, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ανοδική του πορεία και τελικά η άντλησή του (Στάμου, 2009).

Η ισχύς I (kW) που απαιτεί μια αντλία ή αποδίδει ένας υδροστροβίλος υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$I = g * Q * H_{man} * n_t \quad (2.1) \text{ για υδροστροβίλο και}$$

$$I = (g * Q * H_{man}) / n_p \quad (2.2) \text{ για αντλία,}$$

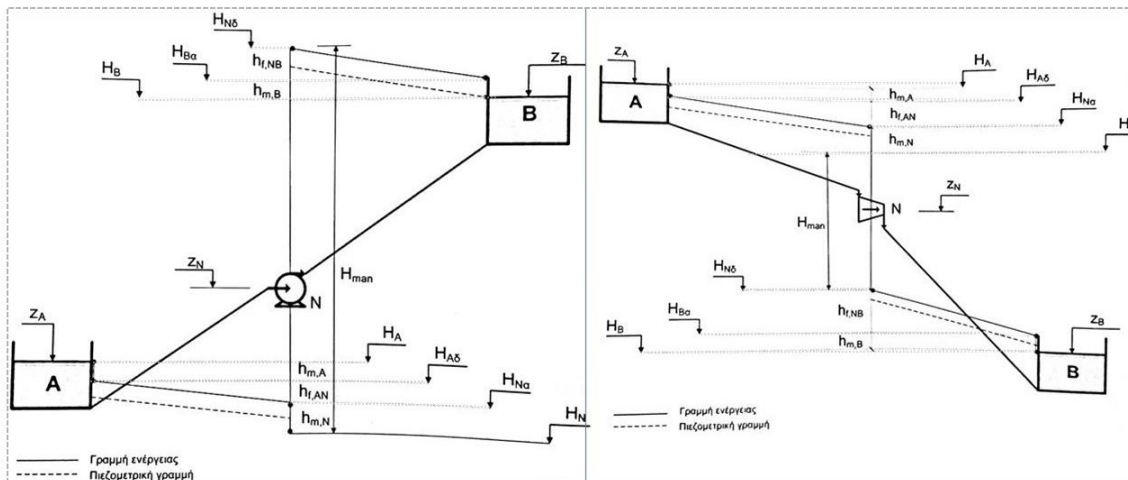
όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$, Q η παροχή στον αγωγό πτώσης (m^3/s), H_{man} το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστροβίλου (m) και n_t , n_p οι συντελεστές βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου που λαμβάνεται ίσος με 0,90 και της αντλίας με 0,8 αντίστοιχα.

Η εξίσωση ενέργειας, για τον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους, γράφεται ως εξής:

$$H_A + H_{man} = H_B + \sum h_f(A - B) + \sum h_m(A - B) \quad (2.3) \text{ για αντλία και}$$

$$H_A = H_{man} + H_B + \sum h_f(A - B) + \sum h_m(A - B) \quad (2.4) \text{ για υδροστρόβιλο,}$$

όπου H_{man} το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστροβίλου αντίστοιχα, H_A η στάθμη στη δεξαμενή A, H_B η στάθμη στη δεξαμενή B, $\sum h_f(A - B)$ το άθροισμα των γραμμικών απωλειών των σωλήνων και $\sum h_m(A - B)$ το άθροισμα των τοπικών απωλειών.



Σχήμα 2.8: Αριστερά η λειτουργία ενός υδροστρόβιλου και δεξιά μιας αντλίας (Πηγή: Στάμου, 2009)

Οι τοπικές απώλειες υπολογίζονται ως ένα ποσοστό των γραμμικών απωλειών. Για την εκτίμηση των γραμμικών απωλειών (m) χρησιμοποιείται η εξίσωση Darcy – Weisbach

$$h_f = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2} * g\right) \quad (2.5)$$

όπου ο f συντελεστής τριβών Darcy που λαμβάνεται ίσος με 0.012, L το μήκος του αγωγού (m), D η διάμετρος του αγωγού (m), g η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$ και V η ταχύτητα του νερού στον αγωγό η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$V = Q_D / \pi * r^2 \quad (2.6)$$

Όπου Q_D η παροχή σχεδιασμού του αγωγού (m^3/s) και r η ακτίνα του αγωγού (m).

2.4 Υβριδικά Συστήματα σε εφαρμογή

Νησί Utsira

Το πρώτο παγκοσμίως υβριδικό σύστημα αιολικής ισχύος και υδρογόνου πλήρους κλίμακας κατασκευάστηκε, κατά τη διάρκεια των ετών 2003 και 2004, στο νησί Utsira. Το νησί αυτό βρίσκεται 20 km από τις δυτικές ακτές της Νορβηγίας, έχει έκταση 6.2km² με πληθυσμό 235 κάτοικους. Η ετήσια ζήτηση ενέργειας φτάνει περίπου τις 3,5GWh, με αιχμή 900kW. Η επιλογή του νησιού έγινε λόγω του υψηλού αιολικού του δυναμικού (η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 10m/s) και της διασύνδεσης με την ενδοχώρα μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου 1MW, στοιχείο που εξασφαλίζει εφεδρεία. Η λειτουργία του επιτυγχάνεται ως εξής: η παραγόμενη αιολική ενέργεια παρέχεται απευθείας στο δίκτυο για την κάλυψη του φορτίου. Η περίσσεια αιολικής ισχύος χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου, με τη βοήθεια ηλεκτρολύτη το οποίο και αποθηκεύεται. Όταν η αιολική παραγωγή δε μπορεί να καλύψει τη ζήτηση το υδρογόνο, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρήση μίας γεννήτριας καύσης υδρογόνου, καθώς και μίας κυψέλης καυσίμου. Επίσης, χρησιμοποιούνται μπαταρίες και ένας σφόνδυλος ως επιπλέον μέσα αποθήκευσης. Μέχρι το έτος 2008, στο έργο επίδειξης του νησιού, συμμετείχαν δέκα κατοικίες με συνολική αιχμή περίπου 50kW και ετήσια κατανάλωση ενέργειας περίπου 200 MWh/έτος. Το ΥΣ σχεδιάστηκε για να μπορεί να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες αυτών των κατοικιών, ενώ η περίσσεια ενέργειας που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί, ούτε από το σύστημα αποθήκευσης, πωλείται στην αγορά. Τα πιο σημαντικά επιτεύγματα κατά το πρώτο έτος της λειτουργίας ήταν:

- Πάνω από έξι μήνες σε αυτόνομη λειτουργία
- Διαθεσιμότητα κοντά στο 100%
- Πολύ καλή λειτουργικότητα.
- Πολύ καλή ποιότητα ισχύος, ευχαριστημένοι οι κάτοικοι της κοινότητας.
- Συνεισφορά στις τοπικές δραστηριότητες και στον τουρισμό.

Η μεγαλύτερη καινοτομία αυτού του έργου είναι ο τρόπος που όλα τα επιμέρους στοιχεία του συνεργάζονται μεταξύ τους, εξασφαλίζοντας εύρυθμη λειτουργία. (Γεωργαντέας, 2011).

Νησί Κύθνος

Από τα πρώτα υβριδικά μοντέλα Α/Γ Ντηζελογεννήτριες μπαταρίες που δημιουργήθηκαν στην Ελλάδα ήταν στο νησί της Κύθνου, ένα νησί με υψηλό κόστους παραγωγή ενέργειας από ντηζελογεννήτριες και ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό. Πρόκειται για ένα σύστημα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1,7MW. Οι ντηζελογεννήτριες ποικίλουν από 100-550kW. Υπάρχουν 5 Α/Γ από 20kW έκαστη (σύνολο 100kW). Τα επίπεδα της μπαταρίας κυμαίνονται από 600-2,400kWh. Η λειτουργία του επιτυγχάνεται ως εξής : Αν η ζήτηση ενέργειας είναι μικρότερη από την παραγόμενη ενέργεια από τις Α/Γ, το πλεόνασμα της ενέργειας μαζί με αυτήν που παράγεται από τα Φ/Β αποθηκεύεται σε

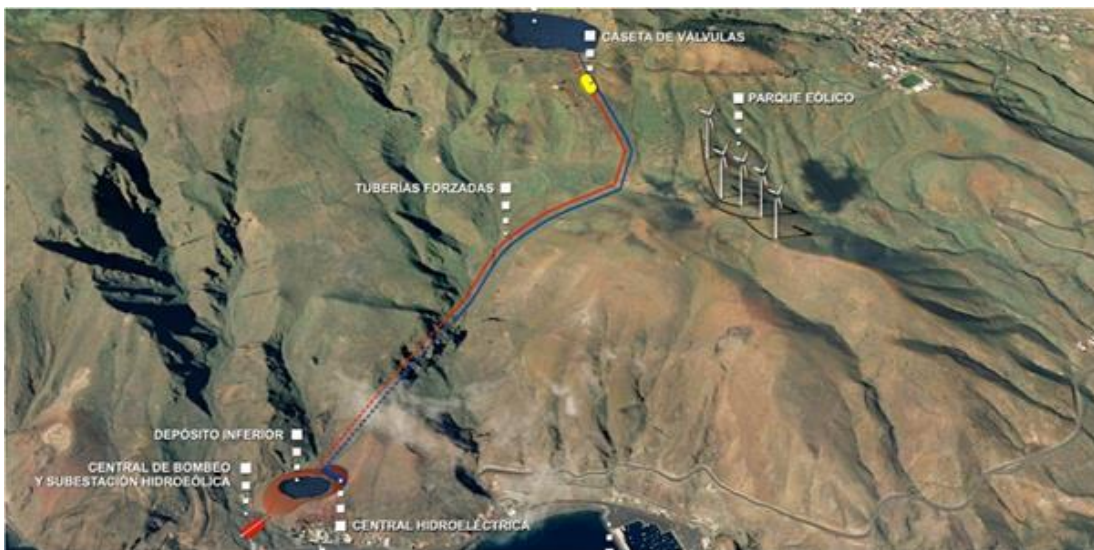
μπαταρίες. Εάν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφερόμενη ενέργεια των Α/Γ, τότε εκείνη που υπολείπεται καλύπτεται από τα Φ/Β. Αν, παρ' όλα αυτά η ζήτηση συνεχίζει να μην καλύπτεται, τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι μπαταρίες, αφού βέβαια είναι επαρκώς φορτισμένες. Στην περίπτωση που τίποτα από τα παραπάνω δεν επαρκεί για να καλυφθεί το απαιτούμενο φορτίο, η ενέργεια που χρειάζεται προσφέρεται από τις ντιζελογεννήτριες (Μυσίρης, 2015).

Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας

Αξιόλογο επίσης είναι και το ΥΣ, με το οποίο καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες η Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας στο Άγιο Όρος. Το σύστημα αυτό συνδυάζει τη λειτουργία ενός ΜΥΗΣ Φ/Β και ντιζελογεννητριών. Σε περίπτωση περισσειας ενέργειας, η πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια, που απορροφάται από τα Φ/Β, ή ακόμα και η περίσσεια υδροηλεκτρικής αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Η αποθηκευμένη στις μπαταρίες ενέργεια αξιοποιείται τις ώρες που παρουσιάζεται έλλειμμα στην κάλυψη της ζήτησης. Εάν η προσφερόμενη υδροηλεκτρική και ηλιακή ενέργεια και η διαθέσιμη ενέργεια από τις μπαταρίες δεν είναι αρκετές για την κάλυψη της ζήτησης, τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι ντιζελογεννήτριες. Σημαντικό, ωστόσο είναι το γεγονός ότι με το συνδυασμό των πηγών αυτών, επιτεύχθηκε η ανεξαρτητοποίηση της Μονής από τις συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε βαθμό 85-90% για όλο το έτος (Μαμάσης, 2012).

El Hierro

Το El Hierro είναι το μικρότερο από τα Κανάρια νησιά στα Νοτιοδυτικά με πληθυσμό 10.500 κατοίκους και συνολική έκταση 278km². Η ετήσια ζήτηση ενέργειας φτάνει περίπου τις 48GWh, με αιχμή 7,5MW. Το έργο αποτελείται από 5 Α/Γ συνολικής παραγωγής 11,5 MW, καθώς και ένα ΥΗΕ αντλησιοταμίευσης, που αποθηκεύει την περίσσεια αιολικής ενέργειας. Γίνεται άντληση νερού σε ύψος 700m, γεμίζοντας τον κρατήρα ενός μη ενεργού ηφαιστείου, σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών από το αιολικό πάρκο, το νερό απελευθερώνεται από τον κρατήρα παράγοντας έως και 11,3MW υδροηλεκτρικής ενέργειας και γεμίζοντας κατά την απόθεσή του την τεχνητή δεξαμενή που έχει κατασκευαστεί στον πόδα του ηφαιστείου. Ακολούθως, το νερό αντλείται από τη κάτω ξανά στην πάνω δεξαμενή.



Σχήμα 2.9: Αναπαράσταση του υβριδικού υδροηλεκτρικού συστήματος στο νησί El Hierro (Πηγή: Σαρρής, 2018)

Υβριδικό Σύστημα Ικαρίας

Το υβριδικό έργο της Ικαρίας βρίσκεται στον πρώην δήμο Ραχών και ο σχεδιασμός του περιλαμβάνει:

1. Το Αιολικό Πάρκο (Α/Π) στην περιοχή του λόφου Στραβοκουντούρα, με τρεις ανεμογεννήτριες των 900 kW η καθεμία.
2. Το Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) Προεσπέρας, με έναν υδροστρόβιλο ισχύος 1,05MW, ο οποίος αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα του Φράγματος στο Πέζι (αφού πρώτα καλυφθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή και άρδευση).
3. Το ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, με δύο υδροστρόβιλους ισχύος 3,1MW συνολικά, που αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα όσο και τα νερά που προέρχονται από αντλιοσταμείωση (υβριδική ενέργεια).
4. Δύο δεξαμενές νερού χωρητικότητας 80000m³ έκαστη στις περιοχές Προεσπέρας και Κάτω Προεσπέρας, που θα εξυπηρετούν τις ανάγκες της αντλιοσταμείωσης για την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας και έναν ταμιευτήρα νερού συνολικού όγκου περίπου 910000m³ στο Πέζι.
5. Το αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας, με 12 αντλίες ονομαστικής ισχύος 250kW έκαστη, εκ των οποίων οι 4 είναι μεταβλητών στροφών.

Ο ΜΥΗΣ Προεσπέρας παράγει ενέργεια από την υπερχείλιση του παλαιού φράγματος στο Πέζι. Λειτουργεί μόνο κατά τη μη αρδευτική περίοδο (Οκτώβριος-Απρίλιος). Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το νερό κυκλοφορεί μεταξύ της άνω και της κάτω δεξαμενής,

μέσω 12 αντλιών και 2 αγωγών (προσαγωγού και καταθλιπτικού), και παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια από το ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, που διοχετεύεται στο δίκτυο του νησιού. Η βασική παραγωγή υβριδικής ενέργειας του έργου προκύπτει από το γεγονός ότι για τη λειτουργία του αντλιοστασίου αξιοποιείται η αιολική ενέργεια, που παράγεται από το αιολικό πάρκο στη Στραβοκουντούρα. Η ενεργειακή τροφοδότηση του αντλιοστασίου συνιστά αποθήκευση ενέργειας (μπαταρία), διότι η αιολική ενέργεια του αιολικού πάρκου δεν απορροφάται από το έργο, αλλά, «αποθηκευόμενη» στο νερό που μεταφέρεται από την κάτω στην άνω δεξαμενή, αποδίδεται τελικά στο ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού μέσω του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, με τη μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το ΥΣ εγκαινιάστηκε το 2019 και υπολογίζεται ότι θα παράγει συνολική καθαρή ενέργεια της τάξεως των 9,8GWh/έτος, καλύπτοντας μεγάλο μέρος των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του νησιού, κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες.



Σχήμα 2.10: Εσωτερική διαμόρφωση του ΥΒΕ και λοιπές μονάδες παραγωγής συστήματος της Ικαρίας 2013 (Πηγή: ΔΕΗ Ανανεώσιμες)

3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

3.1 Αφαλάτωση – Ιστορικά Στοιχεία

Αφαλάτωση ονομάζεται η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια/λίμνες και υπεραλατούχα διαλύματα. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό. Η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας, σε πολλές περιοχές της Γης. Το 97,5% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα, αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα, σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη (Μουτάφης, 2008).

Ιστορικά η ιδέα της αφαλάτωσης ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα, με την εξάτμιση του θαλασσινού νερού που την περιγράφει και ο Αριστοτέλης. Επίσης, περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία από Άραβα συγγραφέα του 8ου μ.Χ. αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Τον 18ο αιώνα, με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας, η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος, στη χρήση των ατμομηχανών, κατέστησε επιτακτική ανάγκη την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, ώστε να μη προκαλείται ταχύτατη διάβρωση των μηχανών. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Η σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης φάνηκε από το γεγονός ότι τον ίδιο αμέσως χρόνο οι Άγγλοι εγκατέστησαν τη πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930.

Από το 1970 άρχισαν να τίθενται σε λειτουργία μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στις ΗΠΑ, στη Ρωσία, στο Μεξικό, στη Μέση Ανατολή, σε παράλιες χώρες όπως είναι η Σαουδική Αραβία (24% της παγκόσμιας χρήσης), το Κουβέιτ, η Αίγυπτος, αλλά και το Ισραήλ. Στο δυτικό κόσμο, ο μεγαλύτερος χρήστης της μεθόδου είναι η Ισπανία, όπου ξεκίνησε μαζική χρήση αφαλάτωσης στα Κανάρια Νησιά. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης της Ευρώπης βρίσκεται σήμερα στο Καρμπονέρας της Νότιας Ισπανίας (Μουτάφης, 2008).

Σήμερα, λειτουργούν 13600 μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως. Το 11% αυτών των μονάδων εγκαταστάθηκαν τα τελευταία χρόνια (πριν το 2000). Το 38% αυτών βρίσκονται στον Περσικό Κόλπο και το 17% στις ΗΠΑ.

3.2 Μέθοδοι Αφαλάτωσης

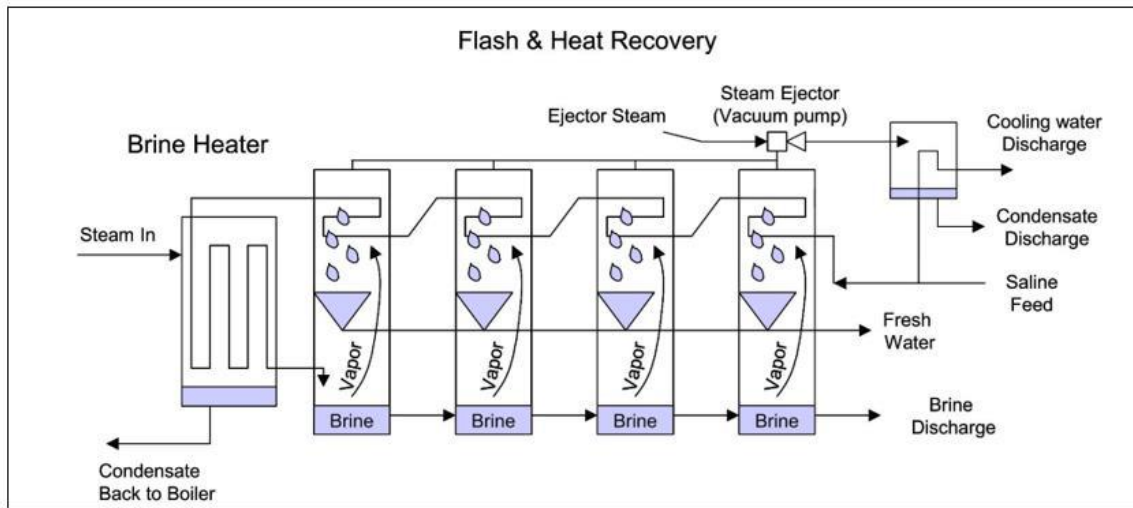
Οι διεργασίες της αφαλάτωσης μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά στις διεργασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης (θερμικές διεργασίες). Αυτές είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση. Στην απόσταξη το νερό αλλάζει τουλάχιστον δυο φορές φάση, καθώς περνάει από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, μέχρις ότου να συμπυκνωθεί και πάλι σε υγρή μορφή. Οι κύριες μέθοδοι αφαλάτωσης με βάση την απόσταξη είναι η απόσταξη πολλαπλής φάσης (Multiple Stage Flashing, MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), η εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC), η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation) και η κρυστάλλωση η οποία όμως δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Η δεύτερη κατηγορία αφορά σε διεργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται σε μια μόνο φάση, δηλαδή την υγρή. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για την απομάκρυνση των αλάτων.

Από τις παραπάνω μεθόδους, η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η αντίστροφη ώσμωση (ΑΩ-RO), λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ειδικής ενέργειας, της καταλληλότητας αυτών των συστημάτων για σύνδεση με Φ/Β ή Α/Γ και της υψηλής παραγωγικότητας ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης. Η μέθοδος αυτή είναι που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πόσιμου νερού, αξιοποιώντας την παραγόμενη ενέργεια από το ΥΒΕ, στα πλαίσια της εργασίας.

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Πολυβάθμια εκτόνωση (MSF)

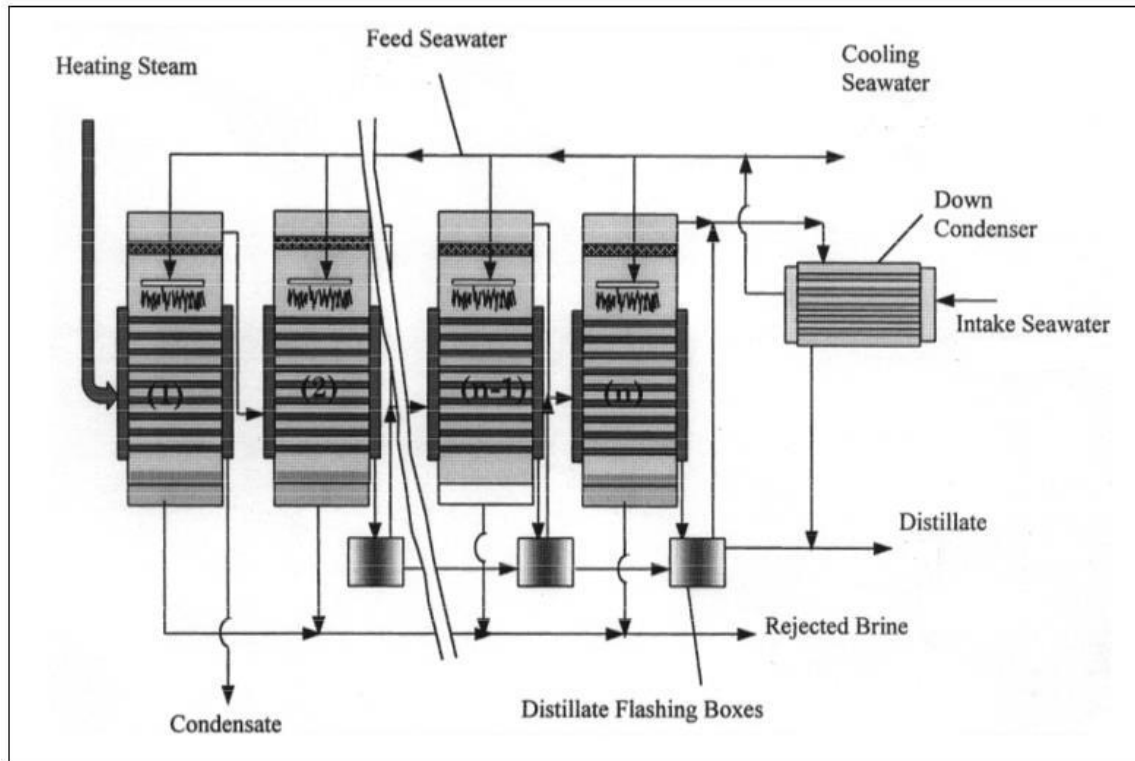
Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη του σημείου ζέσεως και κατόπιν εισάγεται στον πρώτο θάλαμο με πίεση χαμηλότερη από αυτή του κορεσμού και κατά συνέπεια ατμοποιείται. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες μεταφοράς κρύου θαλασσινού νερού και έτσι υγροποιείται. Κατά συνέπεια, στη συνέχεια συλλέγεται ως καθαρό νερό. Η παραμένουσα άλμη προωθείται σε επόμενους θαλάμους, όπου η διεργασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, με την πίεση διαρκώς να μειώνεται και στο τέλος απορρίπτεται. Τονίζεται πως η πίεση μειώνεται συνεχώς, έτσι ώστε να αντιστοιχίζεται με την αντίστοιχη πτώση της πίεσης της άλμης. Συχνά, οι εγκαταστάσεις τέτοιου τύπου βρίσκονται δίπλα σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας για καλύτερη ενεργειακή αξιοποίηση, ώστε ο ατμός υψηλής πίεσης να κινεί τον ατμοστρόβιλο για παραγωγή ισχύος και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Ως βαθμός απόδοσης των θερμικών μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να οριστεί το πηλίκο της μάζας του παραγόμενου γλυκού νερού προς τη μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε. Μια μέση τιμή του βαθμού απόδοσης τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι περίπου 8, ενώ μια μονάδα των 20 βαθμίδων απαιτεί περίπου 290 kJ/kg προϊόντος. (James E. Miller,2003)



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας (Πηγή: James E et al.,2003)

Πολυβάθμια εξάτμιση (MED)

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με αυτή της πολυβάθμιας εκτόνωσης. Μάλιστα, αποτελεί μια μέθοδο που αναπτύχθηκε αρκετά νωρίς, με πολλές εγκαταστάσεις να υπάρχουν ήδη από τη δεκαετία του 50'. Αντικαταστάθηκε από την εκτόνωση, καθώς παρουσίαζε τεχνικά προβλήματα. Έτσι, παρέμεινε ελάχιστα διαδεδομένη. Σήμερα, ωστόσο ανακτά το χαμένο έδαφος, καθώς παρατηρεί καλύτερη θερμική απόδοση. Μάλιστα, χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια στις βιομηχανίες παραγωγής ζάχαρης και επιτραπέζιου αλατιού. Στην προκειμένη περίπτωση, ο ατμός διέρχεται μέσα από σωλήνες, ενώ ταυτόχρονα το ψυχρό θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους, ώστε να δημιουργηθεί φιλμ και να εξασφαλιστεί αποδοτικότερη εξάτμιση. Κατά συνέπεια, ένα μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενώ το υπόλοιπο μέρος του ατμού, μαζί με τμήμα του θαλασσινού νερού που ατμοποιήθηκε συνεχίζουν την ίδια διεργασία στον επόμενο θάλαμο. Σε κάθε θάλαμο, περιλαμβάνεται αντλία κενού για την υποβοήθηση της εξάτμισης, ενώ πάλι η πίεση σταδιακά μειώνεται από τον έναν θάλαμο στον άλλο, παραμένοντας ίση με την πίεση κορεσμού της αντίστοιχης θερμοκρασίας. Με τον τρόπο αυτό, επιτρέπεται η λειτουργία είτε σε υψηλή είτε σε χαμηλή θερμοκρασία, μεγαλύτερη ή μικρότερη των 90°C αντίστοιχα, ενώ ταυτόχρονα η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 55°C, γεγονός που συντελεί στην αποφυγή της διάβρωσης και επιτρέπει τη χρήση χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενης θερμότητας σε σύγκριση με άλλες θερμικές διεργασίες. Τέλος, στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται συχνά και μηχανικοί ή θερμικοί συμπιεστές, ενώ ανάλογα με τη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη (ομόρρονη, αντίρρονη ή παράλληλη) προκύπτουν παραλλαγές οριζόντιας ή κάθετης διάταξης (Miller 2003).

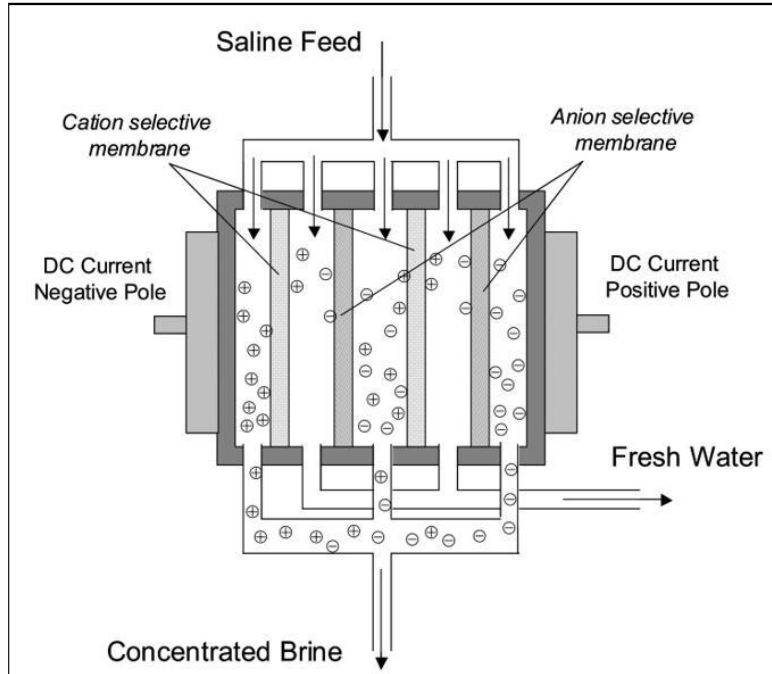


Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης (Πηγή: James E et al.,2003)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Ηλεκτροδιάλυση (ED)

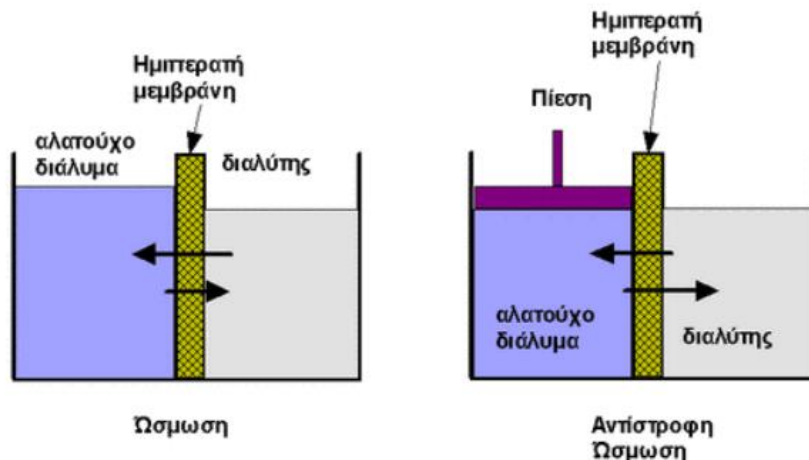
Κατά τη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιείται ο ηλεκτρισμός ως το μέσο καθαρισμού του νερού. Το νερό τροφοδοσιάζει διαπερνά φορτισμένες μεμβράνες, που έχουν η καθεμία θετικό και αρνητικό πρόσημο εναλλάξ. Κατά συνέπεια, τα διαλυμένα ιόντα, προσκολλώνται στις μεμβράνες, που με τη σειρά τους επιτρέπουν τη διέλευση μονάχα του καθαρού νερού και της άλμης σε δύο διαφορετικά τμήματα. Για τον καθαρισμό και την αποδοτικότερη λειτουργία των μεμβρανών, τα πεδία αντιστρέφονται, και έτσι αντιστρέφονται και τα δύο τμήματα συλλογής της άλμης και του καθαρού νερού. Το αποτέλεσμα είναι τα τμήματα των μεμβρανών, στα οποία είχαν συσσωρευτεί άλατα, να καθαρίζονται από το ρέον καθαρό νερό. Τέλος, πραγματοποιείται επεξεργασία του νερού, ώστε να ρυθμιστούν τόσο η σκληρότητα όσο και το pH του (Miller 2003). Καθώς με τη μέθοδο αυτή δεν απομακρύνονται τυχόν μη ιοντικά στερεά, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται ανάλογα με τη συγκέντρωση. Για το λόγο αυτό, η μέθοδος αυτή υιοθετείται σε περιπτώσεις νερών χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως είναι δηλαδή τα υφάλμυρα.



Σχήμα 3.3: Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης (Πηγή: James E et al., 2003)

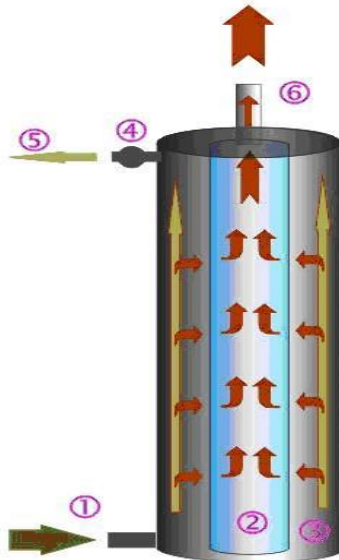
Αντιστροφή ώσμωση (RO)

Η ΑΩ είναι μία διαδικασία αφαλάτωσης με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος, που συνήθως είναι το νερό, μεταφέρεται μέσω κατάλληλης μεμβράνης και διαχωρίζεται από τα άλλα συστατικά του διαλύματος, με την άσκηση εξωτερικής πίεσης. Οι ημιπερατές μεμβράνες επιτρέπουν τη διόδου του νερού, αλλά όχι των αλάτων. Η μέθοδος αυτή είναι το αντίστροφο φαινόμενο από το φαινόμενο της ώσμωσης, το οποίο απαντάται πολύ συχνά στη φύση και στις λειτουργίες των κυττάρων, όπως π.χ. του δέρματος, των νεφρών κλπ. Οι βασικές αρχές της ΑΩ φαίνονται παραστατικά στο Σχήμα 3.4. Με άλλα λόγια, είναι μια διαδικασία που εξαναγκάζει το διαλύτη που βρίσκεται σε μια περιοχή υψηλής συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας να περάσει, μέσα από μια μεμβράνη, σε μια περιοχή όπου η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας είναι πολύ πιο χαμηλή, ασκώντας μια πίεση η οποία είναι πιο μεγάλη από την ωσμωτική πίεση.



Σχήμα 3.4: Το φαινόμενο της ώσμωσης (Πηγή: Καραχάλιου, 2010)

Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσκευής είναι αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 3.5. Το προς καθαρισμό νερό εισέρχεται από την είσοδο (1) στη συσκευή και καταλαμβάνει το χώρο (3). Υπάρχουν δυο διέοδοι: η (5) και η (6). Ο χώρος (3) βρίσκεται υπό πίεση και το νερό εξαναγκάζεται κατά ποσοστό 25% περίπου να διέλθει μέσα από τη μεμβράνη (2), οπότε και καθαρίζεται και εξέρχεται από την (6) ως προϊόν, είτε μόλις η πίεση ξεπεράσει το όριο της βαλβίδας (4) να βγει από την έξοδο (5), σε ποσοστό 75% περίπου, παρασύροντας μαζί του και τις ακαθαρσίες στην επιφάνεια της μεμβράνης, όπου και απορρίπτεται. (Μουτάφης, 2008)



Σχήμα 3.5: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης (Πηγή: Μουτάφης, 2008).

Τα βασικά στάδια επεξεργασίας μια μονάδας αφαλάτωσης είναι το στάδιο προ επεξεργασίας, το στάδιο αντίστροφης ώσμωσης και το τελικό στάδιο επεξεργασίας.

Στάδιο Προεπεξεργασίας

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του θαλάσσιου νερού είναι πολύ σημαντικό για την, όσον δυνατόν, καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών στα συστήματα ΑΩ. Για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες, οι μικροοργανισμοί πρέπει να καταστραφούν και τα αιωρούμενα στερεά να αφαιρεθούν. Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου (με τοποθέτηση σχάρας στην αναρρόφηση για να μην εισέλθουν ψάρια, φύκια και πλαστικά)
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού (με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου)
- Προσθήκη οξέος (συνήθως θειικό οξύ για τη ρύθμιση της οξύτητας και την αποφυγή απόθεσης αλάτων)
- Συσσωμάτωση των κολλοειδών/οργανικών ουσιών (με προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη)
- Φίλτρο άμμου (περιλαμβάνει άμμο, χαλίκια και ανθρακίτη για την κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων) 40
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου (για κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες)
- Αποχλωρίωση (με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου)
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία

Στάδιο Αντίστροφης Ώσμωσης

Στο στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την πίεση που απαιτείται, ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες και να απορρίψει τα άλατά του. Αυτή η πίεση είναι μεταξύ 5,47 και 8,11MPa. Ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, ενώ στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Συγχρόνως, ένα μέρος του νερού που τροφοδοτείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Χωρίς αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη, η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα αυξανόταν, με επακόλουθο την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και αύξηση της ωσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών. Η ποσότητα του νερού αυτού είναι μεταξύ 20% και 70% της ροής τροφοδοσίας και έχει άμεση εξάρτηση από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας.

Τελικό Στάδιο Επεξεργασίας

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας, γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και προετοιμασία του, για τη διανομή του ως πόσιμο νερό. Το στάδιο αυτό γίνεται η απομάκρυνση αερίων, όπως το υδροθείο. Ρυθμίζεται η οξύτητα (pH) και αυξάνεται η σκληρότητα (με προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα). Και τέλος πραγματοποιείται η χλωρίωση.

Εύκολα συμπεραίνεται ότι στη μέθοδο της ΑΩ, η ενέργεια που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Η ΑΩ αποτελεί τη κύρια επιλογή για υφάλμυρα νερά, καθώς η ωσμωτική πίεση που πρέπει να υπερνικηθεί είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων, με την πίεση λειτουργίας να είναι 15 – 25 bar, ενώ για θαλάσσιο νερό είναι 54 – 80 bar, αφού η ωσμωτική του πίεση είναι περίπου 25 bar. Η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή, καθιστά την σημαντικότερη απώλεια ενέργειας και γι' αυτό, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, π.χ. υδροστρόβιλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%.

Η ΑΩ είναι και η μοναδική χρησιμοποιούμενη μέθοδος αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά. Σήμερα, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, λειτουργούν στην Ελλάδα περίπου 50 μονάδες αφαλάτωσης που εξυπηρετούν την ύδρευση δήμων και κοινοτήτων με συνολική δυναμικότητα 35000m³/d, ενώ υπάρχουν και εκατοντάδες μικρότερες ιδιωτικές χρήσεις (ξενοδοχεία, βιομηχανίες, κατοικίες κλπ.). Οι σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης είναι στη Σύρο, στη Μύκονο και στη Χίο. (Ζερβός, 2008)

Συγκριτική ανάλυση μεθόδων αφαλάτωσης

Η τελική επιλογή, μιας από τις παραπάνω μεθόδους αφαλάτωσης, βασίζεται στις εξής παρακάτω παραμέτρους:

- Την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)
- Την ποσότητα και την ποιότητα του παραγόμενου νερού
- Το κόστος επένδυσης
- Τη διαθεσιμότητα χώρου
- Τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις διαθέσιμες μορφές ενέργειας
- Τη διαθεσιμότητα και την εμπειρία του προσωπικού

Οι μονάδες αφαλάτωσης, που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των MSF, MED και VC, χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια για τη θέρμανση του τροφοδοτικού νερού, πέρα από την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν για να λειτουργήσουν. Μάλιστα, και καθώς η απόδοση μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό είναι χαμηλή, παρατηρείται υψηλή ενεργειακή απώλεια, αν η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Γενικότερα, οι ανάγκες των μονάδων αφαλάτωσης σε ενέργεια είναι ιδιαίτερα υψηλές, όπως για παράδειγμα, στις μονάδες VC φτάνει τις 15kWh/m³, ενώ για τις μονάδες MSF μπορεί να ξεπεράσει τις 20kWh/m³. Από την άλλη πλευρά, οι μονάδες αφαλάτωσης με τεχνολογία ΑΩ έχουν γενικά

επικρατήσει σε ό,τι αφορά στο θαλασσινό και υφάλμυρο νερό, καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλότερο κόστος με την ενεργειακή κατανάλωση φτάνει περίπου στις 2,5kWh/m³ για μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, που χρησιμοποιούν ταυτόχρονα σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Στην περίπτωση που δε χρησιμοποιούν σύστημα ανάκτησης ενέργειας, η ενεργειακή κατανάλωση κυμαίνεται μεταξύ 5-8kWh/m³ περίπου. Τέλος, με τη μέθοδο της ΑΩ παρέχεται μεγαλύτερη αξιοπιστία σε ό,τι αφορά στο συνολικό εύρος των μεγεθών παραγωγής (από μικρές έως και πολύ μεγάλες μονάδες), λόγω της συμπαγούς και ευκολότερης κατασκευής της έναντι των υπολοίπων μεθόδων. Παρακάτω, συνοψίζονται τα βασικά προτερήματα της μεθόδου της ΑΩ, που επεξηγούν ταυτόχρονα την επικράτησή της έναντι των υπόλοιπων μεθόδων (Μουτάφης, 2008):

- Χαρακτηρίζονται από μικρό μέγεθος μονάδας και εγκατάστασης, που στην αντίστροφη περίπτωση οδηγεί σε οπτική όχληση και ιδίως σε νησιώτικες και τουριστικές περιοχές
- Χαρακτηρίζονται από μικρότερο κόστος σε ό,τι αφορά στην αγορά εξοπλισμού και σε ό,τι αφορά στην εγκατάσταση
- Απαιτούν χαμηλότερο κόστος κατά τη λειτουργία και συντήρησή τους, που είναι και συγκριτικά απλοποιημένες έναντι των λοιπών μεθόδων
- Επεκτείνονται εύκολα όταν απαιτηθεί ή όταν υπάρξει/ παρατηρηθεί αυξημένη ζήτηση
- Χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη κατανάλωση, σε σύγκριση με τις θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης
- Έχουν συνήθως ανάκτηση ισχύος, που μπορεί να φτάσει και 70 %
- Καθώς έχουν μεγάλη εφαρμογή, υπάρχει επαρκής εμπειρία στο χώρο για τον σχεδιασμό και την εγκατάστασή τους και τέλος,
- Εναρμονίζονται με τις ΑΠΕ, αν αυτές επιλεγούν για την αφαλάτωση

3.3 Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση

Το πρόβλημα της λειψυδρίας αφορά πολλές περιοχές του πλανήτη, γι' αυτό το λόγο η παραγωγή πόσιμου νερού με τη χρήση αφαλάτωσης είναι μια πολύ ελπιδοφόρα μέθοδος για την αντιμετώπιση της. Πολλές περιοχές άλλωστε είναι δυσπρόσιτες και κατ' επέκταση δεν είναι και εύκολη η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτές, διότι δεν είναι συνδεδεμένες σε κάποιο ισχυρό δίκτυο ενέργειας. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται ιδίως στα νησιά μας τα οποία τροφοδοτούνται συνήθως από γεννήτριες diesel, καθώς δεν έχουν πρόσβαση σε άλλο πάροχο ενέργειας πιο ισχυρό. Καθίσταται επομένως ανέφικτο να καλυφθούν οι ενεργειακές αυτές ανάγκες, με μεθόδους αφαλάτωσης προερχόμενες από συμβατικές πηγές ενέργειας, διότι οι τοπικοί πάροχοι ενέργειας δεν έχουν μεγάλη δυναμική και δέχονται μεγάλη επιβάρυνση, ώστε να είναι σε θέση να στηρίξουν και τα υπόλοιπα φορτία. Ακόμα όμως και αν ήθελε υποτεθεί ότι θα μπορούσε να λάβει χώρα η παροχή ενέργειας με τους ανωτέρω τρόπους, αυτή η λύση δεν θα ικανοποιούσε και από οικονομική σκοπιά, καθώς οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας είναι ακριβότερες, όπως πχ. το diesel (Μυσίρης, 2015).

Περαιτέρω, σε πολλές περιοχές, όπως π.χ. στις χώρες Μέσης Ανατολής και στη λεκάνη της Μεσογείου, παρατηρείται το φαινόμενο της έλλειψης καθαρού και ποιοτικού νερού, αλλά έχουν την τύχη να έχουν κοντά τους άφθονες πηγές αλμυρού νερού. Η κατασκευή μεγάλων μονάδων είναι πιο οικονομική και προτιμάται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτήν την πρακτική δυστυχώς δεν μπορούν να την ακολουθήσουν οι φτωχότερες χώρες. Επίσης υπάρχουν και αραιοκατοικημένες περιοχές όπου ακόμα και η ηλεκτροδότηση είναι δύσκολη. Για αυτές τις περιοχές η αφαλάτωση με ΑΠΕ είναι η ιδανική λύση.

Συμβατικές Πηγές Ενέργειας

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνήθως χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας. Το γεγονός όμως ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις κόστους σε συνδυασμό με τη μεταφορά του αφαλατωμένου νερού μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο παραγωγής αυξάνει απαγορευτικά το κόστος. Συνεπώς, η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της εγκατάστασης, θα πρέπει να διατίθεται στην ευρύτερη περιοχή της μονάδας αφαλάτωσης.

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί την κυριότερη συμβατική μορφή ενέργειας, για τροφοδοσία μιας μονάδας αφαλάτωσης. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να φτάσει σε οποιαδήποτε περιοχή καλυπτόμενη από δίκτυο, καθώς δεν δημιουργούνται ζητήματα με την απόσταση και την ποσότητα. Μία άλλη μορφή ενέργειας είναι η θερμότητα. Αυτή, σε αντίθεση με την ηλεκτρική ενέργεια, πρέπει να διατίθεται επιτόπου, καθώς η μεταφορά της ακόμα και σε μικρές αποστάσεις είναι τελείως ασύμφορη.

Επιπλέον, η πυρηνική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ενέργειας για αφαλάτωση, μόνο σε εγκαταστάσεις μεγάλων παροχών αφαλατωμένου νερού. Η έρευνα του Mutaz (2003), αναφέρεται στο συνδυασμό ενός πυρηνικού αντιδραστήρα και ενός ΥΣ αφαλάτωσης, που περιέχει ένα σύστημα ΑΩ και ένα σύστημα πολλαπλής απόσταξης (MSF). Τα πειραματικά αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν πως αυτός ο συνδυασμός έχει αρκετά τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Οι Nissan and Benzarti (2008) κάνουν μια συγκριτική μελέτη μεταξύ συστημάτων αφαλάτωσης, που χρησιμοποιούν σαν ενεργειακή πηγή ορυκτά καύσιμα, και συστημάτων αφαλάτωσης, που χρησιμοποιούν σαν πηγή ενέργειας πυρηνική ενέργεια, περιλαμβάνοντας και το περιβαλλοντικό κόστος. Το συμπέρασμα, στο οποίο καταλήγει η έρευνα, είναι πως το κόστος αφαλάτωσης των συστημάτων, που χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια, είναι σαφώς μικρότερο του κόστους αφαλάτωσης των συστημάτων, που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα.

Τέλος, μια άλλη μορφή συμβατικής ενεργείας είναι η απορριπτόμενη ενέργεια. Με βάση τις ερευνητικές εργασίες των Shin and Shih (2007) έδειξαν πως ποσότητες θερμικής ενέργειας, που απορρίπτονται από χημικές και άλλες βιομηχανίες στο περιβάλλον ως νερό ψύξης, είτε στην ατμόσφαιρα ως αέρας ψύξης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αφαλάτωση υπό προϋποθέσεις. Τέτοιοι συνδυασμοί έχουν εφαρμοστεί (παρά τη

χαμηλή περιεκτικότητα σε θερμότητα της απορριπτόμενης ενέργειας) σε βιομηχανίες για εξοικονόμηση ενέργειας και την παραγωγή αφαλατωμένου νερού για χρήση στις εγκαταστάσεις. Ιδιαίτερα χρήσιμη απορριπτόμενη ενέργεια είναι των απαερίων των μηχανών Diesel και των αεροστροβίλων).

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Προκειμένου να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και κατ'επέκταση το κόστος του αφαλατωμένου νερού, τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο τομέα της αφαλάτωσης έχει στραφεί στο συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Οι ΑΠΕ μπορούν να παράγουν θερμική ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία), ηλεκτρική ενέργεια (Φ/Β, Α/Γ) και μηχανική ενέργεια (Α/Γ). Τα αποτελέσματα όλων των ερευνών, καταλήγουν πως όλα τα συστήματα αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν προβλήματα όταν συνδέονται με ΑΠΕ για τους εξής λόγους:

- Τα συστήματα ΑΠΕ δεν έχουν συνεχή παροχή ενέργειας, ώστε να ανταποκρίνονται ανά πάσα στιγμή στη ζήτηση ενέργειας.
- Δεν είναι εύκολο η ενέργεια, που παρέχουν τα συστήματα ΑΠΕ, να αποθηκευτεί για την απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης της αφαλάτωσης.
- Η τεχνολογία συλλογής ή σύζευξης δεν έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να παρέχει τη φθηνή ενέργεια σε χαμηλό κόστος.

Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα μπορούν να καταπολεμηθούν αν π.χ. συνδυαστούν σωστά οι ΑΠΕ με το ηλεκτρικό δίκτυο ή, για τα αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης, αν προστεθεί στην εγκατάσταση κάποιο μικρό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας όπως είναι οι μπαταρίες.

Ηλιακή θερμική ενέργεια

Η ηλιακή θερμική ενέργεια παρουσιάζεται σαν μια από τις πλέον υποσχόμενες εφαρμογές των ΑΠΕ, στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Ένας τρόπος είναι με τη χρήση της θερμικής ενέργειας, όπου υπάρχει ένα σύστημα απόσταξης, που αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη και τον αποστάκτη ή από ένα ολοκληρωμένο σύστημα, που τα περιλαμβάνει και τα δυο. Η πρώτη περίπτωση χαρακτηρίζεται έμμεση ηλιακή αφαλάτωση, ενώ η δεύτερη ονομάζεται άμεση ηλιακή αφαλάτωση. Η έμμεση ηλιακή αφαλάτωση συνήθως γίνεται μέσω ενός εμπορικά διαθέσιμου ηλιακού συλλέκτη και μιας επίσης εμπορικά διαθέσιμης διάταξης αφαλάτωσης.

ο Rajvanshi (1980) για τους ηλιακούς συλλέκτες σχεδίασε ένα ειδικό ηλιακό συλλέκτη που βρίσκεται σε σύνδεση με μια εγκατάσταση απόσταξης πολλαπλής φάσης (MSF). Επιπλέον, από τους Hermann et al. (2000) γίνεται αναφορά για το σχεδιασμό και τη δοκιμή ενός αδιάβρωτου ηλιακού συλλέκτη για την καθοδήγηση μιας πολλαπλής

διαδικασίας ύγρυνσης. Η πιλοτική μονάδα βρήκε εφαρμογή σε μια περιοχή στα νησιά Γκραν Κανάρια (Rommel et al., 2000).

Ειδικά συστήματα συσκευών απόσταξης, με ανάκτηση ενέργειας που συνδέονται με ηλιακούς συλλέκτες, παρουσιάζονται από τους Miyatake et al. (2001). Αυτοί δείχνουν ένα πρωτότυπο σχεδιασμένο αποστακτήριο για χρήση του ατμού, που παράγεται κατά τη διαδικασία αφαλάτωσης, ώστε να τροφοδοτηθεί μια άλλη διαδικασία. Ακόμα, δεδομένου ότι η τυπική απόσταξη πολλαπλής φάσης (MSF) δεν δύναται να λειτουργεί σε συνδυασμό με οποιαδήποτε μεταβλητή πηγή θερμότητας, η εταιρεία ATLANTIS ανέπτυξε ένα προσαρμοσμένο σύστημα πολλαπλής απόσταξης (MSF) που καλείται Autoflash και μπορεί να συνδέεται με μια ηλιακή δεξαμενή (Szacsnyay et al., 1998).

Τέλος, ένα ακόμα σύστημα σύνδεσης με ηλιακή δεξαμενή προτείνει ο Hoffman (1992), ώστε να τροφοδοτεί μια μονάδα εξάτμισης πολλαπλής επίδρασης (MED) ως την πιο οικονομικά αποδοτική διαδικασία, η οποία μπορεί να ανταγωνιστεί τη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Αιολική ενέργεια

Με τη χρήση Α/Γ, η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης. Οι διακυμάνσεις του αιολικού δυναμικού, που μεταφέρονται στη διακύμανση της παραγόμενης ενέργειας, άρα και της παραγόμενης ποσότητας αφαλατωμένου νερού, αποτελούν τα κύρια μειονεκτήματά της. Οι Α/Γ νέας τεχνολογίας, μικρού και μεσαίου μεγέθους, προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης. 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. Από οικονομικής πλευράς, η αιολική ενέργεια είναι πιο συμφέρουσα από τη λύση των Φ/Β, ενώ απαιτείται και πολύ μικρότερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού (Καραγιάννης, 2010).

Οι Miranda και Infield (2002) εξέτασαν την απευθείας σύνδεση Α/Γ ισχύος 2,2kW, με σύστημα ΑΩ δυναμικότητας 3m³/d. Τα αποτελέσματά της έδειξαν πως το σύστημα επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και γι' αυτό υπήρχε ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας.

Για μία μονάδα αφαλάτωσης ΑΩ υφάλμυρου νερού, που τροφοδοτείται από αιολική ενέργεια σε μια περιοχή της Ιορδανίας, παρουσίασαν μελέτη οι Habali και Saleh (1994). Αναφέρεται ότι το κόστος προϊόντος είναι χαμηλότερο από όταν χρησιμοποιούνται συμβατικοί κινητήρες ντίζελ (Μυσίρης, 2015).

Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα εννοείται κάθε οργανική ύλη, που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας και ανήκει στις ΑΠΕ, γιατί τα φυτά μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, δομούνται μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε αποθηκευμένη χημική η οποία αποδίδεται π.χ. κατά την καύση τους. Ο όρος βιομάζα συμπεριλαμβάνει όλα τα προϊόντα, υπολείμματα και απόβλητα φυτικής και ζωικής προέλευσης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Η χρήση της βιομάζας αποτελεί έναν χαμηλών ρύπων τρόπο παραγωγής ενέργειας, που έχει ενταχθεί τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, ο συνδυασμός της με την αφαλάτωση δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα αποδοτικά αποτελέσματα, καθώς τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα, ειδικά σε άνυδρες περιοχές, καθώς η ανάπτυξη της βιομάζας απαιτεί πιο πολύ νερό από αυτό που θα προκύψει από τη μονάδα της αφαλάτωσης. Επίσης, η οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιούν τη βιομάζα ως μέσο για παραγωγή ενέργειας, επηρεάζεται και από την απόσταση του τόπου παραγωγής της βιομάζας από τον τόπο κατανάλωσης της. Μια μελέτη για την πόλη του Σαν Ντιέγκο στην Καλιφόρνια, υπολόγιζε πως η καύση των σκουπιδιών της πόλης θα παρήγαγε ατμό χαμηλού κόστους, αλλά και χαμηλού θερμικού περιεχομένου, που όμως θα ήταν αρκετό για την παραγωγή 120000m³/ημέρα αφαλατωμένου νερού με κόστος 0,1€/m³ (Μυσιρίης,2015). Παρά τις μελέτες βέβαια για μεγάλες εγκαταστάσεις, πρακτικές εφαρμογές έχουν βρει μόνο μικρές εγκαταστάσεις τοπικού ενδιαφέροντος με πολύ μικρές παροχές. Γενικά, η οικονομικά αποδεκτή αξιοποίηση της βιομάζας είναι μια δύσκολη υπόθεση, καθώς τα προβλήματα που εγείρονται είναι πάρα πολλά.

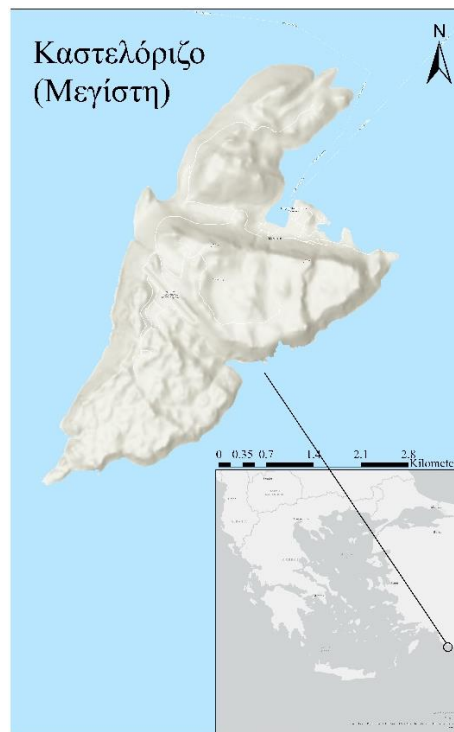
Ενέργεια από τη θάλασσα

Τέλος, μια άλλη πηγή ενέργειας είναι η ενέργεια η οποία προέρχεται από την ίδια τη θάλασσα. Αυτό πράγματι γίνεται, διότι παράγεται ενέργεια από τα κύματα από τις παλίρροιες και από τη διαφορά θερμοκρασίας αναμεσα στα στρωματά του ωκεανού. Ερευνημένο αυτό το φαινόμενο από το 1980 (Ocean Thermal Energy Conversion – O.T.E.C.) έδειξε ότι η διαφορά θερμοκρασίας, που υπάρχει μεταξύ του νερό της επιφάνειας και του νερού που βρίσκεται σε βάθος 500 έως 1000m, διαμορφώνεται μία διαφορά, η οποία κρίνεται κατάλληλη για να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα και αφαλατωμένο νερό. Ακόμα, γίνεται ερευνά και για την τεχνολογία εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας των κυμάτων και των παλιρροϊκών φαινομένων. Η ενέργεια αυτή μπορεί να εκμεταλλευθεί, προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα διατεθεί στα συστήματα ΑΩ, όπως παρουσιάζεται σε μελέτη των Sharmila et al. (2003). Πάντως, το κόστος της εκμετάλλευσης αυτής της μορφής ενέργειας είναι πολύ υψηλό, γεγονός που αποτρέπει τη χρήση της σε διαδικασίες αφαλάτωσης.

4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟΥ

4.1 Γεωγραφικά και Διοικητικά Χαρακτηριστικά

Το Καστελόριζο ή επισήμως νήσος Μεγίστη είναι το νότιο-ανατολικότερο νησί της Δωδεκανήσου και το νότιο-ανατολικότερο άκρο της Ευρώπης. Απέχει μόλις 2 ναυτικά μίλια (ν.μ.) από τις τουρκικές ακτές (τουρκικό λιμάνι Κας), 72 ν.μ. από τη Ρόδο και 328 ν.μ. από τον Πειραιά. Είναι το μεγαλύτερο (εξού και το όνομα Μεγίστη) από ένα σύμπλεγμα δεκατεσσάρων μικρών νησιών με πιο διάσημο τη Ρω. Ο μοναδικός οικισμός του νησιού, το ομώνυμο Καστελόριζο, βρίσκεται γύρω από το φυσικό λιμάνι μπροστά από έναν επιβλητικό κόκκινο βράχο. Εντύπωση προκαλούν τα παλιά αρχοντικά σπίτια του οικισμού, που έχουν αναστηλωθεί τα τελευταία χρόνια και είναι αμφιθεατρικά κτισμένα γύρω από τη θάλασσα. Ο παραδοσιακός οικισμός του Καστελόριζου έχει χαρακτηριστεί διατηρητέος. Με τη νέα διοικητική διαίρεση κατά το πρόγραμμα Καλλικράτης, ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Ρόδου και αποτελεί τον ενιαίο Δήμο Μεγίστης.



Σχήμα 4.1: Νήσος Μεγίστη (Πηγή: ArcGIS)

4.2 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά

Αποτελεί ένα μικρό νησί με μέγιστο μήκος 6 km και με συνολικό μήκος ακτών 18,3km περίπου. Έχει έκταση 9113m² και το έδαφός της χαρακτηρίζεται βραχώδες και άγονο. Στη βόρεια πλευρά του νησιού, βρίσκεται ο όρμος, στον οποίο είναι χτισμένος ο παραδοσιακός οικισμός της Μεγίστης που κοιτάει προς τις λυκιακές ακτές. Στην είσοδο του όρμου, απλώνονται οι βραχονησίδες Ψωραδιά, Άγιος Γεώργιος, Αγριελιά,

Πολυφάδος, Ψωμί, Μεγάλο Μαύρο Ποϊνί και Μικρό Μαύρο Ποϊνί. Πάνω από τον οικισμό υψώνεται ο περίφημος βράχος της Βίγλας, που στο ψηλότερο σημείο του (272m) είναι χτισμένο το Παλαιόκαστρο, η αρχαία ακρόπολη του νησιού που κατοικήθηκε μέχρι και τον περασμένο αιώνα.

4.3 Ιστορικά Στοιχεία

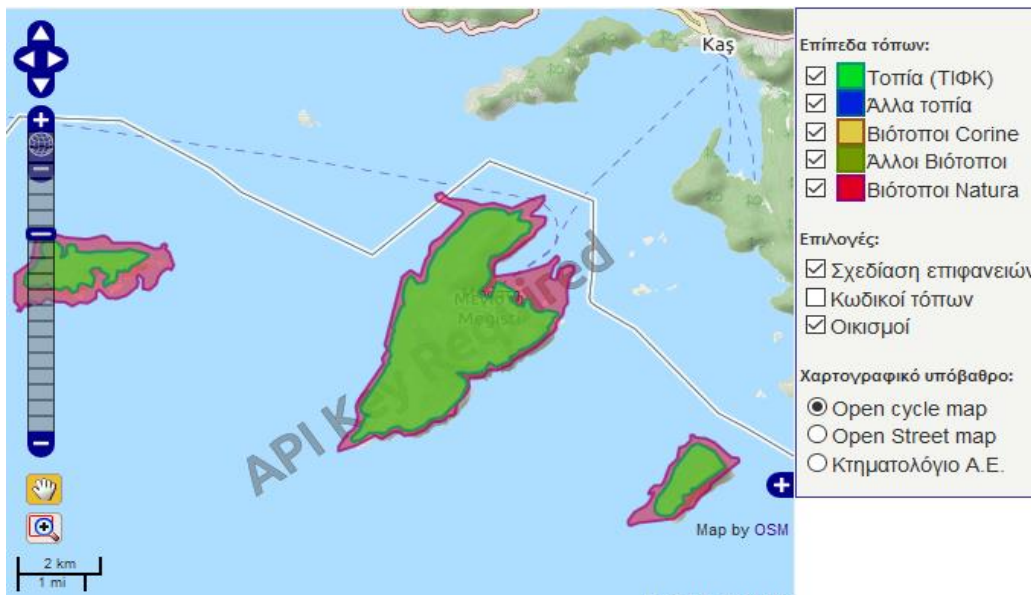


Σχήμα 4.2: Κάστρο Καστελόριζου (Πηγή: <http://www.arttravel.gr/48-hours/article/21160/48-ores-sto-kastelorizo>)

Αν και μικρό σαν νησί, το Καστελόριζο έχει μεγάλη ιστορία, αφού είχε κατοικηθεί ήδη από τη νεολιθική εποχή. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ο ναυτικός εμπορικός στόλος του Καστελόριζου βρισκόταν στη μεγάλη του άνθηση και το μικρό νησί στη μεγαλύτερή του ακμή. Τότε, το Καστελόριζο αριθμούσε γύρω στους 12-14 χιλιάδες κατοίκους. Κατά τη διάρκεια των δυο παγκοσμίων πολέμων, το νησί βομβαρδίστηκε πολλές φορές, κάηκε, λεηλατήθηκε και γενικά καταστράφηκε εντελώς, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος των κατοίκων του να μεταναστεύσει κυρίως στην Αυστραλία. Ανάμεσα στα αξιοθέατα του νησιού είναι το ερειπωμένο μεσαιωνικό κάστρο, που είναι χτισμένο στην κορυφή του κόκκινου βράχου, από το οποίο πήρε και το όνομα Καστελόριζο (Castello Rosso, δηλ. το Κόκκινο Κάστρο). Στα νοτιοδυτικά του νησιού, βρίσκεται το μικρό νησάκι Ρω, που μπορεί κανείς να επισκεφτεί με ναυλωμένο καΐκι, γνωστό για την «Κυρά της Ρω», Δέσποινα Αχλαδιώτου (1898-1982), τη μοναδική του κάτοικο, που για δεκαετίες κάθε πρωί ύψωνε την ελληνική σημαία.

4.4 Φυσικό περιβάλλον

Η Μεγίστη μαζί με τις νησίδες Ρω και Στρογγυλή έχει ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο NATURA 2000 με κωδικό GR4210004 και έχουν αναγνωριστεί από την επιστημονική κοινότητα ως βιότοπος CORINE, ανάμεσα στους 39 της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου. Η πανίδα του νησιού παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον με μεγάλη ποικιλία αμφίβιων, ερπετών, εντόμων, πτηνών, ψαριών, ανάμεσα στα οποία η μεσογειακή φώκια *monachus-monachus*, καθώς και ένα σπάνιο είδος αμφίβιου ουροδελούς, του *Mertensiella Luscani*, που έχει κηρυχθεί προστατευόμενο είδος. Όσον αφορά στη βλάστηση, η μεγαλύτερη επιφάνεια του νησιού καλύπτεται με σκληρόφυλλους θάμνους κυρίως πουρνάρι και σχίνο και φρυγανώδη κυρίως θυμάρι, αστοιβή, λαδανιά, ρέικι κλπ. Επίσης, υπάρχουν κάποιες συστάδες με τραχεία πεύκη και κυπαρίσια. Σπουδαίο γεωλογικό μνημείο στο νησί είναι το Γαλάζιο Σπήλαιο που βρίσκεται στο νότιο σημείο του νησιού και έχει μήκος 75m και ύψος 35m. Η είσοδος της σπηλιάς είναι συγκριτικά χαμηλή και γίνεται με χαμηλή βάρκα και τους επιβάτες σκυμμένους. Το σπήλαιο που είναι γνωστό με το όνομα «Σπηλιά του Παραστά» ή «Φώκιαλη», από τις φώκιες που κατοικούν μέσα, είναι το μεγαλύτερο από τα ενάλια σπήλαια της Ελλάδας και ένα από τα γνωστά παγκοσμίως για τον πλούσιο σταλακτιτικό στολισμό που διαθέτει.



Σχήμα 4.3:Χάρτης Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους των νήσων Νήσοι Μεγίστη (Καστελλόριζο), Ρω, Στρογγύλη (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes>)

Πίνακας 4.1:Στοιχεία προστευόμενης περιοχής (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes>)

Όνομα	Νήσοι Μεγίστη(Καστελόριζο), Ρω, Στρογγύλη
Κατηγορία Τόπου	Τοπίο (ΤΙΦΚ)
Κωδικός Τόπου	ΑΤ5011013
Κύριος Χαρακτήρας	Φυσικό τοπίο,Δομημένο τοπίο
Διοικητική Υποδιαίρεση	Νομός Δωδεκανήσου
Δήμος-Κοινότητα	Καστελορίζου
Συνολική Έκταση (ha)	1164,79
Χερσαία Έκταση (ha)	1164
Συνολική Περίμετρος (km)	32,5
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	300
Ένταξη στο Υπάρχον Θεσμικό Πλαίσιο	Δίκτυο CORINE-biotopes, Δίκτυο NATURA-2000, Παραδοσιακός Οικισμός

4.5 Κλιματικά Στοιχεία

Το κλίμα του είναι θαλάσσιο μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από το χαμηλό θερμομετρικό εύρος, τον ήπιο χειμώνα και το παρατεταμένο ξηρό και δροσερό καλοκαίρι, μικρό ετήσιο ύψος βροχής και μεγάλη ηλιοφάνεια για όλο το χρόνο. Σπάνια σημειώνεται στις περιοχές αυτές παγετός, και ακόμη σπανιότερα χαλάζι ή χιόνι. Ενδεικτικά για το έτος 2019, η μέση ετήσια θερμοκρασία ήταν 21°C ,η μέση μηνιαία ελάχιστη το μηνά Ιανουάριο ήταν 10,7 °C και η μέση μηνιαία μέγιστη 34,5 °C τον Αύγουστο. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι κυρίως βορειοδυτικοί, με εντάσεις πάνω από 6km/hr.

Στους Πίνακες 4.2 4.3 και 4.4 παρατίθενται ενδεικτικά στοιχεία θερμοκρασίας, έντασης ανέμου και βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού του Καστελόριζου που ανήκει στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Πίνακας 4.2: Πίνακα μέσωσν θερμοκρασιών (Πηγή: <http://penteli.meteo.gr/stations/kastellorizo/>)

TEMPERATURE(°C)							
YEAR	MONTH	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN	HI	DATE	LOW
2019	1	15,5	10,7	13,1	17,7	25	5,6
2019	2	16,9	12,3	14,6	19,7	5	9,4
2019	3	18,8	12,7	15,4	22,2	22	9,3
2019	4	20,5	14,4	17,0	25,2	26	11,9
2019	5	24,1	18,5	20,1	29,9	30	15,2
2019	6	25,2	22,3	23,3	28,6	10	18,9
2019	7	33,3	25,2	28,8	37,3	11	22,9
2019	8	34,5	26,8	30,1	37,3	11	25,7
2019	9	31,1	24,9	27,5	33,6	15	22,8
2019	10	28,4	22,2	24,8	31,6	11	19,7
2019	11	23,7	18,6	20,9	27,7	12	14,9
2019	12	18,4	13,7	16,0	21,1	1	10,8
		24,2	18,5	21,0	37,7		5,6

Πίνακας 4.3: Στοιχεία έντασης ανέμου(Πηγή:<http://penteli.meteo.gr/stations/kastellorizo/>)

WIND SPEED(km/hr)					
YEAR	MONTH	AVG.	HI	DATE	DOM DIR
2019	1	10,3	77,2	24	NNE
2019	2	10,7	77,2	5	E
2019	3	6,4	56,3	24	NW
2019	4	7	67,6	20	NW
2019	5	7,6	67,6	7	NW
2019	6	4,2	45,1	2	NW
2019	7	6,4	64,4	12	NW
2019	8	4,8	51,5	17	NW
2019	9	5,1	48,3	7	NW
2019	10	4,9	59,5	16	NW
2019	11	5,9	57,9	25	NNE
2019	12	6,2	62,8	23	NNE
		6,6	77,2		SE

Πίνακας 4.4: Στοιχεία μέσης βροχόπτωσης(Πηγή:<http://penteli.meteo.gr/stations/kastellorizo/>)

PRECIPITATION (mm)				
YEAR	MONTH	TOTAL	MAX OBS DAY	DATE
2019	1	229,40	44,40	21
2019	2	73,00	26,60	14
2019	3	69,40	20,40	13
2019	4	47,80	14,00	10
2019	5	0,40	0,40	5
2019	6	0,40	0,40	10
2019	7	0,60	0,60	17
2019	8			
2019	9	1,00	0,40	25
2019	10	5,60	3,00	16
2019	11	66,40	24,40	25
2019	12	143,40	36,80	12
		637,40	44,40	

4.6 Πληθυσμιακά Χαρακτηριστικά

Ο μόνιμος πληθυσμός του νησιού, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 492 κατοίκους.

Πίνακας 4.5: Μόνιμος πληθυσμός με βάση τις απογραφές 2001 και 2011.(Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Μόνιμος πληθυσμός/Απογραφές πληθυσμού		
	2001	2011
ΜΕΓΙΣΤΗ	403	492
ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	188.506	190.988
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	298.462	308.695

Ο πληθυσμός τα τελευταία χρόνια παραμένει σχετικά σταθερός. Η εξέλιξη του πληθυσμού, από το 1951 μέχρι το 2011 φαίνεται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Εξέλιξη πληθυσμού από το 1951 μέχρι το 2011.(Πηγή :ΕΛΣΤΑΤ)

	Μόνιμος πληθυσμός/Απογραφές πληθυσμού						
	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
ΜΕΓΙΣΤΗ	584	481	268	222	275	430	496
ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΑ	121.48	123.021	121.017	145.071	163.476	190.071	242.270
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	247.439	222.98	207.354	233.529	257.481	302.686	366.795

Κατά τους θερινούς μήνες, ο πληθυσμός αυξάνεται λόγω του τουρισμού. Κατόπιν τηλεφωνικής επικοινωνίας με το δήμο Μεγίστης, συνολικά εκτιμάται ότι η μέση κατοίκηση της νήσου φτάνει τη θερινή περίοδο μέχρι και τους 965 κατοίκους και επισκέπτες.

4.7 Υποδομές

Μεταφορές

Η ακτοπλοϊκή σύνδεση εξυπηρετείται από το λιμάνι στον οικισμό του Καστελόριζου. Οι λιμενικές και θαλάσσιες δραστηριότητες καλύπτονται από το Λιμενικό Σταθμό Μεγίστης, ο οποίος υπάγεται στο Λιμενικό Ταμείο Νότιας Δωδεκανήσου. Το λιμάνι της Μεγίστης διαθέτει υπηρεσίες Τελωνείου, σύμφωνα με τα στοιχεία της Γενικής Γραμματείας Πληροφοριακών Συστημάτων και επομένως είναι δυνατό να εξυπηρετήσει κινήσεις εξωτερικού. Το Καστελόριζο διαθέτει αεροδρόμιο, το οποίο εξυπηρετεί μόνο πτήσεις εσωτερικού. Το μικροσκοπικό αεροδρόμιο βρίσκεται 4 km από το λιμάνι, με το οποίο το συνδέει ο μοναδικός δρόμος του νησιού. Το νησί δεν έχει δρόμους, εκτός από το μοναδικό ασφαλτοστρωμένο δρόμο, που συνδέει τον οικισμό με το αεροδρόμιο. Το υπόλοιπο νησί εξερευνάται με τα πόδια, μέσω ενός δικτύου φυσικών μονοπατιών.

Ύδρευση – Άρδευση

Το Καστελόριζο δεν έχει πηγές, είναι ένα από τα πιο άνυδρα νησιά της Δωδεκανήσου. Το 2018, εγκαινιάστηκαν δυο μονάδες αφαλάτωσης, που θα παρήγαγαν 400 m³/d. Έκτοτε, λειτουργεί μόνο η μια μονάδα αφαλάτωση, καθώς η άλλη έχει υποστεί βλάβη και το έλλειμα καλύπτεται από νερό, που μεταφέρεται με υδροφόρο πλοίο από τη Ρόδο.

Ταυτόχρονα, γίνεται και συλλογή βρόχινου νερού από τις απορροές του μοναδικού δρόμου του νησιού. Το νερό αυτό, που δεν είναι πόσιμο, αποθηκεύεται σε παλιές υπόγειες δεξαμενές στην περιοχή Αχερές και από 'κει διοχετεύεται στα σπίτια,

Στο νησί, υπάρχει μικρή λιμνοδεξαμενή χωρητικότητας 82500 m³, που κατασκευάστηκε στη θέση Κόλια, ώστε να τροφοδοτείται από τα όμβρια ύδατα του αεροδρομίου και τις γύρω λεκάνες απορροής. Σκοπός του έργου ήταν να καλύψει κυρίως ανάγκες ύδρευσης του νησιού. Το έργο ολοκληρώθηκε το 2001, αλλά η λιμνοδεξαμενή δε συγκέντρωσε ποτέ νερό, διότι υπάρχει πρόβλημα στεγανοποίησης του ταμιευτήρα.

Οι ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών στο νησί είναι ελάχιστες και περιορίζονται κυρίως στην άρδευση οικογενειακών λαχανόκηπων.

Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ενεργειακή υποδομή αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τροφοδοσία του νησιού με ηλεκτρική ενέργεια γίνεται από τον αυτόνομο σταθμό της ΔΕΗ, που υπάρχει στο νησί εγκατεστημένη ισχύος 1590 kW με καύσιμο

diesel. Δίκτυο ηλεκτροφωτισμού υπάρχει σε όλους τους οικισμούς. Η χρήση ήπιων ΑΠΕ, περιορίζεται στη χρήση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση νερού για οικιακή χρήση.

4.8 Οικονομικά Χαρακτηριστικά

Πρωτογενής Τομέας

Στο Καστελόριζο, ο πρωτογενής τομέας είναι σχεδόν ανύπαρκτος. Στο νησί δεν υπάρχει νερό και το έδαφός του είναι άγονο και βραχώδες. Τα γεωργικά προϊόντα, που μπορεί να βρει κανείς, είναι το αιγοπρόβειο κρέας. Στο νησί εφαρμόζεται πρόγραμμα μελισσοκομίας από το Μάρτιο του 2012, με χρηματοδότηση της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου, με σκοπό να χαρακτηριστεί το νησί ως καταφύγιο της Ελληνικής Μέλισσας (διατήρηση γενετικού υλικού). Πιο συγκεκριμένα, η Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, ο Δήμος Μεγίστης, το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και ο Μελισσοκομικός Συνεταιρισμός Ρόδου αποφάσισαν να στηρίξουν τη δράση Πρόγραμμα Μελισσοκομίας στη Μεγίστη, εγκαθιστώντας στο νησί 30 κυψέλες με τον απαραίτητο εξοπλισμό. Παράλληλα, έγινε επιμόρφωση νέων μελισσοκόμων στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου μελισσοκομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, η οποία περιελάμβανε θεωρητική και πρακτική κατάρτιση, καθώς και επιμόρφωση σε τεχνικές εγκατάστασης αρωματικών μελισσοκομικών φυτών. Το πρόγραμμα βρίσκεται σε εξέλιξη.

Τριτογενής τομέας

Τουρισμός

Μέχρι πριν από λίγα χρόνια, το Καστελόριζο ήταν ένας σχετικά άγνωστος προορισμός, μακρινός και δυσπρόσιτος ακόμα και για τους Έλληνες. Όμως, την τελευταία εικοσαετία, το νησί των μόλις 9113m² έγινε διάσημος προορισμός για ιδανικές διακοπές χαλάρωσης και ξεκούρασης. Η τουριστική υποδομή εντοπίζεται στον οικισμό του Καστελόριζου. Εκεί, βρίσκονται τα τουριστικά καταλύματα (ξενοδοχεία, ξενώνες, ενοικιαζόμενα δωμάτια κλπ.), ταβέρνες και άλλα καταστήματα που εξυπηρετούν τους τουρίστες. Σήμερα, λειτουργούν 22 επιχειρήσεις, που συνολικά διαθέτουν 290 κλίνες που καταγράφονται ως ενοικιαζόμενα δωμάτια. Η εστίαση των επισκεπτών γίνεται είτε στα καταλύματα και ξενοδοχεία της περιοχής ή στα εστιατόρια. Στο νησί, δραστηριοποιούνται 17 επιχειρήσεις εστίασης. Τα εστιατόρια βρίσκονται κατά μήκος του φυσικού λιμανιού του Καστελόριζου. Η αιχμή της τουριστικής περιόδου εντοπίζεται τον Αύγουστο, όπου οι περισσότεροι επισκέπτες είναι κυρίως Έλληνες, Ευρωπαίοι, Αυστραλοί, αλλά και Τούρκοι.

5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

5.1 Τεχνική Περιγραφή Έργου

Το υπό μελέτη έργο αποτελείται από μια δεξαμενή , σε ύψος 40m από το επίπεδο της θάλασσας, έναν αντλητικό σταθμό 700kW προκειμένου να αντλεί θαλασσινό νερό για να γεμίσει την δεξαμενή, τρεις ανεμογεννήτριες των 900kW η εκάστη, έναν υδροηλεκτρικό σταθμό 700kW και μια μονάδα αφαλάτωσης. Η μονάδα αφαλάτωσης υπολογίζεται ότι χρειάζεται ενέργεια ίση με 7kWh/m^3 και δυναμικότητας ίση με $300\text{m}^3/\text{d}$. Στο Σχήμα 5.1, φαίνεται μια προτεινόμενη θέση, όπου θα μπορούσε να τοποθετηθεί το υπό μελέτη έργο.



Σχήμα 5.1: Χάρτης Καστελόριζου (Πηγή: Google Earth 2020)

5.2 Εκτίμηση της Ζήτησης για Ύδρευση - Ηλεκτρική Ενέργεια

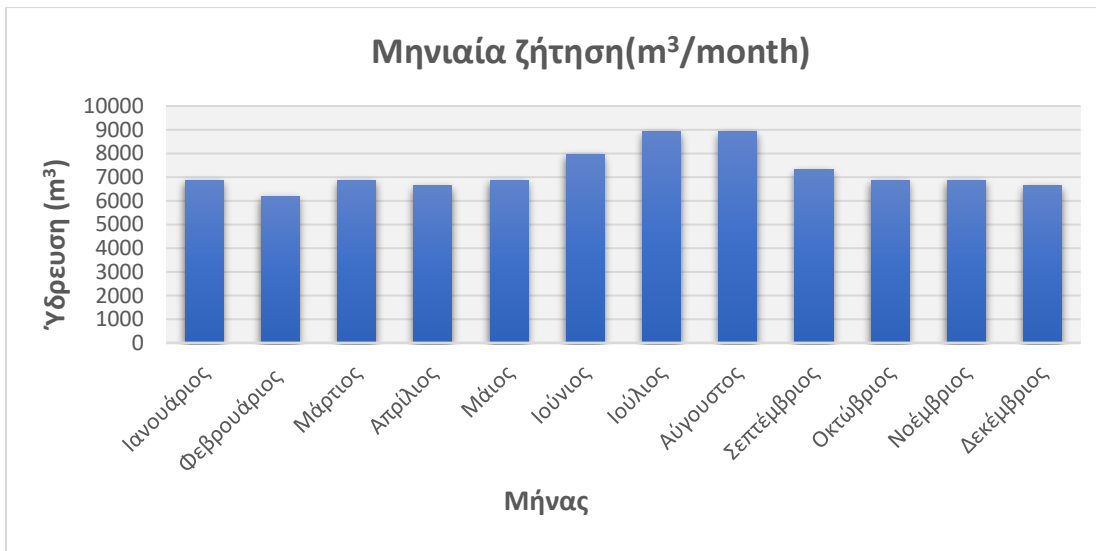
Ύδρευση

Οι ανάγκες για ύδρευση - υδροδότηση των κατοίκων του Καστελόριζου σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση, προσδιορίζονται βάσει του των κατοίκων και τη μέση ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο ($0,45\text{m}^3/\text{ημέρα}/\text{κάτοικο}$) και τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1: Ανάγκες ύδρευσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση

ΜΗΝΑΣ	Πληθυσμός	Ημερήσια ζήτηση (m ³ /d)	Μηνιαία ζήτηση (m ³ /d)
Ιανουάριος	492	221,4	6863,4
Φεβρουάριος	492	221,4	6642
Μάρτιος	492	221,4	6863,4
Απρίλιος	492	221,4	6642
Μάιος	492	221,4	6863,4
Ιούνιος	590	265,68	7970,4
Ιούλιος	640	287,82	8922,42
Αύγουστος	640	287,82	8922,42
Σεπτέμβριος	541	243,54	7306,2
Οκτώβριος	492	221,4	6863,4
Νοέμβριος	492	221,4	6863,4
Δεκέμβριος	492	221,4	6642
Συνολική ετήσια ζήτηση (m³/year)			87364,44

Στο Σχήμα 5.2, φαίνεται η μηνιαία διακύμανση των αναγκών ύδρευσης σε m³. Όπως είναι φανερό κατά τους θερινούς μήνες και συγκεκριμένα Ιούλιο - Αύγουστο, όπου η τουριστική κίνηση είναι στην αιχμή της, παρουσιάζονται οι μέγιστες ανάγκες.



Σχήμα 5.2: Μηνιαία ζήτηση για ύδρευση κατοίκων Καστελόριζου

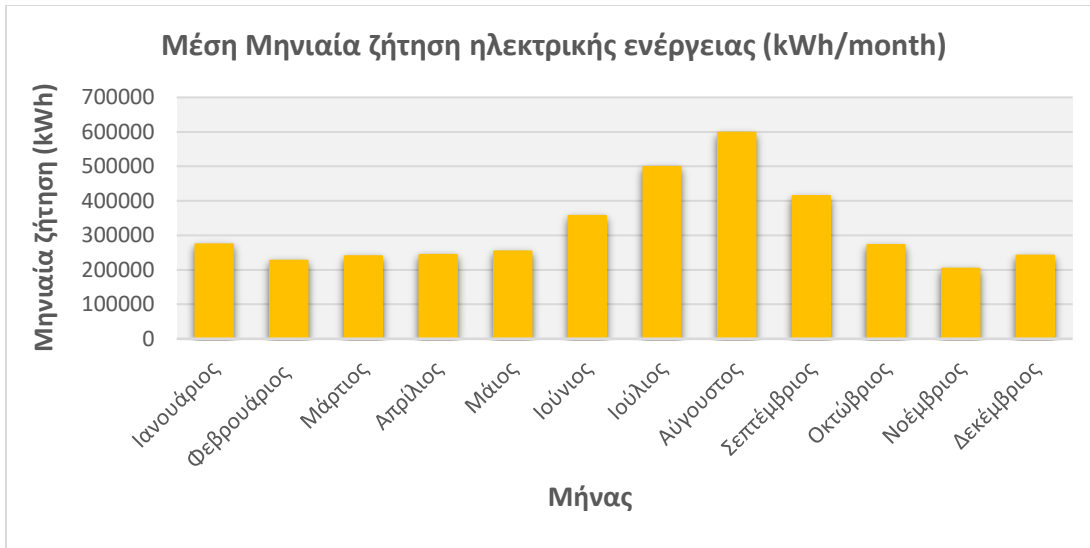
Ηλεκτρική Ενέργεια

Όσον αφορά την ενέργεια, διαθέσιμα δεδομένα προς επεξεργασία ελήφθησαν έπειτα από προσωπική επικοινωνία με μηχανικό από τον ΤΣΠ της ΔΕΗ του Καστελόριζου. Τα δεδομένα αυτά είναι μετρήσεις ημερησίων καταναλώσεων ηλεκτρικού ρεύματος για κάθε μηνά για το έτος 2019. Στον Πίνακα 5.2, παρουσιάζονται η μέση ημερήσια και μηνιαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 5.2: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση

ΜΗΝΑΣ	Μέση Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/d)	Μέση Μηνιαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/month)
Ιανουάριος	8841	274058
Φεβρουάριος	8077	226155
Μάρτιος	7739	239902
Απρίλιος	8094	242819
Μάιος	8163	253056
Ιούνιος	11895	356863
Ιούλιος	16088	498735
Αύγουστος	19283	597779
Σεπτέμβριος	13806	414165
Οκτώβριος	8775	272018
Νοέμβριος	6794	203819
Δεκέμβριος	7785	241336
Συνολική ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/year)		3820705

Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται η διακύμανση της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όπως είναι εύλογο, οι μέγιστες ανάγκες για ενεργειακή ζήτηση εντοπίζονται κατά τους θερινούς μήνες και συγκεκριμένα Ιούλιο - Αύγουστο όπου ο πληθυσμός αυξάνεται λόγω του τουρισμού.



Σχήμα 5.3: Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

5.3 Μοντέλο Ανεμογεννητριών και Μετατροπή Ανεμολογικών Δεδομένων σε Ηλεκτρική Ενέργεια

Οι ταχύτητες του ανέμου, που θα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την προσομοίωση προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), είναι ανά τρεις ώρες και αφορούν μετρήσεις από το γειτονικό νησί τη Ρόδο, για το έτος 2019. Προκειμένου να είναι κοινό το χρονικό ίδιο βήμα για όλα τα δεδομένα, γίνεται μετατροπή των ταχυτήτων σε ημερήσιο βήμα, μέσω του προγράμματος Hydrognomon.

Ο Hydrognomon πρόκειται για ένα λογισμικό οπού πραγματοποιεί απλές επεξεργασίες. Σημαντικότερες λειτουργίες του είναι η μετατροπή χρονομέτρων σε σταθερό βήμα, εξαγωγή μεγαλύτερου χρονικού βήματος και η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών.

Στη συνέχεια, γίνεται μετατροπή των ανεμολογικών δεδομένων, με τη σχέση της εκθετικής διανομής (power law):

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad (5.1)$$

Οπού :

- u_1 : είναι η ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο z_1
- u_2 : είναι η ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο z_2

- z_1 : είναι το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού, στην συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται στα 7m
- z_2 : είναι το υψόμετρο του ρότορα των Α/Γ, εκτιμήθηκε ίσο 150m
- z_0 : παράμετρος τραχύτητας του εδάφους, οι τιμές της οποίας μεταβάλλονται συμφωνά με το Σχήμα 5.3:

Πίνακας 5.3:Τυπικές τιμές της παραμέτρου z_0 για τι διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)(Πηγή: Κουτσογιάννης κ.α.,1999)

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 1cm	0,1
Χλόη ύψους μέχρι 1 -10cm	0,1-0,2
Χλόη σιτηρά κλπ ύψους 10-50cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2m	20
Δένδρα ύψους 10-15m	40-70

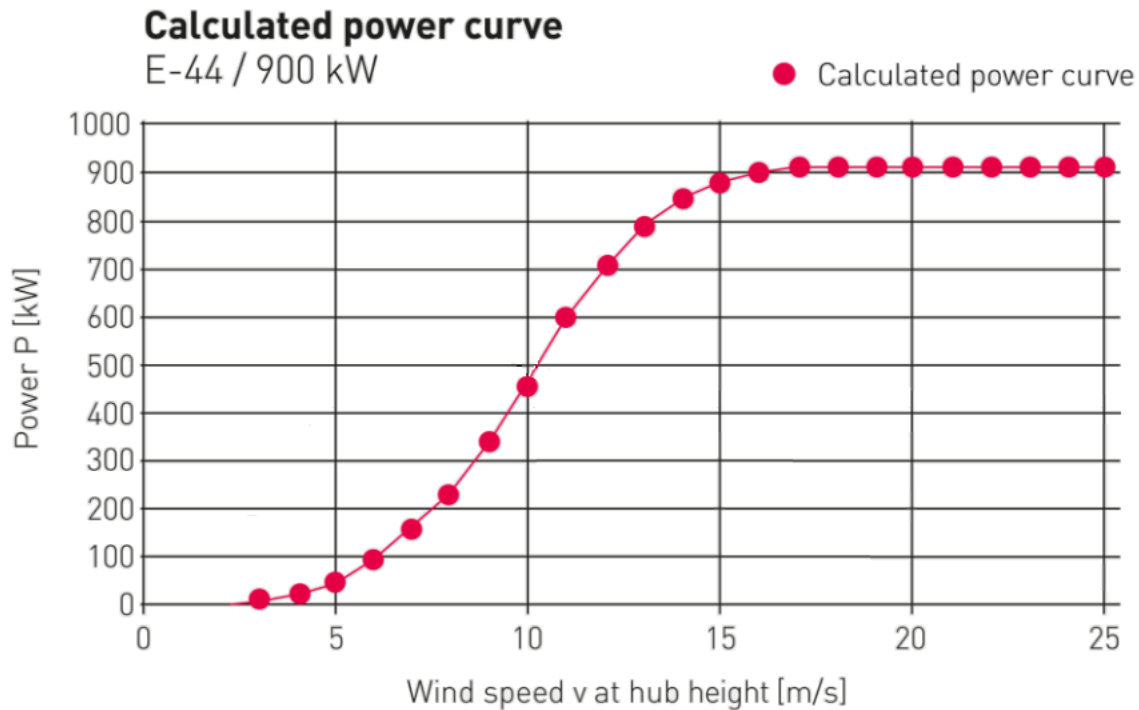
Στην περίπτωση του εν λόγω έργου επιλέγεται η τιμή $z_0=0,1$, λόγω της χαμηλή βλάστησης που υπάρχει στον τόπο χωροθέτησης των Α/Γ.

Το μοντέλο των Α/Γ που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του έργου είναι η Α/Γ Enercon 44, με ισχύ 900kW και συντελεστή απόδοσης 0,33. Στο Σχήμα 5.4, φαίνεται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ Enercon 44.

Έχοντας την καμπύλη ισχύος της Α/Γ, δύναται να υπολογιστεί η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, στην προσπάθεια να εκτιμηθεί μια ικανοποιητική εξίσωση, που να δίνει τη τιμή της ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, στο κυρτό τμήμα της καμπύλης ισχύος, προσαρμόστηκε μια πολυωνυμική εξίσωση 6ου βαθμού, όπως φαίνεται στη σχέση 5.3 (Μυσίρης, 2015). Συνεπώς, η σχέση που δίνει την ισχύ P (kW) της ανεμογεννήτριας του ΥΒΕ είναι:

- $u \leq 2 \frac{m}{s}, P = 0$ (5.2)
- $2 < u < 17 \frac{m}{s}, P = 0,000479u^6 - 0,020121u^5 + 0,237154u^4 - 0,358363u^3 - 0,779043u^2 + 3,71389u$ (5.3)
- $u \geq 17 \frac{m}{s}, P = 900 kW$ (5.4)

Στη συνέχεια, η ισχύς που προσδιορίζεται πολλαπλασιάζεται με το χρόνο και έτσι προκύπτει η ημερήσια παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα καμπύλης ισχύος Α/Γ Enercon 44 (Πηγή: <https://www.enercon.de/home/>)

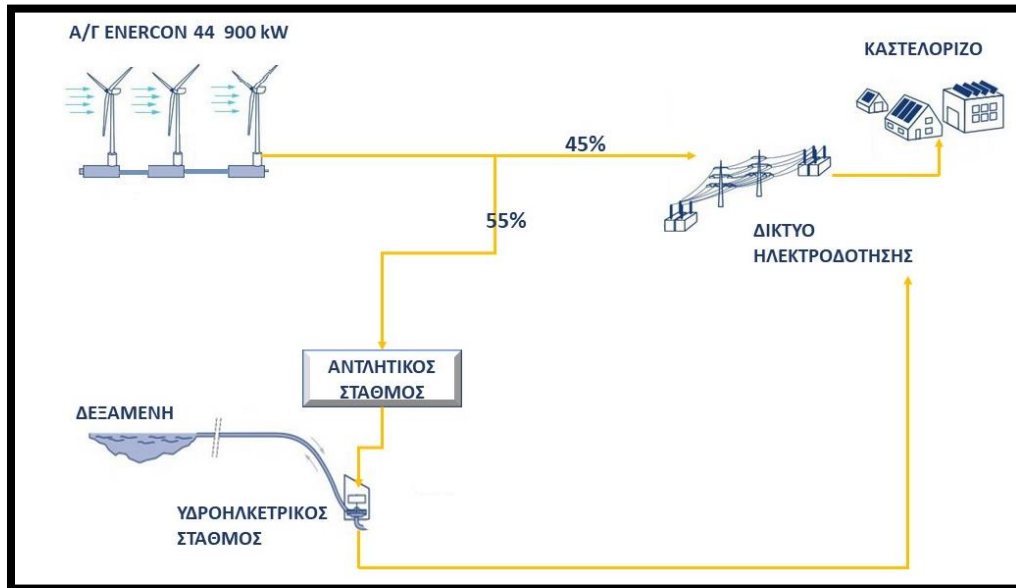
5.4 Ανάπτυξη μεθοδολογίας

Με σκοπό τον έλεγχο της απόκρισης του ΥΣ και του βαθμού αξιοπιστίας του ως προς την απαιτούμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και ύδρευσης, μελετώνται διάφορα σενάρια λειτουργίας. Η βασική αρχή που ισχύει σε όλα τα σενάρια είναι πως μέρος της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες διαχωρίζεται και διατίθεται κατά ένα ποσοστό απευθείας στο δίκτυο, ενώ το υπολειπόμενο σε χρήσεις, όπως η άντληση και αφαλάτωση, ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο μελέτης.

Σενάριο 1: Καθαρή αντλησιοταμίευση

Αρχικά το 1 σενάριο που εξετάζεται, αφορά στην καθαρή αντλησιοταμίευση, δηλαδή την κάλυψη αποκλειστικά της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η μονάδα αφαλάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, από την ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ το 45% διατίθεται απευθείας στο δίκτυο. Το υπόλοιπο 55% διατίθεται για την άντληση θαλασσινού νερού στην δεξαμενή. Στη συνέχεια όταν δεν καλύπτεται η ζήτηση από την απευθείας διάθεση ενέργειας του 45%, το νερό από την δεξαμενή ελευθερώνεται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, για να καλύψει το υπόλοιπο ποσοστό της

ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν δεν δύναται να καλύψει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση στο δίκτυο του 45% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη ενέργεια από το Μικρό Υδροηλεκτρικό σταθμό (ΜΥΗΣ), τότε τίθεται σε λειτουργία ο τοπικός σταθμός παραγωγής (ΤΣΠ) diesel. Στο παρακάτω Σχήμα 5.5 φαίνεται η διάταξη του σεναρίου 1.



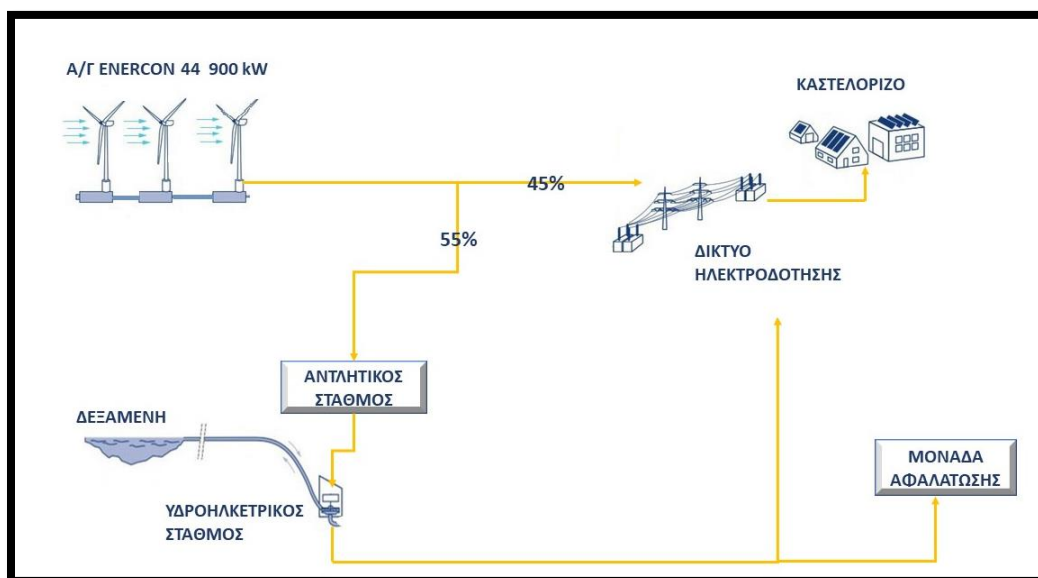
Σχήμα 5.5: Σχηματικό Διάγραμμα Σεναρίου 1

Σενάριο 2 : Υβριδικό Σύστημα με Μονάδα Αφαλάτωσης

Σ' αυτό το σενάριο, εξετάζεται η σύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης με το ΥΣ, προκειμένου να καλύπτονται οι υδρευτικές ανάγκες, πέρα από τις ανάγκες για ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Από την αιολική ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ, ένα ποσοστό διατίθεται απευθείας στο δίκτυο, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό της ενέργειας διατίθεται για άντληση θαλασσινού νερού στην δεξαμενή. Στη συνέχεια το νερό που βρίσκεται στην δεξαμενή απελευθερώνεται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται καλύπτει ένα ποσοστό της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας και ένα μέρος των αναγκών για ύδρευση. Για το σενάριο 2, λαμβάνουν χώρα δύο παραλλαγές, που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο τίθεται σε προτεραιότητα η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι μεθοδολογίες των δύο παραλλαγών του Σεναρίου 2.

Σενάριο 2.1 :Προτεραιότητα στην κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας

Το σενάριο 2.1 που εξετάζεται αφορά στην κάλυψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την κάλυψη των αναγκών σε ασφατωμένο νερό προς ύδρευση, με προτεραιότητα στις ηλεκτρικές ανάγκες. Το 45% της ενεργείας που παράγεται από τις Α/Γ διατίθεται απευθείας στο δίκτυο. Το υπόλοιπο 55% της ενέργειας διατίθεται για άντληση θαλασσινού νερού στην δεξαμενή. Στην συνέχεια το νερό που βρίσκεται στην δεξαμενή απελευθερώνεται μέσω της υδροηλεκτρικής μονάδας για να παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια και να καλύψει και το υπόλοιπο ποσοστό της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, εάν δεν έχει καλυφθεί. Η εναπομένουσα υδροηλεκτρική ενέργεια, εάν υπάρχει διατίθεται για την κάλυψη των αναγκών για ασφατάωση. Όταν δεν καλύπτεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση στο δίκτυο του 45% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη ενέργεια από το ΜΥΗΣ, τότε τίθεται σε λειτουργία ο ΤΣΠ diesel. Στο Σχήμα 5.5 που ακολουθεί φαίνεται η διάταξη του σεναρίου 2.1.

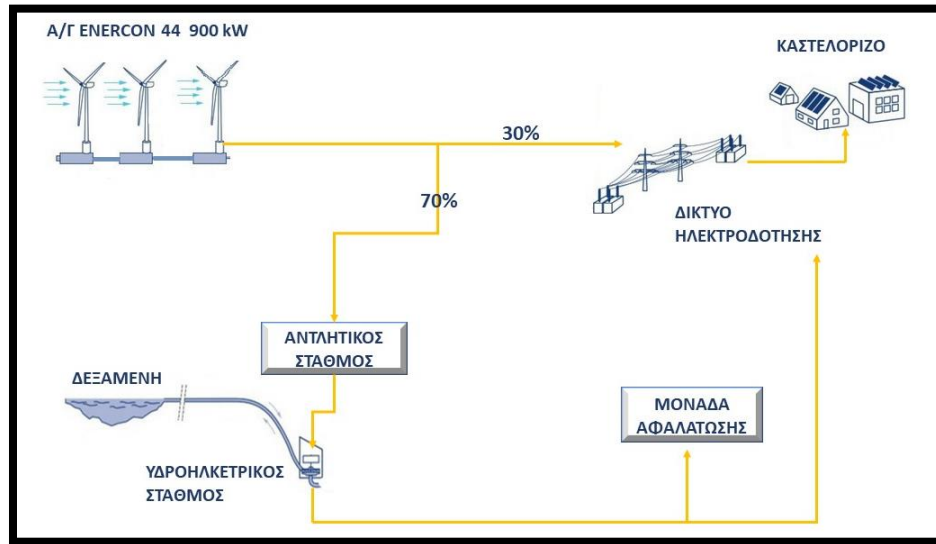


Σχήμα 5.5: Σχηματικό Διάγραμμα Σεναρίου 2.1

Σενάριο 2.2: Προτεραιότητα στην κάλυψη της υδρευτικής ζήτησης

Το σενάριο 2.2 αφορά στην κάλυψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την κάλυψη των αναγκών σε ασφατωμένο νερό προς ύδρευση, με προτεραιότητα στις υδρευτικές ανάγκες. Το 30% της αιολικής ενέργειας διατίθεται απευθείας στο δίκτυο. Το υπόλοιπο 70% της ενέργειας από τις Α/Γ διατίθεται για άντληση, προκειμένου να απελευθερωθεί μέσω της υδροηλεκτρικής μονάδας και να παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια. Πρωτεύοντα στόχος είναι η κάλυψη των αναγκών για ασφατάωση και στη συνέχεια η εναπομένουσα υδροηλεκτρική ενέργεια διατίθεται για να καλύψει και το

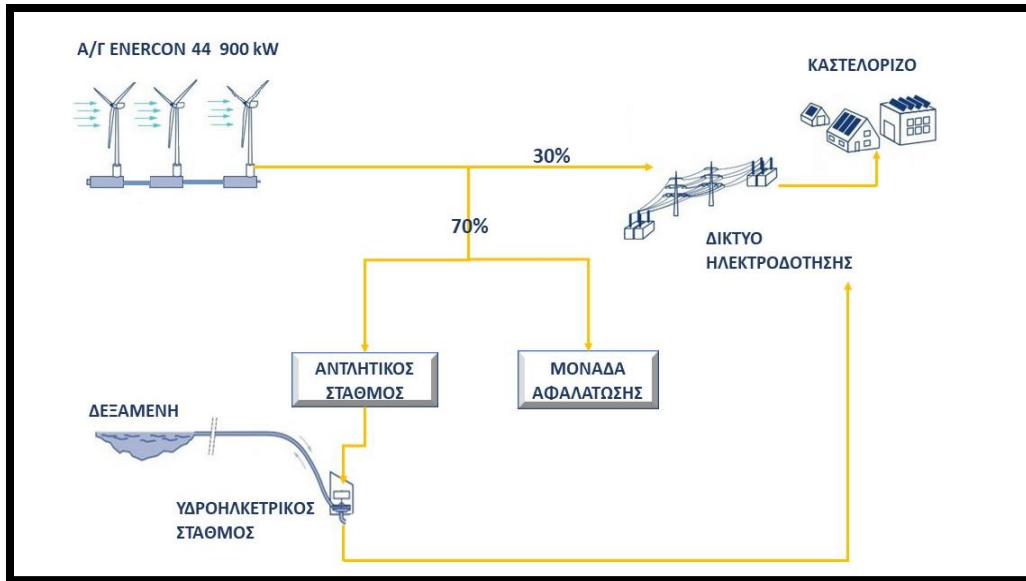
υπόλοιπο ποσοστό της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια εάν δεν έχει καλυφθεί. Όταν δεν καλύπτεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση στο δίκτυο του 30% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη ενέργεια από το ΜΥΗΣ, τότε τίθεται σε λειτουργία τον τοπικό σταθμό παραγωγής diesel. Το Σχήμα 5.6 δείχνει τη γενική διάταξη του σεναρίου 2.2.



Σχήμα 5.6: Σχηματικό Διάγραμμα Σεναρίου 2.2

Σενάριο 3 : Αφαλάτωση ως πρωτεύοντας στόχος

Στο τελευταίο σενάριο, όπως αναφέρει και ο τίτλος, η αφαλάτωση αποτελεί πρωτεύοντας στόχος του ΥΣ. Το 30% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας διατίθεται απευθείας στο δίκτυο. Στη συνέχεια το υπόλοιπο 70% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας διατίθεται αρχικά στη μονάδα αφαλάτωσης για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού, με σκοπό την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών. Εάν καλυφθούν οι ανάγκες ύδρευσης, η περίσσεια ενέργεια διατίθεται για την άντληση θαλασσινού νερού στην δεξαμενή, με σκοπό να απελευθερωθεί το νερό για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, καλύπτοντας έτσι το υπόλοιπο ποσοστό σε ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, εάν δεν έχει καλυφθεί. Ο ΤΣΠ μπαίνει σε λειτουργία μόνο όταν δεν καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες από το 30% την ενέργειας από τις Α/Γ και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια. Το Σχήμα 5.7 δείχνει τη γενική διάταξη του σεναρίου 3.



Σχήμα 5.7: Σχηματικό Διάγραμμα Σεναρίου 3

Διερεύνηση βέλτιστης κατανομής της παραγόμενης αιολικής ενέργειας

Σε κάθε σενάριο που εξετάζετε το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που μοιράζατε ανάμεσα στο δίκτυο και στο ΥΣ ήταν διαφορετικό. Το ποσοστό αυτό, προκύπτει έπειτα από διεύρυνση που λαμβάνει χώρα, με σκοπό να βρεθεί ο βέλτιστος διαχωρισμός της αιολικής ενέργειας, ως προς το δίκτυο και ως προς την άντληση ή στην αφαλάτωση. Συνεπώς σε κάθε σενάριο επιλέχθηκαν διάφοροι συνδυασμοί ποσοστών ξεκινώντας με το 20% προς το δίκτυο και 80% προς στην άντληση ή στην αφαλάτωση έως το 50%-50%. Το βέλτιστο ποσοστό προκύπτει παρατηρώντας πως ανταποκρίνεται το ΥΣ και πως διαμορφώνονται τα αποτελέσματα, όσον αφορά στην αξιοπιστία του συστήματος. αποφασίστηκε το βέλτιστο ποσοστό. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά για το σενάριο 1 και το σενάριο 2.2 τα αντίστοιχα αποτελέσματα της διερεύνησης αυτή.

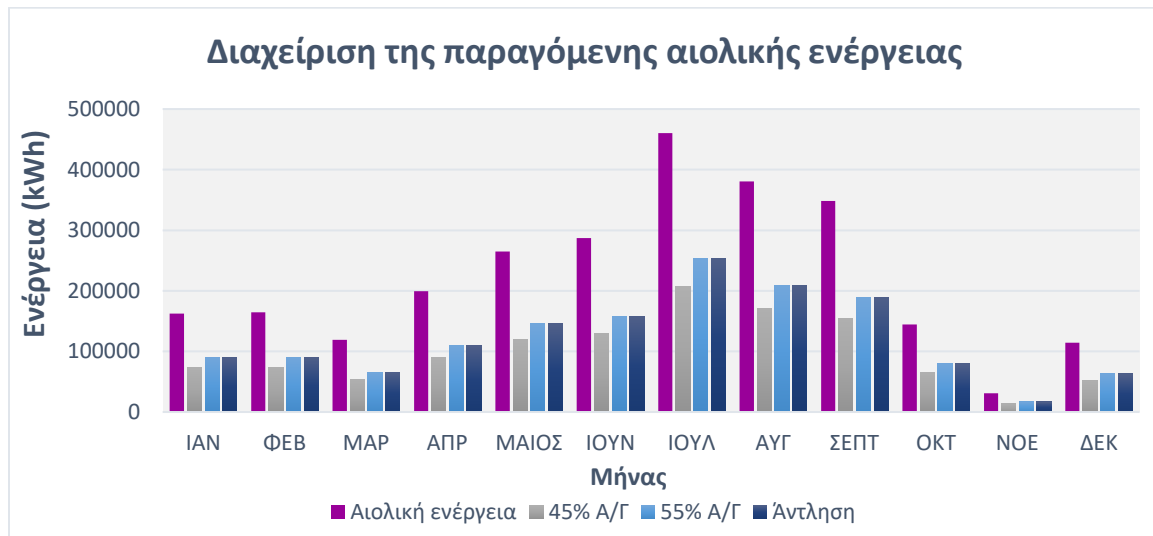
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Αποτελέσματα

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ΥΣ. Το μοντέλο προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Microsoft Excel 365.

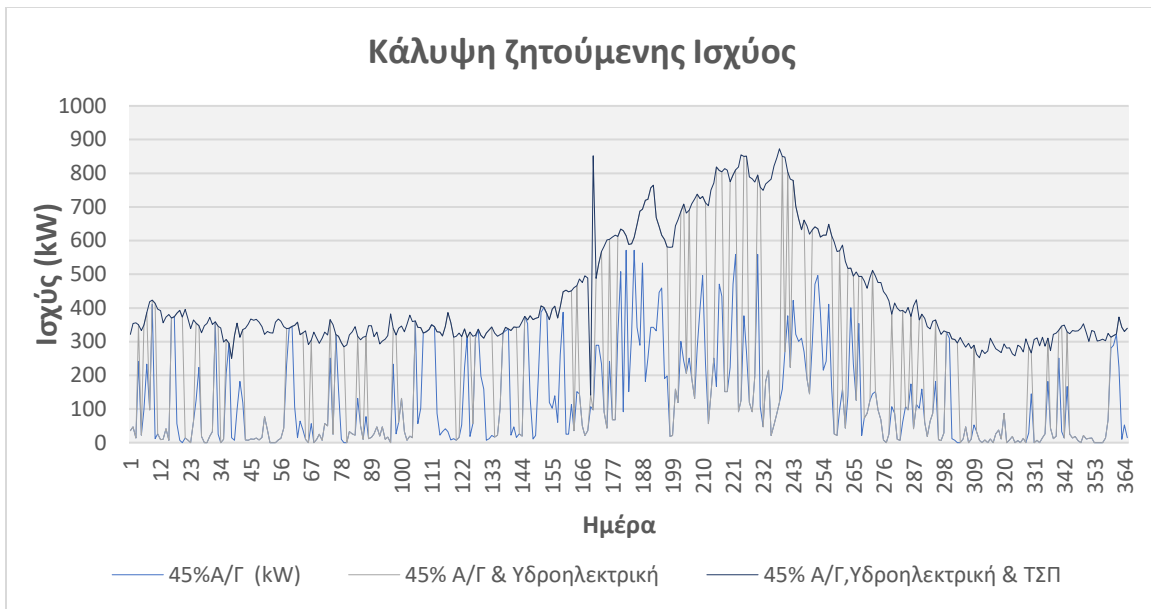
Σενάριο 1 :Καθαρή αντλησιοταμίευση

Στο σενάριο 1, το 45% της αιολικής ενέργειας διατίθεται στο δίκτυο ενώ το υπόλοιπο 55% της αιολικής ενέργειας διατίθεται στην άντληση. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.1 που δείχνει τη διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας η άντληση ισούται με το 55% της ενέργειας από τις Α/Γ.



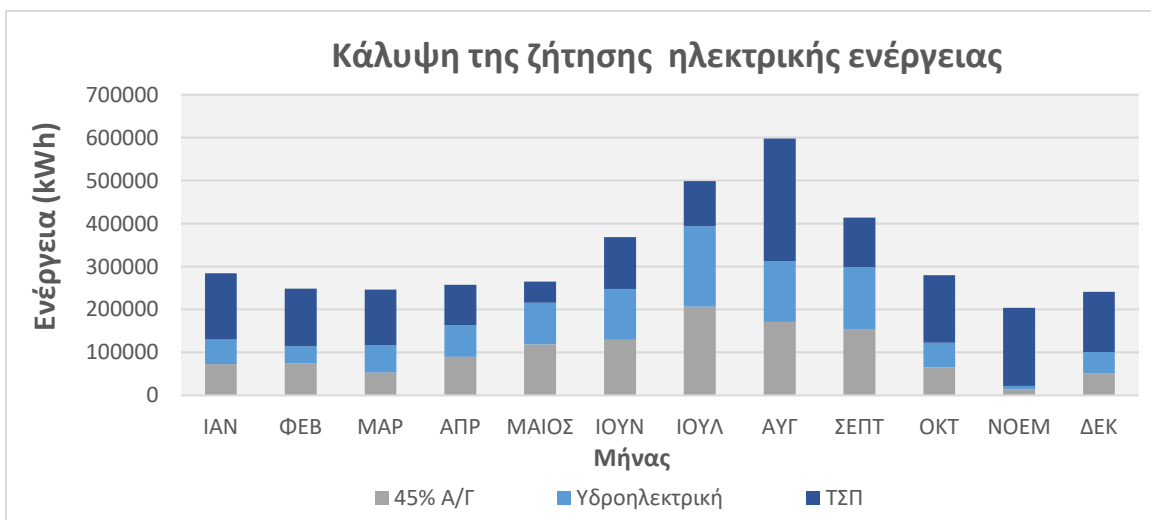
Σχήμα 6.1: Διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας

Το Σχήμα 6.2 δείχνει την συνεισφορά, στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε μιας από τις 3 πηγές ενέργειας που διαθέτει το ΥΣ (Α/Γ, ΜΥΗΣ, ΤΣΠ diesel). Η γαλάζια γραμμή δείχνει την απευθείας διαθέσιμη ισχύ από την Α/Γ στο δίκτυο. Η γκρι γραμμή αποτελεί το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο και της ισχύος του ΜΥΗΣ. Η μπλε γραμμή αναπαριστά το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο, της ισχύος του ΜΥΗΣ και της ισχύος του ΤΣΠ. Συνεπώς, το εμβαδόν που περικλείεται κάτω από τη γαλάζια γραμμή είναι η ενέργεια που διατίθεται απευθείας από την Α/Γ στο δίκτυο, για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχα, το εμβαδόν μεταξύ της γκρι και γαλάζιας γραμμής αποτελεί την συμβολή του ΜΥΗΣ για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος, το εμβαδόν μεταξύ της μπλε και γκρι γραμμής είναι η παραγόμενη ενέργεια από τον ΤΣΠ.



Σχήμα 6.2: Κάλυψη της ετήσιας ζητούμενης ισχύος

Στο Σχήμα 6.3, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο καλύπτεται η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 45% της απευθείας διάθεσης της αιολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, τότε μπαίνει σε λειτουργία ο ΤΣΠ diesel του νησιού, προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ενεργειακές ανάγκες.



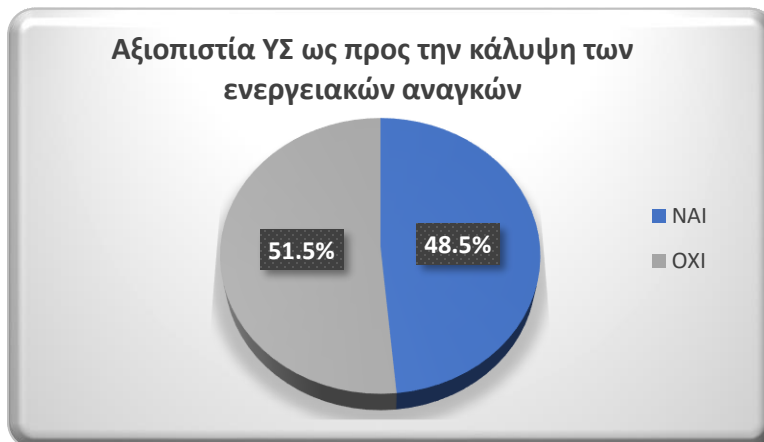
Σχήμα 6.3: Κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε μηνιαία βάση

Το Σχήμα 6.4 δείχνει το ποσοστό κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας. Απεικονίζει, δηλαδή, την συμμετοχή κάθε μια από τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας και αντίστοιχα κατά πόσο περιορίστηκε η χρήση του ΤΣΠ, η μείωση του οποίου προσεγγίζει το 53,3%.



Σχήμα 6.4: Ποσοστό συμβολής στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση

Στο σχήμα 6.5, παρουσιάζεται η αξιοπιστία του έργου, δηλαδή το ποσοστό των ημερών (177 από τις 365), κατά τη διάρκεια ενός έτους, που το νησί καταφέρνει να είναι ενεργειακά αυτόνομο, λόγω του υβριδικού έργου. Αυτό επιτυγχάνεται σε ένα ποσοστό 48,5%, ενώ σε ένα ποσοστό 51,5% το νησί συνεχίζει να εξαρτάται από το ΤΣΠ.



Σχήμα 6.5: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση του 45% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια σε ετήσια βάση

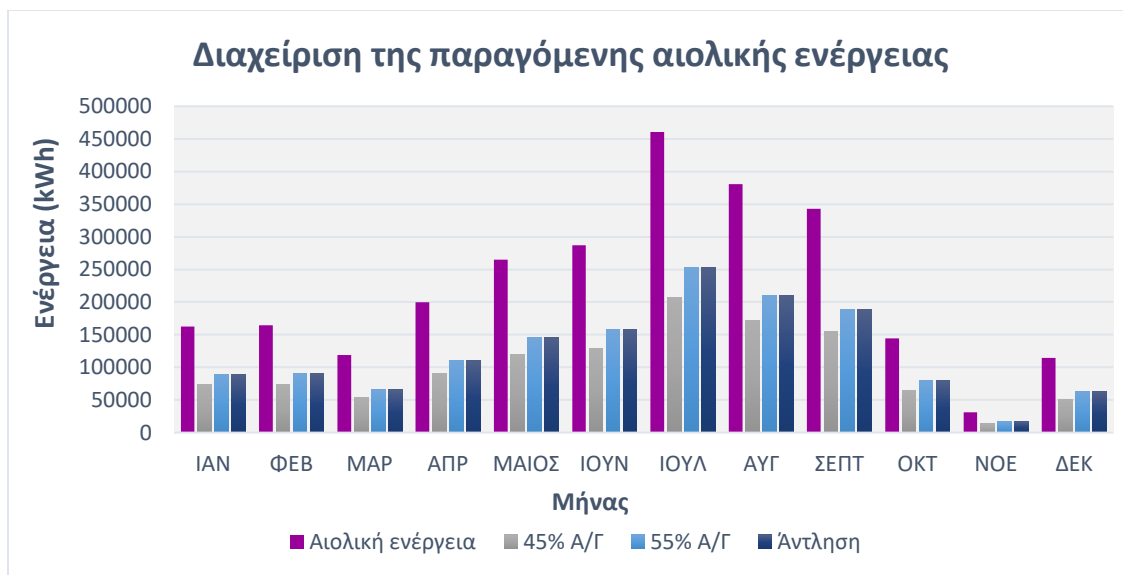
Το τελευταίο Σχήμα 6.6 δείχνει τον απαιτούμενο όγκο νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και το διαθέσιμο όγκο νερού. Τις ημέρες που ο διαθέσιμος όγκος είναι ίσος με τον απαιτούμενο, το νησί είναι ενεργειακά αυτόνομο.



Σχήμα 6.6: Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

Σενάριο 2.1: Προτεραιότητα στην κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας

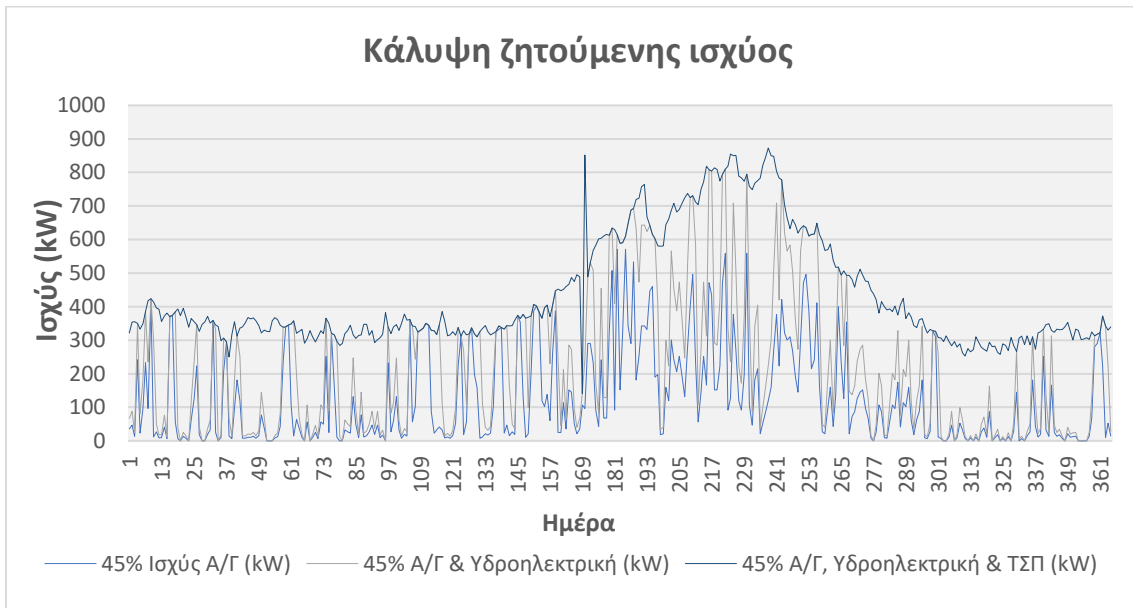
Στο Σχήμα 6.7, φαίνεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Το ποσοστό του 45% πηγαίνει κατευθείαν στο δίκτυο, για χρήση, και το ποσοστό των 55% χρησιμοποιείται για την άντληση.



Σχήμα 6.7: Διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας

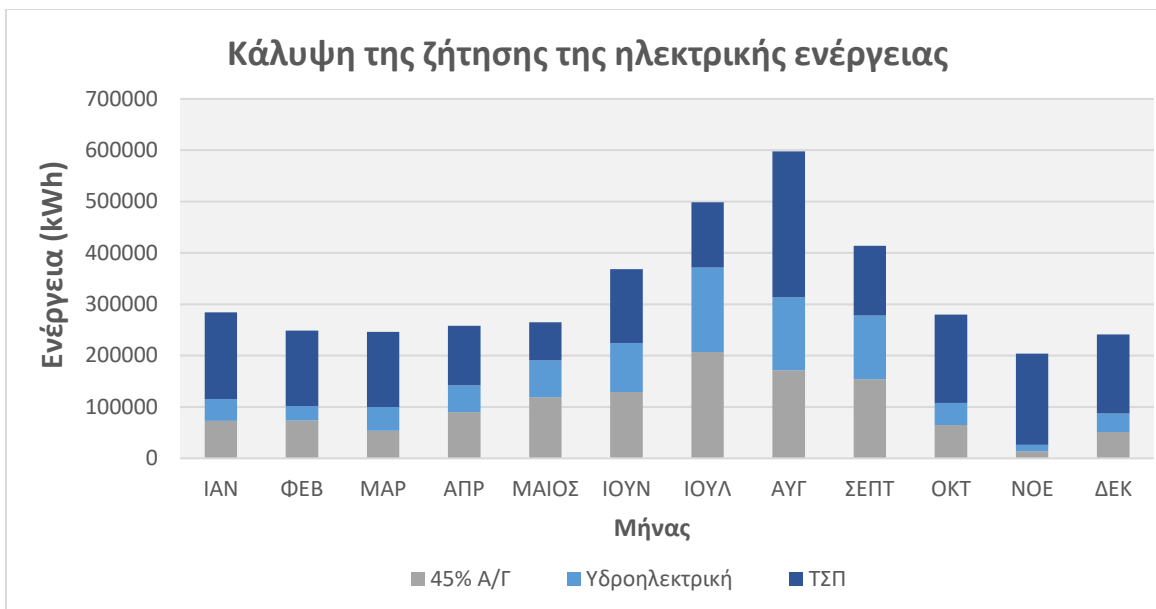
Το σχήμα 6.8 δείχνει για κάθε μιας από τις 3 πηγές ενέργειας (Α/Γ, ΜΥΗΣ, ΤΣΠ) πόση είναι η συνεισφορά, στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η γαλάζια γραμμή μας δείχνει την απευθείας διαθέσιμη ισχύ από την Α/Γ στο δίκτυο. Η γκρι γραμμή είναι το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο και της ισχύος του ΜΥΗΣ.

Η μπλε γραμμή είναι το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο, της ισχύος του ΜΥΗΣ και της ισχύος του ΤΣΠ. Επομένως, το εμβαδόν που βρίσκεται κάτω από τη γαλάζια γραμμή είναι η ενέργεια που διατίθεται απευθείας από την Α/Γ στο δίκτυο για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχα, το εμβαδόν μεταξύ της γκρι και γαλάζιας γραμμής είναι η συμβολή του ΜΥΗΣ για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος, το εμβαδόν μεταξύ της μπλε και γκρι γραμμής είναι η παραγόμενη ενέργεια από τον ΤΣΠ.



Σχήμα 6.8: Κάλυψη της ετήσιας ζητούμενης ισχύος

Στο Σχήμα 6.9, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο καλύπτεται η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 45% της απευθείας διάθεσης της αιολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, τότε μπαίνει σε λειτουργία ο ΤΣΠ diesel του νησιού, προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες ζήτησης.



Σχήμα 6.9: Κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε μηνιαία βάση

Στο Σχήμα 6.10, φαίνεται ότι οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού κατά τη διάρκεια ενός έτους καλύπτονται κατά 27,40% από την απευθείας χρήση του 45% της αιολικής ενέργειας, κατά 20,60% από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 52,0% προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ.



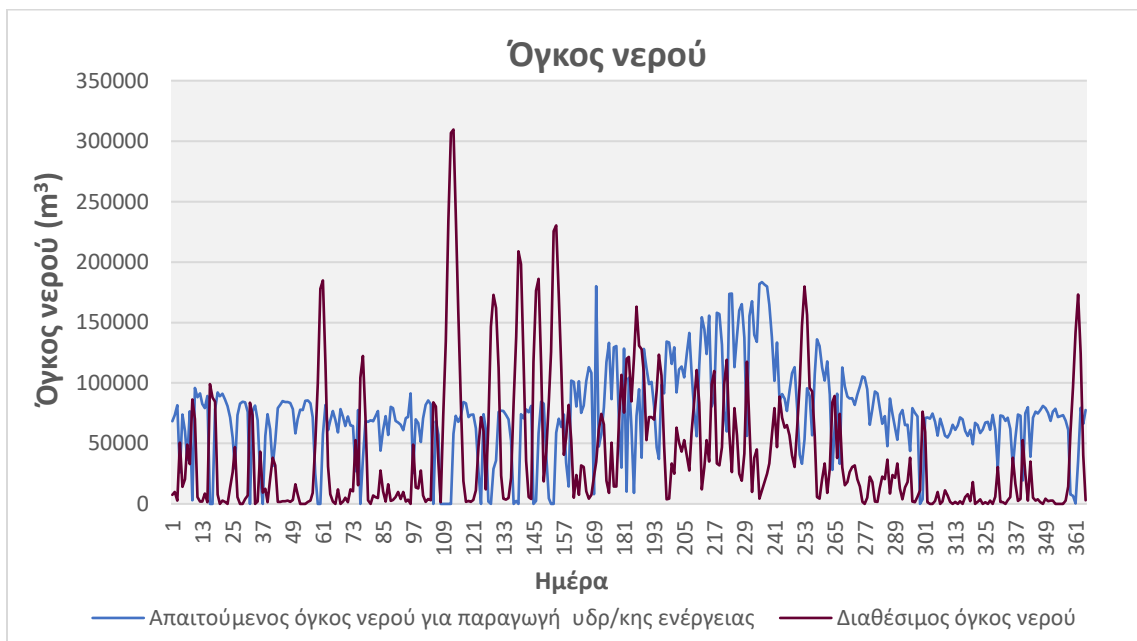
Σχήμα 6.10: Ποσοστό συμβολής στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση

Το Σχήμα 6.11 δείχνει την αξιοπιστία του συστήματος, δηλαδή τον αριθμό των ημερών (98 από τις 365) που η Α/Γ μαζί το ΜΥΗΣ καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες, χωρίς να μπαίνει σε λειτουργία ο ΤΣΠ.



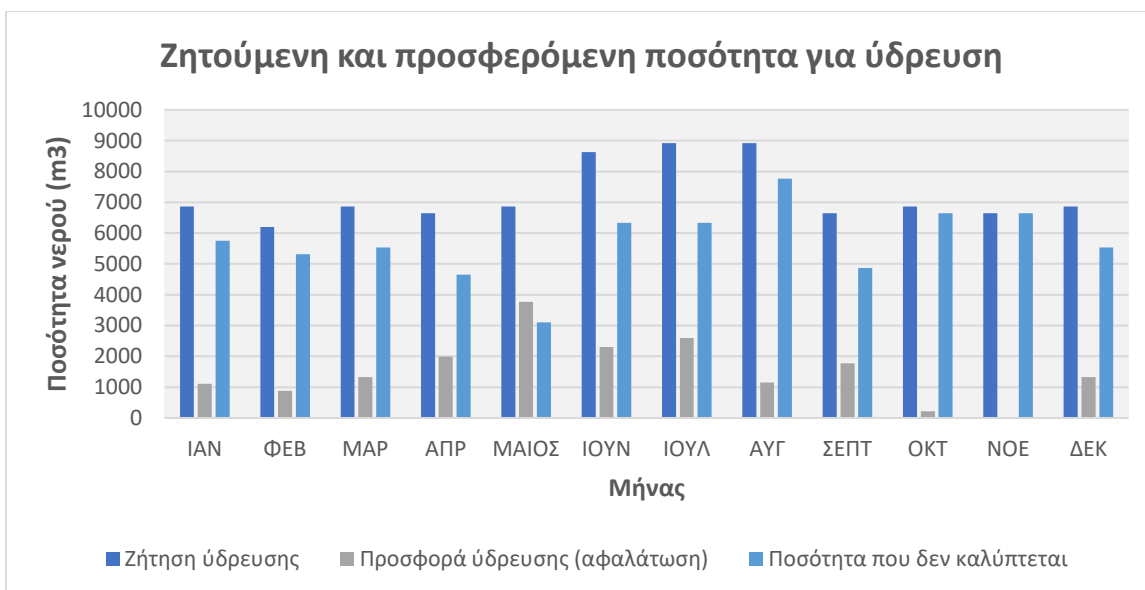
Σχήμα 6.11: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση του 45% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια σε ετήσια βάση

Το Σχήμα 6.12 δείχνει τον απαιτούμενο όγκο νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και το διαθέσιμο όγκο νερού. Τις ημέρες που ο διαθέσιμος όγκος είναι ίσος με τον απαιτούμενο, το νησί είναι ενεργειακά αυτόνομο.



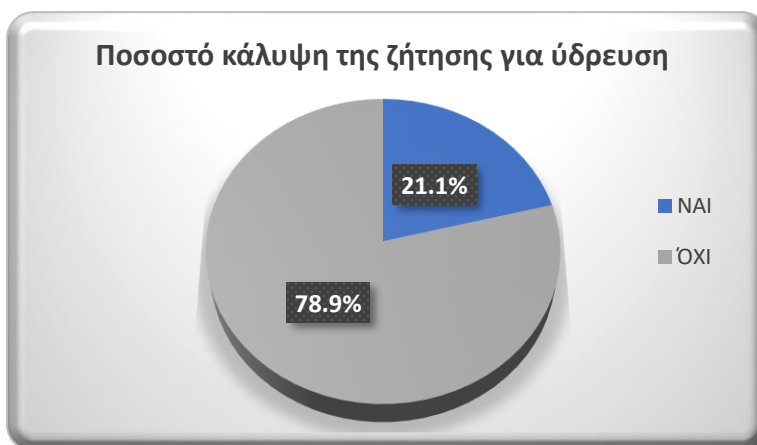
Σχήμα 6.12: Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

Στο Σχήμα 6.13, παρουσιάζεται η ζητούμενη ποσότητα, η προσφερόμενη ποσότητα, καθώς και το έλλειμμα του νερού για ύδρευση για κάθε μήνα. Το μηνά Νοέμβριο οι ανάγκες ύδρευσης δεν καλύπτονται καθόλου.



Σχήμα 6.13: Ζητούμενη και προσφερόμενη ποσότητα ύδρευσης

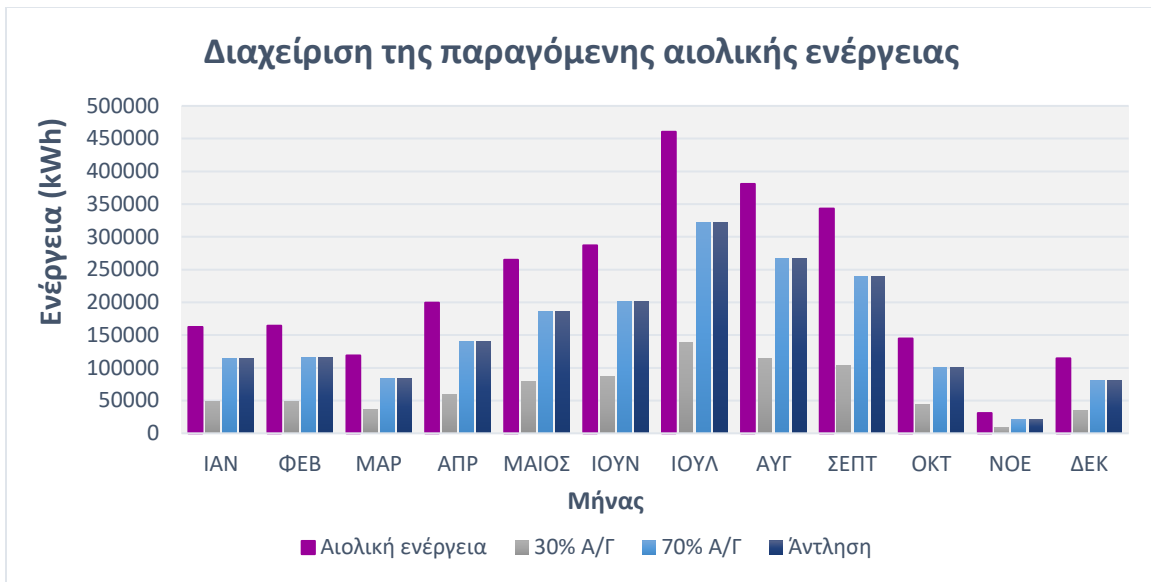
Στο Σχήμα 6.14, φαίνεται το ποσοστό κάλυψης του αφαλατωμένου νερού για ύδρευση. Δείχνει, δηλαδή, το ποσοστό αξιοπιστίας κάλυψης της ύδρευσης, το οποίο ανέρχεται στο 21,10%. Από τις 365 μέρες, τις 77 οι ανάγκες για ύδρευση καλύπτονται πλήρως.



Σχήμα 6.14: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης για ύδρευση σε ετήσια βάση

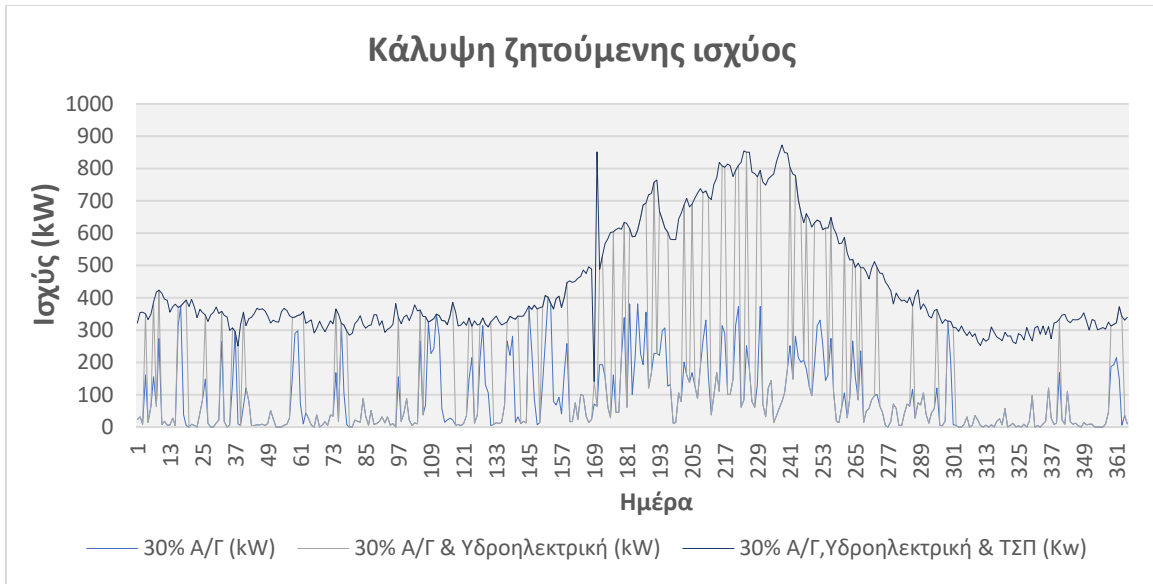
Σενάριο 2.2 :Προτεραιότητα στην κάλυψη της υδρευτικής ζήτησης

Το ποσοστό του 30% της αιολικής πηγαίνει κατευθείαν στο δίκτυο για χρήση και το ποσοστό των 70% χρησιμοποιείται για την άντληση. Στο Σχήμα 6.15, φαίνεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας.



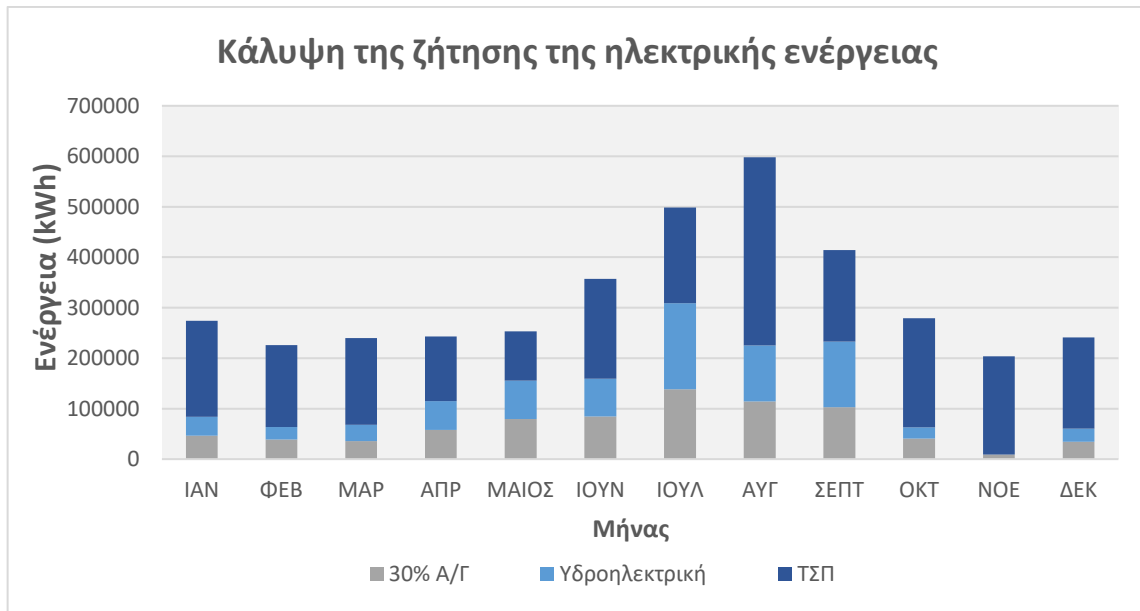
Σχήμα 6.15: Διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας.

Το σχήμα 6.16 δείχνει για κάθε μιας από τις 3 πηγές ενέργειας (Α/Γ, ΜΥΗΣ, τοπικός σταθμός παραγωγής diesel (ΤΣΠ)) πόσο συνεισφέρουν στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η γαλάζια γραμμή μας δείχνει την απευθείας διαθέσιμη ισχύ από την Α/Γ στο δίκτυο. Η γκρι γραμμή είναι το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο και της ισχύος του ΜΥΗΣ. Η μπλε γραμμή είναι το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο, της ισχύος του ΜΥΗΣ και της ισχύος του ΤΣΠ. Συνεπώς, το εμβαδόν που περικλείεται κάτω από την γαλάζια γραμμή είναι η ενέργεια που διατίθεται απευθείας από την Α/Γ στο δίκτυο για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχα, το εμβαδόν μεταξύ της γκρι και γαλάζιας γραμμής είναι η συμβολή του ΜΥΗΣ για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος, το εμβαδόν μεταξύ της μπλε και γκρι γραμμής είναι η παραγόμενη ενέργεια από τον ΤΣΠ.



Σχήμα 6.16: Κάλυψη της ετήσιας ζητούμενης ισχύος

Στο Σχήμα 6.17, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο καλύπτεται η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 30% της απευθείας διάθεσης της αιολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια τότε, μπαίνει σε λειτουργία ο ΤΣΠ diesel του νησιού, προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες ζήτησης.



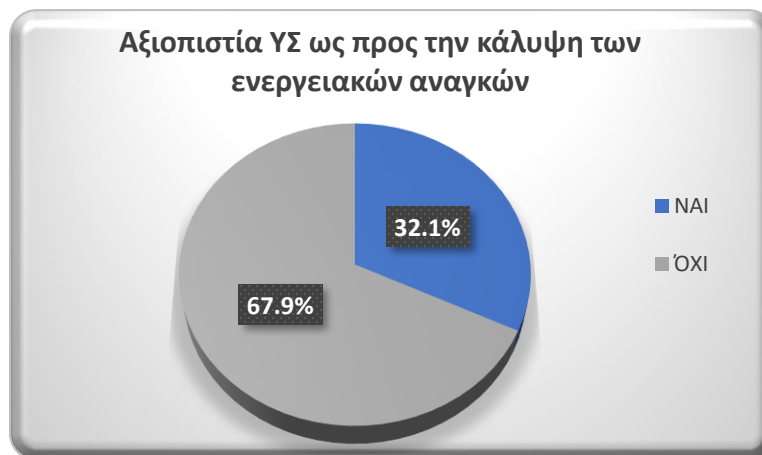
Σχήμα 6.17: Κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε μηνιαία βάση

Στο Σχήμα 6.18, φαίνεται ότι οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού κατά τη διάρκεια ενός έτους καλύπτονται κατά 19,5% από την απευθείας χρήση του 30% της αιολικής ενέργειας, κατά 18,1% από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 62,3% προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ.



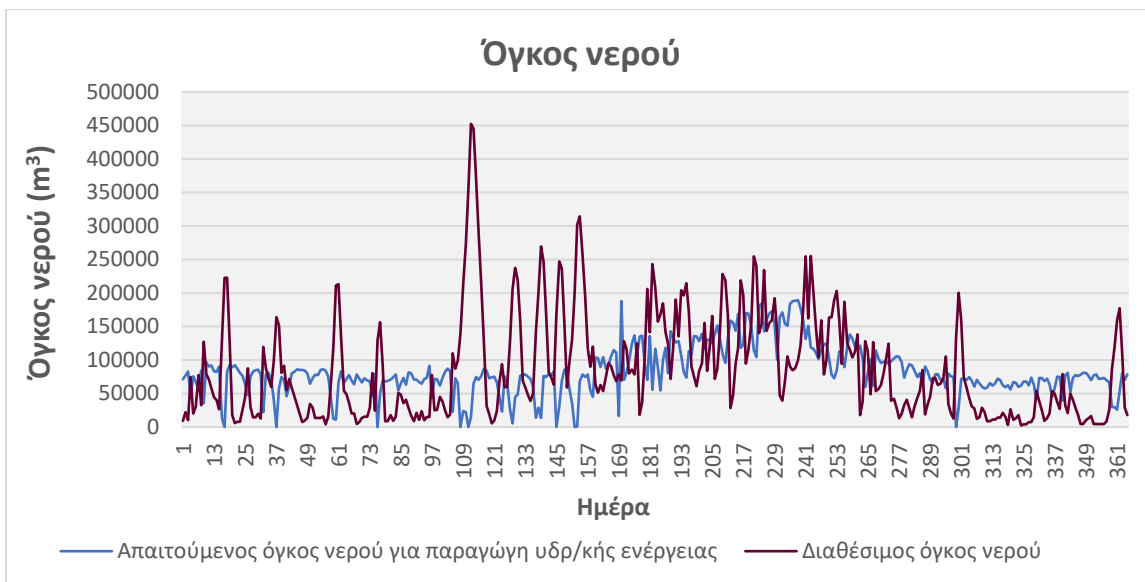
Σχήμα 6.18: Ποσοστό συμβολής στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση.

Στο Σχήμα 6.19 παρουσιάζεται η αξιοπιστία του συστήματος, δηλαδή τον αριθμό των ημερών (117 από τις 365) που η Α/Γ μαζί το ΜΥΗΣ καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες, χωρίς να μπαίνει σε λειτουργία ο ΤΣΠ.



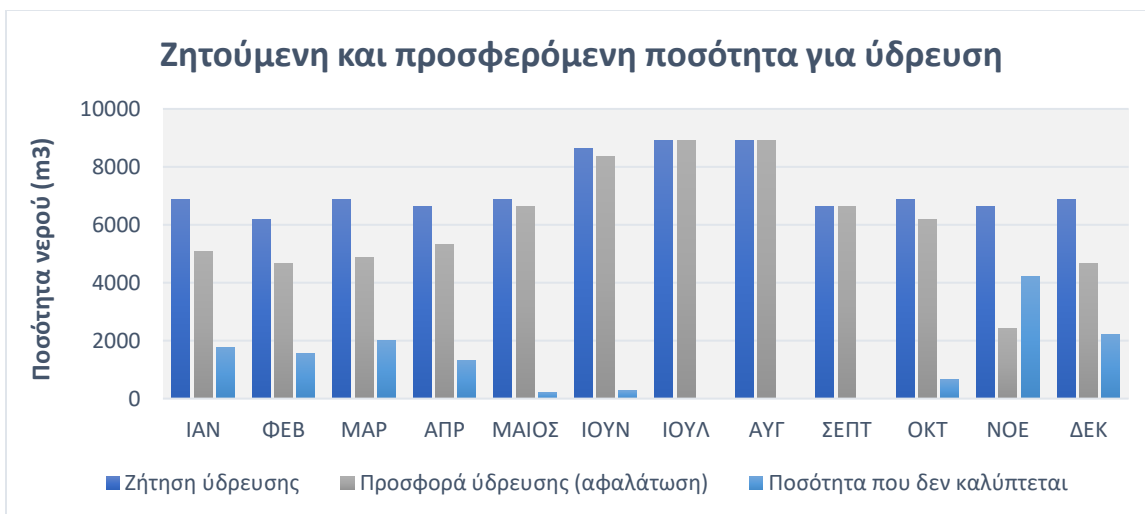
Σχήμα 6.19: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση του 30% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια σε ετήσια βάση

Το Σχήμα 6.20, δείχνει τον απαιτούμενο όγκο νερού που πρέπει να απελευθερωθεί από την δεξαμενή για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τον διαθέσιμο όγκο νερού. Όταν ο διαθέσιμος όγκος είναι ίσος με τον απαιτούμενο, το νησί δεν θέτει σε λειτουργία τον ΤΣΠ.



Σχήμα 6.20: Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

Στο Σχήμα 6.21, παρουσιάζεται η ζητούμενη ποσότητα, η προσφερόμενη ποσότητα, καθώς και το έλλειμμα του νερού για ύδρευση για κάθε μήνα. Παρατηρείται ότι τους μήνες Ιούλιο Αύγουστο και Σεπτέμβρη, οι ανάγκες για ύδρευση καλύπτονται πλήρως από την αφαλάτωση.



Σχήμα 6.21: Ζητούμενη και προσφερόμενη ποσότητα ύδρευσης

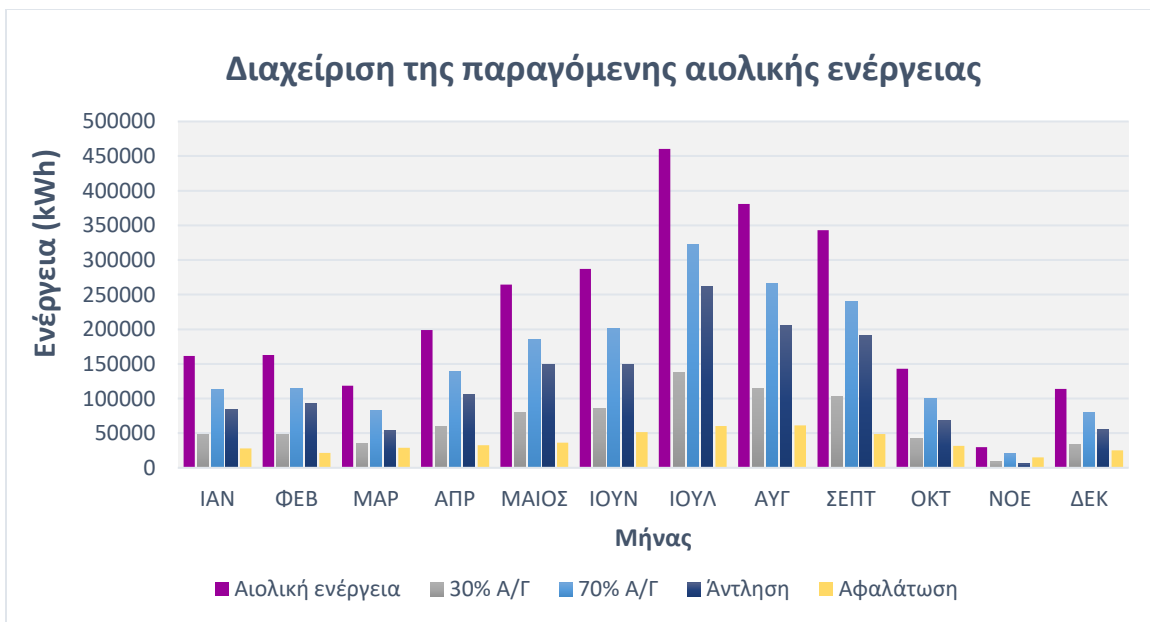
Στο Σχήμα 6.22, φαίνεται το ποσοστό κάλυψης του αφαλατωμένου νερού για ύδρευση. Δείχνει, δηλαδή, το ποσοστό αξιοπιστίας κάλυψης της ύδρευσης το οποίο ανέρχεται στο 85,5% . Από τις 365 μέρες τις 30 οι ανάγκες για ύδρευση καλύπτονται πλήρως.



Σχήμα 6.22: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης για ύδρευση σε ετήσια βάση

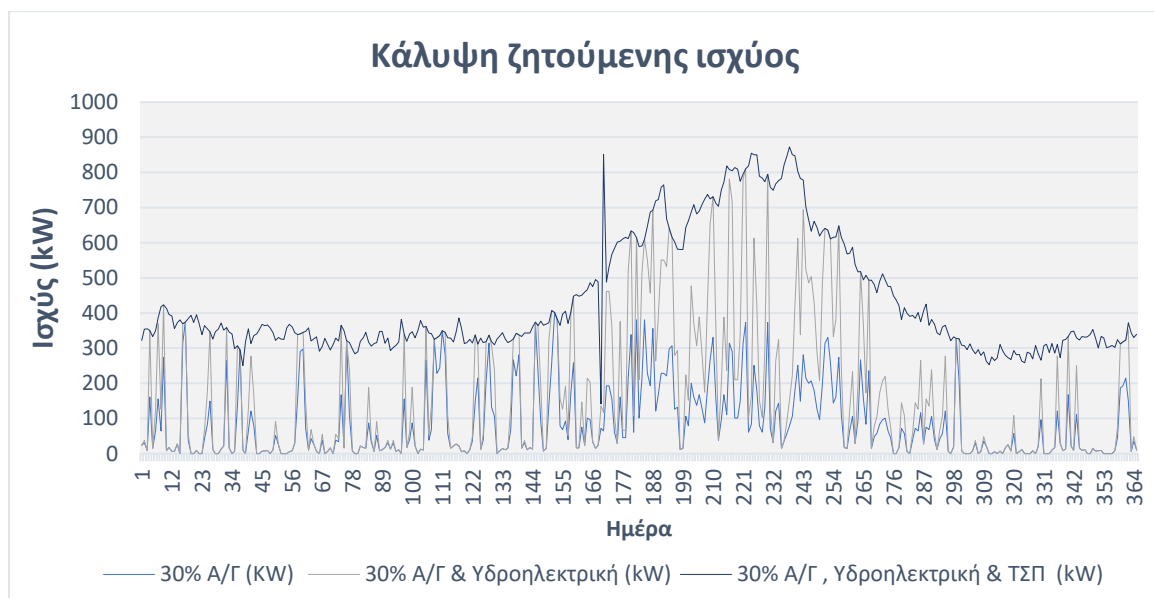
Σενάριο 3 : Αφαλάτωση ως πρωτεύοντας στόχος

Στο Σχήμα 6.23, φαίνεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Το ποσοστό του 30% πηγαίνει κατευθείαν στο δίκτυο για χρήση και το ποσοστό των 70% χρησιμοποιείται αρχικά για την αφαλάτωση.



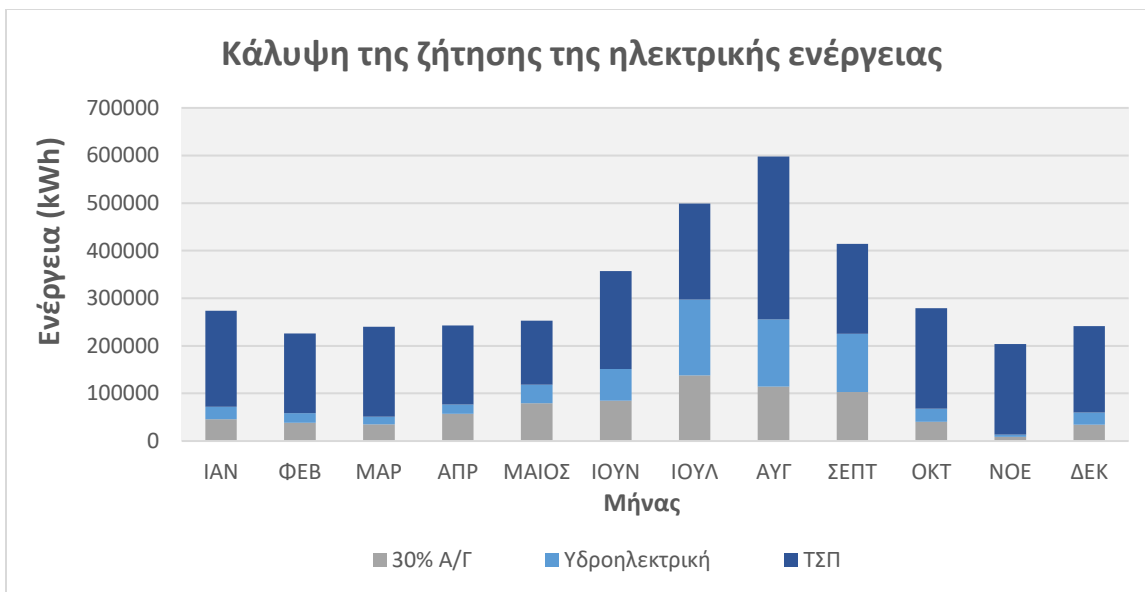
Σχήμα 6.23: Διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας

Το Σχήμα 6.24 δείχνει την συνεισφορά, στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, κάθε μιας από τις 3 διαθέσιμες πηγές ενέργειας (Α/Γ, ΜΥΗΣ, τοπικός σταθμός παραγωγής diesel (ΤΣΠ)). Η γαλάζια γραμμή μας δείχνει την απευθείας διαθέσιμη ισχύ από την Α/Γ στο δίκτυο. Η γκρι γραμμή είναι το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο και της ισχύος του ΜΥΗΣ. Η μπλε γραμμή είναι το άθροισμα της απευθείας διαθέσιμης ισχύος της Α/Γ στο δίκτυο, της ισχύος του ΜΥΗΣ και της ισχύος του ΤΣΠ. Συνεπώς, το εμβαδόν που περικλείεται κάτω από τη γκρι γραμμή είναι η ενέργεια που διατίθεται απευθείας από την Α/Γ στο δίκτυο για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχα, το εμβαδόν μεταξύ της γκρι και γαλάζιας γραμμής είναι η συμβολή του ΜΥΗΣ για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος, το εμβαδόν μεταξύ της μπλε και γκρι γραμμής είναι η παραγόμενη ενέργεια από τον ΤΣΠ.



Σχήμα 6.24: Κάλυψη της ετήσιας ζητούμενης ισχύος

Στο Σχήμα 6.25, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο καλύπτεται η ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 30% της απευθείας διάθεσης της αιολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια τότε, μπαίνει σε λειτουργία ο τοπικός σταθμός παραγωγής ΤΣΠ του νησιού, προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες ζήτησης.



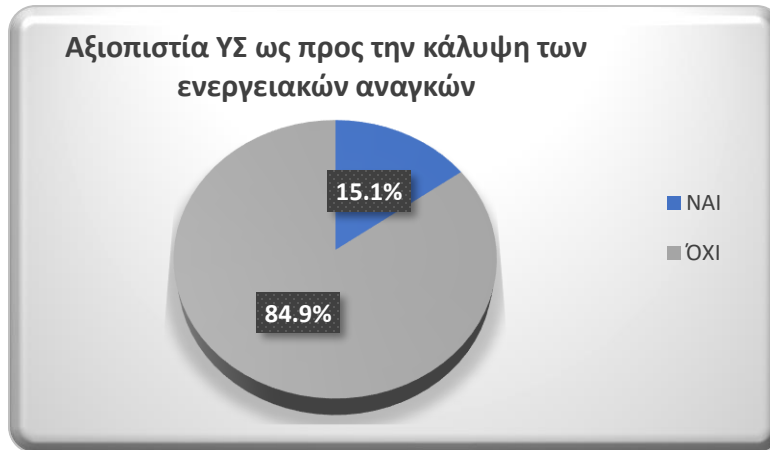
Σχήμα 6.25: Κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε μηνιαία βάση

Στο Σχήμα 6.26, φαίνεται ότι οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού κατά τη διάρκεια ενός έτους καλύπτονται κατά 19,5% από την απευθείας χρήση του 30% της αιολικής ενέργειας, κατά 14,5% από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 66% προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ.



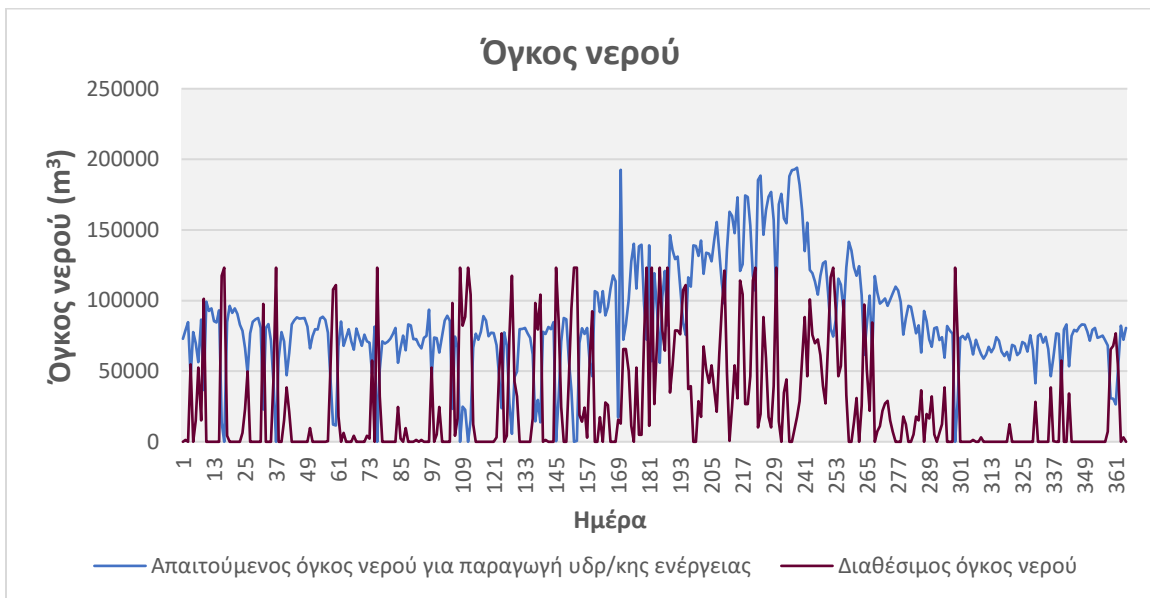
Σχήμα 6.26: Ποσοστό συμβολής στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση.

Το Σχήμα 6.27 δείχνει την αξιοπιστία του συστήματος, δηλαδή τον αριθμό των ημερών (55 από τις 365) που η Α/Γ μαζί το ΜΥΗΣ καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες χωρίς να μπαίνει σε λειτουργία ο ΤΣΠ.



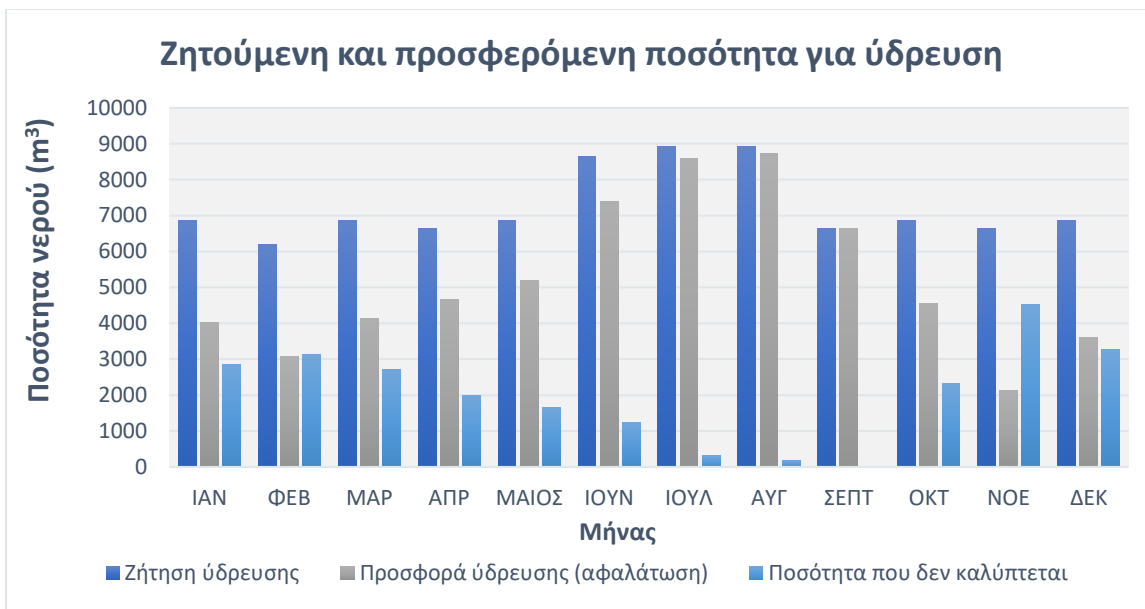
Σχήμα 6.27: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από την απευθείας διάθεση του 30% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια σε ετήσια βάση.

Το Σχήμα 6.28, δείχνει τον απαιτούμενο όγκο νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και το διαθέσιμο όγκο νερού. Τις ημέρες που ο διαθέσιμος όγκος είναι ίσος με τον απαιτούμενο, το νησί είναι ενεργειακά αυτόνομο.



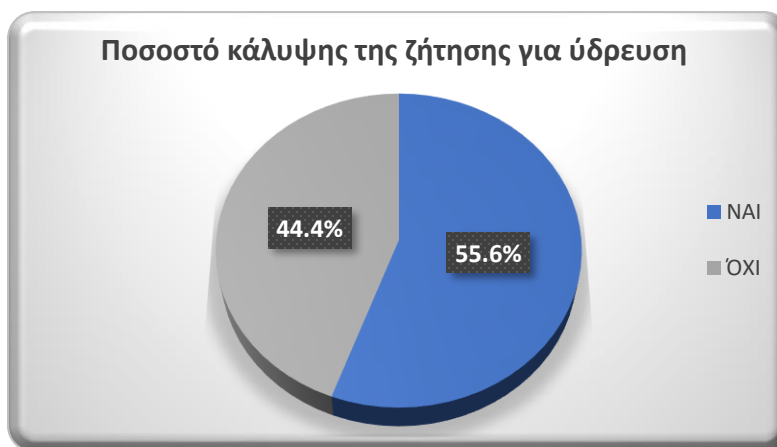
Σχήμα 6.28: Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στο Σχήμα 6.29, παρουσιάζεται η ζητούμενη ποσότητα, η προσφερόμενη ποσότητα, καθώς και το έλλειμμα του νερού για ύδρευση για κάθε μήνα. Τον Σεπτέμβριο οι ανάγκες για ύδρευση καλύπτονται πλήρως από την αφαλάτωση.



Σχήμα 6.29: Ζητούμενη και προσφερόμενη ποσότητα ύδρευσης

Στο Σχήμα 6.30, φαίνεται το ποσοστό κάλυψης του αφαλατωμένου νερού για ύδρευση. Δείχνει δηλαδή, το ποσοστό αξιοπιστίας κάλυψης της ύδρευσης το οποίο ανέρχεται στο 55,60% . Από τις 335 μέρες τις 203 οι ανάγκες για ύδρευση καλύπτονται πλήρως.



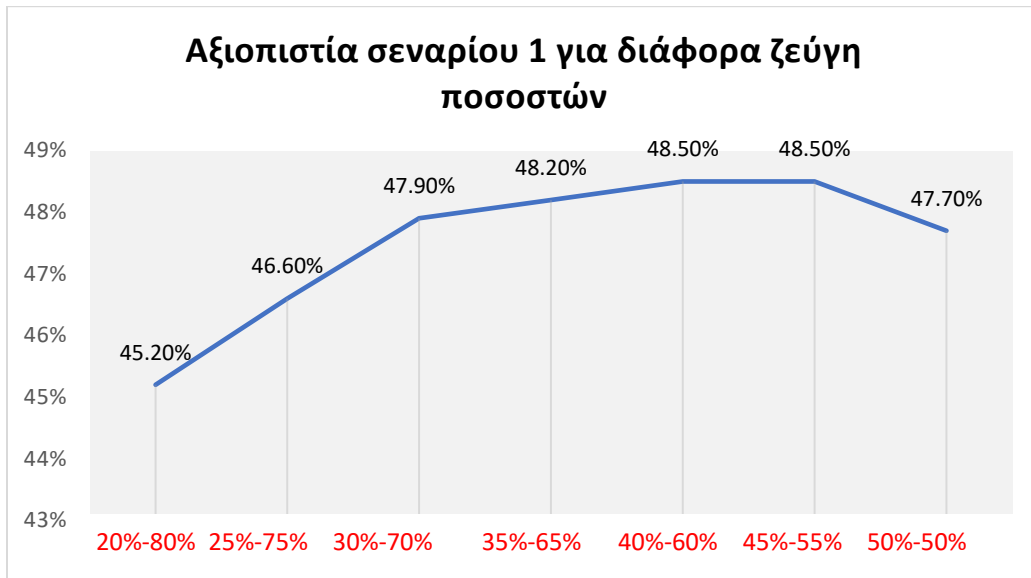
Σχήμα 6.30: Ποσοστό κάλυψης της ζήτησης για ύδρευση σε ετήσια βάση.

6.2 Αποτελέσματα για την διερεύνηση βέλτιστης κατανομής της παραγόμενης αιολικής ενέργειας

Σενάριο 1

Με σκοπό να βρεθεί ο βέλτιστος διαχωρισμός της αιολικής ενέργειας, ως προς το δίκτυο και ως προς την άντληση για τα δεδομένα ενός έτους, δοκιμάζονται διαφορετικοί συνδυασμοί διαχωρισμού της αιολικής ενέργειας. Για την αξιοπιστία του Σεναρίου 1 δοκιμάζεται ζεύγη ποσοστών από το 20% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας προς το

δίκτυο και το 80% προς άντληση έως το αντίστοιχο 50%-50%, όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.31.

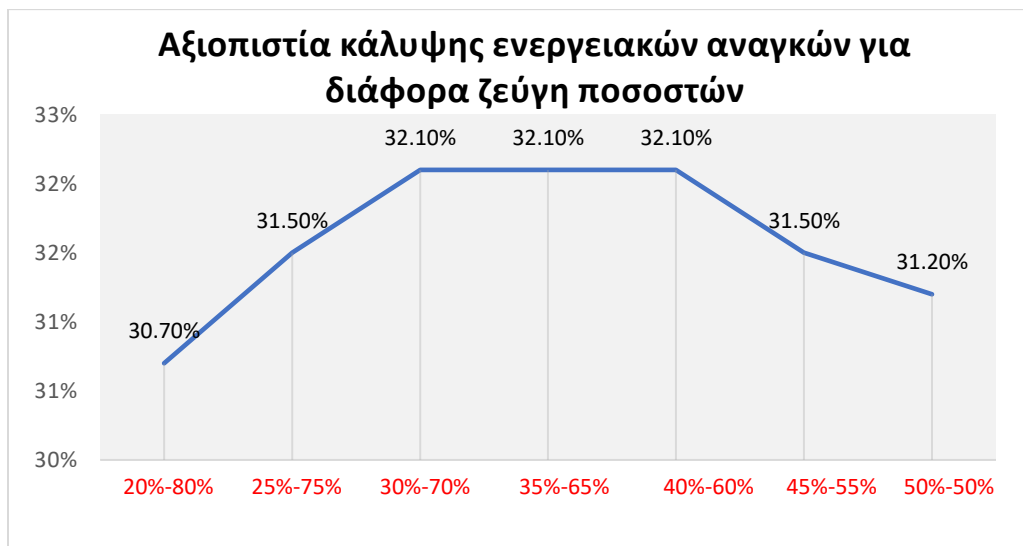


Σχήμα 6.31: Συσχέτιση Αξιοπιστίας με ζεύγη ποσοστών για Σ-1

Από το Σχήμα 6.31 για τα διάφορα ζεύγη ποσοστών, γίνεται εμφανές πως η αξιοπιστία αλλάζει σημαντικά με τη μεταβολή του ενεργειακού ισοζυγίου. Ως δυσμενέστερο εμφανίζεται το ζεύγος 20%-80%, με αξιοπιστία 45,2%, και ως βέλτιστο το 45%-55% και 40%-60% με αξιοπιστία 48,5%.

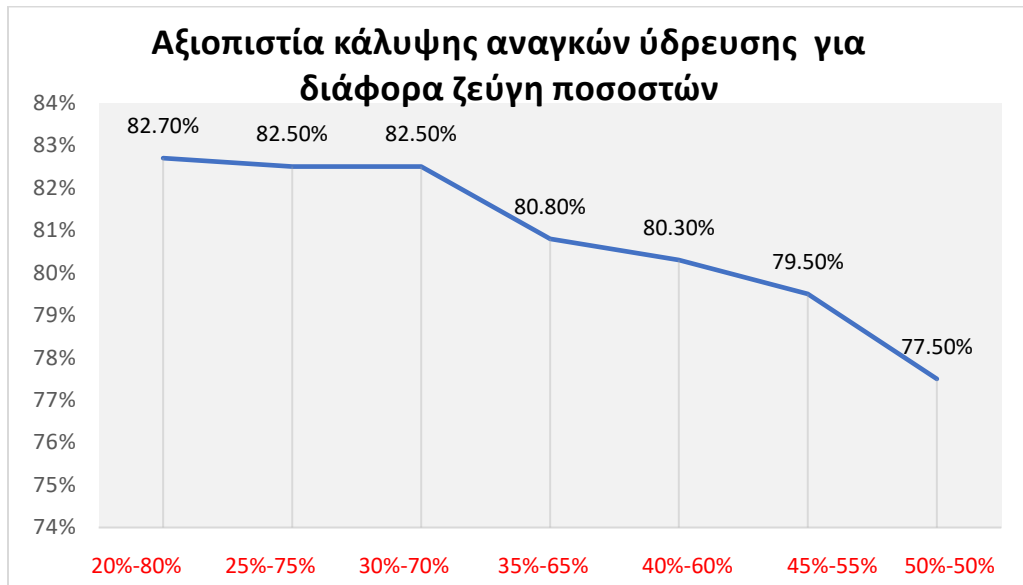
Σενάριο 2.2

Με την ίδια διαδικασία με προηγουμένως δοκιμάζονται διαφορετικά ζεύγη ποσοστών διαμορισμού της αιολικής ενέργειας για το σενάριο 2.2 και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν.



Σχήμα 6.32: Αξιοπιστία Υ/Σ για τα διάφορα ζεύγη ποσοστών Σενάριο 2.2

Όπως είναι φανερό από το παραπάνω Σχήμα 6.32, τα ζεύγη με τα οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη αξιοπιστία του Υ/Σ είναι τα 30%-70%, 35%-65%, 40%-60% με τιμή αξιοπιστίας 32,1%. Όμως, επειδή το Σενάριο 2.2 μορφώνεται με προτεραιότητα στην αφαλάτωση, ώστε να δώσει λύση στο πρόβλημα της ύδρευσης για το τελικό ζεύγος διαμοιρασμού που επιλέγεται, συνυπολογίζεται και η αξιοπιστία για τις υδρευτικές ανάγκες. Το βέλτιστο ποσοστό σύμφωνα με το Σχήμα 6.33 ως προς την αξιοπιστία της κάλυψης των αναγκών είναι το 20%-80% και αντιστοιχεί σε αξιοπιστία ίση με 82,7%.



Σχήμα 6.33: Αξιοπιστία κάλυψης αναγκών Ύδρευσης για τα διάφορα ζεύγη ποσοστών για Σενάριο 2.2

6.3 Συμπεράσματα

Γενικά συμπεράσματα, έτσι όπως αυτά προκύπτουν από τη συνολική μελέτη:

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης των ορυκτών πόρων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, καθώς και η επερχόμενη εξάντλησή τους, οδηγούν στην επιτακτική ανάγκη αξιοποίηση των ΑΠΕ και στην ανάπτυξη ΥΣ με χρήση ΑΠΕ.

Η Ελλάδα αποτελεί ενδεδειγμένο τόπο εγκατάστασης ΥΣ, καθώς χαρακτηρίζεται από πλούσιο αιολικό και ηλιακό δυναμικό ενώ, ακόμα διαθέτει μεγάλο νησιωτικό σύμπλεγμα μη διασυνδεδεμένο, καθιστώντας την ανάγκη εγκατάστασης του επιτακτική.

Η ΑΩ βρίσκει τη μεγαλύτερη εφαρμογή λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ειδικής ενέργειας, της καταλληλότητας αυτών των συστημάτων για σύνδεση με Φ/Β ή Α/Γ και της υψηλής παραγωγικότητας ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού, σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης.

Τα κυρία Συμπεράσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση του υπό μελέτη Υβριδικού Συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- Στο Σενάριο 1, το ποσοστό της αξιοπιστίας του ανέρχεται στο 48,5%, ποσοστό το οποίο είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Συνεπώς, το Σενάριο 1 υπερέρχει στην κάλυψη ηλεκτρικών. Αυτό είναι λογικό, καθώς αγνοεί την αφαλάτωση και όλη η ενέργεια που παράγεται από το ΥΣ πηγαίνει αποκλειστικά στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Το Σενάριο 1 της “καθαρής αντλησιοταμίευσης” αποδίδει τη μέγιστη αξιοπιστία του ΥΣ, προς την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών.
- Το Σενάριο 2.1 και το Σενάριο 2.2 έχουν την ίδια διάταξη αλλά, διαφέρει και το ποσοστό διαχωρισμού της αιολικής ενέργειας καθώς και η προτεραιότητα που θέτω ως προς τη διάθεση της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσοστό αξιοπιστίας ως προς την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του Σεναρίου 2.1 ανέρχεται στο 26,8%, ενώ το ποσοστό του Σεναρίου 2.2 είναι 32,1%. Επίσης, το ποσοστό αξιοπιστίας ως προς την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του Σεναρίου 2.1 είναι 21,1%, ενώ του Σεναρίου 2.2 ανέρχεται στο 82,5%. Προκύπτει λοιπόν, ότι με τη διάταξη του Σεναρίου 2.2, το ΥΣ έχει καλύτερη απόκριση και ως προς τις ενεργειακές και υδρευτικές ανάγκες.
- Το Σενάριο 2.2 και το Σενάριο 3 έχουν ως προτεραιότητα την αφαλάτωση, αλλά διαφέρει ο τρόπος με τον οποίο διατίθεται η ενέργεια στη μονάδα αφαλάτωσης. Παρατηρείται ότι το Σενάριο 2.2 παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία ως προς την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, καθώς το ποσοστό αξιοπιστίας ανέρχεται στο 82,5%, ενώ του Σεναρίου 3 ανέρχεται στο 55,6%. Επιπλέον, το Σενάριο 2.2 υπερέρχει και στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, με ποσοστό αξιοπιστίας 32,1% έναντι του 15,1% ποσοστό αξιοπιστίας του Σεναρίου 3.
- Για την βέλτιστη κατανομή της αιολικής ενέργειας για το Σενάριο 1, επιλέγεται ως βέλτιστο το ποσοστό 45%-55% με αξιοπιστία 48,5%.
- Για την βέλτιστη κατανομή της αιολικής ενέργειας για το σενάριο 2.2 από το Σχήμα 6.33, διαπιστώνεται ότι το βέλτιστο αποτέλεσμα για τις ανάγκες ύδρευσης το δίνει το ζεύγος 20%-80%, που έχει την υψηλότερη αξιοπιστία για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών με ποσοστό 82,7%. Δυσμενέστερο ως προς την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών είναι το ζεύγος 20%-80%, ενώ δυσμενέστερο ως προς την αξιοπιστία ύδρευσης είναι το ζεύγος 50%-50% με ποσοστό 77,5%. Συνεπώς, το ζεύγος που επιλέγεται πρέπει να ικανοποιεί το σκοπό του Σεναρίου 2.2, δηλαδή την καλύτερη δυνατή αξιοπιστία ως προς την κάλυψη των αναγκών υδροδότησης, αλλά να συνδυάζει και υψηλή αξιοπιστία για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών. Έτσι, επιλέγεται το ζεύγος 30%-70%, που συνδυάζει υψηλή αξιοπιστία κάλυψης των αναγκών υδροδότησης και ηλεκτρικής ενέργειας.

Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προκύπτουν εύλογα ζητήματα, τα οποία χρήζουν μελλοντικής μελέτης και έρευνας.

Η ύπαρξη περισσότερων και ακριβέστερων δεδομένων, που σχετίζονται με τις ανάγκες ύδρευσης και τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και δεδομένων θερμοκρασίας και ανέμου.

Η παραγωγή στοχαστικών χρονοσειρών για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών απόκρισης του έργου, θα αποτελούσε μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κάλυψη των αναγκών του νησιού.

Ενώ τέλος ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη ενός ΥΣ που να αξιοποιεί περισσότερες παραπάνω από 2 μορφές ΑΠΕ, όπως υδροηλεκτρική ηλιακή και η αιολική. Για παράδειγμα ένα ΥΣ θα μπορούσε να συνδυάσει ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα και ένα μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ευστρατιάδης Α., Κοσσιέρης Π., Μακρόπουλος Χ., Σημειώσεις στις Υδραυλική & Υδραυλικά Έργα, Υδρευτικές καταναλώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2017.

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

Γεωργαντέας Ν., 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, 2011.

ΔΕΗ ΤΣΠ Καστελόριζου.

Δήμας Π., Πλαίσιο στοχαστικής προσομοίωσης για το βέλτιστο σχεδιασμό υβριδικού συστήματος υδροηλεκτρικής – αιολικής ενέργειας: Διερεύνηση με βάση το υδροσύστημα Αλιάκμονα, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013.

Δήμος Καστελόριζου.

Ζερβός Α., Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008.

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

ΚΑΠΕ, <http://www.cres.gr/cres/index.html>, 2013.

Καραχάλιου Π, Τεχνολογίες αφαλάτωσης και προοπτικές εφαρμογής στον ελληνικό χώρο, Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010

Τζεν Ε., ΚΑΠΕ, «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», 2001

Καλλονιάτη Α., Εφαρμογή Μονάδας Αφαλάτωσης με Χρήση Αιολικής Ενέργειας στο νησί της Πάτμου, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά, 2008.

Καραγιάννης Ι., 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, Δεκέμβριος 2010.

Κουτσογιάννης Δ., και Ξανθόπουλος Θ., Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, ΕΜΠ, Αθήνα, 1999.

Μαμάσης Ν και Ευστρατιάδης Α, Ηλεκτρική Ενέργεια, Σημειώσεις στην Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2018-19.

Μαμάσης Ν, Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα, Σημειώσεις στην Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2014.

Μαμάσης Ν. και Στεφανάκος Ι., Σημειώσεις στην Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2012. 129

Μουτάφης Παναγιώτης, Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2008.

Μπαλάρας, Κ., Αργυρίου Α. και Καραγιάννης Φ., Συμβατικές & ήπιες μορφές ενέργειας, Εκδόσεις Τεκδοτική, Αθήνα, 2006.

Μπαλτάς Ε., Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2018.

Μπέρτσιου Μ., Αξιολόγηση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στους Φούρνους Κορσέων, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 2016.

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

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

Παπαευθυμίου, Σ., Ε. Καραμάνου, Σ. Παπαθανασίου, Μ. Παπαδόπουλος, Σ. Ροντήρης και Ι. Δρυμωνίτης, *Αρχές Διαχείρισης Υβριδικών Σταθμών: Εφαρμογή στο Σύστημα της Ικαρίας*, Αθήνα, 2009.

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

Ρίππη Α., Μαθηματική προσομοίωση υβριδικών συστημάτων. Το σύστημα της Ικάριας, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013.

Σαραφιανός Δ. και Σειραγάκης Μ., Τεχνοοικονομική μελέτη και σύγκριση υβριδικών συστημάτων. Εφαρμογή σε αυτόνομη κατοικία, Διπλωματική εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2009.

Σαρρής Μάριος Δημήτριος, Αξιολόγηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην νήσο Πάτμο. Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλιος 2018.

Στάμου Α., ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ-Ροή υπό πίεση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009.

James E. Miller, «Review of water resources and desalination technologies», Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories, 2003.

M. Thompson, M. Miranda, Battery less photovoltaic reverse - osmosis desalination system, 2001.

Raquel Segurado, Goran Krajacic, Neven Duic, Luis Alves, Increasing the penetration of renewable energy resources in S. Vicente, Cape Verde, Applied Energy 88 (2011) 466 - 472.

Sotirios Karellas, Konstantinos Terzis, Dimitrios Manolakos, Investigation of an autonomous hybrid solar thermal ORC - PV RO desalination system. The Chalki island case, Renewable Energy 36 (2011) 583 - 590.