

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**  
**ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ**  
**ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟ**

**Φοιτήτρια: Ελένη Νικόλα**

**Επιβλέπων καθηγητής: Ευάγγελος Μπαλτάς**

**Αθήνα, Ιούλιος 2020**



# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Μπαλά, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εξαιρετική συνεργασία μας, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η βοήθεια και οι χρήσιμες συμβουλές του ήταν καταλυτικές στην εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην υποψήφια διδάκτωρ Μαρίτα Μπέρτσιου, για την πολύτιμη βοήθεια της, για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές καθόλη τη διάρκεια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στρατή Βουγιούκα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών που μου παραχώρησε λεπτομερή ανεμολογικά στοιχεία καθώς και τον κ. Χανιώτη, υπεύθυνο μηχανικό του ΑΣΠ Πάρου για τα πολύτιμα στοιχεία κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, ευχαριστώ γενικότερά την οικογένειά μου και τους φίλους μου για όλη τη στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2020  
Ελένη Νικόλα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας το ενδιαφέρον για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει στραφεί στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και αυτό κυρίως λόγω των περιβαλλοντικών οφελών που προκύπτουν από αυτές. Στην Ελλάδα ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εκμετάλλευση των ΑΠΕ υπάρχει στον νησιωτικό της τομέα, όπου ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αποτελούν σημεία υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων λόγω της μεγάλης τουριστικής επισκεψιμότητας. Οι ηλεκτρικές ανάγκες των ελληνικών νησιών συνήθως καλύπτονται είτε αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με βάση συμβατικά καύσιμα όπως ο λιγνίτης, είτε μέσω της διασύνδεσης τους με το ηπειρωτικό δίκτυο της χώρας όπου σε αυτή τη περίπτωση υφίστανται τις επιπτώσεις από μια ενεργειακή εξάρτηση από απομακρυσμένες περιοχές. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα ελληνικά νησιά πέραν των προβλημάτων ηλεκτροδότησης αντιμετωπίζουν και προβλήματα ύδρευσης. Ο πιο συνήθης τρόπος υδροδότησης των νησιών είναι η μεταφορά του νερού με υδροφόρες, διαδικασία που είναι όμως πολύ δαπανηρή. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν σταδιακά αυτά τα δύο προβλήματα των ελληνικών νησιών, μπορεί να αξιοποιηθεί το πλούσιο αιολικό δυναμικό τους μέσω ενός Υβριδικού Συστήματος με χρήση ΑΠΕ και με συνδυασμό Μονάδων Αφαλάτωσης (M/A).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η προσομοίωση και αξιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος με αφαλάτωση στη Φολέγανδρο που αποτελεί ένα από τα άνυδρα νησιά της Ελλάδας. Για τον σκοπό αυτό συλλέχθηκαν ανεμολογικά δεδομένα από το γειτονικό νησί της Ίου, καθώς και δεδομένα ηλεκτρικών και υδρευτικών αναγκών για το έτος 2017, από το εξεταζόμενο νησί, με σκοπό την ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης μέσω του προγράμματος Microsoft Excel 365. Το υπό μελέτη υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει δύο ανεμογεννήτριες, δύο δεξαμενές θαλασσινού νερού, ένα Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) με υδροστρόβιλο, έναν αντλητικό σταθμό με τέσσερις αντλίες και δύο Μονάδες Αφαλάτωσης. Για την βέλτιστη λειτουργία του υβριδικού συστήματος εξετάστηκαν διάφορα σενάρια διασύνδεσης των επιμέρους μονάδων.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι η διάθεση του 30% της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες απευθείας στο δίκτυο και η διάθεση του υπόλοιπου 70% για άντληση ή και αφαλάτωση. Ο αντλητικός σταθμός αντλεί νερό από την κάτω στην άνω δεξαμενή, όπου και αποθηκεύεται ενέργεια με την μορφή της δυναμικής. Όταν οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας δεν καλύπτονται, τροφοδοτείται νερό από την άνω δεξαμενή προς τον υδροστρόβιλο και απελευθερώνεται η κατάλληλη ενέργεια. Στο παραπάνω σύστημα ελήφθη σταθερή τροφοδοσία από τον Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής (ΑΣΠ) της Πάρου ίσο με το 20% της μέσης ζήτησης. Ακόμη, μέσω της παροχής ενέργειας στην μονάδα αφαλάτωσης από τις ανεμογεννήτριες παράγεται αφαλατωμένο νερό, όπου ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ύδρευση και άρδευση παρέχεται στο σύστημα.

Τέλος, πραγματοποιείται ανάλυση κόστους-οφέλους. Υπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης του συστήματος καθώς και το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Με βάση τα παραπάνω διαμορφώνεται η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας (kWh) και του κυβικού νερού.

Με την ανάλυση του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος, προκύπτουν συμπεράσματα τόσο για την λειτουργία του, όσο και για την αξιοπιστία του ως προς την κάλυψη των αναγκών ηλεκτροδότησης, ύδρευσης και άρδευσης του νησιού.

# **EXTENDED ABSTRACT**

## **INTRODUCTION**

The energy needs in many Greek islands are generally covered, either by autonomous power stations, which produce energy by consuming fossil fuels, or by connection to the national electrical grid of the mainland. As a result of this, Greek islands are energy dependent on remoted areas. Their energy independency can be achieved by the reclamation of their rich potential of Renewable Energy Sources.

Hydroelectric energy is based on the exploitation and conversion of the potential energy of the water into electricity. This exploitation refers to the available volume of water that is stored in a reservoir. The potential energy of water is converted into kinetic energy and then into electrical energy through the impulse turbine (YPEKA, 2015).

Lately, the research in the desalination industry has focused on reducing the cost of the produced desalinated water. A way to succeed this, is by reducing energy costs by combining the desalination plants with renewable energy sources. Reverse Osmosis is the most applicable process because of its low energy consumption, suitability for connection to solar systems and wind turbines, and the production of high quantities of desalinated water in comparison with other desalination processes. (Mysiris, 2015).

## **STUDY AREA**

Folegandros is an island in south Aegean Sea. It has a population of 765 people, that goes up to 1800 during the summer months, and an area of 32.4 km<sup>2</sup>. The highest point is Agios Eleytherios, 450 meters above the sea level. Folegandros main communities are Chora, Ano Meria, Petousis and Karavostasis. According to the database for the Greek Nature FILOTIS (<https://filotis.itia.ntua.gr/>) a big part of the island is habitat Natura and the entire island is considered to be a Landscape of Outstanding Natural Beauty as well as it is habitat Corine.

The climate in Folegandros due to its geographical location and the effect of the sea, is characterized as Mediterranean, with mild winters and dry, hot summers. There are long periods of sunshine during most of the year and there is extremely little rain. The island is exposed almost all year round to strong north winds with average wind speed being about 8 m/s. The average annual temperature is 19.5 °C. The average monthly maximum temperature is observed in July and August and has a value equal to 30 °C. The average minimum temperature is observed in January and reaches 14 °C.

Folegandros is facing a chronic shortage of water resources. Folegandros is served by five boreholes as well as by water transfer (total network length 23 km) and by two desalination plants. Despite the fact that there are two desalination plants that connect the port and the main settlement of the island, the network does not supply water to the settlement of Pano Meria, nor the purely tourist area of Agali. Recently, the Municipality of Folegandros auctioned the supply of two portable desalination plants with capacity of 360 m<sup>3</sup>/day each, to strengthen the existing units, especially during the summer months, when needs increase sharply. The project was auctioned in 2020 with the Economic Committee appointing a temporary contractor.

The island of Folegandros is powered by the Autonomous Power Plant of Paros (ASP Paros). Specifically, there is a shared line from ASP Paros that supplies Folegandros, Sikinos and a part of Ios.

The monthly variation of water and irrigation needs, as well as electricity needs is shown in Figure below.



Fig. 1 – Mean monthly demand of water supply, irrigation & electricity

## METHODOLOGY

The examination of a hybrid system in the community of Folegandros, in order to produce hydropower and cover water demands, is particularly important as it can provide solutions to acute problems like water scarcity and the instability of local power grids. The system will consist of two water reservoirs, one at sea level and a second at a higher altitude, two wind turbines 900kW power each, two desalination plants of 360m<sup>3</sup>/day, a 1250 kW pumping station (800 kW +250 kW +100 kW +100 kW) in order to pump water directly from the sea and a 1200 kW hydroelectric station. The water of the upper reservoir will supply a small hydroelectric station, which will cover the needs of the local power grid. If the demand for electricity cannot be met by the produced clean energy, then the deficit will be covered by connecting the island with the network of Paros.

The equation between supply – power of a turbine is as follows:

$$I = g Q H_{man} n_t(1)$$

where:

$\gamma$ : the specific weight of water, which is equal to the acceleration of gravity  $g$  and the density of water

H: the total height

n: the coefficient output of the turbine

To describe the vertical distribution of wind speed, the power law distribution is used, which is based on the theory of boundary layers.

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad (2)$$

Where  $u_1$  and  $u_2$  are the velocities at altitudes  $z_1$  and  $z_2$  and  $z_0$  the roughness parameter.

The power curve that is used to calculate the energy that is produced from the wind turbines is described approximately by the following polynomial equation of 6th degree:

- **$u \leq 2: 0$**
- **$2 < u < 17: P = 0.000479 u^6 - 0.020121 u^5 + 0.237154 u^4 - 0.358363 u^3 - 0.779043 u^2 + 3.713895 u$  (3)**
- **$u \geq 17: 900$**

(Mysiris, 2015)

In this study three scenarios with different connections of the parts of the hybrid system are investigated, as well as the reliability of the required demand of electricity and water supply and irrigation for each scenario. In all scenarios the wind turbines electrify the settlement, providing 30% of the energy directly to the power grid, while the remaining 70% of the generated wind power is provided for desalination and pumping.

In the first scenario, the experiment tries to only meet demand for electricity in the island. All the energy used directly for consumption on the island, without giving any energy in the desalination unit.

In the second scenario, the demand for electricity as well as the needs of desalinated water for drinking are tried to be met.

The third scenario is the same with the second one, with the only difference that it is also attempted to meet the needs of irrigation.

In the end, the financial viability of the investment is examined by a cost-benefit analysis.

Net Present Value (NPV) is the value obtained by discounting to present, all of the annual net cash provided throughout the term life of an investment.

$$NPV = \left[ \sum_{\tau=1}^v \frac{NPV_{\tau}}{(1+e)^{\tau}} \right] - K \quad (4)$$

where:

n: the life of the project

t: the discount period

K: the initial investment

Internal rate of return is a discount rate that makes the net present value (NPV) of all cash flows from a particular project equal to zero. This rate (e) yields the internal rate of return of investment (IRR) and is calculated by solving the following equation:

$$NPV = 0 = \left[ \sum_{\tau=1}^v \frac{NPV_{\tau}}{(1 + IRR)^{\tau}} \right] - K(5)$$

If  $IRR > e$ , this means that the return on investment is higher than the discount rate and the investment is approved, and is financial viable.

If  $IRR < e$ , this means that the return on investment is less than the discount rate and the investment is rejected because it is unprofitable.

If  $IRR = e$ , the investment is marginal, and possibly the investment does not generate profits.

(Kalampakos & Damigos, 2008)

## RESULTS

### First scenario (S1)

The contribution of each energy source (wind turbines, hydropower and energy from the network) is shown in Figure 2. As it is shown, only in January there is more demand than supply from the hybrid system. In Figure 3. the cover percentage of the total electricity demand from every power source is shown. The contribution of the hydropower is the most critical for the hybrid system, as it reaches up to 48%. The cover percentage of the annual electricity demand, which reaches up to 99%, is presented in Figure 4.

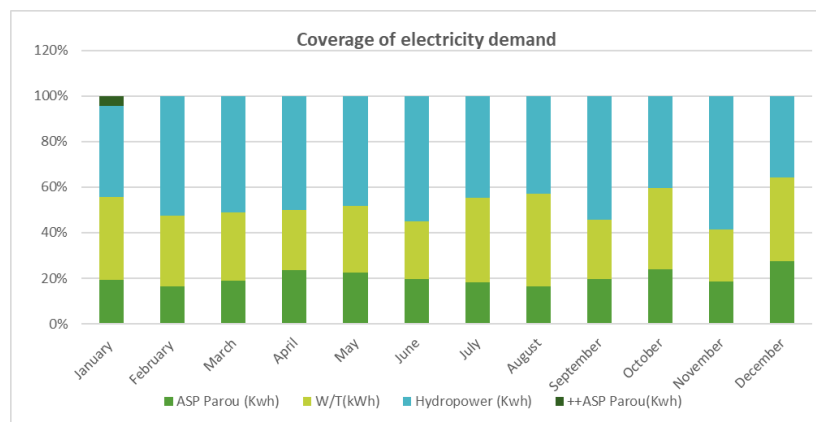


Figure 2- Coverage of electricity demand (S1)

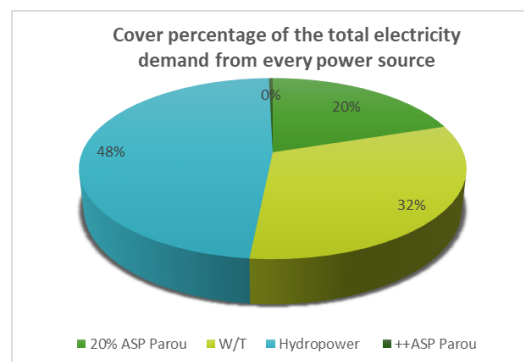


Figure 3- Cover percentage of the total electricity demand from every power source (S1)



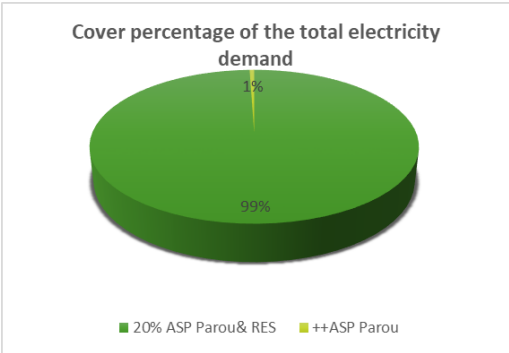


Figure 4- Cover percentage of the total electricity demand (S1)

**Second scenario (S2)**

The contribution of each energy source (wind turbines, hydropower and energy from the network) is shown in Figure 5. As it is exhibited, there are more than one month where demand overcomes supply. In Figure 6. the cover percentage of the total electricity demand from every power source is displayed. The contribution of the hydropower is still the most important source for the hybrid system as it reaches up to 45%. In Figure 7. the cover percentage of the annual electricity demand which is reduced to 95% is presented. This is expectable, since some amount of produced electricity from the W/T is given to the desalination plants in order to cover the demand of drinking water. In Figure 8. the demand and the supply of drinking water for each month is shown. The is no deficit for the whole year as the demand equals the supply every month.

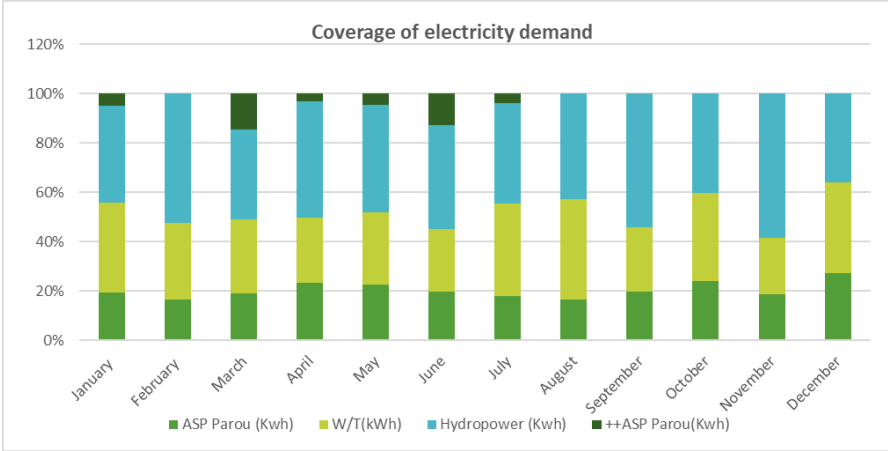


Figure 5- Coverage of electricity demand (S2)

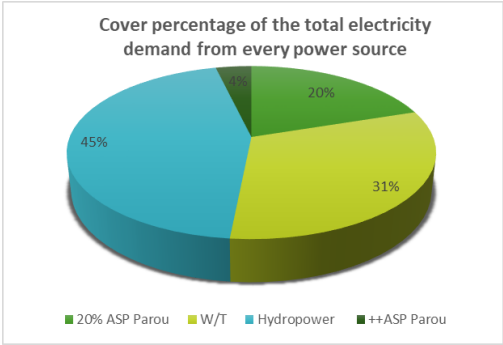


Figure 6- Cover percentage of the total electricity demand from every power source (S2)

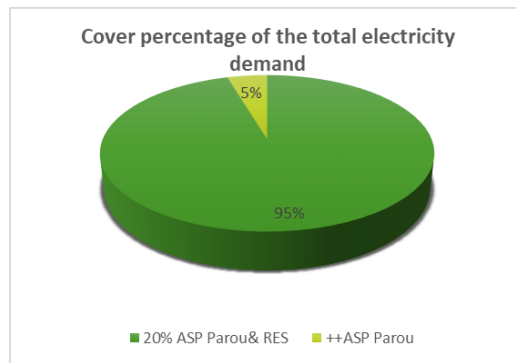


Figure 7- Cover percentage of the total electricity demand (S2)

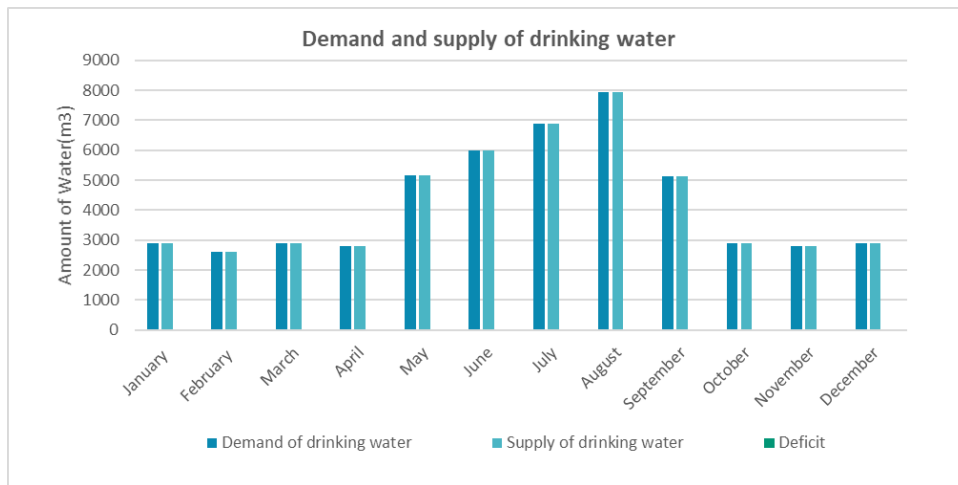


Figure 8. Demand and supply of drinking water (S2)

### Third scenario (S3)

The contribution of each energy source (wind turbines, hydropower and energy from the network) is shown in Figure 9. As it is exhibited, there are more than one month where demand overcomes supply, like in scenario 2. In Figure 10, the cover percentage of the total electricity demand from every power source is shown. The contribution of the hydropower is still the most important to the hybrid system as it reaches to 45%. In Figure 11, the cover percentage of the annual electricity demand which is reduced to 95% is presented. This is expectable, since some amount of produced electricity from the W/T is given to the desalination plants in order to cover the demand of drinking water and irrigation. In Figure 12, the demand and the supply of drinking water for each month is shown. In this scenario there is deficit in several months as a result of the attempt of covering the demands of irrigation. However, in Figure 13, it is shown that the coverage of irrigation is problematic as there is an important amount of deficit every month.

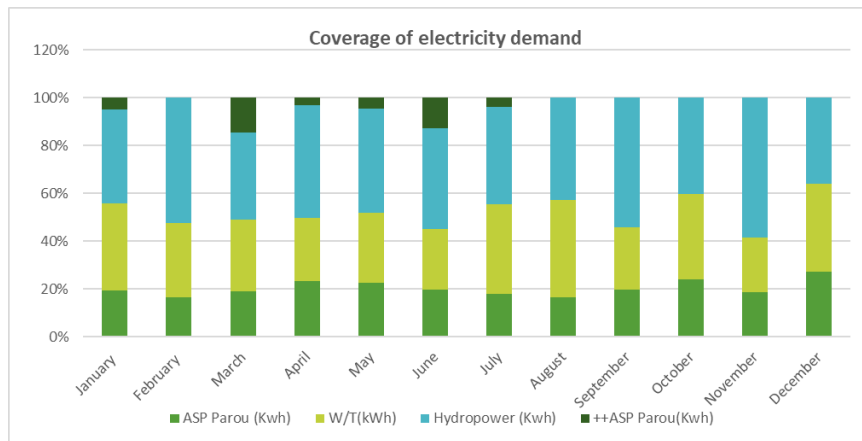


Figure 9- Coverage of electricity demand (S3)

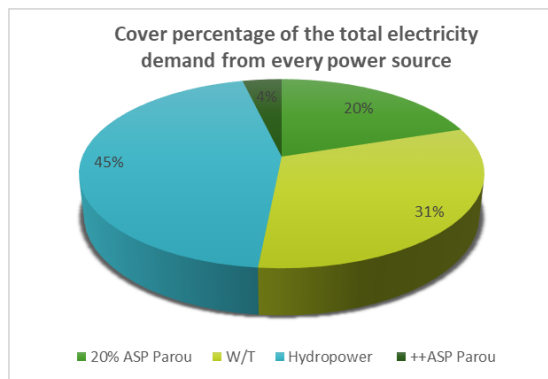


Figure 10- Cover percentage of the total electricity demand from every power source (S3)

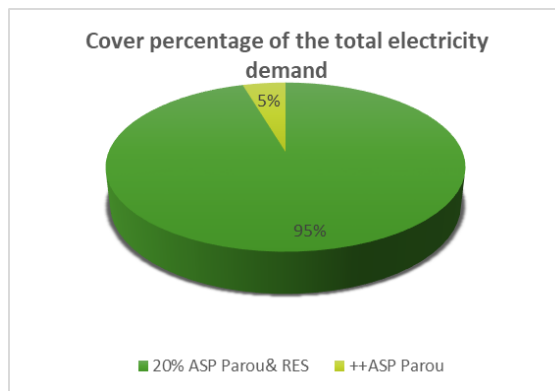


Figure 11- Cover percentage of the total electricity demand (S3)

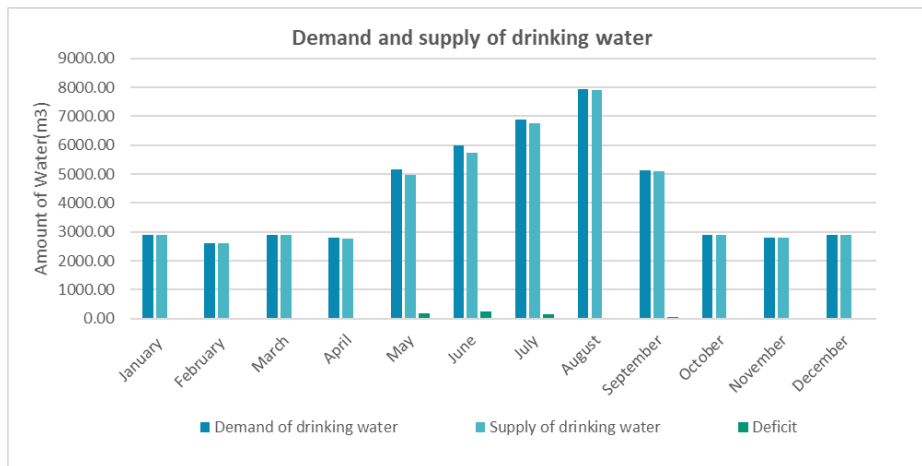


Figure 12. Demand and supply of drinking water (S3)

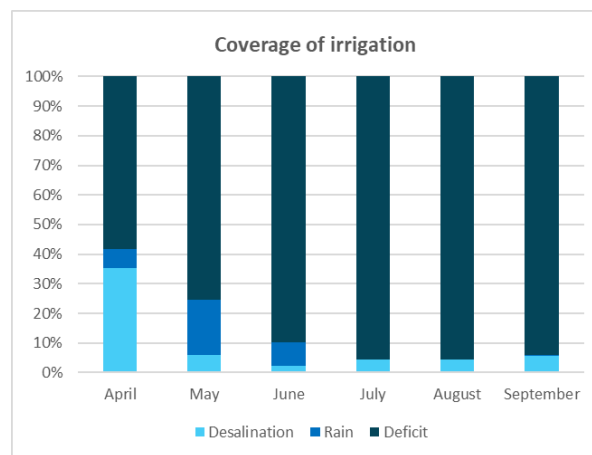


Figure 13. Coverage of irrigation (S3)

The Net Present Value of the investment is reset for water price equal to 2.48 € / m<sup>3</sup> and for this price the IRR is equal to the interest rate and the investment is marginally profitable. Figure 14. shows a graph of the NPV and IRR for different water prices, in order to show the efficiency of the project depending on the selling price of water.

By the same procedure, but with variable the price of energy and stable price of desalinated water, we observe that the Net Present Value is zero for price 0.0926 € / kWh, so for this price the IRR is equal to the interest rate and investment is marginally profitable. Figure 15. shows a graph of the NPV and IRR for different values of energy, in order to show the efficiency of the project depending on the selling price per kWh.

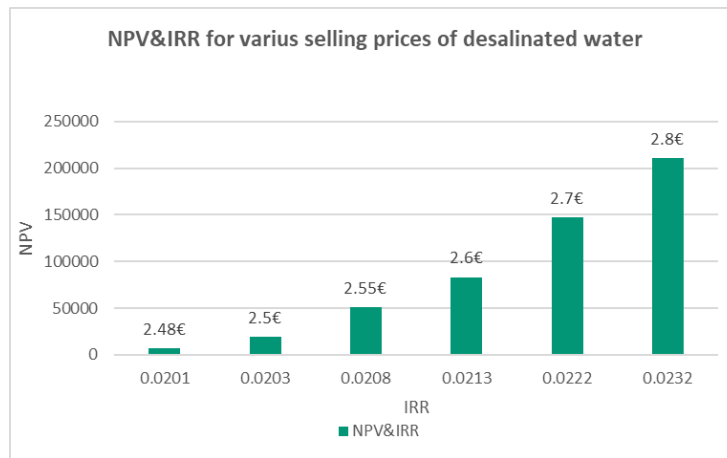


Figure 14. NPV & IRR for various selling prices of desalinated water

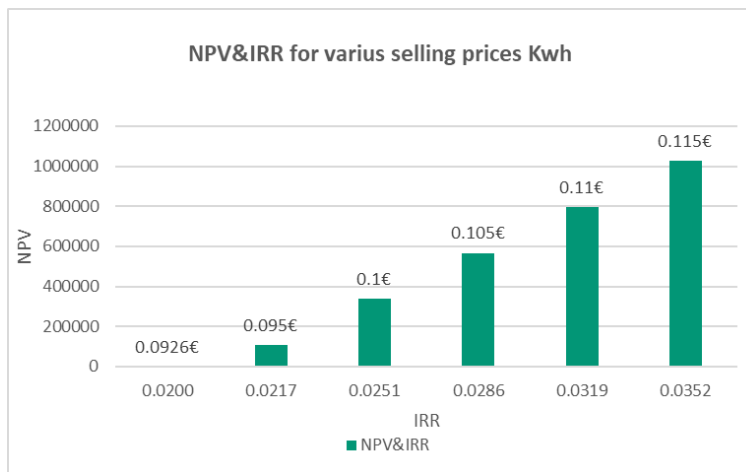


Figure 15. NPV & IRR for various selling prices kWh

## CONCLUSIONS - FURTHER RESEARCH

This thesis conducted a presentation of the various forms of Renewable Energy Sources, a literature overview of various hybrid projects with RES as well as of the desalination process. Finally, a model of operation simulation of a Hybrid System with 2 wind turbines, 1 pumping station, a desalination plant and 1 hydro-turbine was formed in Folegandros. The results of this system regarding the coverage of electrical, water and irrigation needs were analyzed.

General conclusions:

- The environmental consequences of conventional fuel combustion, such as the pollution and climate change, as well as the risk of depletion, have led to the use of Renewable Energy Sources and the development of Hybrid Systems using RES.
- Greece is suitable for the installation of hybrid systems based on wind, due to its high wind potential.
- The environmental impact of the installation of hybrid systems, such as changes in the natural landscape, is offset by the benefits of these systems such as the reduction in CO<sub>2</sub> emissions.

- Hybrid systems can be installed as an independent system or integrated into existing plants based on conventional energy, after appropriate interventions.
- The desalination method contributes significantly to the problem of water shortage and this is shown by its rapid global development in recent decades.
- Reverse osmosis is the most common desalination method, due to its low energy consumption and its compatibility with solar panels and wind turbines.
- Desalination methods can exploit both conventional and renewable energy sources. However, not all methods are compatible with all forms of RES.

The main conclusions from the analysis of the hybrid system of this study are summarized as follows:

- The population of the island increases in the summer months due to tourism, thus increasing the demand for electricity and water supply.
- From April to September, the demand for desalinated water is even higher, as it is the irrigation period.
- The demand for electricity on a daily basis is higher during the afternoon-evening hours.
- Daily water supply peaks are observed in the morning and evening hours.
- At the local level, the hybrid system facility provides a significant amount of electricity throughout the year, avoiding emissions and power outages.
- In S-1, which does not require energy to desalinate water, almost all electricity needs are met.
- In S-1 the only month that requires further connection to the network is January and this is because the water storage in the reservoir at the beginning of the project is empty and there is not always the required volume of water for the operation of the turbine.
- In S-2 the reliability of electricity is reduced to 95%, due to the supply of energy to the desalination plants. The more the desalination plant is powered, the lower the cubic capacity pumped to the upper reservoir. There is therefore a drop in reliability in terms of meeting demand for electricity.
- The desalination plants cover the water needs of the island with almost 100% reliability (S-2)
- From S-3 it is concluded that the desalination units studied for installation are not sufficient to meet the irrigation needs as their capacity is insufficient.
- However, even with insufficient capacity of desalination plants for irrigation, with a reduction of only 1% of the water supply reliability, irrigation is covered by 10%.
- S-3 shows that the reliability of electricity is not reduced at all, as the capacity of the desalination plants that are operating does not increase. So with zero reduction of the electricity reliability, 10% coverage of the irrigation needs is achieved.
- The cost-benefit analysis shows that with the same sale price of kWh as the price of the national grid the price of water can be reduced to 25% of its cost.

- If the sale price of water and kWh increases even to a small degree from the price at which the NPV is zeroed, the NPV increases at a faster rate.

Based on the results and conclusions after the completion of this thesis, some topics that deserve future research have emerged. First of all, it is proposed to apply this methodology to other Greek islands that are either connected to the national energy grid, or other "non-interconnected islands" which cover their energy needs by self-power stations, which produce energy by consuming conventional fuels.

Furthermore, the use of more accurate data for water supply and irrigation is of particular interest. Also it would be better if the wind data was obtained from the same island that is examined.

Finally, the production of synthetic time series generation, forecasting future project response rates, would provide a more complete picture of the coverage of the island's needs.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1	Γενική αναφορά .....	1
1.1.1	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας & Σχετικές οδηγίες.....	1
1.1.2	Μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας.....	3
1.2	Αντικείμενο της εργασίας.....	5
1.3	Διάρθρωση της εργασίας .....	5
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....	7
2.1	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	7
2.1.1	Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα .....	7
2.1.2	Καταστάσεις λειτουργίας Υβριδικού Υδροηλεκτρικού έργου.....	9
2.1.3	Πλεονεκτήματα ΥΒΣ.....	9
2.1.4	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε υβριδικά συστήματα .....	10
2.1.5	Υβριδικά συστήματα σε εφαρμογή .....	24
2.2	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ .....	26
2.2.1	Γενικά στοιχεία .....	26
2.2.2	Ιστορικά στοιχεία.....	27
2.2.3	Εγκατεστημένες Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα .....	28
2.2.4	Μέθοδοι Αφαλάτωσης .....	31
2.2.5	Αφαλάτωση με Συμβατικές Πηγές Ενέργειας .....	36
2.2.6	Αφαλάτωση με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	37
2.2.7	Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ .....	39
3.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	41
3.1	Γεωγραφικά χαρακτηριστικά .....	41
3.2	Μορφολογικά χαρακτηριστικά .....	41
3.3	Διοικητικά χαρακτηριστικά.....	42
3.4	Ιστορικά στοιχεία .....	43
3.5	Καθεστώς προστασίας περιοχής.....	44
3.5.1	Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους .....	45
3.5.2	Βιότοποι Corine .....	46
3.6	Κλιματικές-μετεωρολογικές συνθήκες περιοχής.....	49
3.7	Υποδομές .....	51
3.8	Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά.....	51
3.9	Υδρευση & Αρδευση.....	52



3.10	Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας .....	55
4.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	59
4.1	Τεχνική περιγραφή έργου.....	59
4.2	Μοντέλο ανεμογεννητριών και μετατροπή ανεμολογικών δεδομένων σε ηλεκτρική ενέργεια	60
4.2.1	Κατακόρυφη διανομή του ανέμου .....	60
4.2.2	Μοντέλο ανεμογεννητριών.....	61
4.3	Αποτελέσματα ανάλυσης .....	62
4.3.1	Σενάριο 1: Καθαρή αντλησιοταμίευση .....	62
4.3.2	Σενάριο 2: Υβριδικό σύστημα με μονάδα αφαλάτωσης σε προτεραιότητα για κάλυψη αναγκών ύδρευσης .....	67
4.3.3	Σενάριο 3: Υβριδικό σύστημα με μονάδα αφαλάτωσης σε προτεραιότητα για κάλυψη αναγκών ύδρευσης & άρδευσης .....	74
4.3.4	Τελικές ποσότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και νερού .....	83
5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΟΦΕΛΟΥΣ .....	84
5.1	Οικονομικές έννοιες .....	84
5.2	Υπολογισμός συνολικού κόστους κατασκευής έργου .....	86
5.3	Υπολογισμός ετήσιων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης έργου .....	87
5.4	Αξιολόγηση επένδυσης .....	88
6.	ΣΥΜΠΕΡΕΣΜΑΤΑ .....	91
6.1	Σύνοψη .....	91
6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	92
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	94

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

### 1.1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας & Σχετικές οδηγίες

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια σε ολόκληρο τον κόσμο ως αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού. Παράλληλα εξαιτίας των ρύπων και των εκπομπών CO<sub>2</sub> που παράγονται από την καύση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων διογκώνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και η περιβαλλοντική ρύπανση. Σε αυτά τα δύο ζητήματα μπορούν να συμβάλλουν θετικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, ενέργεια από τους ωκεανούς, γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα και βιοκαύσιμα) αποτελούν εναλλακτικές λύσεις αντί των ορυκτών καυσίμων και συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού και στη μείωση της εξάρτησης από αναξιόπιστες και ασταθείς αγορές ορυκτών καυσίμων, ειδικότερα πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Τα τελευταία χρόνια η ΕΕ έχει θέσει ως βασική προτεραιότητα τις ΑΠΕ όπως φαίνεται και από το θεσμικό πλαίσιο των τελευταίων ετών. Συγκεκριμένα το 1997 έγινε η αρχή με τη Λευκή Βίβλο «Ενέργεια για το Μέλλον» για την προστασία του περιβάλλοντος όπου η ΕΕ έθεσε ως στόχο την κάλυψη του 12% της κατανάλωσης ενέργειας και του 22,1% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) έως το 2010, με ενδεικτικούς στόχους για κάθε κράτος μέλος που ορίζονται στην οδηγία 2001/77/ΕΚ.

Ακολούθησε το 2000 το Green Paper το 2000 «Στρατηγική για την Ασφάλεια της παροχής Ενέργειας» για την ανεξαρτησία του ενεργειακού εφοδιασμού.

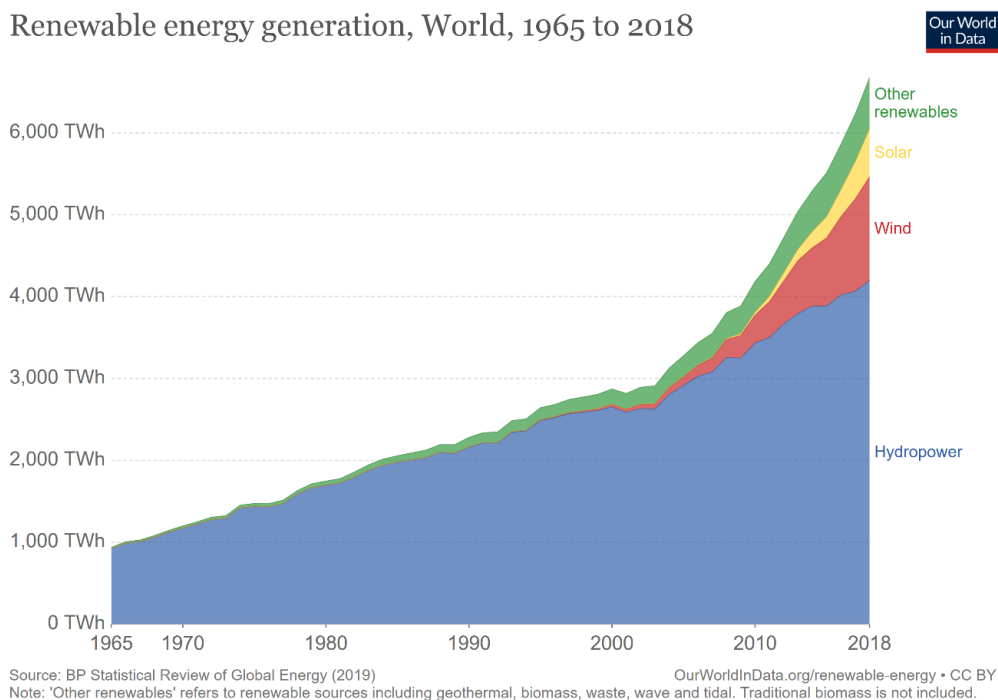
Το 2009 καταργούνται οι προϋπάρχουσες οδηγίες 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ και εγκρίνεται η νέα οδηγία 2009/28/ΕΚ η οποία όριζε ως στόχο έως το 2020 ένα μερίδιο 20% της κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Παράλληλα, όλα τα κράτη μέλη έπρεπε να καλύψουν το 10% των καυσίμων μεταφορών τους από ΑΠΕ έως το 2020.

Τον Δεκέμβριο του 2018, τέθηκε σε ισχύ η αναθεωρημένη οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001), στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», η οποία αποσκοπεί στο να παραμείνει η ΕΕ παγκόσμιος ηγέτης στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η νέα οδηγία θεσπίζει έναν νέο δεσμευτικό στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την ΕΕ για το 2030, σε τουλάχιστον 32% της κατανάλωσης τελικής ενέργειας, με μια ρήτρα για πιθανή προς τα άνω αναθεώρηση έως το 2023.

Τέλος στο πρόσφατο ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 15ης Ιανουαρίου 2020 σχετικά με την «Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία» (2019/2956(RSP)) έχουν τεθεί ως στόχοι η μείωση τουλάχιστον κατά 55% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το επίπεδο του 1990 και η συμμετοχή κατά τουλάχιστον 32% των ανανεώσιμων πηγών στην τελική ενεργειακή κατανάλωση και τουλάχιστον κατά 32.5% στην εξοικονόμηση ενέργειας. (Πηγή: <https://www.europarl.europa.eu/>)

Σε παγκόσμιο επίπεδο ορόσημο υπήρξε 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).

Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται η εξέλιξη των ΑΠΕ παγκόσμια από το 1965 έως το 2018 από όπου είναι εμφανές ότι τα τελευταία έτη έχει γίνει μεγάλη πρόοδος ως αποτέλεσμα των οδηγιών και των ενεργειών που έχουν γίνει βάση αυτών.

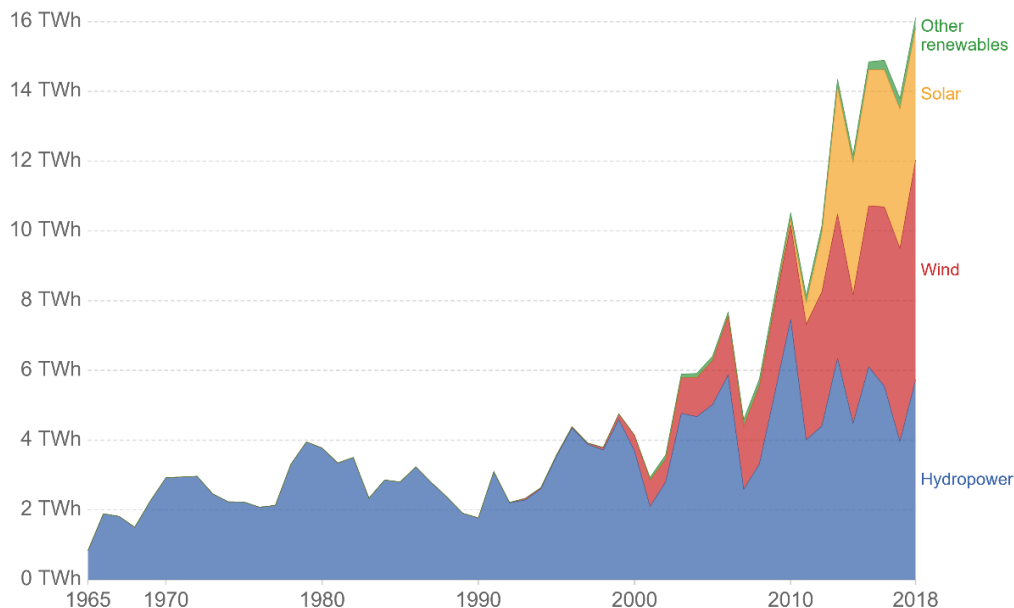


Σχήμα 1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο, 1965-2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

Η Ελλάδα όντας κράτος μέλος της ΕΕ συμμετέχει και αυτή στην προσπάθεια της ΕΕ για την αύξηση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της. Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ, ο στόχος για Ελλάδα ως προς τη συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ανέρχεται στο 18%. Με βάση τον Νόμο 3851/2010 καθορίστηκαν οι στόχοι της Ελλάδας για το 2020 σύμφωνα με τους οποίους η συμμετοχή των ΑΠΕ στην χώρα μας θα έπρεπε να αυξηθεί κατά 20% στην τελική κατανάλωση ενέργειας και κατά 40% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται η εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα από το 1965 έως το 2018 και στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζεται το ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας για το έτος 2018.

## Global renewable energy consumption, Greece, 1965 to 2018

Renewable energy consumption measured in terawatt-hours (TWh) per year. Traditional biofuels refer to the consumption of fuelwood, forestry products, animal and agricultural wastes.

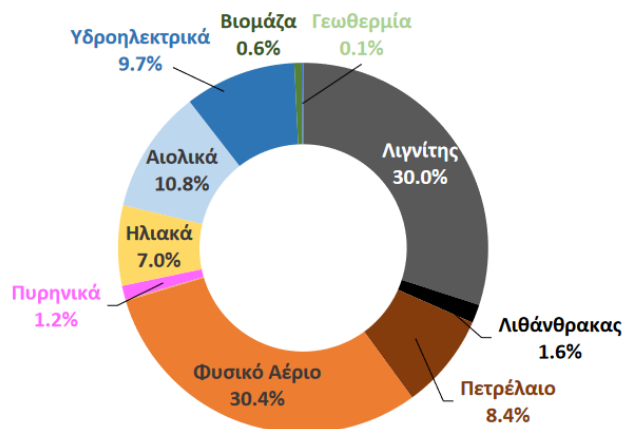


Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of Global Energy (2019)

OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

Σχήμα 1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον Ελλάδα, 1965-2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

### Υπολειπόμενο Ενεργειακό Μείγμα 2018



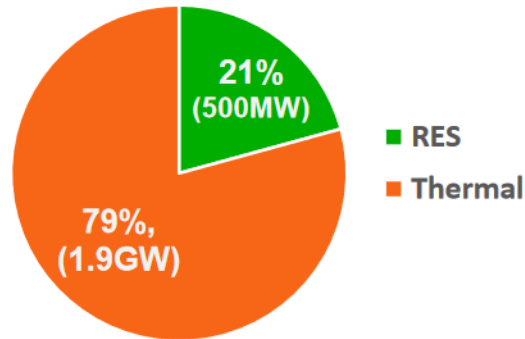
Σχήμα 1.4 Ενεργειακό μείγμα Ελλάδα 2018 (Πηγή: ΔΑΠΕΕΠ, 2018)

### 1.1.2 Μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας

Στην χώρα μας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η συμβολή των ΑΠΕ στο νησιωτικό της τμήμα και κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Τα περισσότερα νησιά της Ελλάδας είναι αδύνατο να διασυνδεθούν με το κεντρικό δίκτυο της χώρας. Για να καλύψουν τις ανάγκες τους σε ενέργεια στα νησιά της χώρας μας συνήθως παράγεται ενέργεια από Αυτόνομους Τοπικούς Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας όπου καίγονται ορυκτά καύσιμα. Οι ΑΠΕ όπως είναι η ηλιακή, η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν τόσο να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων που

παράγονται από την καύση των ορυκτών όσο και να μειώσουν το κόστος παραγωγής ενέργειας. Στο Σχήμα 1.5 φαίνεται το ποσοστό των ΑΠΕ που είναι εγκατεστημένες στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

### Εγκατεστημένη ισχύς (2.4GW)



Σχήμα 1.5 Εγκατεστημένη ισχύς για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας για το έτος 2017 (Πηγή: Σ. Ροντήρης, ΔΕΗ Ανανεώσιμες, 2017)

Ωστόσο, το επίπεδο αξιοποίησης της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας στα ελληνικά νησιά παραμένει ιδιαίτερα χαμηλό, παρά το υψηλό αιολικό δυναμικό και την υψηλή ηλιοφάνεια, εξαιτίας των διάφορων προβλημάτων που εμφανίζουν τέτοιου είδους εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζουν είναι τα ξαφνικά ελάχιστα και μέγιστα που παρατηρούνται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της μεταβλητότητας που παρουσιάζουν οι φυσικοί πόροι από όπου παράγεται η ενέργεια. Η εξάρτηση των ΑΠΕ από τα φυσικά φαινόμενα έχει ως αποτέλεσμα την χρονική μεταβολή του ενεργειακού δυναμικού τους. Όμως, αν γίνει συνδυασμός των μορφών ενέργειας με σκοπό την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας τα συστήματα αυτά μπορεί να αποβούν πολύ πιο αξιόπιστα και θα μπορούσαν να καλύψουν τις ανάγκες ηλεκτρικής ζήτησης μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Παράλληλα, ένα ακόμη πρόβλημα που αντιμετωπίζει η νησιωτική Ελλάδα πέραν της κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης, είναι και η κάλυψη των αναγκών σε νερό. Στο νησιωτικό χώρο παρατηρείται έλλειψη νερού, αφού το βρόχινο νερό χάνεται λόγω της μορφολογίας και συχνά ο υπόγειος υδροφόρος αναμιγνύεται με θαλασινό νερό ιδιαίτερα λόγω της υπεράντλησης. Η κατάσταση επιδεινώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών, της ξηρασίας και του αυξημένου πληθυσμού λόγω της τουριστικής κίνησης. Άνυδρα νησιά στην χώρα μας θεωρούνται τα εξής: η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Ηρακλεία, οι Λειψοί, η Πάτμος, η Φολέγανδρος, η Σίκινος κα. Έτσι λοιπόν, μια άμεση και μόνιμη λύση σε αυτό το ζήτημα κρίνεται απαραίτητη για την διευκόλυνση των κατοίκων των νησιών αυτών.

Ο πιο συνήθης τρόπος υδροδότησης των νησιών είναι η μεταφορά του νερού με υδροφόρες. Αυτή η διαδικασία είναι αρκετά κοστοβόρα αφού σε απομακρυσμένα νησιά το κόστος μεταφοράς νερού φτάνει τα 12€/m<sup>3</sup>. Εναλλακτικός τρόπος αποτελεί η κατασκευή φράγματος με την βοήθεια του οποίου αποθηκεύεται το βρόχινο νερό. Αποτελεί εξίσου κοστοβόρο και απαιτεί πληθώρα υποδομών. Τέλος, η χρήση μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να δώσει μόνιμη λύση στο πρόβλημα ύδρευσης των άνυδρων νησιών αφού πρόκειται για μία σταθερή και εγγυημένη μέθοδο. Ελάττωμα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί η μεγάλη ενεργειακή απαίτηση για την παραγωγή πόσιμου νερού. Ωστόσο αν οι μονάδες αφαλάτωσης συνδυαστούν με ΑΠΕ από όπου μπορούν να τροφοδοτηθούν με την απαιτούμενη ενέργεια το πρόβλημα αυτό παύει να υπάρχει.

Στα πλαίσια, λοιπόν αυτά, ξεκίνησε η υλοποίηση Υβριδικών Ενεργειακών Έργων (ΥΒΕ). Στόχος αυτών των συστημάτων είναι η παραγωγή ενέργειας που βασίζεται σε συνδυασμό διαφορετικών μορφών ΑΠΕ, όπως είναι η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική, με αποθήκευση της περίσσειας παραγόμενης ενέργειας με μεθόδους όπως η αντλησιοταμίευση. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το Υβριδικό Σύστημα της Ικάριας. Ταυτόχρονα ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να συνδυαστεί και με μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες μπορούν να τροφοδοτηθούν με ενέργεια από το σύστημα και αυτές με την σειρά τους έχουν την δυνατότητα να καλύψουν τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης των νησιών.

## **1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Αντικείμενο της εργασίας είναι μια βιβλιογραφική παρουσίαση των Υβριδικών Έργων (ΥΒΕ) και των μεθόδων αφαλάτωσης καθώς και η αξιολόγηση ενός Υβριδικού Ενεργειακού Συστήματος στη Φολέγανδρο, το οποίο θα περιλαμβάνει δύο ανεμογεννήτριες, δύο δεξαμενές θαλασσινού νερού, ένα ΜΥΗΣ με υδροστρόβιλο, έναν αντλητικό σταθμό με τέσσερις αντλίες και δύο μονάδες αφαλάτωσης, προσομοιώνοντας την λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τους κανόνες και τους περιορισμούς που ορίζονται από τη μελέτη. Σκοπός είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος με τη συνεργασία των διάφορων μορφών ενέργειας που συμμετέχουν στην παραγωγή της απαιτούμενης για το νησί ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα στόχος είναι και η κάλυψη των αναγκών για χρήση νερού ως προς ύδρευση και άρδευση. Τελικός στόχος είναι η εκτίμηση της αποδοτικότητας αυτού του συστήματος, δηλαδή, η εκτίμηση της αξιοπιστίας κάλυψης τόσο των αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια στο νησί όσο και των αναγκών για ύδρευση και άρδευση.

## **1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η παρούσα εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια, τα περιεχόμενα των οποίων περιγράφονται στη συνέχεια. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα, καθώς και την εφαρμογή στη νησιωτική Ελλάδα.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση των υβριδικών συστημάτων και των μεθόδων αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των τύπων ΑΠΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ΥΒΕ και αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά έργα που υπάρχουν ανά τον κόσμο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης και δίνεται ιδιαίτερη βάση στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, που πρόκειται για την πιο διαδεδομένη μέθοδο καθώς και τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της περιοχής μελέτης, που είναι η Φολέγανδρος, και της υπάρχουσας κατάστασης σε αυτή. Εξετάζονται στοιχεία γεωγραφικά, μορφολογικά, διοικητικά, ιστορικά, το καθεστώς προστασίας περιοχής, καθώς και στοιχεία κλιματολογικά. Παρουσιάζονται ακόμη η διακύμανση του πληθυσμού και οι ζητήσεις του νησιού για ηλεκτροδότηση, ύδρευση και άρδευση.

Στο Κεφάλαιο 4 δίνεται η τεχνική περιγραφή του υβριδικού έργου, καθώς και η παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας του. Ακολούθως γίνεται η προσομοίωση του μοντέλου σύμφωνα με διάφορα σενάρια χρήσης της διαθέσιμης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της λειτουργίας και διασύνδεσης της μονάδας αφαλάτωσης. Τέλος στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αξιοπιστία του συστήματος για κάθε σενάριο της προσομοίωσης.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης κόστους – οφέλους προκειμένου να γίνει μια οικονομική αξιολόγηση του έργου και μια σύγκριση των αναμενόμενων οφελών από το προτεινόμενο υβριδικό έργο.

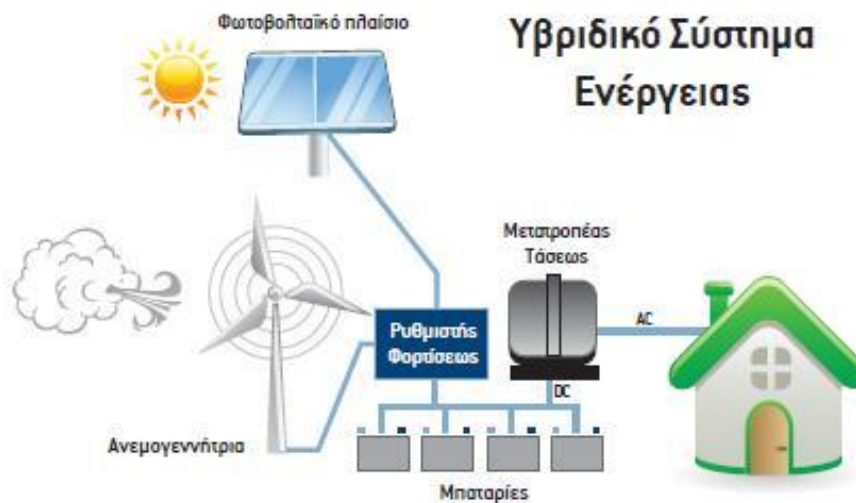
Τέλος στο Κεφάλαιο 6 παρατίθενται τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω βιβλιογραφική επισκόπηση και από την μελέτη του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος ενώ παράλληλα δίνονται ερεθίσματα για περαιτέρω έρευνα.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

#### 2.1.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα

Τόσο η ασταθής και απρόβλεπτη προσφορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όσο και η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με τις επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις με τις οποίες σχετίζονται και με την έντονη μεταβλητότητα του κόστους τους εξαιτίας πολιτικοοικονομικών συνθηκών, συντέλεσαν στην μελέτη, την έρευνα και την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων. Συγκεκριμένα η μεταβλητότητα της αιολικής και της ηλιακής ενέργεια, που αποτελούν δύο από τις κυριότερες και πιο διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εμποδίζουν την απευθείας διάθεση τους στο δίκτυο για κατανάλωση. Είναι γεγονός ότι υπάρχουν στιγμές που οι ζήτηση σε ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που προσφέρει την ίδια στιγμή ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία καθώς και αντίστροφα, υπάρχουν στιγμές που παρουσιάζεται υπερπροσφορά ενέργειας λόγω των ευνοϊκών καιρικών συνθηκών που επικρατούν χωρίς παράλληλα να υπάρχει αντίστοιχη ζήτηση από το δίκτυο. Λύση στο παραπάνω ζήτημα δίνουν τα αποθηκευτικά μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα με τις ΑΠΕ όπως ταμιευτήρες σε μεγάλο υψόμετρο, συσσωρευτές ενέργειας κα. Χάρη στην αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας επιδιώκεται καλύτερη αξιοποίηση και απόδοση των ΑΠΕ αφού οι ενεργειακές αιχμές καταφέρνουν να εξομαλυνθούν και η παροχή ενέργειας στο δίκτυο πλέον είναι ελεγχόμενη. Παραδείγματα υβριδικών συστημάτων παρουσιάζονται στις παρακάτω απεικονίσεις στο Σχήμα 2.1 όπου ως αποθηκευτικό μέσο χρησιμοποιούνται συσσωρευτές ενέργειας και στο Σχήμα 2.2 όπου ως αποθηκευτικό μέσο χρησιμοποιείται ένας ταμιευτήρας σε υψόμετρο.



Σχήμα 2.1 Απεικόνιση Υβριδικού Συστήματος με Φ/Β και Α/Γ





Σχήμα 2.2 Απεικόνιση Υβριδικού Συστήματος με Α/Γ και Υδροηλεκτρικά έργα (Πηγή: <https://www.tanea.gr/>)

Με τον όρο υβριδικό σύστημα ενέργειας περιγράφεται ένα σύστημα με πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την ίδια διάταξη, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου. Ένας αυτόνομος υβριδικός σταθμός σε αντίθεση με έναν διασυνδεδεμένο μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή, καθώς και να ρυθμίζει τη συχνότητα και την παραγωγή άεργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. (Βρεττός, 2010)

Σύμφωνα με τον Νόμο 3468/2006 για τις ΑΠΕ στο Άρθρο 2 ορίζεται ως Υβριδικό Σύστημα ή Υβριδικός Σταθμός κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

α) Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή Α.Π.Ε.

β) Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο Υβριδικός Σταθμός από το Δίκτυο, κατά το προηγούμενο εδάφιο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο Δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο Δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

γ) Η μέγιστη Ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού Α.Π.Ε. δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%. (Πηγή: <https://www.kodiko.gr/>)

## 2.1.2 Καταστάσεις λειτουργίας Υβριδικού Υδροηλεκτρικού έργου

Ένας Υβριδικός σταθμός με υδροηλεκτρικό έργο (Σχήμα 2.2) αποτελείται από τις εξής μονάδες:

- ένα ή και περισσότερα αιολικά πάρκα (Α/Π)
- έναν υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ)
- ένα αντλιοστάσιο
- δύο δεξαμενές

Λόγω της υψομετρικής διαφοράς της κάτω από την άνω δεξαμενή αποθηκεύεται στο σύστημα δυναμική ενέργεια, γι' αυτό και φροντίζεται η υψομετρική τους διαφορά να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζει ικανοποιητικό μανομετρικό υψόμετρο. Η αποθηκευτική ικανότητα του ΥΒΣ συνήθως μετριέται σε ισοδύναμες ώρες λειτουργίας των υδροστρόβιλων στην ονομαστική τους ισχύ.

Οι καταστάσεις λειτουργίας ενός ΥΒΣ είναι οι εξής:

- Λειτουργία υδροστρόβιλων:

Η αποθηκευμένη υδραυλική ενέργεια στην άνω δεξαμενή μετατρέπεται μέσω της λειτουργίας των υδροστρόβιλων σε ηλεκτρική, ενώ οι ανεμογεννήτριες και οι αντλίες είναι εκτός λειτουργίας.

- Αντλιοαιολική συνεργασία:

Η παραγόμενη αιολική ισχύς χρησιμοποιείται για άντληση και αποθήκευση ενέργειας στην άνω δεξαμενή, ενώ οι υδροστρόβιλοι είναι εκτός λειτουργίας.

- Άντληση από το δίκτυο:

Οι αντλίες λειτουργούν απορροφώντας ενέργεια από το δίκτυο και όχι από την αιολική ενέργεια του υβριδικού συστήματος.

- Λειτουργία μόνο του αιολικού πάρκου:

Το αιολικό πάρκο του ΥΒΣ παρέχει την ενέργεια απ' ευθείας στο δίκτυο, χωρίς ταυτόχρονη άντληση.

- Ταυτόχρονη παραγωγή και άντληση:

Ένας συνδυασμός των δύο πρώτων καταστάσεων λειτουργίας. Παράλληλα με τους υδροστρόβιλους (των οποίων η ισχύς μπορεί να υποκαθίσταται από αιολική, στο πλαίσιο της υδροαιολικής συνεργασίας) λειτουργούν και οι αντλίες που αξιοποιούν την αιολική ισχύ του ΥΒΣ για αποθήκευση νερού στην άνω δεξαμενή. Αυτή η κατάσταση λειτουργίας προϋποθέτει την ύπαρξη ξεχωριστών υδραυλικών μηχανών για παραγωγή και άντληση και έχει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της αιολικής ισχύος ακόμη και όταν παράγουν οι υδροστρόβιλοι, κάτι που είναι αρκετά σημαντικό δεδομένου ότι οι υδροστρόβιλοι μπορεί να είναι σε λειτουργία αρκετές ώρες την ημέρα, συνήθως 4-8 ώρες, αλλά ορισμένες φορές πολύ περισσότερες (Παπαευθυμίου, 2012).

## 2.1.3 Πλεονεκτήματα ΥΒΣ

Τα υβριδικά συστήματα αποσκοπούν στην βέλτιστη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται αφού πλέον μέσω ενός υβριδικού συστήματος η ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο είναι ελεγχόμενη και αντίστοιχη της ζήτησης. Αυτό δίνει την δυνατότητα στα ΥΒΣ τόσο να αναπτυχθούν αυτόνομα και ανεξάρτητα σε τοπικά συστήματα διανομής ενέργειας, όσο και να ενταχθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες

βασιζόμενες σε ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ύστερα από τις κατάλληλες παρεμβάσεις στο ήδη υπάρχον σύστημα.

Όταν τα υβριδικά συστήματα δεν λειτουργούν αυτόνομα, αλλά λειτουργούν σε συνέργεια με ορυκτό καύσιμο, τότε η κατανάλωση αυτού του ορυκτού καυσίμου είναι η ελάχιστη δυνατή καθιστώντας αυτά τα συστήματα πιο οικονομικά και συμφέροντα ειδικά για απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές και μη διασυνδεδεμένα νησιά. Παράλληλα η μεγάλη αξιοπιστία αυτών των συστημάτων δίνει την δυνατότητα αποφυγής διακοπών ρεύματος.

Πλεονεκτήματα των ΥΒΣ αποτελούν ακόμη ο μικρός χρόνος εγκατάστασης των επιμέρους μονάδων, το σχετικά σταθερό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Σαραφινός κ.α., 2009)

Τα πλεονεκτήματα ενός ΥΒΣ σε τοπικό επίπεδο εξαρτώνται από την κατασκευή, την τοποθεσία και τη χρήση του εκάστοτε υβριδικού έργου. Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας τα πλεονεκτήματα αυτά συνοψίζονται παρακάτω:

1. Σημαντική προσφορά απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας τόσο κατά τους χειμερινούς όσο και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.
2. Αποφυγή γενικών ή μερικών blackout.
3. Αύξηση της απασχόλησης λόγω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας.
4. Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων λόγω της μείωσης της λειτουργίας των τοπικών σταθμών παραγωγής.
5. Εξασφάλιση των σημαντικών ποσοτήτων νερού ύδρευσης και άρδευσης τόσο για τους μόνιμους κατοίκους αλλά και για τους επισκέπτες.

Από την άλλη πλευρά είναι πιθανή και η εμφάνιση κάποιων προβλημάτων κατά τη λειτουργία των ΥΒΣ τα οποία σχετίζονται τόσο με την αξιοπιστία της υδροαιολικής συνεργασίας (δηλαδή κατά πόσο ο υδροστρόβιλος έχει την απαιτούμενη ταχύτητα απόκρισης, ώστε να παρακολουθεί πλήρως τις μεταβολές της αιολικής παραγωγής του ΥΒΣ) και της αντλιοαιολικής συνεργασίας και των επιπτώσεων τους στο σύστημα όσο και με τη πιθανή αισθητική αλλοίωση του φυσικού τοπίου από τις ανεμογεννήτριες και τις δεξαμενές. (Μυσίρης, 2015).

## **2.1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε υβριδικά συστήματα**

### **2.1.4.1 Αιολική ενέργεια**

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και συγκαταλέγεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπου η πρώτη της ύλη είναι ανεξάντλητη και χωρίς κόστος, που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Πρόκειται για ενέργεια που αξιοποιείται τόσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας (αλευρόμυλοι, άντληση νερού, αποστράγγιση) όσο και ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες).

Το όνομα προέρχεται από την ελληνική μυθολογία. Ο Αίολος είχε οριστεί από τον Δία κλειδοκράτορας των ανέμων και τους προκαλούσε ή τους σταματούσε κατά βούληση. Οι οκτώ άνεμοι ήταν: Βορέας, Καικίας, Απηνλιώτης, Εύρος, Νότος, Λιψ, Ζέφυρος, Σκίρων. (Μαμάσης, κ.α., 2018)

### **Χρονική εξέλιξη αιολικής ενέργειας**

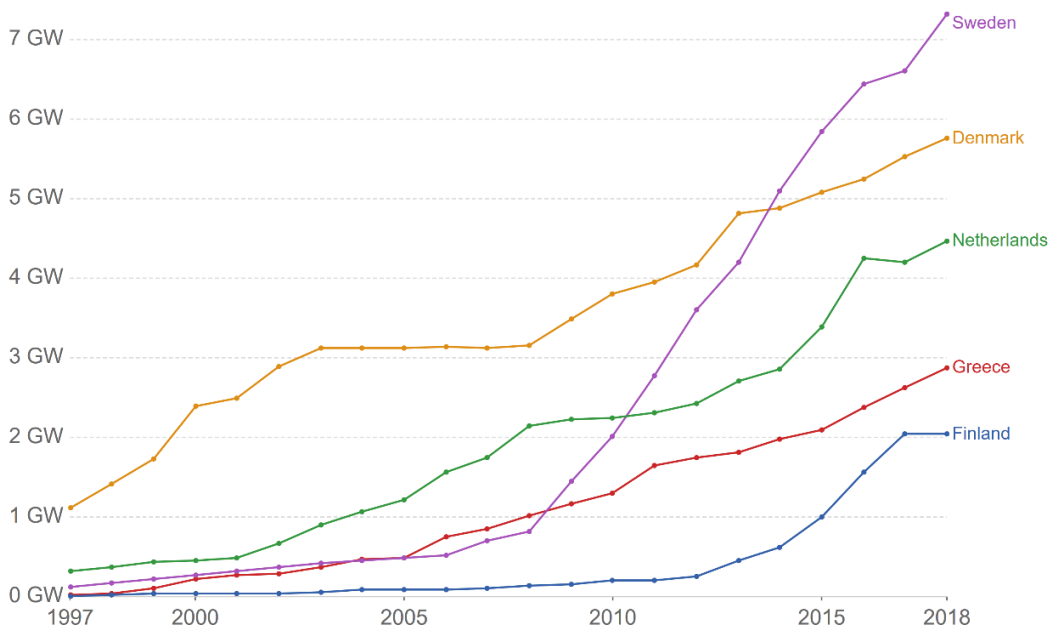
Η πρώτη χρήση αιολικής ενέργειας έγινε στη ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για άλεσμα δημητριακών και άντληση νερού. Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6<sup>ο</sup> έως τον 9<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη

γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα τον 13<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διάφορα είδη ανεμόμυλου οριζόντιου άξονα από τον 13<sup>ο</sup> αιώνα. Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα η «τεχνολογία» μεταφέρεται στην Αμερική όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για άντληση νερού. Στην Ελλάδα και ειδικότερα στο Αιγαίο, η χρήση ανεμόμυλων χρονολογείται από το 13<sup>ο</sup> αιώνα. Το 1960 υπήρχαν 10000 ανεμόμυλοι στο Οροπέδιο Λασιθίου, 2500 στην υπόλοιπη Κρήτη και 600 στη Ρόδο. Η πρώτη μορφή ανεμογεννήτριας δηλαδή ο πρώτος ανεμόμυλος παραγωγής ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio και είχε διάμετρο 17 μέτρα και ισχύ 12 KW. Στις μέρες μας, την πρωτεία σε κατασκευή και χρήση ανεμογεννητριών έχει η Δανία εκμεταλλευόμενη το πλούσιο αιολικό δυναμικό της. Πλέον, κατασκευάζονται αιολικές μηχανές της τάξης των 7MW. (Μαμάσης, κ.α., 2018)

Η εφαρμογή και η χρήση αιολικής ενέργειας παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια. Γίνεται εγκατάσταση όλων και περισσότερων αιολικών σταθμών εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρέχουν αυτοί. Παρακάτω στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος σε αιολική ενέργεια από το 1997 έως το 2018. Συγκεκριμένα στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες μεταξύ άλλων και της Ελλάδας, ενώ στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς για ανά ήπειρο και για όλο τον κόσμο συνολικά.

### Installed wind energy capacity, 1997 to 2018

Cumulative installed wind energy capacity including both onshore and offshore wind sources, measured in gigawatts (GW).



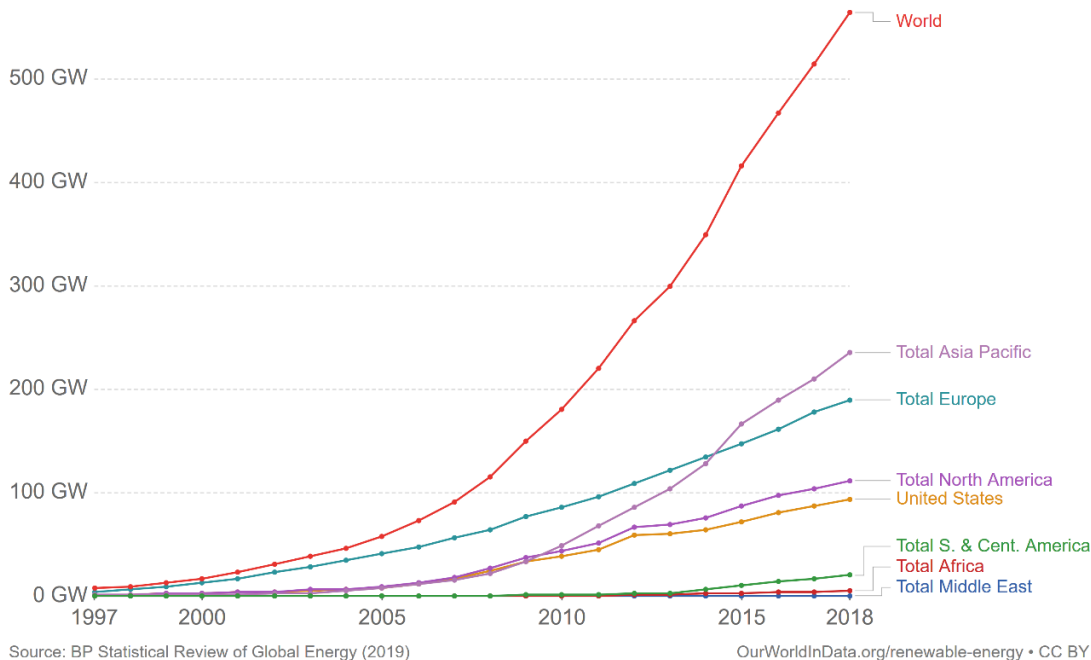
Source: BP Statistical Review of Global Energy (2019)

OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

Σχήμα 2.3 Εξέλιξη αιολικής εγκατεστημένης ισχύς σε ευρωπαϊκές χώρες 1997-2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

## Installed wind energy capacity, 1997 to 2018

Cumulative installed wind energy capacity including both onshore and offshore wind sources, measured in gigawatts (GW).



Σχήμα 2.4 Εξέλιξη αιολικής εγκατεστημένης ισχύς σε κάθε ήπειρο και στον κόσμο 1997-2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

### Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα χρήσης αιολικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι πολλά. Η αιολική ενέργεια:

- Παρέχει ανεξαρτησία από τα ορυκτά καύσιμα.
- Είναι φιλική προς το περιβάλλον με αμελητέες επιδράσεις στην πανίδα και ελάχιστες απαιτήσεις χρήσης γης.
- Είναι τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και η εγκατάσταση της είναι γρήγορη και τυποποιημένη.
- Έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας.
- Ενισχύει την αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

Ωστόσο, πέρα από τα πλεονεκτήματα που υπάρχουν από την χρήση αιολικής ενέργειας και ανεμογεννητριών, αυτή συνοδεύεται και από ορισμένα μειονεκτήματα.

- Η διακύμανση ενέργειας είναι απρόβλεπτη αφού αυτή εξαρτάται από το αιολικό δυναμικό.
- Απαιτείται κατασκευή μεγάλων οδικών δικτύων σε απρόσιτες περιοχές.
- Οι ανεμογεννήτριες εκπέμπουν θόρυβο από το μηχανικό τους τμήμα και πιο συγκεκριμένα εξαιτίας της κίνησης των πτερυγίων τους.

- Οπτική όχληση. Πρόκειται βέβαια για υποκειμενικό κριτήριο καθώς οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ενσωματωθούν στο γύρω περιβάλλον τους εφόσον αυτές είναι ορατές και από απόσταση.
- Το 99% της γης που φιλοξενεί αιολικά πάρκα είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις όπως οι γεωργικές και οι κτηνοτροφικές.
- Παρατηρείται σα φαινόμενο ο θάνατος πτηνών από την πρόσκρουση αυτών στις ανεμογεννήτριες. Το ποσοστό τους όμως ετησίως είναι ασήμαντο και με βάση πάντα και την κατάλληλη χωροθέτηση το φαινόμενο αυτό μπορεί να μειωθεί και άλλο. (Μαμάσης, κ.α, 2018)

Βασικότερο μειονέκτημα όλων αποτελεί αυτό της απρόβλεπτης και έντονης μεταβλητότητας της παραγόμενης ισχύος, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και με τον συνδυασμό μονάδων αποθήκευσης για την περίσσειας ενέργεια αυτό το πρόβλημα βελτιώνεται. Με την τεχνολογική εξέλιξη βελτιώνεται ακόμη και το πρόβλημα θορύβου και οπτικής όχλησης.

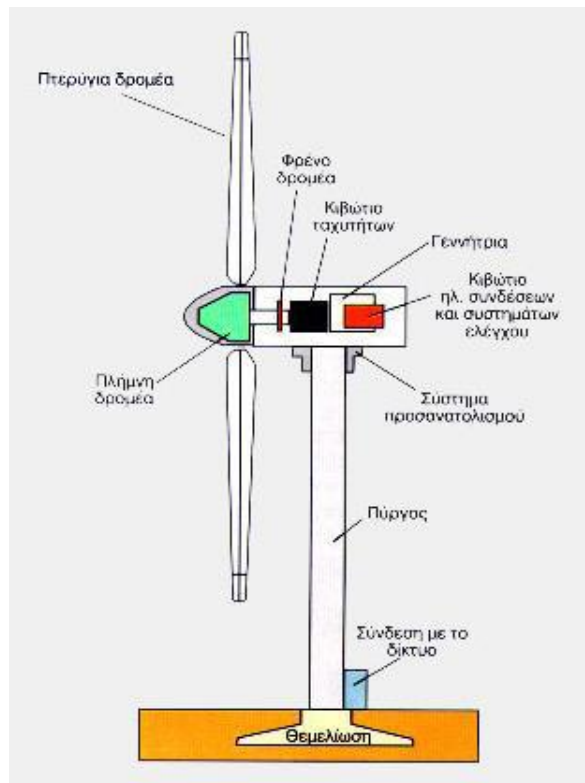
### **Ανεμογεννήτριες**

Υπάρχουν ανεμογεννήτριες τόσο οριζόντιου άξονα, όσο και κατακόρυφου. Στην πράξη έχουν κυριαρχήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, αφού αυτές παρουσιάζουν και τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα αποτελούν συνήθως εναλλακτική για εγκατάσταση πάνω σε ταράτσες κτιρίου. (Γιάννης Κατσιγιάννης)

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια είναι τα εξής:

- Ο πύργος στήριξης/πυλώνας πάνω στον οποίο τοποθετείται η άτρακτος και ο ρότορας. Είναι κυλινδρικής μορφής και συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα.
- 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.
- Τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ασφαλούς λειτουργίας που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της Α/Γ σε όλες τις συνθήκες.
- Τα πτερύγια.

(Μπαλάρας, 2006)



Σχήμα 2.5 Τομή Α/Γ οριζόντιου άξονα (Πηγή: ΚΑΠΕ)

### Θεωρητική αιολική ισχύς

Πρόκειται για την ισχύ που αποδίδεται αν υποθεθεί πλήρης αξιοποίηση της ενέργειας.

Ο τύπος της θεωρητικής αιολικής ισχύς δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I = \frac{E}{t} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)mV^2}{t} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\rho LAV^2}{t} = \left(\frac{1}{2}\right)\rho AV^3 \quad (2.1)$$

Όπου:

I: αιολική ισχύς (W)

E: κινητική ενέργεια (J)

t: χρόνος (s)

m: μάζα αέρα (kg)

V: ταχύτητα ανέμου (m/s)

$\rho$ : πυκνότητα αέρα (kg/m<sup>3</sup>)

A: επιφάνεια αναφοράς (m<sup>2</sup>)

L: διαδρομή ανέμου σε χρόνο t (m)

### Ονομαστική αιολική ισχύς

Ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράξει.

Ο τύπος της ονομαστικής αιολικής ισχύς δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I = \left(\frac{1}{2}\right) C n_M n_E \rho A V^3 \quad (2.2)$$

Όπου:

C: συντελεστής ισχύος

$n_M$ : βαθμός απόδοσης μηχανικού συστήματος

$n_E$ : βαθμός απόδοσης ηλεκτρομηχανικής μετατροπής

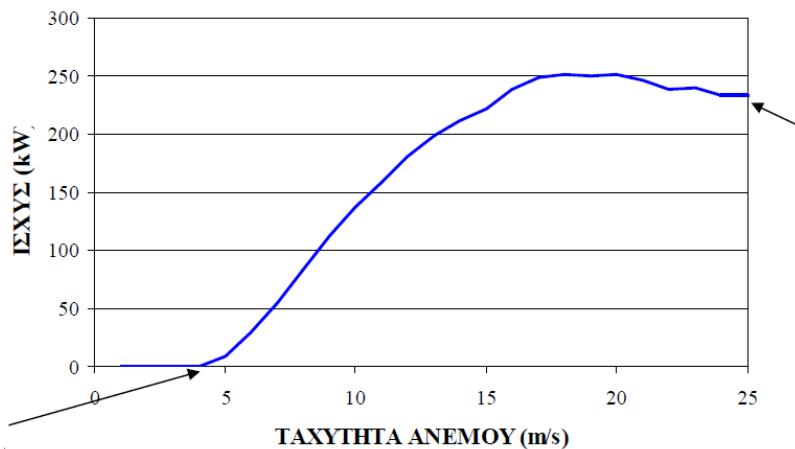
Ο συντελεστής ισχύος C υπολογίζεται από το πηλίκο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την εισερχόμενη ενέργεια αέρα. Ουσιαστικά είναι ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης πτερωτής και έχει μέγιστο όριο την τιμή  $C \leq 16/27=0.593$  (όριο Βετζ, 1919). Συνήθως ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται στο 0.35. (Μαμάσης, κ.α., 2018)

### Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια προκύπτει από την καμπύλη ισχύος της. Πρόκειται για μια σχέση που δίνει την ισχύ της ανεμογεννήτριας με βάση την ταχύτητα του ανέμου σε συγκεκριμένη θέση.

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εκτιμάται εμπειρικά από μετρήσεις πεδίου της ταχύτητας ανέμου με ανεμόμετρο και της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν αβεβαιότητες στην εκτίμηση των καμπυλών που σχετίζονται με τη μέτρηση της ταχύτητας και την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στην πτερωτή.

Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται μια τυπική καμπύλη ισχύος. Στο 1<sup>ο</sup> βέλος υποδεικνύεται η ταχύτητα από την οποία η ανεμογεννήτρια ξεκινά να παράγει ρεύμα και στο 2<sup>ο</sup> βέλος σημειώνεται η ταχύτητα πέραν της οποίας σταματά η πτερωτή να περιστρέφεται για να μην καταστραφεί. (Μαμάσης, κ.α., 2018)



Σχήμα 2.6 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (Πηγή: Μαμάσης κ.α., 2018)

### Αιολικό δυναμικό

Πριν την όποια εγκατάσταση αιολικού πάρκου, πρέπει να εξεταστεί το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης. Πηγές πληροφόρησης για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής προέρχονται κυρίως από τους χάρτες αιολικού δυναμικού-ΚΑΠΕ, από την ΕΜΜΥ, από μετρήσεις αιολικού δυναμικού και από μακροσκοπικά μοντέλα μετεωρολογικών προβλέψεων.



Ισχύει η παρακάτω κατηγοριοποίηση του αιολικού δυναμικού μέσης ετήσιας τιμής ανέμου:

**Ανεπαρκές: < 4 m/s**

**Χαμηλό: 4-5.5 m/s**

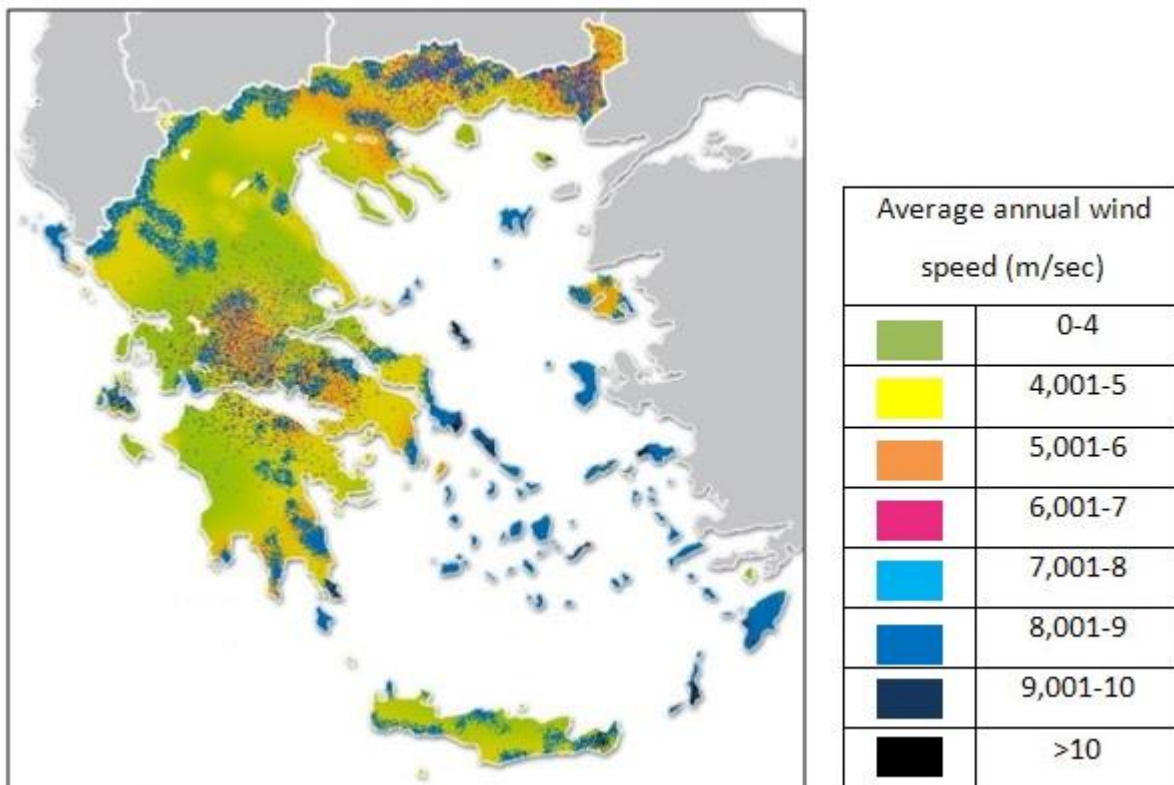
**Μέσο: 5.5-7 m/s**

**Υψηλό: 7-9 m/s**

**Πολύ υψηλό: >9 m/s**

Συγκεκριμένα η εγκατάσταση Α/Γ παρουσιάζει επενδυτικό ενδιαφέρον σε περιοχές τουλάχιστον μέσου αιολικού δυναμικού >5.5 m/s. (Γιάννης Κατσιγιάννης)

Ειδικά στη Ελλάδα, η περαιτέρω διεξόδυση των αιολικών πάρκων καλό θα ήταν να αποτελεί μέρος της εθνικής στρατηγικής μιας και το αιολικό δυναμικό της χώρα μας το επιτρέπει. Ειδικότερα στα νησιά του Αιγαίου οι μέσες ταχύτητες που επικρατούν είναι πάνω από 8 m/s<sup>2</sup> πράγμα που ευνοεί την αιολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και δίνει μάλιστα και λύση στην ηλεκτροδότηση των απομακρυσμένων νησιών. Στο Σχήμα 2.7 φαίνεται ο χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.



Σχήμα 2.7 Χάρτης αιολικού δυναμικού Ελλάδας. (Πηγή: ΚΑΠΕ)

#### 2.1.4.2 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και οι διάφορες ακτινοβολίες ή η ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. (Πηγή: Wikipedia 2020)

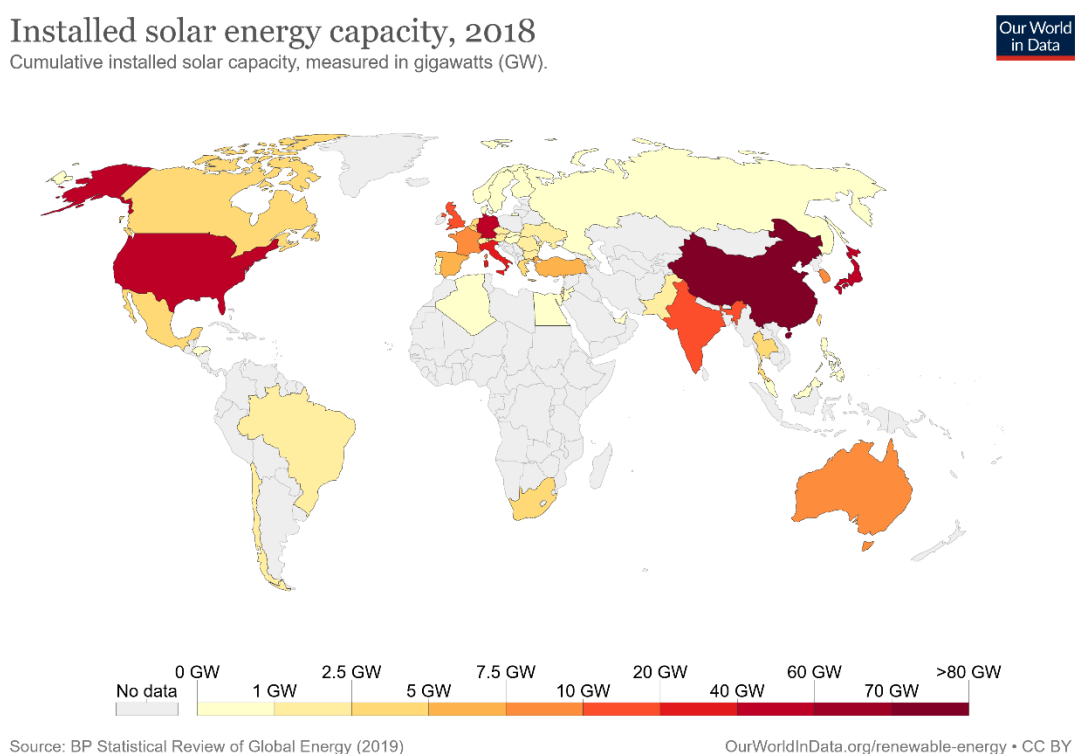
Η ηλιακή ενέργεια εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα, από το χρόνο (ώρα, ημέρα) και το γεωγραφικό πλάτος. Εξαρτάται ακόμη από την νεφοκάλυψη και τη δομή της ατμόσφαιρας. Τέλος ένας ακόμη παράγοντας που επιδρά στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ανάγλυφο του εδάφους και η ανακλαστικότητα της επιφάνειας. (Μαμάσης, κ.α., 2018)

### Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα μηχανικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή για την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλιακή ενέργεια, είναι το ηλεκτρικό πλαίσιο ή αλλιώς φωτοβολταϊκό και το θερμικό πλαίσιο το οποίο αποκαλείται ηλιακός συλλέκτης ή ηλιακός θερμοσίφωνας. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως άμορφο ή κρυσταλλικό πυρίτιο. Εναλλακτικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών είναι το κάδμιο το τελλούριο και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός.

### Ιστορική εξέλιξη φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η αρχή της μελέτης του Φ/Β φαινομένου έγινε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά κατασκευάστηκαν από σελήνιο το 1883 από τον Αμερικανό εφευρέτη Charles Fritts. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία είχαν βαθμό απόδοσης 1-2%. Τη δεκαετία του 1950 η απόδοση τους έφτασε τα 6%, ενώ σήμερα η απόδοση των φωτοβολταϊκών φτάνει στο 13-15%. Στις μέρες μας σε όλο τον κόσμο η ηλιακή ενέργεια που είναι εγκατεστημένη φτάνει τα 500 GW περίπου, ενώ την Ελλάδα εκτιμάται ότι ξεπερνά τα 2.5 GW. Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται η εγκατεστημένη ισχύς σε όλο τον κόσμο για το έτος 2018 και στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα από το 1997 έως το 2018.

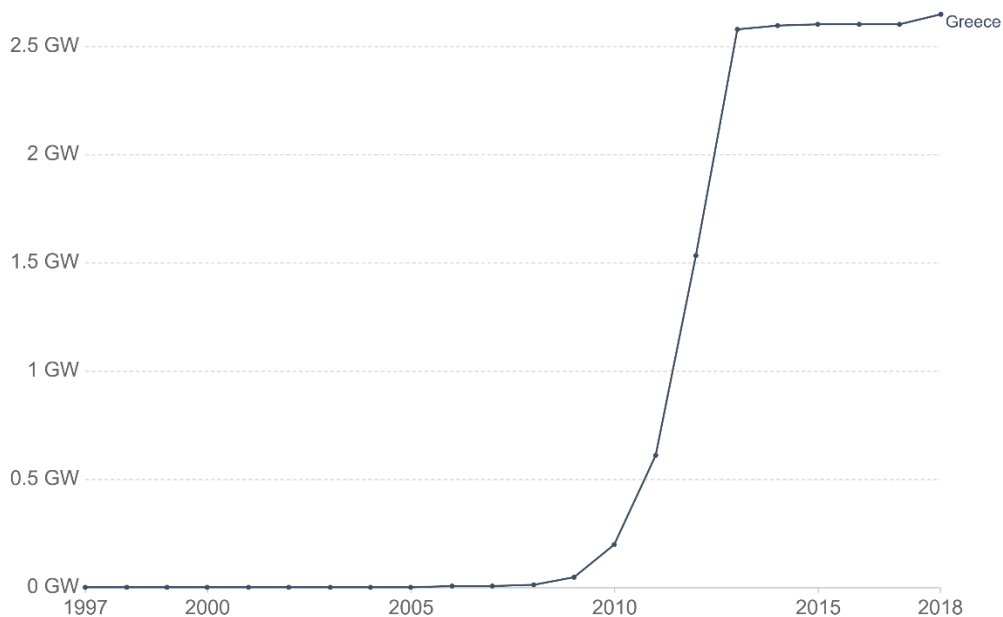


Σχήμα 2.8 Εγκατεστημένη ηλιακή ενέργεια για το έτος 2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

## Installed solar energy capacity, 1997 to 2018

Cumulative installed solar capacity, measured in gigawatts (GW).

Our World  
in Data



Source: BP Statistical Review of Global Energy (2019)

OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

Σχήμα 2.9 Εξέλιξη ηλιακής εγκατεστημένης ισχύς στην Ελλάδα 1997-2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

### Πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα ηλιακών πλαισίων

Στα πλεονεκτήματα χρήσης ηλιακής ενέργειας μέσω ηλιακών πλαισίων συγκαταλέγονται τα εξής:

- Δεν παράγουν ρύπους.
- Έχουν μικρό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.
- Έχουν ευελιξία εφαρμογής. Χρησιμοποιούνται τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα

Στα μειονεκτήματα των ηλιακών πλαισίων συγκαταλέγονται τα εξής:

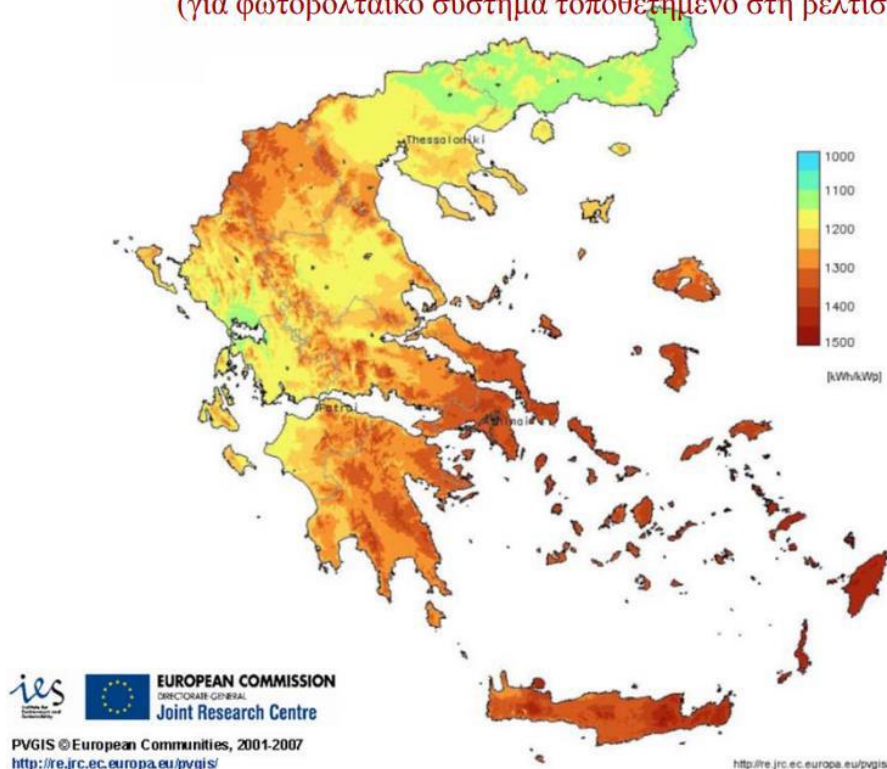
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Έχουν μικρή απόδοση, μόλις 13-20%.

Ωστόσο, παρά το υψηλό κόστος εγκατάστασης και της χαμηλής απόδοσης τους τα τελευταία χρόνια προωθείται ιδιαίτερα η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μέσα στα πλαίσια γενικότερης προώθησης των ΑΠΕ. Ειδικά σε χώρες με υψηλή ηλιοφάνεια όπως η Ελλάδα θα μπορούσαν να αποτελέσουν κύριο πυλώνα για την παραγωγή και κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Παρακάτω στο Σχήμα 2.10 φαίνεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για Φ/Β τοποθετημένα με την βέλτιστη κλίση για τον ελλαδικό χώρο.

## Φωτοβολταϊκά συστήματα

### Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/ kWp)

(για φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετημένο στη βέλτιστη κλίση)



2.10 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για Φ/Β τοποθετημένα με την βέλτιστη κλίση (Πηγή: Μαμάσης, κ.α., 2018)

#### 2.1.4.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

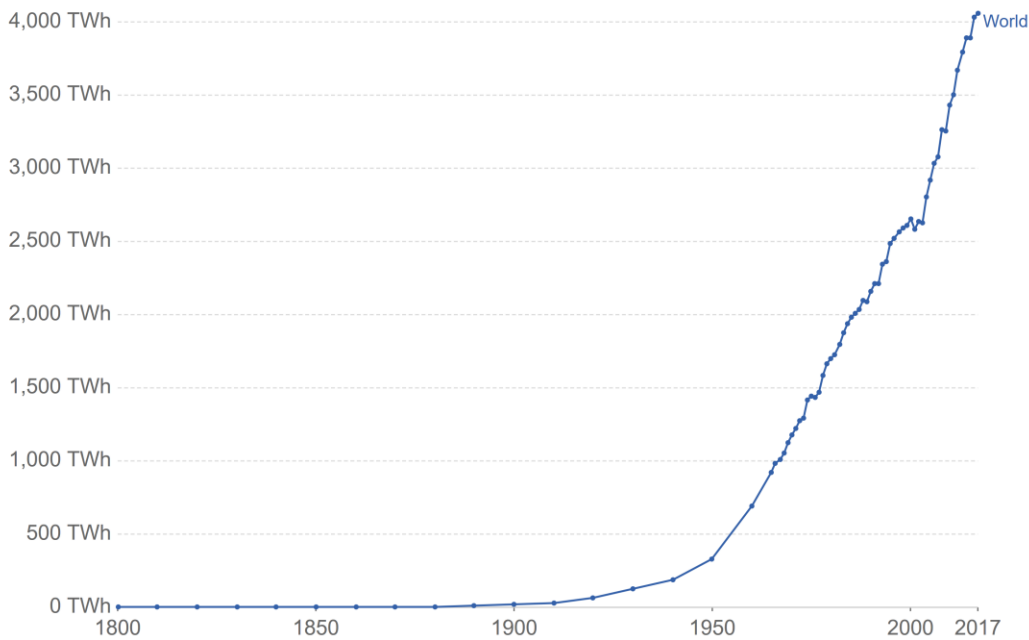
Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ένα σύστημα διαδοχικών μετασχηματισμών ενέργειας. Συγκεκριμένα υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυντικό πεδίο με την συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά και η οποία από την ροή του ελεύθερου νερού (υδραυλική ενέργεια) αποδίδεται σε υδροστροβίλους ως κινητική ενέργεια μέσω της υδατόπτωσης, η οποία με την σειρά της αποδίδεται ως ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας. Το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Η κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων τα τελευταία χρόνια έχει βρει ιδιαίτερη ανάπτυξη ειδικά σε σύγκριση με άλλες μορφές ΑΠΕ και αυτό γιατί ο βαθμός απόδοσης τους φτάνει το 85% και γιατί παράγουν καλή ποιότητα ενέργειας χωρίς διακυμάνσεις. Στις μέρες μας η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται παγκοσμίως ξεπερνά τις 4000 TWh όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.11, δηλαδή αποτελεί το 23.5% της παγκόσμιας ηλεκτρικής παραγωγής που ανέρχεται περίπου στις 17130 TWh. Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς συνεισφέρει περίπου το 10% της συνολικής εγχώριας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας φτάνοντας περίπου τις 6 TWh, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.12.

## Global hydroelectric power consumption, terawatt-hours, 1800 to 2017

Global hydroelectric power consumption over the long-term, measured in terawatt-hours (TWh) per year.

Our World  
in Data



Source: Smil (2017) & BP Statistical Review

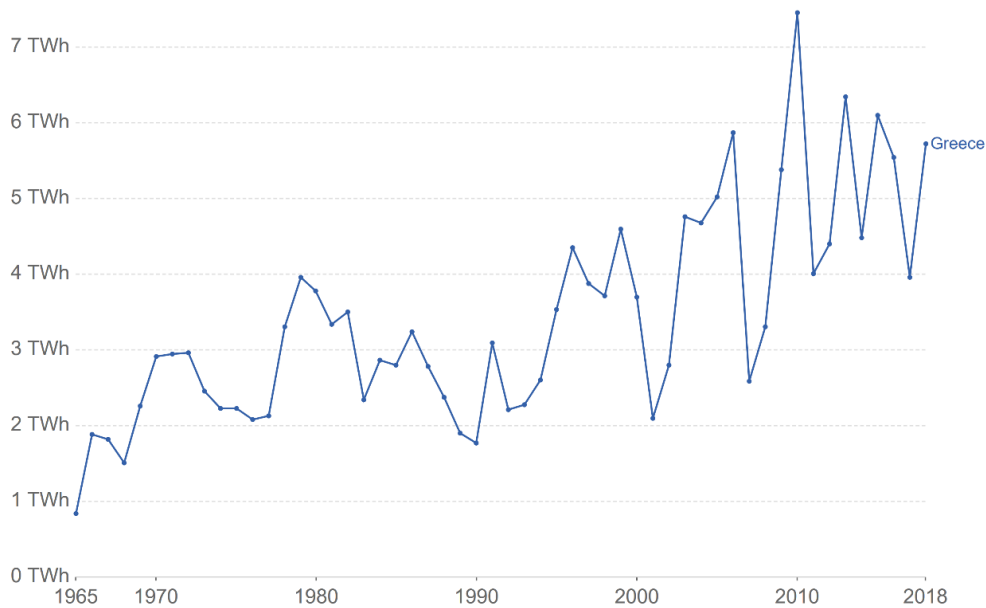
CC BY

Σχήμα 2.11 Εξέλιξη της κατανάλωσης υδροηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο 1800-2017 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

## Hydropower generation, 1965 to 2018

Annual hydropower generation is measured in terawatt-hours (TWh).

Our World  
in Data



Source: BP Statistical Review of Global Energy (2019)

OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

Σχήμα 2.12 Εξέλιξη της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα 1965-2018 (Πηγή: <https://ourworldindata.org/>)

## **Πλεονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων**

Τα πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών έργων είναι πολλά και γι' αυτό άλλωστε η ανάπτυξη τους είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλη μορφή ΑΠΕ παγκοσμίως. Συγκεκριμένα ως προς τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά:

- Έχουν την δυνατότητα για αποθήκευση καυσίμου (απορροή ποταμού).
- Οι εκροές τους είναι ελεγχόμενες, σε αντίθεση με κάθε άλλη ΑΠΕ.
- Αποτελούν βέλτιστη επιλογή για την κάλυψη αιχμών της ζήτησης.
- Διαθέτουν ταχύτατη παραλαβή και απόρριψη φορτιού.
- Έχουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης (υπερτερεί έναντι όλων των συμβατικών πηγών και ΑΠΕ).
- Διαθέτουν μεγάλη αξιοπιστία υδροτροβίλων.
- Παράγουν ενέργεια χωρίς διακυμάνσεις.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (συμβατικός ωφέλιμος χρόνος ζωής 100 έτη).
- Έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Επιπλέον, πέρα από τα ενεργειακά τους οφέλη:

- Διαθέτουν αντιπλημμυρική προστασία(ολική ή μερική ανάσχεση πλημμυρικών παροχών).
- Συνεισφέρουν στην ικανοποίηση αναγκών άρδευσης, ύδρευσης.
- Διαμορφώνουν νέο φυσικό περιβάλλον (δημιουργία λίμνης και υδροβιότοπου).
- Δεν υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού.
- Δεν εκπέμπουν ρύπους.
- Τα έργα υποδομής τους συμβάλλουν στην ανάπτυξη της περιοχής.

## **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις υδροηλεκτρικών έργων**

Παρά όλα αυτά η κατασκευή και η λειτουργία ενός τέτοιου έργου ακολουθείται και από τις εξής περιβαλλοντικές επιπτώσεις:

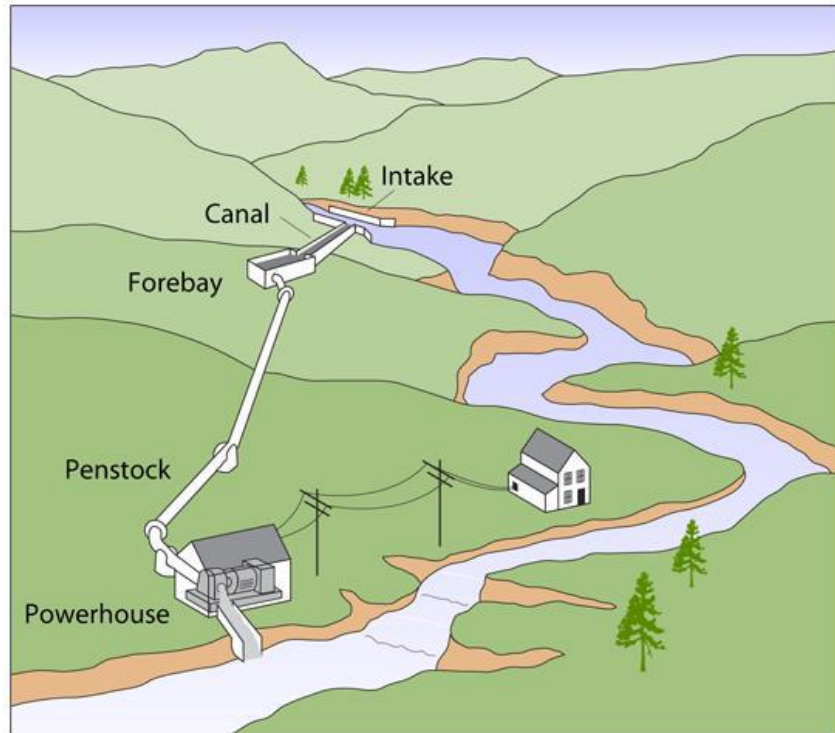
- Διαφοροποιείται σημαντικά η φυσική υδρολογική διαίτα του ποταμού.
- Διακόπτεται η συνέχεια του ποταμού στο τμήμα μεταξύ φράγματος και ΥΗΣ.
- Συγκρατούνται φερτά.
- Παρεμποδίζεται η κυκλοφορία ψαριών.
- Αλλάζει το οικοσύστημα από ποτάμιο σε λιμναίο.
- Προκαλείται αισθητική όχληση σε περίπτωση έντονων διακυμάνσεων της στάθμης.

(Ευστρατιάδης, κ.α., 2019)

## **Στοιχεία ενός ΥΗΕ**

Τα κυριότερα μέρη 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 την 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 εξερχόμενο νερό από τους υδροστροβίλους πίσω στο φυσικό περιβάλλον. (Μυσίρης, 2015)



Σχήμα 2.13 Συνιστώσες ενός ΜΗΥΕ (Πηγή: Μαμάσης, κ.α., 2017)

### Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία Μικρό είναι ένα Υδροηλεκτρικό Έργο εγκατεστημένης ισχύς μέχρι 15MWh. Ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο, συνήθως διαθέτει απλά μία ορεινή υδροληψία, ή και ένα μικρό ταμιευτήρα, για περιορισμένη ρύθμιση. Στο παραπάνω σχήμα διακρίνονται και οι βασικές συνιστώσες ενός ΜΗΥΕ.

Κατατάσσονται ως προς την ονομαστική τους ισχύ ως εξής:

- Micro (< 0.1 MW)
- Mini (0.1-1 MW)
- Μικρό (1-10 MW)

Κατατάσσονται και ως προς το ύψος πτώσης τους ως εξής:

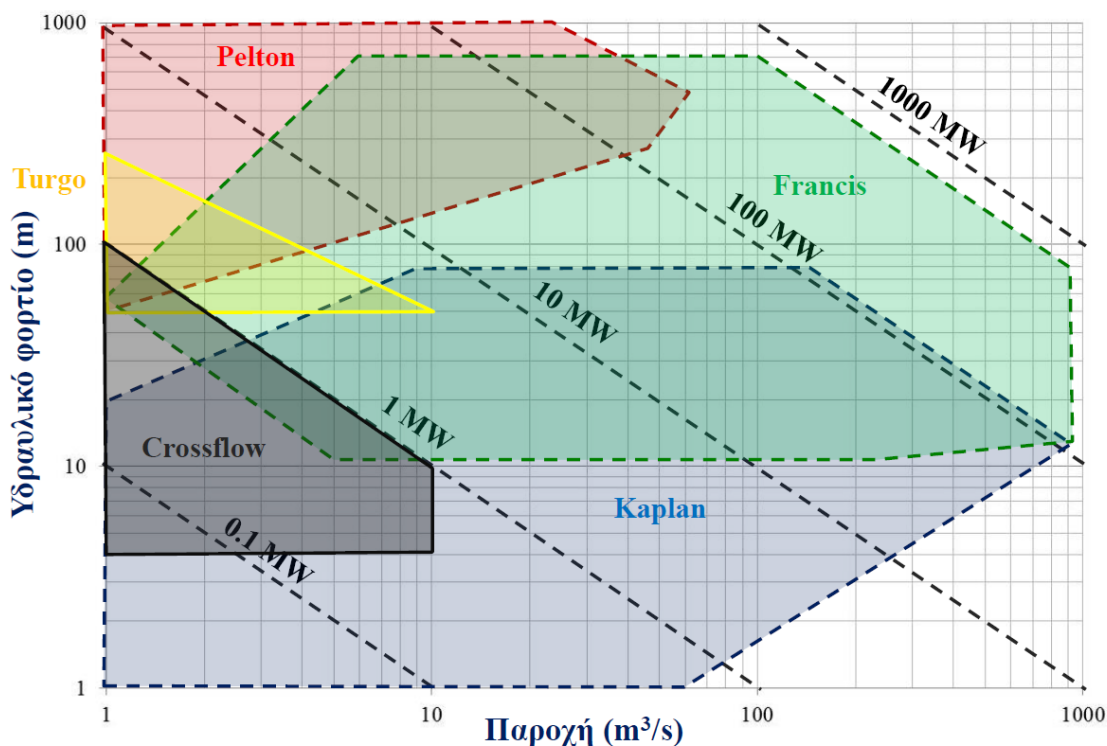
- Μικρού ύψους (<20m)
- Μεσαίου ύψους (20-150m)
- Μεγάλου ύψους (>150m)

(Μαμάσης, κ.α., 2017)

### Υδροστροβίλοι

Οι υδροστροβίλοι μετατρέπουν την ενέργεια του νερού που πέφτει από ύψωμα σε ισχύ περιστρεφόμενου άξονα και διακρίνονται σε υδροστροβίλους δράσεως και αντιδράσεως ανάλογα

με τον βαθμό αντίδρασης της στροβιλομηχανής. Οι υδροστροβίλοι δράσεως χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις μεγάλου υδραυλικού ύψους και μικρής παροχής νερού, είναι πιο απλή στην κατασκευή τους και ταυτόχρονα πιο ανθεκτικοί σε μη καθαρά νερά. Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων δράσεως είναι οι υδροστροβίλοι Pelton, Turgo και Cross Flow (Αγγελίδης, 2015). Οι υδροστροβίλοι αντίδρασης (Κατερινόπουλος, 2007) χρησιμοποιούνται σε μικρότερα υδραυλικά ύψη, σε σχέση με τους υδροστροβίλους δράσεως, και σε μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού και επιτυγχάνουν καλούς βαθμούς απόδοσης. Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων αντίδρασης είναι οι υδροστροβίλοι Francis, Kaplan, οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής και οι βολβοειδείς υδροστροβίλοι. Για την επιλογή του πιο αποδοτικού και αξιόπιστου υδροστροβίλου για συγκεκριμένη παροχή και υδραυλικό ύψος λαμβάνονται υπόψιν οι περιοχές λειτουργίας του κάθε τύπου υδροστροβίλου. Στο Σχήμα 2.14 φαίνονται αυτές οι περιοχές. (Μπέρτσιου, 2016)



Σχήμα 2.14 Περιοχές λειτουργίας στροβίλων (Πηγή: Μαμάσης, κ.α., 2017)

### Ισχύς αντλίας & υδροστροβίλου

Η ισχύς  $I$  (kW), που απαιτεί μια αντλία ή αποδίδει, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = g \frac{QH_{man}}{n_p} \quad (2.3)$$

Ενώ η ισχύς που αποδίδει ο υδροστροβίλος δίνεται από τη σχέση:

$$I = g QH_{man} n_t \quad (2.4)$$

Όπου:

$g$ : επιτάχυνση βαρύτητας ( $m/s^2$ ),  $g=9.81 m/s^2$

$Q$ : παροχή στον αγωγό πτώσης ( $m^3/s$ )

$H_{man}$ : μανομετρικό ύψος στην αντλία ή στον υδροστροβίλο (m)



$n_p$ : βαθμός απόδοσης αντλίας,  $n_p=0.8$

$n_t$ : βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου,  $n_t=0.9$

(Ευστρατιάδης, κ.α., 2019)

## **2.1.5 Υβριδικά συστήματα σε εφαρμογή**

### **2.1.5.1 Υβριδικό σύστημα Νησί Utsira**

Το νησί Utsira βρίσκεται στη Νορβηγία, έχει έκταση 6.2 km και ο πληθυσμός της είναι μόλις 211 κάτοικοι (απογραφή 2014). Πρόκειται για ένα νησί με πλούσιο αιολικό δυναμικό, συγκεκριμένα η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου ξεπερνά τα 10 m/s. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξης των 3,5 GWh με αιχμή φορτίου τα 900 KW. Αποτελεί το πρώτο παγκοσμίως υβριδικό σύστημα αιολικής ισχύος και υδρογόνου πλήρους κλίμακας το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή το 2003-2004.

Το υβριδικό σύστημα στο νησί Utsira, συνδυάζει 2 Α/Γ Epercon των 600 KW, μπαταρίες των 35 kWh, 1 ηλεκτρολύτη, 1 μονάδα αποθήκευσης υδρογόνου και κυψέλες καυσίμου (ΚΚ) των 10 KW και λειτουργεί ως εξής: η παραγόμενη αιολική ενέργεια παρέχεται απευθείας στο δίκτυο για την κάλυψη του φορτίου. Σε περίπτωση περίσσειας αιολικής ενέργειας, αυτή χρησιμοποιείται σε έναν ηλεκτρολύτη-reformer για την παραγωγή H<sub>2</sub>, το οποίο στη συνέχεια αποθηκεύεται σε δεξαμενές υδρογόνου. Διαφορετικά, η περίσσεια αιολική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Εάν η παραγόμενη ενέργεια από τις Α/Γ δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης, οι ΚΚ μετατρέπουν το H<sub>2</sub> σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία συμπληρώνει το υπολειπόμενο φορτίο.

Το υβριδικό αυτό σύστημα έχει δυνατότητα λειτουργία πάνω από 6 μήνες με διαθεσιμότητα γύρω στο 100% και πολύ καλής ποιότητας ισχύος και πολύ καλή λειτουργικότητα και συνέργεια των επιμέρους στοιχείων του καθώς επίσης συνεισφέρει στις τοπικές δραστηριότητες και στον τουρισμό. (Βρεττός, 2010)

### **2.1.5.2 Υβριδικό σύστημα King Island**

Το νησί King βρίσκεται στον πορθμό Bass μεταξύ Αυστραλίας και Τασμανίας. Η έκταση του είναι 1098 km και ο πληθυσμός του είναι 1.723 κάτοικοι (απογραφή 2007). Το φορτίο του νησιού κυμαίνεται μεταξύ των 1,2 MW και των 3,3 MW. Δεν είναι διασυνδεδεμένο ούτε με την Αυστραλία ούτε με την Τασμάνια, και μέχρι πρότινος η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καλυπτόταν από ντιζελογεννήτριες. Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο νησί κυμαίνεται στα 9.2 m/s, που επιτρέπει την εκμετάλλευση της από Α/Γ. Έτσι λοιπόν το υβριδικό σύστημα που λειτουργεί στο King Island διαθέτει 2 Α/Γ KW των 850 και 3 Α/Γ των 250 KW, 6 Φ/Β συστήματα των 100 KW συνολικά, 4 ντιζελογεννήτριες από 1200-1600 KW, συστοιχία μπαταριών των 800 kWh και σύστημα ελέγχου συχνότητας με ωμικό φορτίο. Η λειτουργία του συστήματος είναι απλή, όταν η αιολική ισχύς δεν επαρκεί για κάποιο χρονικό διάστημα δίνεται σήμα στη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας να δώσει στο σύστημα την περίσσεια ενέργειας αντί να γίνει εκκίνηση της 2ης ντιζελογεννήτριας και αντίστροφα όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας από τις Α/Γ και τα Φ/Β αυτή αποθηκεύεται στη μονάδα αποθήκευσης. Το έργο ξεκίνησε το 1998 και σήμερα καλύπτει πάνω από το 33% της ενεργειακής ζήτησης. (Βρεττός, 2010)

### **2.1.5.3 Υβριδικό σύστημα Wales Alaska**

Πρόκειται για μια κοινότητα στην Αλάσκα που βρίσκεται στο δυτικό άκρο της χερσονήσου Seward και η οποία έχει γύρω στους 160 κατοίκους. Το μέσο ηλεκτρικό φορτίο της κοινότητας Wales είναι 70 KW και το φορτίο αιχμής φτάνει τα 140 KW. Η ολοκλήρωση του υβριδικού συστήματος έγινε το 2000. Το υβριδικό σύστημα αποτελείται από 2 Α/Γ των 65 KW, από 2 ντιζελογεννήτριες των 168 KW και 1 ντιζελογεννήτρια των 75 KW, από σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες, από 1

περιστροφικό μετατροπέα και πίνακες ελέγχου και βοηθητικό εξοπλισμό. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου από τις μονάδες diesel. Ακόμη η περίσσεια αιολικής ισχύος διοχετεύεται σε διάφορα θερμικά φορτία της κοινότητας εξοικονομώντας έτσι καύσιμα για τις ανάγκες θέρμανσης. Σύμφωνα με αποτελέσματα από μια περίοδο δοκιμών που έγινε το 2002 οι ανεμογεννήτριες κατάφεραν να καλύψουν το 41% της ζήτησης, ενώ οι υπόλοιπες ανάγκες καλύφθηκαν από τη συμβατική παραγωγή. (Βρεττός, 2010)

#### **2.1.5.4 Υβριδικό σύστημα El Hierro**

Το El Hierro αποτελεί το μικρότερο νησί στο σύμπλεγμα των Καναρίων Νήσων τα οποία ανήκουν στην Ισπανία και βρίσκονται στα ανοικτά των βορειοαφρικανικών ακτών. Το νησί έχει έκταση 278 km<sup>2</sup> και πληθυσμό 1100 κατοίκων. Το έργο αποτελείται από 5 Α/Γ συνολικής παραγωγής 11.5 MW, εγκατεστημένες στο βορειοανατολικό άκρο του νησιού έκτασης και ένα υδροηλεκτρικό έργο αντλησιοταμίευσης που θα αποθηκεύει την περίσσεια αιολικής ενέργειας. Ακόμη υπάρχουν εγκατεστημένοι και ηλιακοί συλλέκτες και Φ/Β.

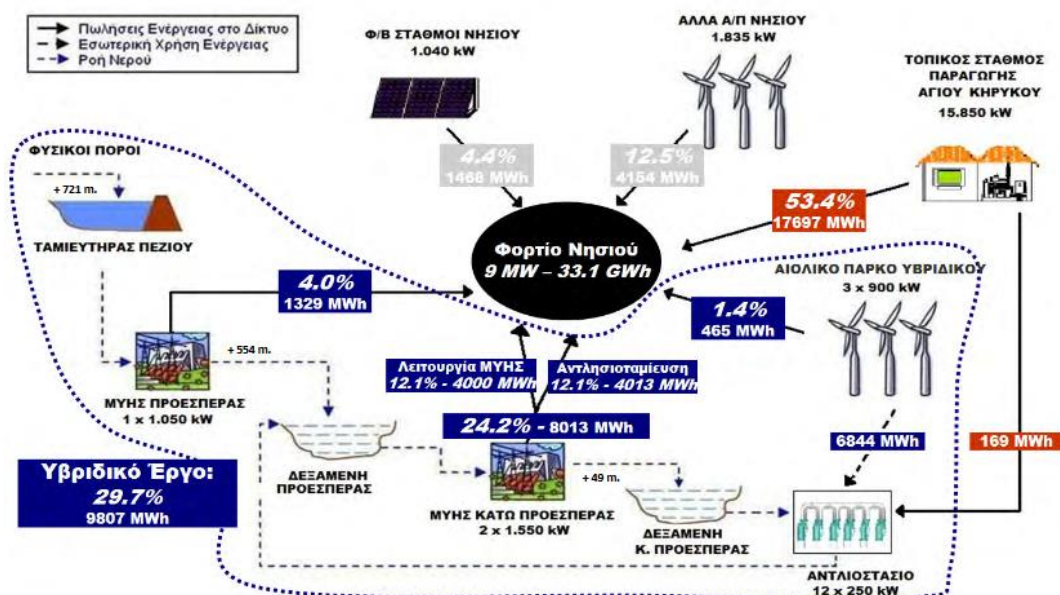
Η περίσσεια αιολικής ενέργεια χρησιμοποιείται για την άντληση νερού σε μεγάλη δεξαμενή στα 700 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, μέσα σε κρατήρα ανενεργού ηφαιστείου, έτσι ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες σε περίοδο άπνοιας. Σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης από το αιολικό πάρκο, το νερό απελευθερώνεται από τον κρατήρα παράγοντας έως και 11.3 MW ηλεκτρικής ενέργειας και γεμίζοντας κατά την απόθεσή του την τεχνητή δεξαμενή που έχει κατασκευαστεί στον πόδα του ηφαιστείου. Στη συνέχεια, το νερό αντλείται από τη κάτω στην πάνω δεξαμενή όταν υπάρχει πλεονάζουσα αιολική ενέργεια. Το σύστημα αυτό καλύπτει το 80% των ενεργειακών αναγκών του νησιού, ενώ το υπόλοιπο 20% καλύπτεται από Φ/Β. Ακόμη από αυτό το σύστημα καλύπτονται και οι ανάγκες από 3 μονάδες αφαλάτωσης που είναι εγκατεστημένες στην περιοχή. Το νησί λοιπόν, είναι ενεργειακά ανεξάρτητο από συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο οι υπάρχουσες ντιζελογεννήτριες συνεχίζουν τη λειτουργία τους, σε μειωμένο βέβαια βαθμό, καλύπτοντας το υπολειπόμενο φορτίο ζήτησης σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψής του. (Μπρέτσιου, 2016)

#### **2.1.5.5 Υβριδικό σύστημα Κύθνου**

Η Κύθνος είναι νησί των Δυτικών Κυκλάδων ανάμεσα στην Κέα και τη Σέριφο με πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό και με πρωτοπóρες εφαρμογές ΑΠΕ. Το υβριδικό σύστημα της Κύθνου αποτελεί το πρώτο υβριδικό μοντέλο στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη. Αποτελείται από ανεμογεννήτριες ντιζελογεννήτριες και Φ/Β. Είναι εγκατεστημένες 1 ισχυρή Α/Γ των 500 KW, 5 Α/Γ των 35 KW η κάθε μία πλέον, 1 Φ/Β των 100 KW, ντιζελογεννήτριες που ποικίλουν από 100-550 KW, καθώς και μπαταρίες από 600-2400 kWh. Το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος φτάνει τα 1.7 MW. (Ηλίου, 2017)

#### **2.1.5.6 Υβριδικό σύστημα Ικαρίας**

Το υβριδικό έργο στην Ικαρία αποτελείται από 1 υφιστάμενο ταμιευτήρα στη θέση Πέζι 900000 m<sup>3</sup>, 2 μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς στις θέσεις Προεσπέρα (1.05 MW) που τροφοδοτεί την περίσσεια υδάτων στον ταμιευτήρα Πεζίου αφού πρώτα καλυφθούν οι ανάγκες σε ύδρευση και άρδευση και Κάτω Προεσπέρα (3.1 MW), 1 Αιολικό Πάρκο στη θέση Στραβοκουντουρά συνολική ισχύος 2.7 MW με 3 Α/Γ των 900 KW, 2 δεξαμενές νερού χωρητικότητας 80000 m<sup>3</sup> έκαστη και από 1 αντλιοστάσιο με 12 αντλίες 250 KW έκαστη οι 4 εκ των οποίων είναι εφεδρικές. Μελλοντικά προβλέπεται η τοποθέτηση ακόμα ενός ΑΠ στη θέση Περδίκι ισχύος 1.835 kW.



Σχήμα 2.15 Λειτουργία Υβριδικού Ενεργειακού Έργου- Μελλοντικό ενεργειακό ισοζύγιο Ικαρίας (Πηγή: Σ. Ροντήρης, ΔΕΗ-Ανανεώσιμες, 2017)

## Λειτουργία έργου

Για την λειτουργία του Αντλιοστασίου θα αξιοποιείται η ενέργεια που θα παράγουν οι Α/Γ του ΑΠ στη Στραβοκουντούρά. Η αιολική ενέργεια του ΑΠ του Υβριδικού μέσω του νερού που μεταφέρεται από την Κάτω στην Άνω Δεξαμενή θα αποδίδεται στο δίκτυο μέσω του ΜΥΗΕ Κάτω Προεσπέρας, ως υδροηλεκτρική ενέργεια με ανακύκλωση. Το νερό των χειμερινών υπερχειλίσεων του φράγματος στο Πέζι θα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας εξασφαλίζοντας ότι δεν απαιτείται η συνεχής τροφοδότηση των δύο δεξαμενών με νερά από το φράγμα, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου δεν υφίστανται υπερχειλίσεις και το νερό του υφιστάμενου ταμιευτήρα στο Πέζι διατίθεται για τις αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες του νησιού. Η λειτουργία του έργου φαίνεται αναλυτικά και στο Σχήμα 2.15.

## Σημαντικότητα έργου

Πρόκειται για ένα πρωτοποριακό έργο σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο που συνδυάζει αποτελεσματικά την εκμετάλλευση των υδάτων που υπερχειλίζουν από το υφιστάμενο αρδευτικό φράγμα στο Πέζι με την αξιοποίηση της αιολικής παραγωγής. Η διείσδυση της ενέργειας από ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού φτάνει μέχρι περίπου 50% και τέλος χάρις το έργο αυτό αποφεύγονται εκπομπές CO<sub>2</sub> της τάξης των 13800 τόνων/έτος. (Σ. Ροντήρης, ΔΕΗ-Ανανεώσιμες, 2017)

## 2.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

### 2.2.1 Γενικά στοιχεία

Αφαλάτωση ονομάζεται η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μία αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Διακρίνεται σε φυσική και τεχνητή. Η φυσική αφαλάτωση είναι μια συνεχής διεργασία που αποτελεί μέρος του κύκλου του νερού. Πρόκειται πρακτικά για την εξάτμιση του νερού λόγω της θερμότητας και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η τεχνητή αφαλάτωση είναι ανθρώπινη απόπειρα αφαίρεσης αλάτων από το νερό με βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού, είναι δηλαδή μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Η μέθοδος

αυτή συνήθως εφαρμόζεται σε περιοχές με ξηρό κλίμα, με έλλειψη πόσιμου νερού που όμως έχουν πρόσβαση σε κάποια πηγή υδάτων. (Γεωργοπούλου, 2013)

### **2.2.2 Ιστορικά στοιχεία**

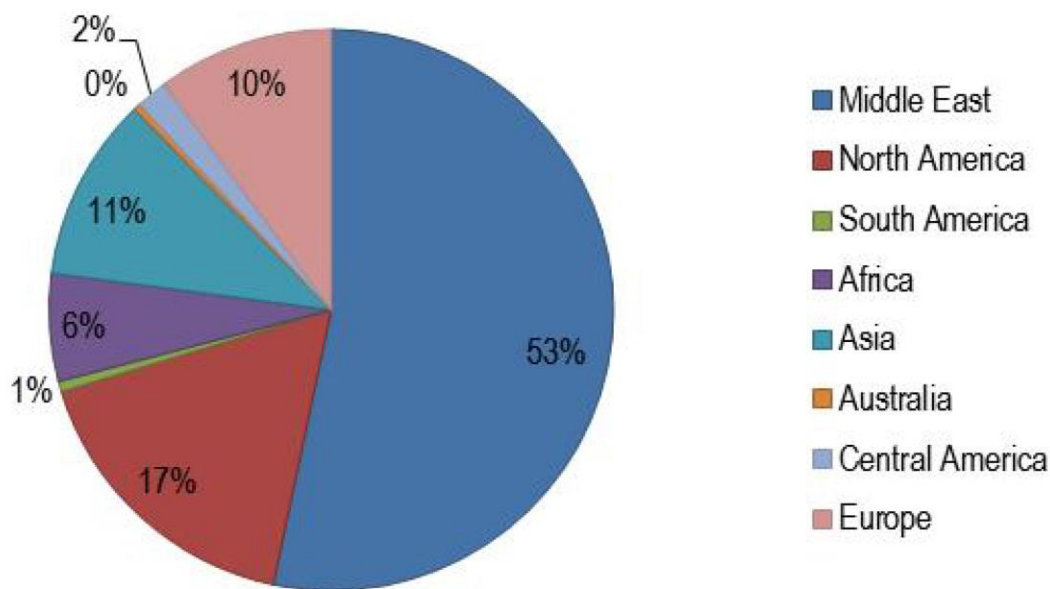
Η ανάπτυξη της μεθόδου της αφαλάτωση άρχισε κατά τον 20ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Το 97,5% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη.

Ιστορικά, η έννοια της αφαλάτωσης συναντάται πρώτη φορά στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς οι οποίοι εξάτμιζαν θαλασσινό νερό περίπου τον 4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., όπως περιγράφεται από κείμενα του Αριστοτέλη. Ακόμη, περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία από Άραβα συγγραφέα του 8ου μ.Χ. αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού.

Η ανάγκη για αφαλάτωση θαλασσινού νερού έγινε επιτακτική αργότερα, τον 18ο αιώνα, ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης της ατμοπλοΐας αφού πλέον απαιτούνταν μεγάλες ποσότητες ύδατος για τις ατμομηχανές και δη αφαλατωμένου ύδατος ώστε να μην διαβρώνονται οι μηχανές. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930.

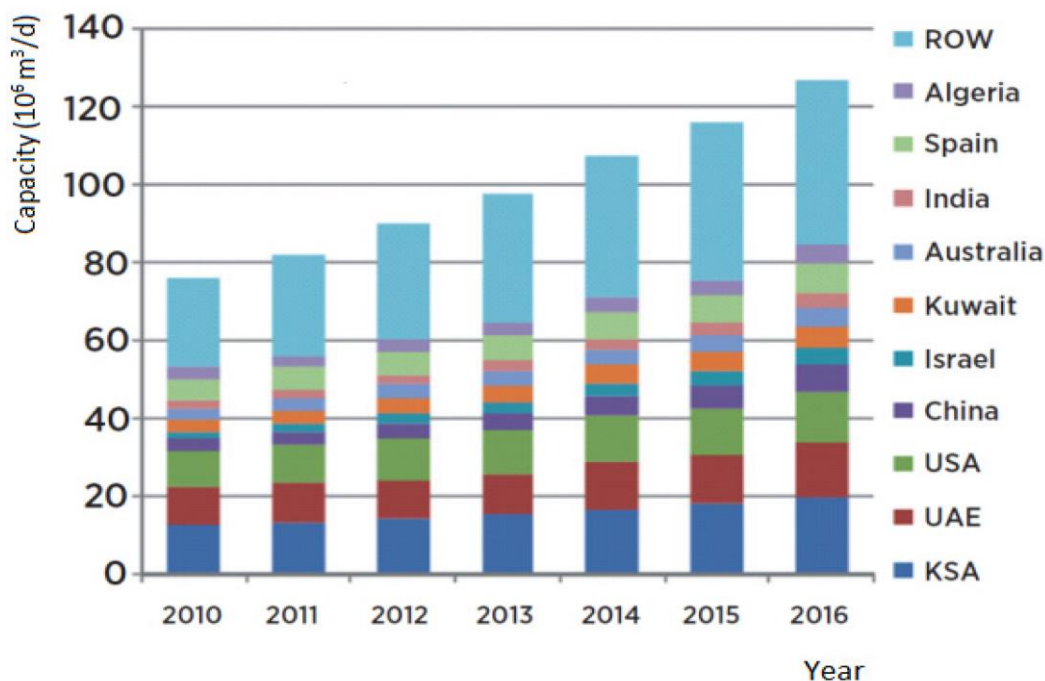
Από το 1970 άρχισαν να τίθενται σε λειτουργία μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στις ΗΠΑ, στη Ρωσία, στο Μεξικό, στην Μέση Ανατολή, σε παράλιες χώρες όπως είναι η Σαουδική Αραβία (24% της παγκόσμιας χρήσης), το Κουβέιτ, η Αίγυπτος αλλά και το Ισραήλ. Στον δυτικό κόσμο ο μεγαλύτερος χρήστης 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. (Panagopoulos, et al., 2019)

Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, παρατηρείται ραγδαία ανάπτυξη της αφαλάτωσης. Όλο και περισσότερες μονάδες εγκαθίστανται και λειτουργούν παγκοσμίως. Συγκεκριμένα από το 1945 όπου η παγκόσμια παραγωγή καθαρού νερού με την μέθοδο της αφαλάτωσης υπολογιζόταν στα 346 m<sup>3</sup>/d φτάνει αργότερα το 1980 να εκτοξεύεται στα 5.000.000 m<sup>3</sup>/d. Η ραγδαία αυτή ανάπτυξη συνεχίστηκε και το 2004 η ικανότητα των Μ.Α. έφτασε τη παραγωγή 35.000.0000 m<sup>3</sup>/d ασφαλωμένου νερού. Το 2008 η συνολική ικανότητα έφτασε τις 52.333.950 m<sup>3</sup>/d και τέλος το 2011 έφτασε τις 67.000.000 m<sup>3</sup>/d με πάνω από 16.000 μονάδες αφαλάτωσης σε λειτουργία παγκοσμίως. Μάλιστα, εκτιμάται 9% αύξηση κάθε έτος στην παραγωγή αφαλατωμένου νερού και το 54% της παγκόσμιας ανάπτυξης αναμένεται να συμβεί στη Μέση Ανατολή όπου μέχρι το 2030 εκτιμάται ότι θα παράγονται περίπου 110 εκατομμύρια m<sup>3</sup> κάθε μέρα. (Κ. Ζόταλης, κ.α., 2014)



Σχήμα 2.16 Παγκόσμια κατανομή Μονάδων Αφαλάτωσης (%)

(Πηγή: K Zotalis, et al., Desalination technologies: Hellenic experience, Water, 2014)



Σχήμα 2.17 Παγκόσμια ικανότητα αφαλατωμένου νερού 2010-2016

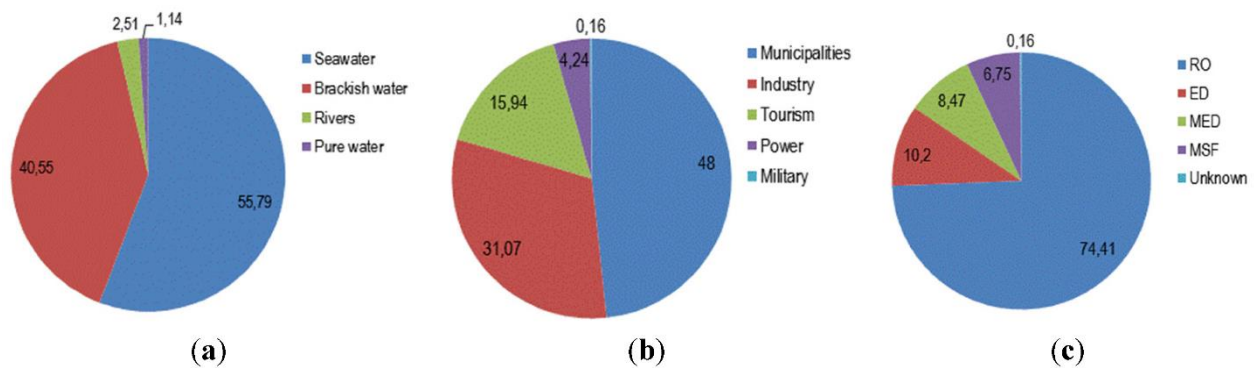
(Πηγή: K Zotalis, et al., Desalination technologies: Hellenic experience, Water, 2014)

### 2.2.3 Εγκατεστημένες Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα οι πρώτες μονάδες αφαλάτωσης εγκαταστάθηκαν το 1960 με τη βοήθεια μικρών πιλοτικών μονάδων ηλιακής απόσταξης. Η εγκατάσταση τέτοιου είδους μονάδων έγινε αρχικά

κυρίως σε νησιά όπως: Νίσυρος, Κίμωλος, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Πάτμος, Καστελόριζο, Σύμη, Αίγινα με σημαντικότερη αυτή της Πάτμου με παραγωγική ικανότητα 25 m<sup>3</sup>/d.

Το 2011, σύμφωνα με το International Desalination Association στην Ελλάδα οι εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης ανέρχονταν στις 157, με δυναμικότητα 109.115 m<sup>3</sup>/d και οι Μ/Α οι οποίες ήταν υπό κατασκευή έφταναν τις 35 οι οποίες θα απέδιδαν επιπλέον 40.135 m<sup>3</sup>/d. Το 56% του νερού που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα για αφαλάτωση είναι θαλασσινό, το αμέσως επόμενο είναι το υφάλμυρο που φτάνει σε ποσοστό χρήσης στο 41%. Το 48% του αφαλατωμένου νερού στην Ελλάδα αποδίδεται σε δημόσια χρήση, το 31.07% αποδίδεται σε επιχειρήσεις, ενώ περίπου το 16% καλύπτει τουριστικές ανάγκες. Η Αντίστροφη Ωσμωση (Reverse Osmosis, RO) είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και αγγίζει ποσοστό περίπου της τάξης του 75%. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται αναλυτικά στα παρακάτω γραφήματα. (Κ. Ζόταλης, κ.α., 2014)



Σχήμα 2.18 Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με: (α) το νερό τροφοδοσίας (β) τις χρήσεις (γ) την μέθοδο αφαλάτωσης

(Πηγή: K Zotalis, et al., Desalination technologies: Hellenic experience, Water, 2014)

Συγκεκριμένα, στα ελληνικά νησιά υπάρχουν 35 Μ/Α αντίστροφης ώσμωσης σε λειτουργία παραγωγικής ικανότητας 22.860 m<sup>3</sup>/d και λειτουργικού κόστους που κυμαίνεται από 0.13€/m<sup>3</sup> μέχρι 2.70€/m<sup>3</sup>. Το μέσο λειτουργικό κόστος διαμορφώνεται στα 0.85€/m<sup>3</sup> σύμφωνα με στοιχεία από 30 Μ/Α. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι Μ/Α που υπάρχουν σε διάφορα νησιά, η χρονολογία εκκίνησης λειτουργίας τους, η παραγωγική τους ικανότητα, το λειτουργικό τους κόστος καθώς και η κατάσταση τους.

Project	Year	Type	Capacity (m <sup>3</sup> /d)	Initial cost (M €)	Operation cost (€)	Contractor	Acceptance
Almyros Iraklion	2014	RO & UF	2,400	0.850	0.25	Sychem S.A., GR	Good
Syros 1st Ermoupoli	1992	RO	800	0.589	2.70	Christ, CH	Good
Syros 2nd Ermoupoli	1997	RO	800	1.482	2.70	Christ, CH	Good
Syros 3rd Ermoupoli	2001	RO (SW)	40	0.346	2.00	Culligan Greece	Good
Syros 4th (Ano Syros)	2000	RO	250	0.215	0.50	Temak, GR	Good
Syros 5th (Ano Syros)	2002	RO	500	0.400	0.50	Temak, GR	Good
Syros 6th (Ermoupolis)	2002	RO (SW)	2,000	0.313	0.40	Temak, GR	Good
Syros 7th (Ano Syros)	2005	RO	1,000	1.000	0.40	Temak, GR	Under construction
Shinousa	2004	RO	100	0.120	0.70	Temak, GR	Under construction
Mykonos (Korfou) old	1981	RO	500	N/A	2.00	Metek, IT	Good
Mykonos (Korfou) new	2001	RO	2,000	1.276	0.50	Culligan Greece	Good
Paros (Naoussa)	2001	RO	1,200	0.415	0.50	Ionics Itaba	Good
Tinos (old)	2001	RO	500	0.434	0.62	Culligan Greece	Good
Tinos (new)	2005	RO	500	0.376	0.62	Culligan Greece	Good
Ia, Santorini 1st	1994	RO	220	N/A	2.00	Matrix, USA	Good
Ia, Santorini 2nd	2000	RO	320	0.210	2.00	Culligan Greece	Good
Ia, Santorini 3rd	2002	RO	160	N/A	2.00	Matrix, USA	Good
Sifnos	2002	RO (BW)	500	0.224	3.50	Hoh, DM	Good
Omiroupolis, Chios, Municipality, 1st	2000	RO (BW)	600	0.205	0.30	Culligan Greece	Good
Omiroupolis, Chios, Municipality, 2nd	2005	RO	3,000	0.710	0.26	Culligan Greece	Under construction
Omiroupolis, Chios, Municipality, 3rd	2005	RO	500	0.200	0.26	Culligan Greece	Under construction
Nisiros (old)	1991	RO	300	0.572	N/A	Metek, IT	Out of operation
Nisiros (new)	2002	RO	350	0.295	0.66	Temak, GR	Good
Ithaki, Kefalonia 1st	1981	RO	620	0.264	2.88	Christ, CH	Good
Ithaki, Kefalonia 2nd	2003	RO	520	0.587	0.58	Judo, DE	Good
Lerou (Municipal Enterpr.)	2001	RO	200	0.074	0.13	Culligan Greece	Good
Kassopeon (Municipality)	2001	RO	500	0.170	0.13	Culligan Greece	Good
Posseidonia (Municipality), 1st	2002	RO	500	0.464	0.56	Culligan Greece	Good
Posseidonia (Municipality), 2nd	2005	RO	1,000	0.574	0.45	Culligan Greece	Under construction
Agios Georgios (Municipality)	2002	RO	500	0.102	0.30	Culligan Greece	Good
Paksoi (Municipality) 1st	2005	RO	330	0.260	0.51	Culligan Greece	Good
Paksoi (Municipality) 2nd	2005	RO	150	0.162	0.59	Culligan Greece	Good
Total: 32	-	-	22,860	-	-	-	-

Πίνακας 2.1 Στοιχεία Μονάδων Αφαλάτωσης σε ελληνικά νησιά

(Πηγή: K Zotalis, et al., Desalination technologies: Hellenic experience, Water, 2014)

## 2.2.4 Μέθοδοι Αφαλάτωσης

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης διακρίνονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες και αυτές εξαρτώνται από τις φάσεις στις οποίες περνάει το νερό κατά την αφαλάτωση του, όπως φαίνονται παρακάτω:

- **Θερμικές διεργασίες- Αλλαγή φάσης του διαλύματος.**

Σε αυτή την κατηγορία διεργασιών το νερό αλλάζει 2 φορές φάση καθώς περνάει από την υγρή στην αέρια μορφή. Τέτοιες διεργασίες είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση, με την πρώτη να είναι και πιο διαδεδομένη. Οι κυριότερες μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι: η απόσταξη πολλαπλής φάσης (Multiple Stage Flashing, MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), η εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC) και η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation).

- **Διάλλειμα μόνο σε υγρή φάση.**

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι διεργασίες εκείνες που πραγματοποιούνται μόνο σε μία φάση, την υγρή. Τέτοιες μέθοδοι είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), οι οποίες επιτυγχάνουν την απομάκρυνση των αλάτων με την βοήθεια μεμβρανών.

Από τις παραπάνω μεθόδους η πιο διαδεδομένη είναι η αντίστροφη ώσμωση (RO) λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ειδικής ενέργειας, της συμβατικότητας της με Φ/Β και Α/Γ, και της υψηλής απόδοσής της. Αυτή είναι και η μέθοδος που θα εξεταστεί στην παρούσα διπλωματική για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης της Φολεγάνδρου. (Μυσίρης, 2015)

### 2.2.4.1 Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF)

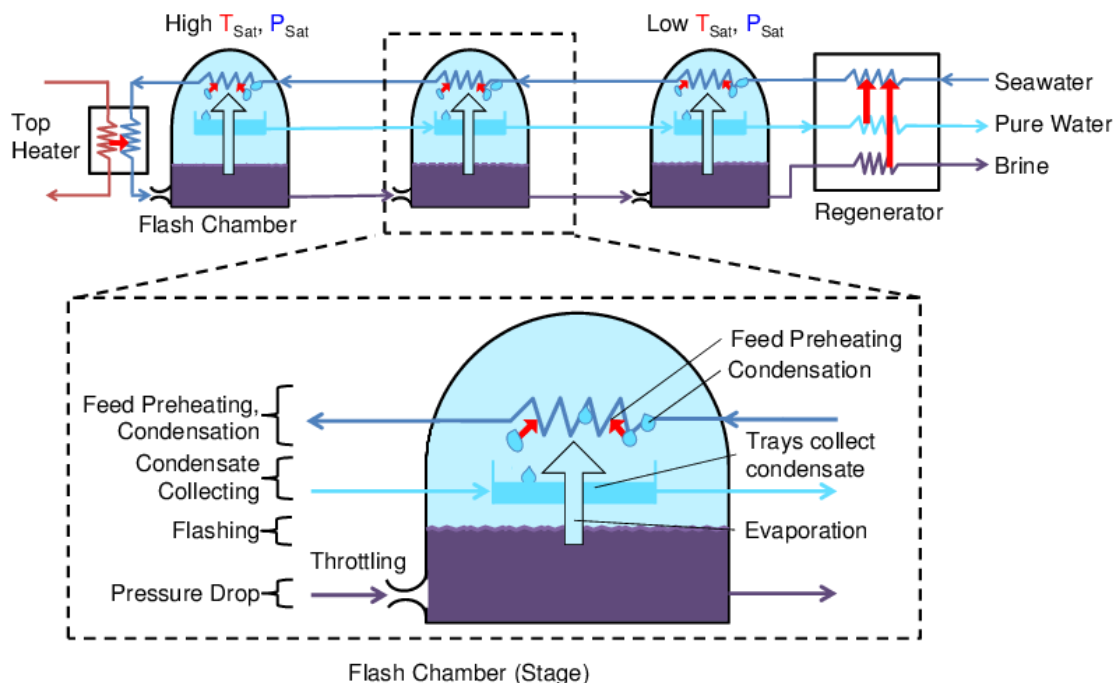
Πρόκειται για διαδικασία αφαλάτωσης που ανήκει στην κατηγορία των θερμικών διεργασιών. Γίνεται απόσταξη του θαλασσινού νερού αναρροφώντας ένα μέρος του νερού σε ατμό σε πολλαπλά στάδια εναλλακτών θερμότητας. Η συγκριμένη μονάδα αφαλάτωσης έχει μια σειρά από χώρους που ονομάζονται θάλαμοι, καθένας από τους οποίους περιέχει εναλλάκτη θερμότητας και συλλέκτη συμπυκνωμάτων. Η ακολουθία των θαλάμων έχει ψυχρό άκρο και καυτό άκρο, ενώ στους ενδιάμεσους θαλάμους επικρατούν ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Ο κάθε θάλαμος έχει διαφορετική πίεση που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του νερού στην εκάστοτε θερμοκρασία του σταδίου. Η πίεση λοιπόν από θάλαμο σε θάλαμο μειώνεται όπως και η θερμοκρασία. Μετά το καυτό άκρο υπάρχει ένα δοχείο άλμης. (Warsinger, et al., 2015)

Αρχικά το νερό τροφοδοτείται στον ψυχρό θάλαμο και διέρχεται από κάθε θάλαμο μέχρις ότου να φτάσει στην μέγιστη θερμοκρασία στον θερμό θάλαμο και στο τελικό δοχείο της άλμης. Στη συνέχεια το δοχείο της άλμης θερμαίνεται περεταίρω και έτσι το νερό ρέει μέσω βαλβίδων προς τα πίσω στους θαλάμους με χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Το νερό που πλέον ρέει προς τα πίσω ονομάζεται άλμη. Καθώς η άλμη εισέρχεται σε κάθε θάλαμο η θερμοκρασία της είναι υψηλότερη από το σημείο βρασμού στην συγκεκριμένη πίεση του θαλάμου και έτσι ατμοποιείται. Ο ατμός που προκύπτει είναι λίγο πιο ζεστός από το νερό τροφοδοσίας στον εναλλάκτη θερμότητάς. Ο ατμός έρχεται λοιπόν σε επαφή με τους σωλήνες που περιέχουν κρύο θαλασσινό νερό, υγροποιείται και γίνεται η συλλογή του ως καθαρό νερό. Η άλμη προωθείται στους επόμενους θαλάμους, όπου το φαινόμενο επαναλαμβάνεται και η πίεση διαρκώς μειώνεται μέχρι που τελικά απορρίπτεται. (Ghaffour, et al., 2013)

Η συγκεκριμένη μέθοδος παράγει περίπου το 26% του συνόλου του αφαλατωμένου νερού στον κόσμο. Οι ανάγκες των μονάδων MSF σε ηλεκτρική ενέργεια φτάνει τα 20 kWh/m<sup>3</sup>, κατανάλωση που είναι σχεδόν 5 φορές μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται σε μονάδες αντίστροφης ώσμωσης.



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.



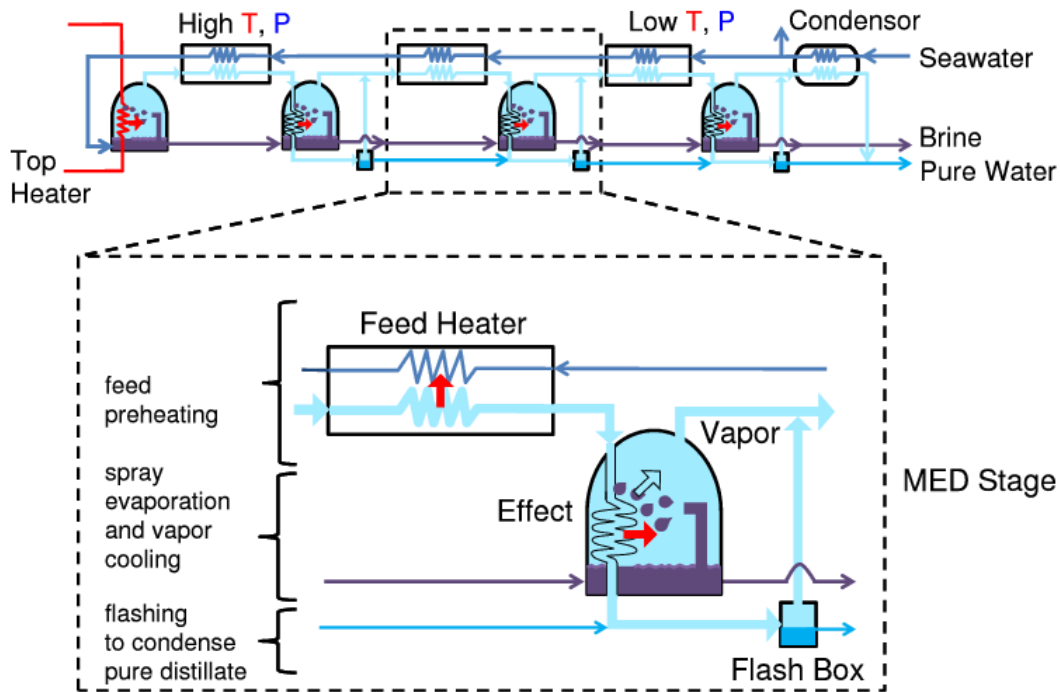
Σχήμα 2.19 Διάγραμμα ροής Πολυβάθμιας Εκτόνωσης (MSF)

(Πηγή: Warsinger D, et al., Entropy generation of desalination powered by variable temperature waste heat, Entropy, 2015.)

#### 2.2.4.2 Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation)

Πρόκειται για ακόμη μία μέθοδο αφαλάτωσης που ανήκει στην πρώτη κατηγορία διεργασιών που χρησιμοποιεί θερμικές διεργασίες. Μοιάζει αρκετά με την πολυβάθμια εκτόνωση, η οποία μάλιστα την αντικατέστησε. Η μέθοδος αυτή δεν βρίσκει πλέον ευρεία εφαρμογή.

Και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί πολλά στάδια. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια ακολουθία κλειστών χώρων που χωρίζονται από τοιχώματα σωλήνων, με πηγή θερμότητας στο ένα άκρο και ψύκτρα στο άλλο άκρο. Σε κάθε στάδιο το νερό τροφοδοσίας θερμαίνεται με ατμό σε σωλήνες, συνήθως ψεκάζοντας αλατούχο νερό πάνω τους. Μέρος του νερού εξατμίζεται και αυτός ο ατμός ρέει στους σωλήνες του επόμενου σταδίου θερμαίνοντας και εξατμίζοντας περισσότερο νερό. Κάθε στάδιο ουσιαστικά επαναχρησιμοποιεί την ενέργεια από το προηγούμενο στάδιο με διαδοχικά χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις. Ακόμη, μεταξύ των σταδίων ο ατμός αυτός χρησιμοποιεί λίγη θερμότητα για να προθερμαθεί το εισερχόμενο αλατούχο νερό. (Panagopoulos et al., 2019)



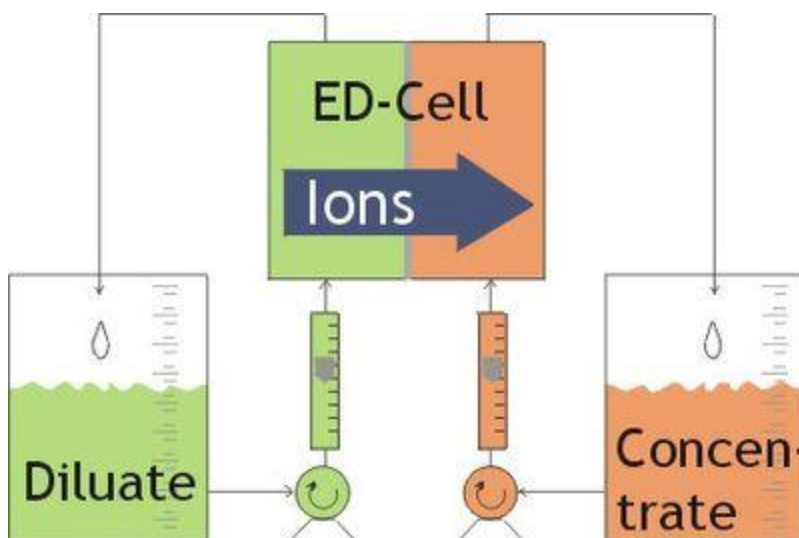
Σχήμα 2.20 Διάγραμμα ροής Πολυβάθμιας Εξάτμισης,

(Πηγή: Warsinger D, et al., Entropy generation of desalination powered by variable temperature waste heat, Entropy, 2015.)

### 2.2.4.3 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis)

Πρόκειται για μέθοδο αφαλάτωσης που ανήκει στην δεύτερη κατηγορία που γίνεται με την βοήθεια μεμβρανών και όπου το νερό παραμένει στην υγρή του κατάσταση. Η τροφοδοσία του νερού περνάει ανάμεσα από φορτισμένες μεμβράνες, θετικά και αρνητικά εναλλάξ.

Η ηλεκτροδιάλυση (ED) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ιόντων άλατος από ένα διάλυμα μέσω μεμβρανών ανταλλαγής ιόντων, σε άλλο διάλυμα υπό την επίδραση μιας εφαρμοζόμενης διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού. Αυτό γίνεται σε μια διαμόρφωση που ονομάζεται στοιχείο ηλεκτροδιάλυσης. Η κυψέλη αποτελείται από ένα διαμέρισμα τροφοδοσίας (αραιό) και ένα διαμέρισμα συμπυκνωμένου (άλμη) που σχηματίζεται από μια μεμβράνη ανταλλαγής ανιόντων και μια μεμβράνη ανταλλαγής κατιόντων τοποθετημένη μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Οι διαδικασίες ηλεκτροδιάλυσης διαφέρουν από τις τεχνικές απόσταξης και άλλες διεργασίες με βάση τη μεμβράνη (όπως η αντίστροφη ώσμωση (RO)) στο ότι τα διαλυμένα είδη απομακρύνονται από το ρεύμα τροφοδοσίας και όχι από το αντίστροφο. (Panagopoulos, et al., 2019)



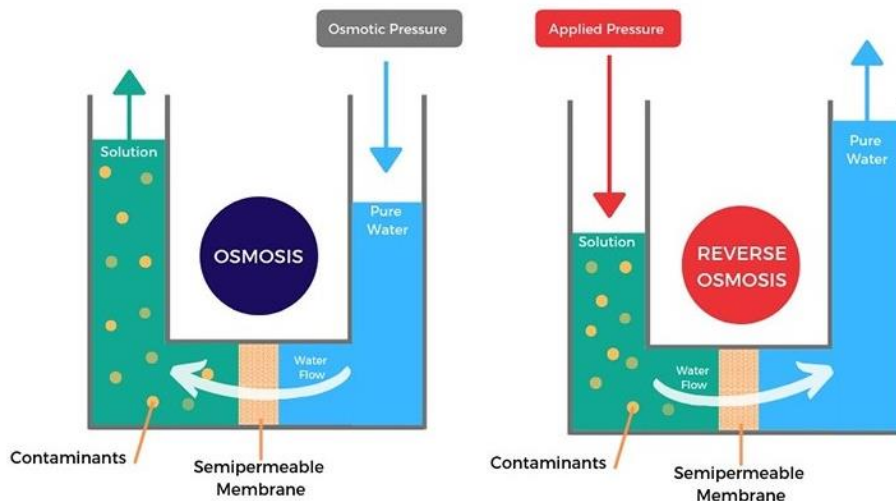
Σχήμα 2.21 Αφαλάτωση με την μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης, ED (Πηγή: Wikipedia, 2020)

#### 2.2.4.4 Αντίστροφη Ώσμωση (Reverse Osmosis)

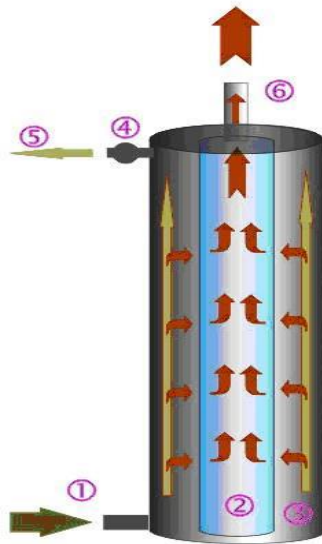
Η αφαλάτωση με αντίστροφη ώσμωση πρόκειται για την πλέον διαδεδομένη μέθοδο αφαλάτωσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται και στην προσομοίωση του Υ/Σ στην Φολέγανδρο που εξετάζεται σε αυτή την εργασία.

##### Φαινόμενο ώσμωσης

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται σε αντιστροφή του φυσικού φαινομένου της ώσμωσης. Σύμφωνα με το φαινόμενο της ώσμωσης όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις (πυκνότητες) χωρίζονται από μία ημιπερατή μεμβράνη, τότε το υγρό με την μικρότερη πυκνότητα διαπερνάει από το εσωτερικό της μεμβράνης και αναμιγνύεται με το πυκνότερο διάλυμα. Πρακτικά η μεμβράνη εμποδίζει την διέλευση των αλάτων, επιτρέποντας ταυτόχρονα το νερό να περάσει από μέσα της. Η ροή αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου επέλθει ισορροπία και τα διαλύματα πλέον αποκτήσουν την ίδια συγκέντρωση. Το φαινόμενο αυτό συναντάται τόσο στην φύση όσο και στον άνθρωπο καθώς αρκετές κυτταρικές λειτουργίες βασίζονται σε αυτό το φαινόμενο. Η πίεση που πρέπει να ασκηθεί στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος για να μη λάβει χώρα το φαινόμενο της ώσμωσης ονομάζεται οσμωτική πίεση. (Μουτάφης, 2008)



Σχήμα 2.22 Απεικόνιση της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης, Πηγή (<https://smartwatermagazine.com>)



Σχήμα 2.23 Απεικόνιση λειτουργίας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης, (Πηγή: Μουτάφης, 2008)

Κατά την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης ασκείται πίεση μεγαλύτερη της ωσμωτικής στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος (συνήθως θαλασσινού νερού), ώστε απ' την άλλη πλευρά να προκύψει φιλτραρισμένο αφαλατωμένο νερό. Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσκευής αντίστροφης ώσμωσης αναπαρίσταται στο Σχήμα 3.8. Το αλατούχο νερό εισέρχεται από την είσοδο (1) και κατευθύνεται στο χώρο (3) όπου έχει ως εξόδους την (5) και την (6). Ο χώρος (3) βρίσκεται υπό πίεση και το νερό, κατά ποσοστό 25% περίπου, είτε εξαναγκάζεται να διέλθει μέσα από τη μεμβράνη (2), όπου και γίνεται αφαίρεση των αλάτων και κατόπιν εξέρχεται από την (6) ως τελικό καθαρό προϊόν, είτε μόλις η πίεση ξεπεράσει το όριο της βαλβίδας (4) εξαναγκάζεται να βγει από την έξοδο (5), σε ποσοστό 75% περίπου, συμπαρασύροντας μαζί του και τα άλατα στην επιφάνεια της μεμβράνης, όπου και απορρίπτεται. (Μουτάφης, 2008)

Το θαλασσινό νερό για να είναι πόσιμο πέρα από την διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης πρέπει να περάσει επεξεργασία πριν και μετά από αυτή.

### Στάδιο Προεπεξεργασίας

Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο τόσο για την καλύτερη λειτουργία των μηχανημάτων και των μεμβρανών, όσο και για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών και των αιωρούμενων στερεών. Η προεπεξεργασία του θαλασσινού νερού περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου με τοποθέτηση σχάρας στην αναρρόφηση για την αποτροπή εισόδου ψαριών, πλαστικών και άλλων στερεών.
- 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 τη δέσμευση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων.
- 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, για την προστασία των μεμβρανών, γιατί καταστρέφονται με την έκθεσή τους σε ελεύθερο χλώριο.
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία

### **Στάδιο Αντίστροφης Ωσμωσης**

Εδώ οι αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν κατάλληλη πίεση ώστε το νερό να διέλθει μέσα από τις μεμβράνες και να απομακρύνει έτσι τα άλατα. Η πίεση αυτή είναι της τάξης των 54-89 atm. Όσο διέρχεται μέρος του νερού μέσα από τις μεμβράνες στο υπόλοιπο νερό η συγκέντρωση των αλάτων αυξάνει. Ταυτόχρονα ένα μέρος του νερού απορρίπτεται χωρίς να περάσει πρώτα από τις μεμβράνες και αυτό για να μην συνεχίζει να αυξάνει η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό. Ακόμη με αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη του νερού αποφεύγεται η εναπόθεση υπερκείμενων αλάτων και η αύξηση της ωσμωτικής πίεσης. Το ποσοστό του νερού που απορρίπτεται καθ' αυτόν τον τρόπο κυμαίνεται μεταξύ 20% και 70% του τροφοδοτούμενου νερού και εξαρτάται από την συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας.

### **Στάδιο Τελικής Επεξεργασίας**

Στο τελικό στάδιο γίνεται η σταθεροποίηση του νερού πριν διανεμηθεί ως πόσιμο. Συγκεκριμένα απομακρύνονται αέρια όπως το υδρόθειο, ρυθμίζεται η οξύτητα και σκληρότητα με προσθήκη κατάλληλων χημικών όπως επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα και τελικά χλωριώνεται.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι πρόκειται για την μέθοδο αφαλάτωσης που βρίσκει την μεγαλύτερη εφαρμογή τόσο λόγω της υψηλής της απόδοσης, της καταλληλότητας της για σύνδεση της με Φ/Β και Α/Γ, όσο και για την χαμηλή ενεργειακή της κατανάλωση. Για μονάδες που δεν κάνουν ανάκτηση συστημάτων ενέργειας οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι της τάξης των 5-8 kWh/m<sup>3</sup> (Μυσίρης, 2015)

Ουσιαστικά σημαντική απώλεια ενέργειας συμβαίνει μόνο με την εκτόνωση της άλμης, όταν εξέρχεται με υψηλή πίεση από τη συσκευή. Για τον λόγο αυτό, σε μεγάλες μονάδες υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, π.χ. υδροστροβίλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%. (Ζερβός, 2008)

## **2.2.5 Αφαλάτωση με Συμβατικές Πηγές Ενέργειας**

Συνήθως συμβατικές πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία μεγάλων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης.

Η κυριότερη μορφή συμβατικής ενέργειας για τροφοδοσία μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι όπως είναι λογικό η ηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται για μορφή ενέργειας που μπορεί να διατεθεί σε οποιαδήποτε ποσότητα και σε οποιαδήποτε περιοχή, εφόσον η εν λόγω περιοχή ανήκει στο δίκτυο.

Μια ακόμη μορφή συμβατικής πηγής ενέργειας για τροφοδοσία ΜΑ είναι η πυρηνική ενέργεια. Η σύνδεση δηλαδή των μονάδων αφαλάτωσης με πυρηνικό εργοστάσιο. Ωστόσο ο συγκεκριμένος συνδυασμός ενδείκνυται μόνο σε μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Σε έρευνα του Mutaz (2003) προέκυψε ότι ο συνδυασμός πυρηνικού αντιδραστήρα και υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης με μονάδες αντίστροφης ώσμωσης (RO) και σύστημα πολλαπλής απόσταξης (MSF) μπορεί να αποφέρει τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά πλεονεκτήματα. Ακόμη, σε μελέτη των Nissan and Benzarti (2008) προέκυψε ότι η χρήση πυρηνικής ενέργειας έναντι ορυκτών καυσίμων για την αφαλάτωση νερού έχει καλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Η απορριπτόμενη ενέργεια μπορεί ακόμη να τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης. Σε έρευνες των Shi and Shih (2007) αποδείχθηκε ότι ποσότητες θερμικής ενέργειας που απορριπτόταν από

βιομηχανίες στο περιβάλλον ως νερό ψύξης είτε στην ατμόσφαιρα ως αέρας ψύξης μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, με τις κατάλληλες προϋποθέσεις για αφαλάτωση. Αυτό μπορεί να συμβεί παρόλο που η περιεκτικότητα σε θερμική ενέργεια είναι χαμηλή και αυτό γιατί οι ποσότητες είναι μεγάλες. (Μυσίρης, 2015)

Σημαντικό μειονέκτημα της σύνδεσης M/A με ΣΠΕ αποτελεί το γεγονός ότι κόστος μπορεί να αυξομειώνεται, πράγμα που ασφαλώς επηρεάζει την τιμολόγηση του αφαλατωμένου νερού. Τέλος η μεταφορά του παραγόμενου νερού από τις μονάδες αφαλάτωσης, μακριά από την περιοχή παραγωγής του, αυξάνει σημαντικά την τιμή αυτού. Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η κατανάλωση του νερού στην ευρύτερη περιοχή παραγωγής του, στη περιοχή δηλαδή που διατίθεται ενέργεια για τροφοδοσία της εγκατάστασης, γεγονός που δεν επιτυγχάνεται πάντα εύκολα με ΣΠΕ. (Καραχάλιου, 2010)

## **2.2.6 Αφαλάτωση με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Όπου δυσχεραίνεται η σύνδεση των μονάδων αφαλάτωσης με το ηλεκτρικό δίκτυο συνιστάται η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν τα μην διασυνδεδεμένα νησιά τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες τους για ενέργεια είτε από τοπικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας με γεννήτριες diesel, είτε με ΑΠΕ. Πολλές φορές μάλιστα οι τοπικοί σταθμοί παραγωγής αδυνατούν να καλύψουν πλήρως τις ανάγκες για ενέργεια ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου αυτές είναι αυξημένες, πράγμα που καθιστά αδύνατο την λειτουργία MA αποκλειστικά τροφοδοτούμενες από αυτούς. Εδώ αξίζει να προστεθεί ότι το diesel αλώςτε αποτελεί ακριβή λύση και η εναλλακτική του λιγνίτη αρκετά ρυπογόνα.

### **2.2.6.1 Ηλιακή ενέργεια**

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να τροφοδοτηθεί στις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν θερμικές διεργασίες. Για τις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες, προϋπόθεση για την χρήση ηλιακής ενέργειας είναι η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο το υψηλό κόστος των Φ/Β και των ηλιακών αποστακτηρίων δεν καθιστά αυτή τη μορφή ενέργειας την πιο συμφέρουσα. Προτείνεται συνήθως σε πολύ απομονωμένες περιοχές που οι εναλλακτικές είναι λίγες. (Καραγιάννης, 2010)

Με την παραγωγή θερμικής ενέργειας μπορεί να γίνει τόσο έμμεση ηλιακή αφαλάτωση όσο και άμεση. Η πρώτη γίνεται με ένα σύστημα απόσταξης το οποίο αποτελείται από ηλιακό συλλέκτη και το αποστακτήριο, ενώ η δεύτερη γίνεται με ένα ολοκληρωμένο σύστημα που τα περιλαμβάνει και τα δύο.

Σχετικά με τους ηλιακούς συλλέκτες, ο Rajvanshi (1980) σχεδίασε ένα ειδικό ηλιακό συλλέκτη που συνδέεται με μια εγκατάσταση απόσταξης πολλαπλής φάσης (MSF). Ακόμη, οι Hermann et al. (2000) αναφέρουν το σχεδιασμό και τη δοκιμή ενός αδιάβρωτου ηλιακού συλλέκτη για την καθοδήγηση μιας πολλαπλής διαδικασίας ύγρανσης. Η πιλοτική μονάδα εγκαταστάθηκε σε μια περιοχή στα νησιά Γκραν Κανάρια (Rommel et al., 2000).

Οι Miyatake et al. (2001) αργότερα, παρουσίασαν ειδικά σχέδια συσκευών απόσταξης οι οποίες συνδέονται με ηλιακούς συλλέκτες. Επρόκειτο ουσιαστικά για ένα πρωτότυπο σχεδιασμένο αποστακτήριο για χρήση του ατμού που παράγεται κατά τη διαδικασία αφαλάτωσης ώστε να τροφοδοτηθεί μια άλλη διαδικασία. Επιπρόσθετα, 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 (Szacs vay et al., 1998).

Τέλος το 1992 προτείνεται από τον Hoffman μια ηλιακή δεξαμενή που τροφοδοτεί μια μονάδα εξάτμισης πολλαπλής επίδρασης (MED) ως την πιο οικονομικά αποδοτική διαδικασία, η οποία μπορεί να ανταγωνιστεί τη χρήση των ορυκτών καυσίμων. (Μπρέτσιου, 2016)

Οι μέχρι στιγμής απόπειρες συνδυασμού ηλιακής ενέργειας από Φ/Β με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης ήταν επιτυχείς. Αποτέλεσαν τόσο οικονομικά βιώσιμη λύση όσο και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη. Παραδείγματα εφαρμογής Φ/Β και μονάδων αφαλάτωσης RO συναντώνται παγκοσμίως. Τέτοια παραδείγματα υπάρχει στο El Hamrawein στην Αίγυπτο, στο Rajasthan στην Ινδία και στο Nagasaki στην Ιαπωνία, όπου γίνεται αφαλάτωση υφάλμυρου νερού καθώς και στη Lampedusa στην Ιταλία και στην Almeria στην Ισπανία όπου γίνεται αφαλάτωση θαλασσινού νερού. (Ράπτης, 2012)

### **2.2.6.2 Αιολική ενέργεια**

Με την χρήση Α/Γ η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και έτσι πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης. Τέτοια παραδείγματα μικρών Μ/Α που τροφοδοτούνται από Α/Γ συναντώνται σε πολλά νησιά της Ελλάδας. Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας είναι η διακυμάνσεις στην παραγόμενη ποσότητα αφαλατωμένου νερού εξαιτίας της διακύμανσης του αιολικού δυναμικού. Ωστόσο, Α/Γ νέας τεχνολογίας προσφέρουν αρκετά υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης. Για να αξίζει η χρήση αιολικής ενέργειας για παραγωγή αφαλατωμένου νερού χρειάζεται η μέση ταχύτητα του ανέμου να ξεπερνά τα 5 m/s. Η χρήση αιολικής ενέργειας για την αφαλάτωση νερού αποδεικνύεται πιο συμφέρουσα από αυτή της ηλιακής ενέργειας από οικονομικής άποψης. (Καραγιάννης, 2010)

Το 1994 παρουσιάστηκε μια μελέτη από τους Habali and Saleh για μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης υφάλμυρου νερού που τροφοδοτείται από αιολική ενέργεια σε μια περιοχή της Ιορδανίας. Συμπέραναν ότι το κόστος προϊόντος είναι χαμηλότερο από όταν χρησιμοποιούνται συμβατικοί κινητήρες ντίζελ.

Αργότερα, με βάση έρευνας του Platikow το 1999 αποδείχθηκε ότι μπορεί να επιτευχθεί και ο συνδυασμός ανεμογεννητριών με συστήματα επανασυμπίεσης ατμών αφού εκτός της θερμικής ενέργειας χρειάζεται και ηλεκτρική στη λειτουργία τους.

Τέλος, το 2002 παρουσιάστηκε μια εργασία από τους Miranda and Infield στην οποία εξέτασαν την απευθείας σύνδεση ανεμογεννήτριας ισχύος 2.2 kW με σύστημα αντίστροφης ώσμωσης (RO) δυναμικότητας 3 m<sup>3</sup>/day. Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν πως το σύστημα επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και για αυτό υπήρχε ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. (Μυσίρης, 2015)

Παραδείγματα εφαρμογής αιολικής ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού συναντώνται παγκοσμίως. Συγκεκριμένα τέτοια συστήματα υπάρχουν στο Suderoog και στο Island of Hergoland της Γερμανίας, στο Fuernteventrura της Ισπανίας, στο Drenec Island της Γαλλίας και στη Θερασιά όπου αξιοποιείται το θαλασσινό νερό της εκάστοτε περιοχής και στα Pacific Islands της Γαλλίας όπου αξιοποιείται το υφάλμυρο νερό της περιοχής. (Ράπτης, 2012)

Όπου μπορεί να συνδυαστεί η αιολική με την ηλιακή ενέργεια για την αφαλάτωση νερού αυτό είναι θεμιτό. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περιοχές με αρκετή ηλιοφάνεια και ταυτόχρονο υψηλό αιολικό δυναμικό, όπως είναι τα νησιά του Αιγαίου.

### **2.2.6.3 Βιομάζα**

Τα τελευταία χρόνια η χρήση βιομάζας έχει ενταχθεί στους τρόπους παραγωγής ενέργειας. Αποτελεί έναν χαμηλών ρύπων τρόπο παραγωγής ενέργειας. Ο συνδυασμός του όμως με Μ/Α για

την αφαλάτωση νερού δεν αποτελεί την πλέον αποδοτική λύση καθώς τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα σε άνυδρες περιοχές και η ανάπτυξη της βιομάζας απαιτεί πιο πολύ νερό από αυτό που θα προκύψει από την μονάδα της αφαλάτωσης. (Καραγιάννης, 2010) Ακόμη η οικονομική απόδοση μιας τέτοιας εφαρμογής επηρεάζεται και από την απόσταση μεταξύ του τόπου που παράγεται η βιομάζα και του τόπου όπου αυτή καταναλώνεται. Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Σαν Ντιέγκο στην Καλιφόρνια υπολογίστηκε πως η καύση των απορριμμάτων της πόλης θα παρήγαγε ατμό χαμηλού κόστους, αλλά και χαμηλού θερμικού περιεχομένου που όμως θα ήταν αρκετό για τη παραγωγή 120000 m<sup>3</sup>/ημέρα αφαλατωμένου νερού με κόστος 0.1 ευρώ/ m<sup>3</sup> (Μυσίρης, 2015)

#### **2.2.6.4 Γεωθερμική ενέργεια**

Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας κατατάσσονται ανάλογα με την θερμοκρασία τους σε χαμηλές (κάτω των 100°C), σε μεσαίες (100-150 °C) και σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 150 °C). Η γεωθερμία στην αφαλάτωση μπορεί να βρει εφαρμογή την Ελλάδα καθώς στα εδάφη της βρίσκονται πάρα πολλές πηγές. Παράδειγμα αποτελεί η Μήλος στα εδάφη της οποίας έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκμετάλλευσης της γεωθερμίας. (Μυσίρης, 2015)

Στην περίπτωση που η γεωθερμική πηγή περιέχει στην μεγαλύτερη αναλογία ατμό υπό πίεση, ο ατμός μόλις συμπυκνωθεί, παράγει απ' ευθείας αφαλατωμένο συμπύκνωμα. Εναλλακτικά, στην περίπτωση που η γεωθερμική πηγή παράγει μίγμα νερού και ατμού, τότε αρχικά αυτό εκτονώνεται κατάλληλα για την παραγωγή ατμού, κατόπιν ο υδρατμός διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο και η θερμή άλμη διοχετεύεται στα εξατμιστήρια της αφαλάτωσης. Τέλος, στην περίπτωση που η γεωθερμική πηγή παράγει μίγμα στο οποίο το υγρό βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία σε σχέση με τον ατμό, το μίγμα διοχετεύεται σε εξατμιστήρια πολλαπλών εκτονώσεων. (Καραχάλιου, 2010)

#### **2.2.6.5 Ενέργεια από θάλασσα**

Η ενέργεια από τις παλίρροιες, τα κύματα και τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού αποτελεί μια εναλλακτική μορφή ενέργειας η οποία μπορεί να συνδυαστεί με αφαλάτωση νερού. Το 1980 άρχισε να ερευνάται η μέθοδος αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας των ωκεανών (Ocean Thermal Energy Conversion – O.T.E.C.) ιδιαίτερα στους ωκεανούς των τροπικών περιοχών. Η διαφορά θερμοκρασίας μέχρι και 27°C, μεταξύ του νερού της επιφάνειας και του νερού που βρίσκεται σε βάθος 500 έως 1000 m, είναι κατάλληλη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και αφαλατωμένου νερού. Ακόμη, ερευνάται και η τεχνολογία εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας των κυμάτων και των παλιρροϊκών φαινομένων. Η ενέργεια αυτή μπορεί να εκμεταλλευτεί προκειμένου να παραχθεί, ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα διατεθεί στα συστήματα αντίστροφης όσμωσης, όπως παρουσιάζεται σε μελέτη των Sharmila et al. (2003). Ωστόσο, το κόστος της εκμετάλλευσης αυτής της μορφής ενέργειας είναι πολύ υψηλό, γεγονός που αποτρέπει τη χρήση της σε διαδικασίες αφαλάτωσης (Καραχάλιου, 2010).

### **2.2.7 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ**

Με την χρήση ΑΠΕ για την αφαλάτωση νερού δεν επιβαρύνεται το δίκτυο ηλεκτροδότησης μιας περιοχής. Ειδικά όταν πρόκειται για μη διασυνδεδεμένα νησιά, αυτό αποτελεί αρκετά σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς πολλές φορές το ίδιο το τοπικό δίκτυο μπορεί να μην είναι αρκετό για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού.

Ένα ακόμη ισχυρό πλεονέκτημα είναι τα περιβαλλοντικά οφέλη που παρουσιάζει μια τέτοια εγκατάσταση. Αποφεύγεται λοιπόν η εκπομπή ρύπων όπως CO<sub>2</sub> και έτσι δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον στην προσπάθεια ανάκτησης πόσιμου νερού.



Ωστόσο, πολλές φορές το κόστος της επένδυσης για την αφαλάτωση νερού με συνδυασμό ΑΠΕ μπορεί να μην είναι το πλέον συμφέρον. Όμως αυτό με την πάροδο του χρόνου θα αντιμετωπιστεί, αφού με τον καιρό οι τιμές τόσο των Φ/Β όσο και των Α/Γ ακολουθεί καθοδική πορεία.

Ένα ακόμη πρόβλημα που μπορεί να προκύψει σε αυτό τον συνδυασμό είναι ότι μπορεί ο γεωγραφικός τόπος που είναι πλέον κατάλληλο για εκμετάλλευση είτε της αιολικής ενέργειας είτε κάθε άλλης μορφής ανανεώσιμης ενέργειας να μην συμπίπτει με την περιοχή που υπάρχει πρόβλημα έλλειψης νερού και έτσι να ανεβαίνει το κόστος της εγκατάστασης λόγω της μεταφοράς του νερού στο σημείο ενδιαφέροντος.

Τέλος, όπως έχει ήδη αναφερθεί λόγω του ότι οι ΑΠΕ παρουσιάζουν διακυμάνσεις αυτό επηρεάζει και την παραγωγή νερού με την χρήση αυτών. Έτσι, η ποσότητα παραγόμενου νερού δεν είναι σταθερή. Ωστόσο, αυτό το πρόβλημα μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την χρήση υβριδικού συστήματος μέσω του οποίου θα μπορεί να γίνεται και καλύτερη διαχείριση της προσφερόμενης ενέργειας από τον ήλιο, τον άνεμο κλπ.

### 3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

---

#### 3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η Φολέγανδρος είναι νησί των Κυκλάδων Σχήμα 4.1 μεταξύ της Σικίνου και της Μήλου. Απέχει 15 μίλια ανατολικά από τη Μήλο και 22 μίλια βορειοδυτικά από τη Σαντορίνη. Αποκαλείται επίσης και Πολύκαντρος ή Πολύκανδρος.



Σχήμα 3.1 Το νησί της Φολεγάνδρου (Πηγή: Google Earth 2020)

#### 3.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Πρόκειται για ένα ορεινό νησί, πετρώδες με απότομες ακτές. Έχει έκταση που φθάνει περίπου τα 32.4 km<sup>2</sup>, η ακτογραμμή του κυμαίνεται περίπου στα 32 km και αυτή παρουσιάζει πλούσια εναλλαγή ακρωτηρίων όρμων και παραλιών. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού είναι ο Άγιος Ελευθέριος με υψόμετρο 415m που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, ενώ άλλες σημαντικές κορυφές είναι η Παναγιά (365 m), ο Τρούλος (312 m), ο Ορθόνικας (305 m) το Μεροβίγλι (310 m) και ο Προφήτης Ηλίας (285 m). Οι σημαντικότεροι όρμοι είναι αυτοί περί τον ισθμό του Καραβοστάση στην νότιο-ανατολική ακτή και της Αγκάλης ή Βαθύ στη νοτιοδυτική ακτή. Τα κυριότερα ακρωτήρια είναι το ακρωτήριο Κυπαρίσσι και το ακρωτήριο Κάστελλος στο βόρειο τμήμα και η Ασπροπούντα νοτιοδυτικά του βορείου τμήματος. Η σημαντικότερη κοιλάδα, το «Λιβιάδι», βρίσκεται στο νότιο τμήμα. Μεγάλα ποτάμια δεν υπάρχουν, αλλά μόνο χείμαρροι. (Πηγή: Wikipedia 2020)

### 3.3 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο Δήμος Φολεγάνδρου αποτελεί δήμο της περιφέρειας του Νότιου Αιγαίου του νομού Κυκλάδων και περιλαμβάνει την Φολέγανδρο και τις γειτονικές της νησίδες. Δημιουργήθηκε το 2010 από την αναγνώριση της Κοινότητας Σικίνου σε Δήμο με τη σημερινή του μορφή. Ο πληθυσμός του Δήμου Φολεγάνδρου είναι 765 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Το νησί έχει δύο μεγάλους οικισμούς. Πρωτεύουσα είναι η Χώρα (ή πόλη Φολέγανδρος), με 316 κατοίκους, χτισμένη στην ανατολική πλευρά, σε ύψωμα 200 m. Ο άλλος οικισμός, η Άνω Μεριά, βρίσκεται βορειότερα με πληθυσμό 291 κατοίκων, και αποτελεί το πιο παραδοσιακό κομμάτι του νησιού. Είναι ο αγροτικός οικισμός με τα σπίτια να βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους και να δημιουργούν τις λεγόμενες «Θεμονιές». Μικρότεροι οικισμοί είναι ο Πετούσης και το λιμάνι του νησιού που είναι ο Καραβοστάσης, στο νοτιοανατολικό άκρο του. (Πηγή: Wikipedia, 2020)



Σχήμα 3.2 Ο οικισμός της Χώρας (Πηγή: [www.folegandros.gr](http://www.folegandros.gr))



Σχήμα 3.3 Ο οικισμός της Άνω Μεριάς (Πηγή: [www.folegandros.gr](http://www.folegandros.gr))

### 3.4 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ελληνική μυθολογία αναφέρει ότι το νησί αυτό κατοικήθηκε από τους βοσκούς που προέρχονταν από τη Δυτική Ελλάδα και έβραχναν για βοσκοτόπια. Επειδή οι περισσότεροι από αυτούς ήταν άντρες, το νησί ονομάστηκε τότε Πολύαντρος. Από εδώ προέρχεται η συνήθεια των ναυτικών να ονομάζουν το νησί Πολύκαντρο.

Σύμφωνα με την μυθολογία το νησί πήρε το όνομα της από τον γιο του Μίνωα Φολέγανδρο. Μία άλλη εκδοχή θέλει το όνομα του νησιού να προέρχεται από την φοινικική λέξη “rhelekgundari” που σημαίνει «πετρώδης γη», παραπέμποντας στην μορφολογία του νησιού.

Το νησί πρωτοκατοικήθηκε γύρω στα μέσα της 3ης π.Χ. χιλιετίας, ενώ τα ευρήματα καθώς και η προέλευση του ονόματος του νησιού μαρτυρούν τις μινωικές επιδράσεις στο νησί κατά την 2η π.Χ. χιλιετία. Οι πρώτοι κάτοικοι που εγκαταστάθηκαν στο νησί από την ηπειρωτική Ελλάδα ήταν Δωριείς. Κατά τον 5ο π.Χ. αιώνα η Φολέγανδρος συμμετείχε στην Αθηναϊκή Συμμαχία.

Η αρχαία ακρόπολη του νησιού βρισκόταν στη θέση Παλαιόκαστρο, πάνω από το ναό της Παναγίας, όπου υπάρχουν ακόμα σκόρπια θραύσματα αγγείων και χαλάσματα κτισμάτων. Η Παναγία είναι η μεγαλύτερη εκκλησία της Φολεγάνδρου, αφιερωμένη στην Κοίμηση της Θεοτόκου και είναι χτισμένη κατά πάσα πιθανότητα στη θέση αρχαίου ναού, οικοδομικό υλικό του οποίου χρησιμοποιήθηκε για την ανέγερσή της. Λίγο πιο κάτω, στο νεκροταφείο της Χώρας, σώζεται και ένα τμήμα τείχους από τον 4ο π.Χ. αιώνα. Στην ίδια περίοδο χρονολογούνται τα χαραγμένα ονόματα εφήβων στα τοιχώματα της Χρυσοσπηλιάς που βρίσκεται στην βόρεια πλευρά του νησιού.



Σχήμα 3.4 Η Παναγία της Φολεγάνδρου (Πηγή: [www.folegandros.gr](http://www.folegandros.gr))

Στη συνέχεια το νησί περνάει διαδοχικά στην κυριαρχία των Μακεδόνων (3ο π.Χ. αιώνα), των Πτολεμαίων (1ο π.Χ. αιώνα) και τέλος των Ρωμαίων. Κατά τους βυζαντινούς χρόνους δεν υπάρχουν αναφορές ή ευρήματα για την ιστορία του νησιού. Με την έναρξη της Φραγκοκρατίας (12ος αιώνας) το νησί μαζί με τις υπόλοιπες Κυκλάδες περνάει στα χέρια των Ενετών (13ος – 16ος αιώνας) και υπάγεται στο δουκάτο της Νάξου με ιδρυτή τον Ενετό άρχοντα Μάρκο Σανούδο. Αυτή την περίοδο χτίζεται και το περίφημο Κάστρο για να αποκρούει τις πειρατικές επιδρομές εκείνης της περιόδου.

Το 1617 και μέχρι την απελευθέρωση το 1928, το νησί περνάει στην κατοχή των Τούρκων. Με την ενσωμάτωση του νησιού στο Ελληνικό κράτος πολλοί Φολεγανδρίτες αποδημούν προς Αίγυπτο, Κωνσταντινούπολη και Αθήνα, αρκετοί διακρίνονται στις τέχνες και τα γράμματα, αποκτούν περιουσία και στέλνουν χρήματα και αγαθά στις οικογένειές τους στο νησί. Αυτή την περίοδο αρχίζει και η κατοίκηση έξω το Κάστρο και αρχίζει να διαμορφώνεται ο σύγχρονος οικισμός της Χώρας.

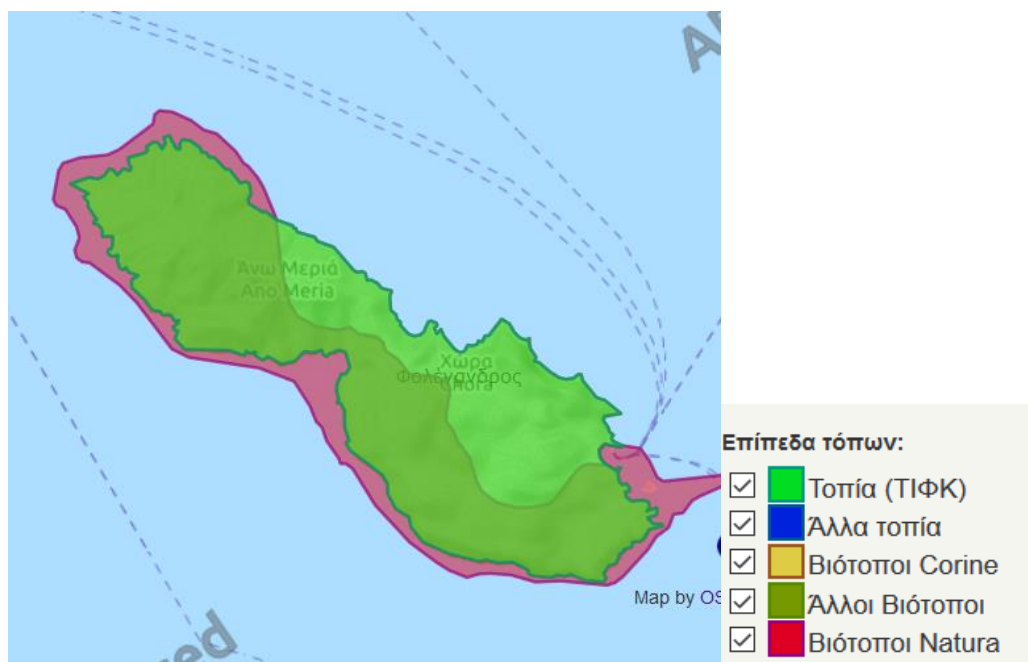
Κατά την διάρκεια των δικτατοριών που γνώρισε η Ελλάδα, η Φολεγανδρος γίνεται τόπος εξορίας. Τις τελευταίες δεκαετίες το νησί γνωρίζει την ανάπτυξη κυρίως μέσω του τουρισμού, διατηρώντας παράλληλα την παραδοσιακή φυσιογνωμία του νησιού.

(Πηγή: [www.folegandros.gr](http://www.folegandros.gr) & <http://www.golden-greece.gr> )

### 3.5 ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι σημαντικοί βιότοποι διακρίνονται για την παρουσία σε αυτούς απειλούμενων ειδών της ελληνικής χλωρίδας και πανίδας. Ως απειλούμενα χαρακτηρίζονται τα είδη που κινδυνεύουν άμεσα να εξαφανιστούν (κινδυνεύοντα), αυτά που μπορεί να βρεθούν σε κατάσταση κινδύνου (τρωτά) και αυτά που είναι ευάλωτα διότι έχουν μικρούς πληθυσμούς (σπάνια). Η κατάσταση των βιοτόπων, των ειδών χλωρίδας και πανίδας και γενικότερα του οικολογικού πλούτου της ελληνικής φύσης παραμένει ακόμα πολύ καλή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες.

Το νησί της Φολεγάνδρου σύμφωνα με βάση δεδομένων για την ελληνική φύση ΦΙΛΟΤΙΣ (<https://filotis.itia.ntua.gr/>), αποτελεί Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ) καθώς και βιότοπο Corine, ενώ μεγάλο μέρος του νησιού αποτελεί και βιότοπο Natura, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Χάρτης Βιοτόπων και Τοπίων Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/>)

### 3.5.1 Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους

Στο σχήμα 3.6 φαίνεται η έκταση που καλύπτει το Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους με κωδική ονομασία ‘Νήσος Φολέγανδρος’.



Σχήμα 3.6 Χάρτης Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλους Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/>)

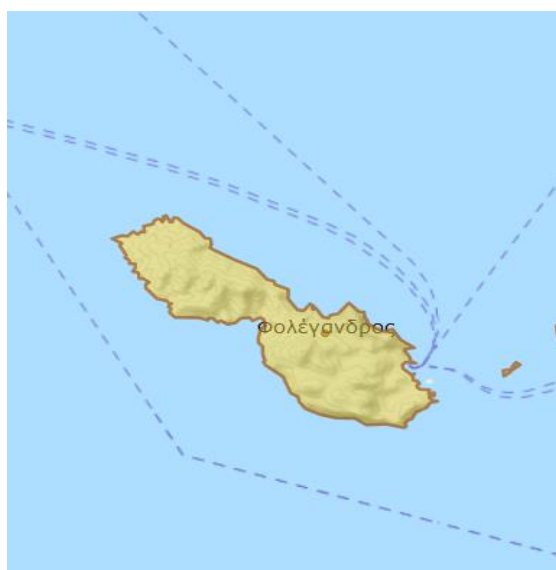
Ενώ, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα στοιχεία της προστατευμένης περιοχής, στην Νήσο Φολέγανδρο.

Πίνακας 3.1 Στοιχεία Προστατευόμενης Περιοχής ΤΙΦΚ Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/>)

<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b>	
Όνομα	Νήσος Φολεγάνδρος
Κατηγορία Τόπου	Τοπίο (ΤΙΦΚ)
Κωδικός Τόπου	AT5011014
Διοικητική Υποδιαίρεση	Νομός Κυκλαδών
Δήμος-Κοινότητα	Φολεγάνδρου
Συνολική Έκταση (ha)	3235.12
Χερσαία Έκταση (ha)	0
Συνολική Περίμετρος (km)	39.9
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	414
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	0
Ενταξη στο Υπάρχον θεσμικό Πλαίσιο	Δίκτυο CORINE-Biotopes
	Δίκτυο NATURA-2000
	Ιστορικός Τόπος Τοπίο Ιδιότερου Φυσικού Κάλους
Χαρακτηριστικά	
Περιγραφή Τόπου	Γραφικό κυκλαδονήσι με ωραίο οικισμό στη Χώρα και τη μοναδική συνοικία Κάστρο. Το ΝΑ μέρος είναι τυπικό ασβεστολιθικό τοπίο με φρύγανα και ξερολιθιές. Το ΒΔ μέρος είναι πιο πράσινο, με αναβαθμίδες, οροπέδιο και καλλιέργειες (ελιές, αμπέλια, κ.λ.π.) όπως και αρκετά οπωροφόρα δέντρα (συκιές, λεμονιές, φυστικιές). Στο οροπέδιο της Πάνω Μεριάς υπάρχουν αρμυρικά. Ανεπτυγμένη κτηνοτροφία ( πρόβατα, κατσίκια, αγελάδες, γαϊδούρι). Ο τουρισμός είναι αρκετά ανεπτυγμένος και οι παρενέργειες είναι φανερές στο νησί. Λόγω κλίμακας αποτελεί ενιαίο τοπίο.
Κατάσταση Τόπου	Υποβαθμισμένη
Κίνδυνοι	Κίνδυνοι κυρίως από ανεξέλεγκτη δόμηση, ανελέεγκτη διάνοιξη δρόμων, εγκατάλειψη παραδοσιακών δραστηριοτήτων και αναβαθμίδων, επιπτώσεις από τουρισμό (π.χ. Θόρυβος, σκουπίδια), επίσης από βόσκηση και θήρα.
Τρωτότητα	Η πιθανότητα σημαντικής περαιτέρω υποβάθμισης είναι αρκετά μεγάλη, διότι το νησί έχει εισέλθει ήδη σε μία αρνητική πορεία ανάπτυξης.
Προτεραιότητα Προστασίας	Πρωτεύουσα

### 3.5.2 Βιότοποι Corine

Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο Βιότοπος Corine με κωδική ονομασία ‘Νήσοι Φολεγάνδρος, Σίκινος, Αδέλφια, Καρδιώτισσα και Καλόγεροι’. Στον πίνακα 3.2 φαίνονται αναλυτικά τα στοιχεία της προστατευμένης περιοχής.



Σχήμα 3.7 Χάρτης Βιότοπου Corine Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/> )

Πίνακας 3.2 Στοιχεία Προστατευόμενης Περιοχής Βιοτόπου Corine Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/>)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
Όνομα	Νήσοι Φολέγανδρος, Σίκινος, Αδέλφια, Καρδιάτισσα και Καλόγεροι
Κατηγορία Τόπου	Βιότοπος CORINE
Κωδικός Τόπου	A00040075
Διοικητική Υποδιαίρεση	Νομός Κυκλαδων
Δήμος-Κοινότητα	
Συνολική Έκταση (ha)	7568.96
Χερσαία Έκταση (ha)	7500
Συνολική Περίμετρος (km)	88.8
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	552
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	0
Χαρακτηριστικά	
Περιγραφή Τόπου	Η περιοχή είναι ένας υποβαθμισμένος και βραχώδης βιότοπος που καλύπτεται με φρύγανα. Υπάρχουν επίσης καλλιεργήσιμες εκτάσεις.
Κατάσταση Τόπου	Υποβαθμισμένη
Κίνδυνοι	
Τρωτότητα	Απειλείται κυρίως από τις κατσίκες.
Προτεραιότητα Προστασίας	Δευτερεύουσα

### 3.5.3 Βιότοποι Natura

Στο σχήμα 3.8 φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο Βιότοπος Natura με κωδική ονομασία 'Φολέγανδρος Ανατολική μέχρι Δυτική Σίκινο & Θαλάσσια Ζώνη'. Στον πίνακα 3.3 φαίνονται αναλυτικά τα στοιχεία της προστατευμένης περιοχής.





Σχήμα 3.8 Χάρτης Βιότοπου Natura Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/> )

Πίνακας 3.3 Στοιχεία Προστατευόμενης Περιοχής Βιοτόπου Natura Φολεγάνδρου (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/>

<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b>	
Όνομα	Φολέγανδρος Ανατολική μέχρι Δυτική Σίκινο & Θαλάσσια
Κατηγορία Τόπου	Βιότοπος NATURA
Κωδικός Τόπου	GR4220004
Διοικητική Υποδιαίρεση	Νομός Κυκλαδων
Δήμος-Κοινότητα	
Συνολική Έκταση (ha)	7011.23
Χερσαία Έκταση (ha)	4703.98
Συνολική Περίμετρος (km)	98.2
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	520
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	0
Χαρακτηριστικά	
Περιγραφή Τόπου	Περιέχει δύο κύρια νησιά, την Φολέγανδρο και την Σίκινο και τέσσερις νησίδες, την Καρδιώτισσα, τους Καλόγερους και τα Αδέρφια που αποτελούν δύο νησίδες πολύ κοντά η μία στην άλλη. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι : 1) οι βραχώδεις επιφάνειες και οι θαλάσσιοι βράχοι που παρουσιάζουν ενδημική χλωρίδα , 2) η τυπική βλάστηση φρυγάνια, 3)οι ισορροπημένες, αν και σήμερα περιορισμένες, παραδοσιακές καλλιέργειες δημητριακών και οσπρίων, 4) ο υποβαθμισμένος βραχώδης βιότοπος, 5)οι σχετικά περιορισμένες αλλά συνεχώς επεκτεινόμενες οικοδομικές δραστηριότητες και η κατασκευή δρόμων που προκλήθηκαν από την τουριστική ανάπτυξη
Κατάσταση Τόπου	Υποβαθμισμένη
Κίνδυνοι	Κίνδυνοι κυρίως από ανεξέλεγκτη δόμηση, ανελέεγκτη διάνοιξη δρόμων, εγκατάλειψη παραδοσιακών δραστηριοτήτων και αναβαθμίδων, επιπτώσεις από τουρισμό (π.χ. Θόρυβος, σκουπίδια), επίσης από βόσκηση και θήρα.
Προτεραιότητα Προστασίας	Πρωτεύουσα

### 3.6 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το κλίμα στη Φολέγανδρο, λόγω της γεωγραφικής θέσης και της επίδρασης της θάλασσας, χαρακτηρίζεται ως μεσογειακού θαλάσσιου χαρακτήρα, με ήπιο χειμώνα και παρατεταμένο ξηρό και θερμό καλοκαίρι, με μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους και με εξαιρετικά λίγες βροχές. Το νησί είναι εξαιρετικά εκτεθειμένο σχεδόν όλη τη διάρκεια του έτους σε ισχυρούς βορείους ανέμους. Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 8m/s όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 4.9. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 19.5 °C. Η μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και έχει τιμή ίση με 30°C. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται τον μήνα Ιανουάριο και φτάνει τους 14 °C. Οι μέρες βροχής ετησίως είναι 105, οι μέρες με καταγίδα είναι κατά μέσο όρο 9 ετησίως, ενώ δεν παρουσιάζονται μέρες με χαλάζι ή χιόνι. Η ηλιοφάνεια διαρκεί 3335 ώρες ετησίως με μέγιστη τιμή αυτή του Ιουνίου που φτάνει τις 450 ώρες όσες δηλαδή είναι και οι ώρες της διάρκειας της μέρας για αυτό το μήνα.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά στοιχεία θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και έντασης ανέμου του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού της Ίου σύμφωνα με δεδομένα του meteo:

Πίνακας 3.4 Στοιχεία θερμοκρασιών για το έτος 2019 (Πηγή: <http://penteli.meteo.gr/stations/ios/>)

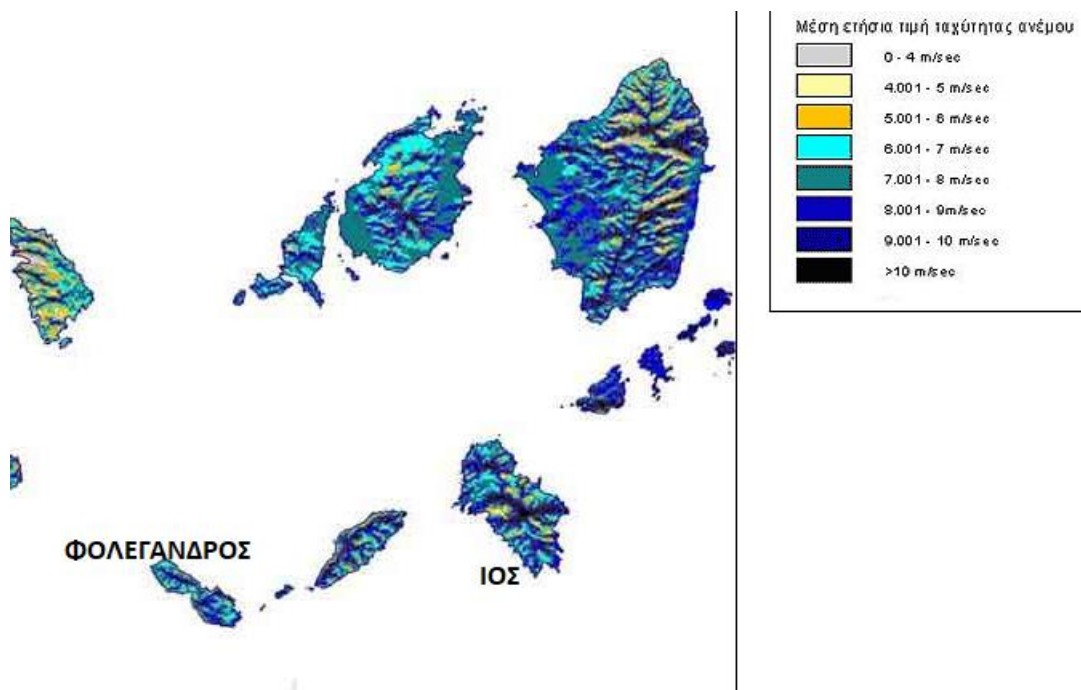
ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY												
NAME: Ios                    ELEV: 3    m    LAT: 36deg 42min    LONG: 25deg 18min												
TEMPERATURE ( `C)												
YR	MO	MEAN MAX	MEAN MIN	MEAN	HI	DATE	LOW	DATE	MAX >=32	MAX <=0	MIN <=0	MIN <=-18
19	01	15.1	9.8	12.9	17.9	12	4.1	08	00	00	00	00
19	02	15.1	11.0	13.2	19.3	05	8.3	11	00	00	00	00
19	03	17.1	12.3	14.9	20.7	10	8.4	05	00	00	00	00
19	04	19.1	14.3	16.7	24.3	26	10.9	05	00	00	00	00
19	05	23.2	17.0	20.0	28.9	28	12.9	09	00	00	00	00
19	06	27.5	22.8	25.0	32.0	14	18.4	04	01	00	00	00
19	07	29.4	23.8	26.4	33.4	09	21.1	03	03	00	00	00
19	08	29.2	24.5	26.6	32.1	02	22.3	15	01	00	00	00
19	09	25.9	21.6	23.6	27.6	05	17.6	23	00	00	00	00
19	10	24.0	19.6	21.6	29.7	04	15.3	31	00	00	00	00
19	11	22.2	17.2	19.9	26.0	12	13.7	27	00	00	00	00
19	12	17.3	12.8	15.1	20.4	01	9.2	28	00	00	00	00
		22.1	17.2	19.7	33.4		4.1		005	000	000	000

Πίνακας 3.5 Στοιχεία βροχόπτωσης για το έτος 2019 (Πηγή: <http://penteli.meteo.gr/stations/ios/>)

PRECIPITATION (mm)							
YR	MO	TOTAL	MAX OBS		DAYS OF RAIN OVER		
			DAY	DATE	.2	2	20
19	01	126.8	24.0	15	23	13	01
19	02	115.2	28.0	13	11	11	02
19	03	74.8	29.0	28	08	08	01
19	04	46.0	26.0	06	06	05	01
19	05	1.2	0.4	04	04	00	00
19	06						
19	07	0.2	0.2	17	01	00	00
19	08						
19	09	0.2	0.2	19	01	00	00
19	10	28.0	20.8	07	02	02	01
19	11	61.6	23.4	13	11	06	01
19	12	79.6	16.8	23	18	09	00
		533.6	29.0		085	054	007

Πίνακας 3.6 Ανεμολογικά στοιχεία για το έτος 2019 (Πηγή: <http://penteli.meteo.gr/stations/ios/>)

WIND SPEED (km/hr)						
YR	MO	AVG.	HI	DATE	DOM	
					DIR	
19	01	18.4	93.3	15	SSW	
19	02	19.8	80.5	14	N	
19	03	17.6	77.2	29	N	
19	04	15.3	72.4	19	N	
19	05	10.4	66.0	05	SW	
19	06	18.7	72.4	29	N	
19	07	18.0	69.2	22	N	
19	08	21.5	64.4	06	N	
19	09	18.2	72.4	21	N	
19	10	14.1	74.0	31	NNE	
19	11	8.7	66.0	13	SE	
19	12	15.9	80.5	24	N	
		16.4	93.3		N	



Σχήμα 3.9 Χάρτης αιολικού δυναμικού (Πηγή: <http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm> )

### 3.7 ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Οι κύριοι οικισμοί του νησιού Καραβοστάσης, Χώρα και Άνω Μεριά ενώνονται με ένα κεντρικό οδικό δίκτυο 12 χιλιομέτρων. Υπάρχει συγκοινωνία ΚΤΕΛ που ενώνει τους κύριους οικισμούς τα δρομολόγια των οποίων γίνονται πιο συχνά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ακόμη, πραγματοποιούνται και δρομολόγια με καράβια για παραλίες του νησιού όπου δεν είναι δυνατή η πρόσβαση τους από το οδικό δίκτυο. Οι ντόπιοι μετακινούνται κυρίως με ΙΧ. Το λιμάνι της Φολεγάνδρου βρίσκεται στον Καραβοστάση. Η Φολεγάνδρος έχει ακτοπλοϊκή σύνδεση με τα εξής λιμάνια: Πειραιάς, Αμοργός (Κατάπολα), Ίος, Κίμωλος, Κουφονήσια, Μήλος, Μύκονος, Νάξος, Πάρος, Σαντορίνη, Σέριφος, Σίφνος, Σίκινος, Σύρος, ενώ δεν διαθέτει αεροδρόμιο.

### 3.8 ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σύμφωνα με απογραφή που έγινε το 2011 οι μόνιμοι κάτοικοι της Φολεγάνδρου είναι 765 από τους οποίους οι 316 κατοικούν στην Χώρα, οι 291 στην Άνω Μεριά και οι υπόλοιποι σε άλλους μικρότερους οικισμούς του νησιού. Με βάση στοιχεία από την ΕΛΣΤΑΤ που αφορούν αφίξεις τουριστών και παραθεριστών για το έτος 2018 στο νησί υπολογίζεται η μέση μηνιαία διακύμανση του πληθυσμού όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10 Μέση μηνιαία διακύμανση πληθυσμού

### 3.9 ΥΔΡΕΥΣΗ & ΑΡΔΕΥΣΗ

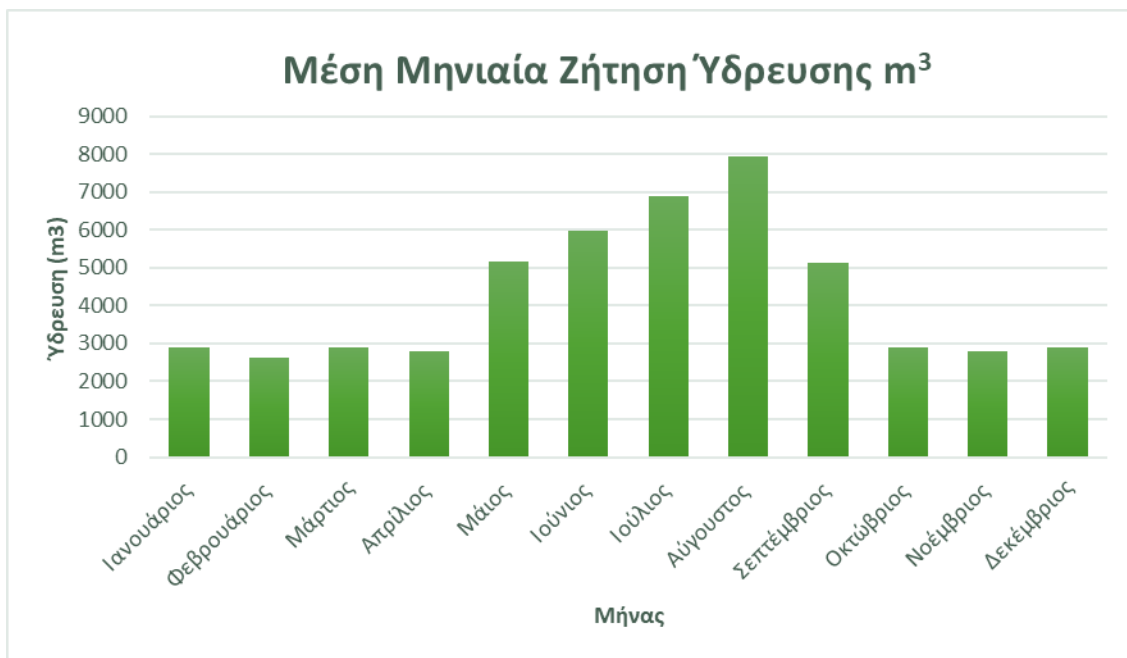
Η Φολεγάνδρος εξυπηρετείται από 5 γεωτρήσεις καθώς και από τη μεταφορά νερού (συνολικό μήκος δικτύου 23 χλμ.) και από 2 μονάδες αφαλάτωσης. Το δίκτυο αποχέτευσης καλύπτει τους οικισμούς Χώρας, Καραβοστασίου (λιμάνι) και Αγκάλης. (Πηγή: <https://www.kathimerini.gr>, 2015).

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν δύο μονάδες αφαλάτωσης που συνδέουν το λιμάνι και τον κεντρικό οικισμό του νησιού, το δίκτυο δεν υδροδοτεί τον οικισμό της Πάνω Μεριάς, ούτε την αμιγώς τουριστική περιοχή Αγκάλη. (Πηγή: <https://milosvoice.gr/>, 2013)

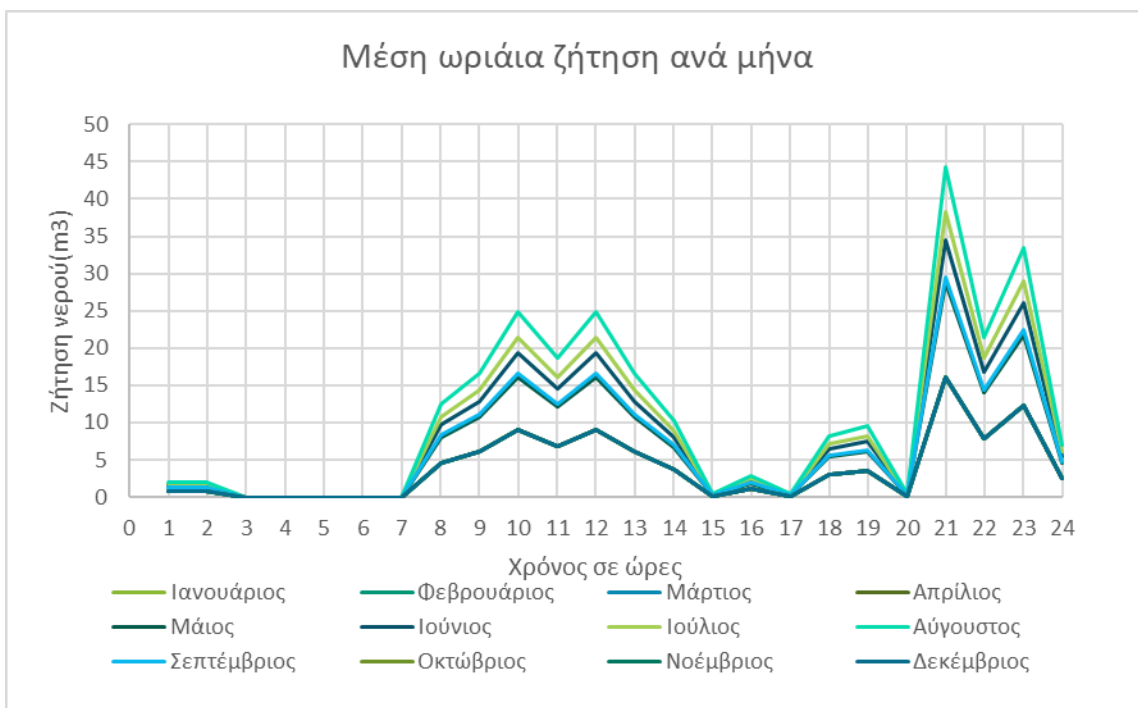
Για το λόγο αυτό λοιπόν το 2018 χρηματοδοτήθηκε έργο με τίτλο “Εξωτερικά Δίκτυα Ύδρευσης Χώρας – Αγκάλη – Άνω Μεριάς Φολεγάνδρου”, που αποσκοπούσε στην κάλυψη των αναγκών ύδρευσης των οικισμών Αγκάλης και Άνω Μεριάς. Η ενοποίηση του δικτύου ύδρευσης των δύο οικισμών με τους οικισμούς της Χώρας και κατ’ επέκταση και του Καραβοστάση, με κλειστούς αγωγούς συνολικού μήκους 5.317 μέτρων, δίνει τη δυνατότητα να υδροδοτηθούν από τις δύο υφιστάμενες μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες βρίσκονται στον Καραβοστάση, αποκτώντας έτσι σταθερή ποσότητα και ποιότητα παρεχόμενου νερού. Το υπόγειο δίκτυο κλειστών αγωγών ύδρευσης, ξεκινά από την υφιστάμενη δεξαμενή της Χώρας (θέση ελικοδρομίου) και ακολουθώντας τη διαδρομή του οδικού δικτύου προς τον οικισμό της Αγκάλης, τροφοδοτεί την υφιστάμενη δεξαμενή του οικισμού και καταλήγει στην υφιστάμενη δεξαμενή ύδρευσης του οικισμού της Άνω Μεριάς. (Πηγή: <http://www.pnai.gov.gr> )

Πρόσφατα μάλιστα δημοπρατήθηκε από το Δήμο Φολεγάνδρου η προμήθεια δύο φορητών μονάδων αφαλάτωσης δυναμικότητας 360 m<sup>3</sup>/ημέρα εκάστη, για την ενίσχυση των υφιστάμενων μονάδων, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν οι ανάγκες αυξάνονται κατακόρυφα. Το έργο δημοπρατήθηκε το 2020 με την Οικονομική Επιτροπή να αναδεικνύει προσωρινό ανάδοχο του έργου.(Πηγή: <https://www.contracts.gr/> )

Παρακάτω στον Σχήμα 3.11 φαίνεται η διακύμανση της μηνιαίας ζήτησης για ύδρευση και στο Σχήμα 3.12 φαίνεται η μέση ωριαία διακύμανση της ζήτησης για ύδρευση για κάθε μήνα.



Σχήμα 3.11 Μέση μηνιαία ζήτηση ύδρευσης



Σχήμα 3.12 Μέση ωριαία ζήτηση ύδρευσης

Έπειτα από συλλογή στοιχείων από την ΕΛΣΤΑΤ σχετικά με την έκταση και το είδος των καλλιεργειών εκτιμήθηκαν, σύμφωνα με τη μέθοδο εξατμισοδιαπνοής Blaney – Criddle και με βάση και τις τιμές της βροχόπτωσης από τον σταθμό της ΕΜΥ οι ανάγκες άρδευσης για την αρδευτική περίοδο.

$$ET = kF = k \frac{(1.8T + 32)p}{3.94}$$

Σχέση 3.1 Εξατμισοδιαπνοή Blaney – Criddle (Πηγή: Μπαλτάς, 2012)

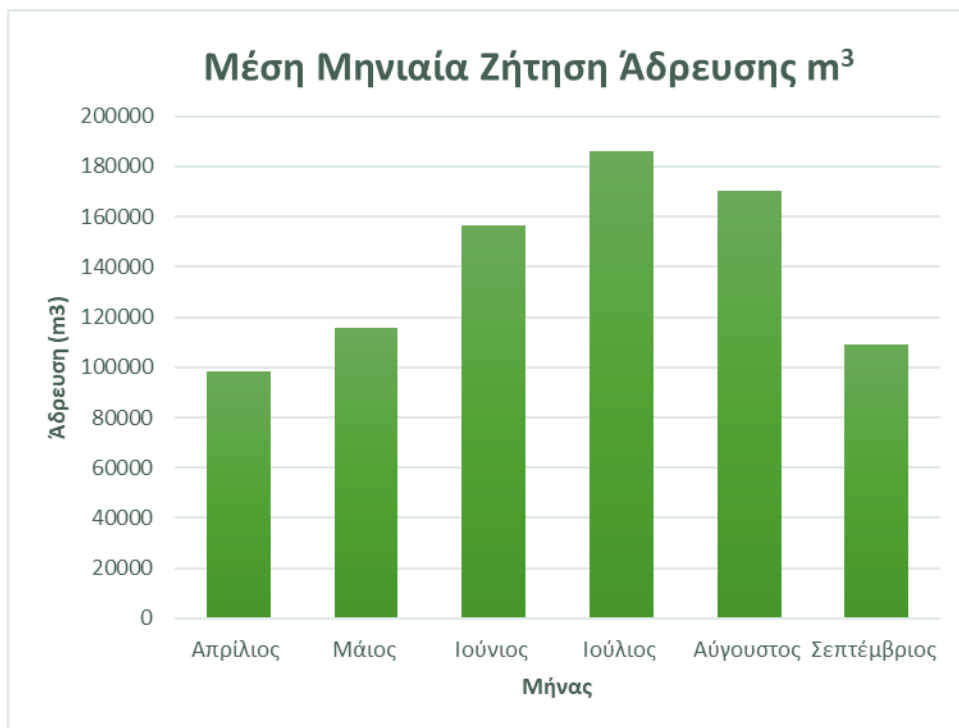
όπου:

- ET: είναι η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm
- K: είναι ένας εμπειρικός συντελεστής που αναφέρεται στο είδος της καλλιέργειας
- T: η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε C°
- P: το ποσοστό ωρών της ημέρας του μήνα
- N: η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας σε h
- μ: ο αριθμός ημερών του συγκεκριμένου μήνα

Στον Πίνακα 3.7 φαίνονται τα ήδη καλλιεργειών και οι εκτάσεις αυτών σε στρέμματα και σε m<sup>2</sup>, ενώ στο Σχήμα 3.13 φαίνεται η διακύμανση της μηνιαίας ζήτησης άρδευσης κατά τους μήνες Μάιο με Σεπτέμβριο.

Πίνακας 3.7 Έκταση ανά καλλιέργεια

Είδος Καλλιέργειας	Έκταση (stremma)	Έκταση (m <sup>2</sup> )
Αμπέλια	24	24000
Κηπευτικά	31	31000
Ελαιόδενδρα για ελιές ελαιοποίησης	212	212000
Συκιές για νωπά σύκα	1	1000
Αμυγδαλιές	3	3000
Φασόλια χωρίς συγκαλλιέργεια	5	5000
Αρωματικά φυτά που καλλιεργούνται (μέντα, δίκταμο, ρίγανη)	75	75000
Κριθάρι για σανό	129	129000
Βρώμη για σανό	135	135000
Βίκος για σανό	100	100000
Κριθάρι (γρασίδια)	164	164000
Βρώμη (γρασίδια)	161	161000
Βίκος (γρασίδια)	45	45000
Πατάτες φθινοπώρου και χειμώνα	6	6000
ΣΥΝΟΛΟ	1091	1091000



Σχήμα 3.13 Μέση μηνιαία ζήτηση άρδευσης

### 3.10 ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

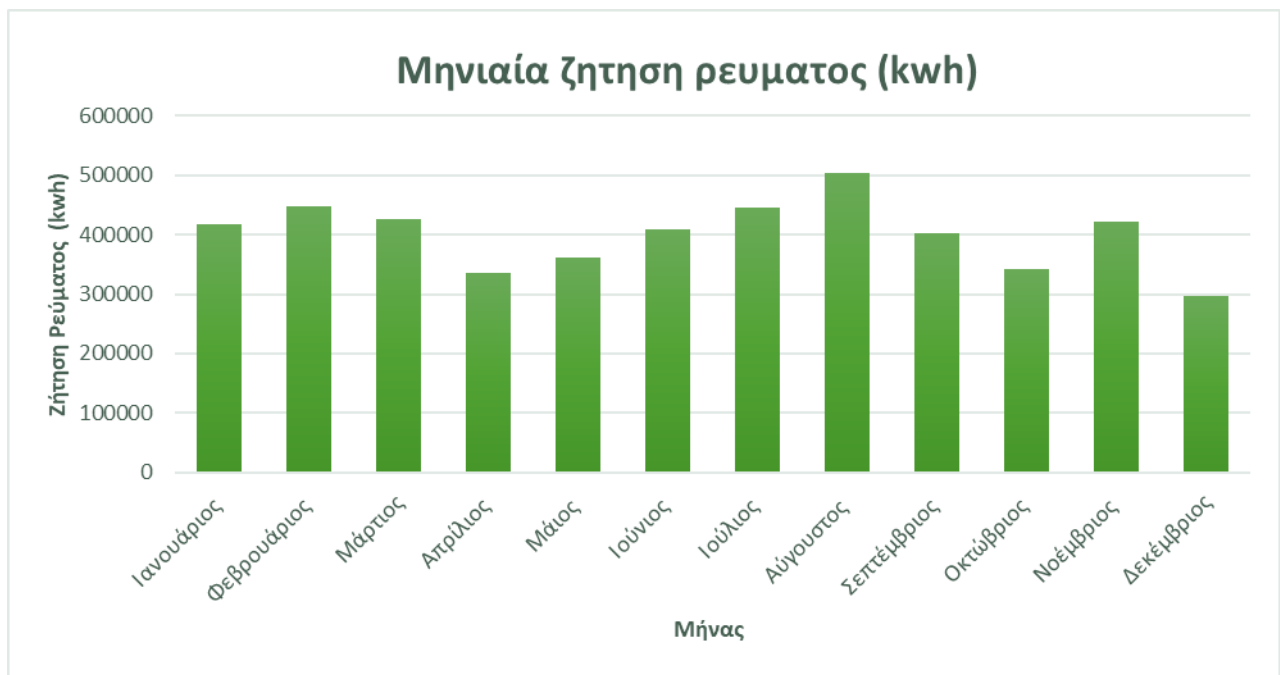
Το νησί της Φολεγάνδρου τροφοδοτείται με ενέργεια από τον Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας της Πάρου (ΑΣΠ Πάρου). Συγκεκριμένα υπάρχει κοινή γραμμή από τον ΑΣΠ Πάρου που τροφοδοτεί την Φολέγανδρο, την Σίκινο και ένα τμήμα της Ίου. Ύστερα από προσωπική επικοινωνία με υπεύθυνο μηχανικό του ΑΣΠ Πάρου, συγκεντρώθηκαν ωριαία στοιχεία ηλεκτρικής ζήτησης για την παραπάνω γραμμή τροφοδοσίας για το έτος 2017. Συγκεκριμένα τα στοιχεία που λήφθηκαν ήταν τα ampere ανά ώρα για ολόκληρο το έτος. Σύμφωνα με υποδείξεις του υπευθύνου από τον ΑΣΠ Πάρου για να βρεθούν οι ζητούμενες ισχύεις σε KW χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi \cdot \text{ampere} = 1,73 \cdot 15,7 \cdot 0,9 \cdot \text{ampere} \approx 24,5 \cdot \text{ampere}$$

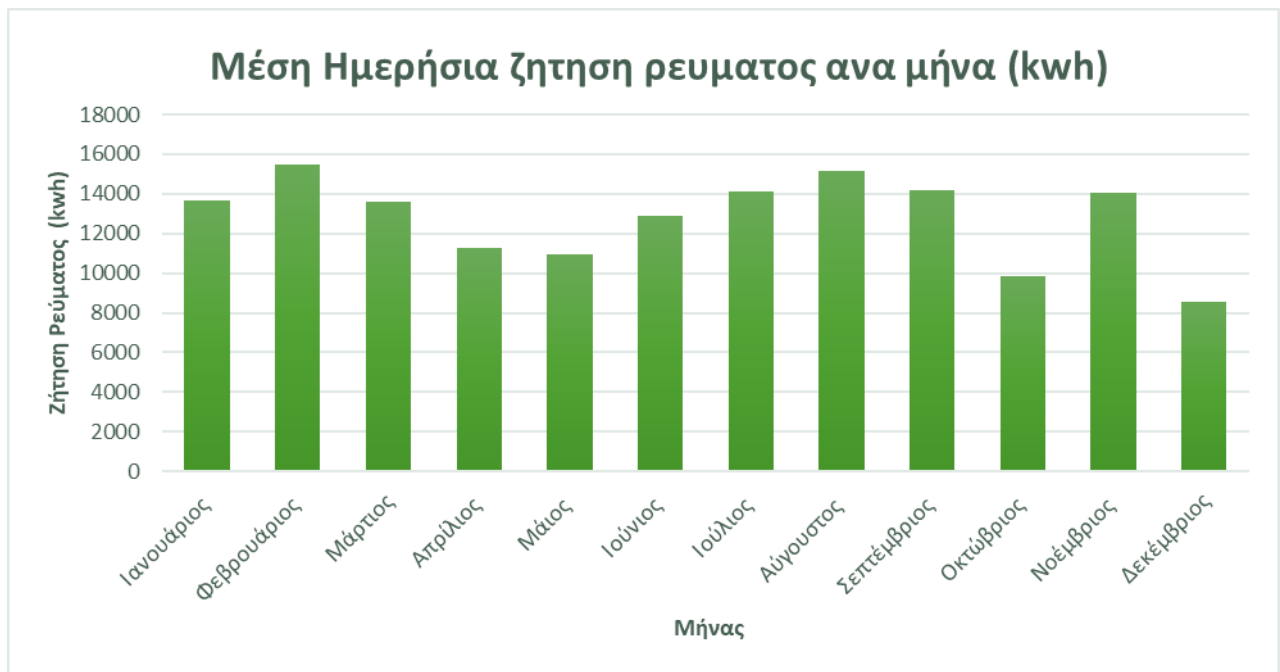
Όπου  $V=15,7$  σε KVolts είναι η τάση του δικτύου. Τα φορτία αποκλειστικά της Φολεγάνδρου κατέστη αδύνατο να βρεθούν, αλλά με βάση την εμπειρία του υπεύθυνου μηχανικού περίπου το 30% των φορτίων της κοινής γραμμής τροφοδοσίας αντιστοιχούν στην Φολέγανδρο.

Με βάση αυτά τα δεδομένα δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα. Συγκεκριμένα στο Σχήμα 3.14 φαίνεται η μηνιαία ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ στο Σχήμα 3.15 φαίνεται η μέση ημερήσια ζήτηση ρεύματος ανά μήνα.



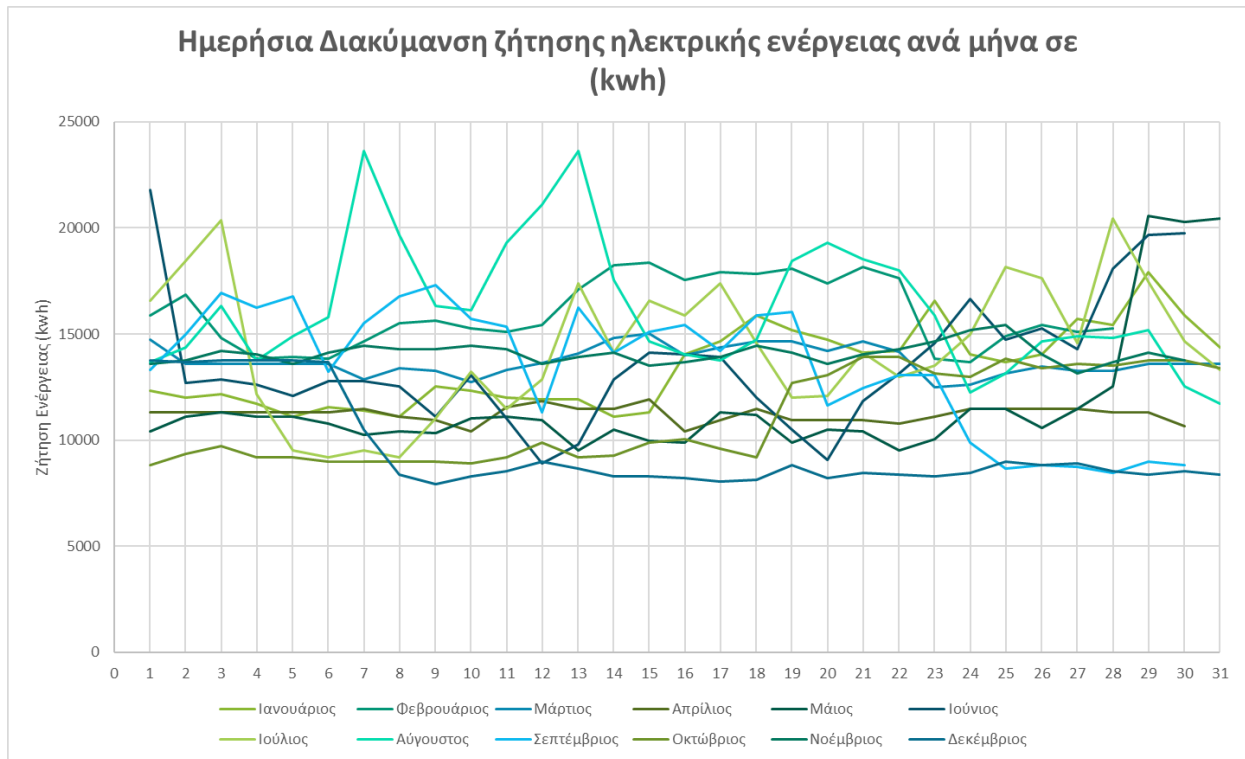


Σχήμα 3.14 Μέση μηνιαία ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος σε kWh



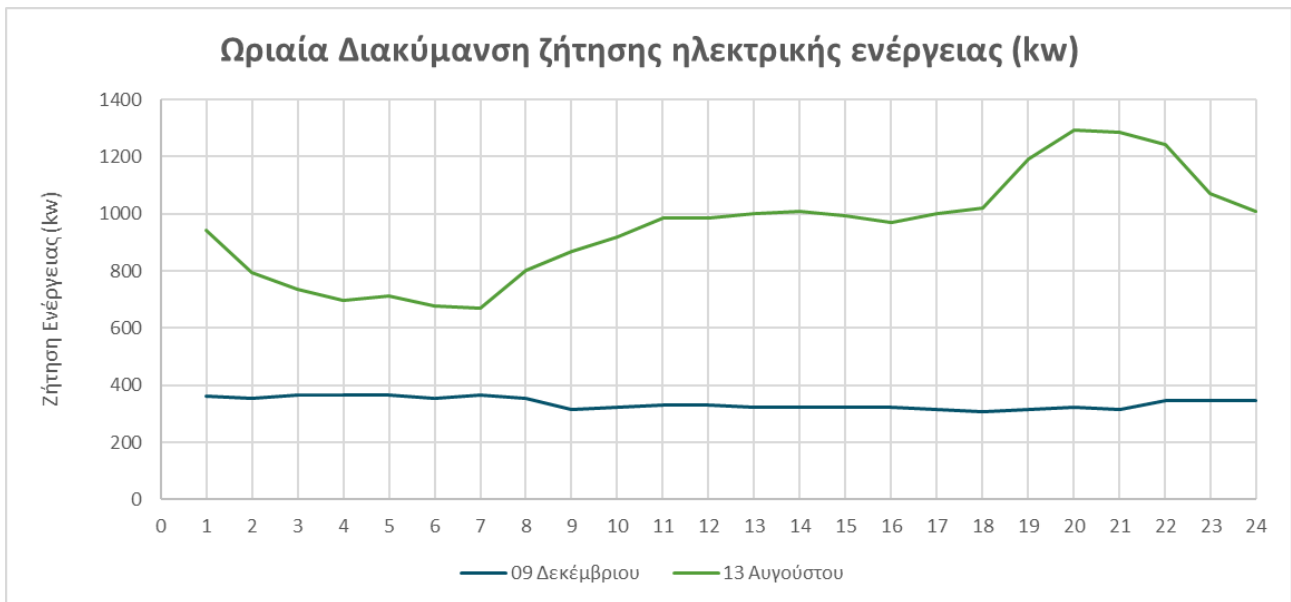
Σχήμα 3.15 Μέση ημερήσια ζήτηση ρεύματος ανά μήνα σε kWh

Στο Σχήμα 3.16 φαίνεται η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα του έτους.

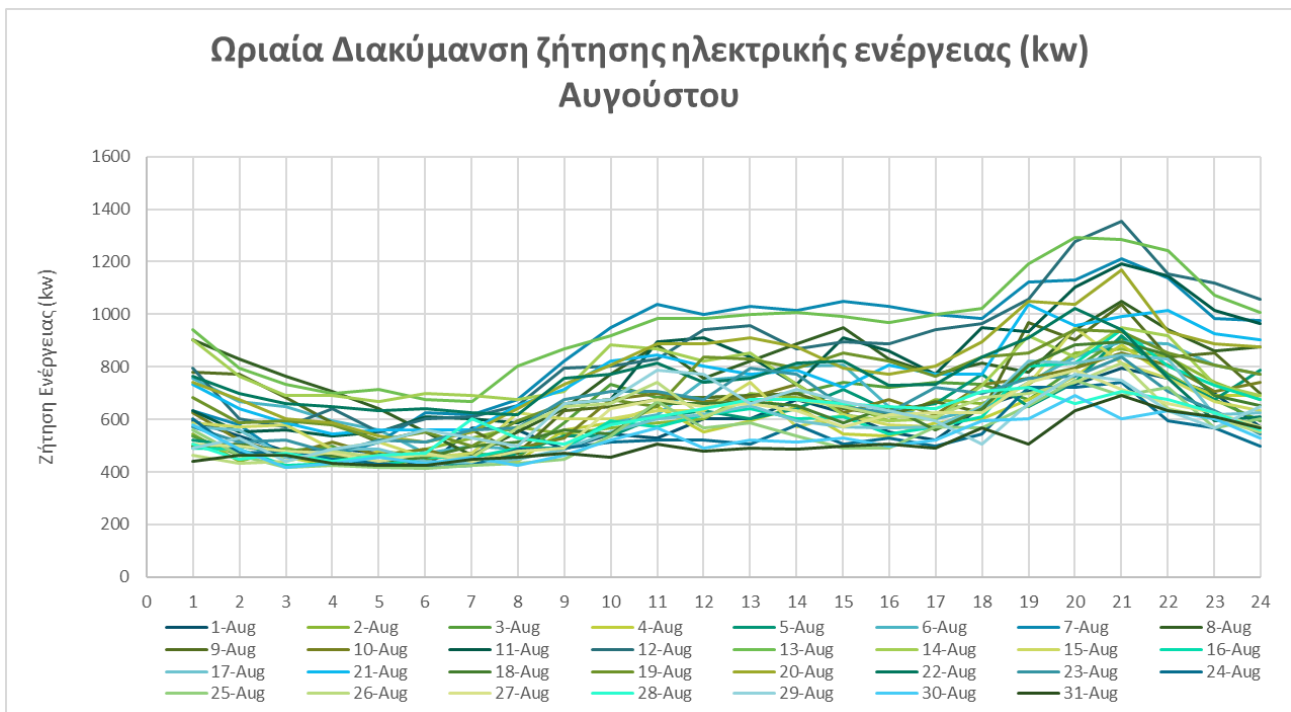


Σχήμα 3.16 Ημερήσια διακύμανση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σε kWh

Στο Σχήμα 3.17 και 3.18 φαίνονται ωριαίες διακυμάνσεις ζήτησης. Στο πρώτο σχήμα φαίνεται η ωριαία διακύμανση ζήτησης για την ημέρα με την μεγαλύτερη ζήτηση που είναι η 13<sup>η</sup> μέρα του Αυγούστου καθώς και η ωριαία διακύμανση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για την ημέρα με την ελάχιστη ζήτηση που είναι η 9<sup>η</sup> μέρα του Σεπτεμβρίου. Τέλος στο Σχήμα 3.18 φαίνεται η ωριαία διακύμανση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μέρα για τον μήνα με την συνολική μέγιστη ζήτηση που είναι ο Αύγουστος.



Σχήμα 3.17 Ωριαία διακύμανση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για τις μέρες με την μέγιστη και την ελάχιστη ζήτηση σε kW



Σχήμα 3.18 Ωριαία διακύμανση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μέρα για τον μήνα αιχμη

## 4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΈΡΓΟΥ

Το υπό μελέτη έργο αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες των 900 KW, ένα αντλιοστάσιο, δύο δεξαμενές με υψομετρική διαφορά, ένα υδροηλεκτρικό σταθμό ισχύος 1200 KW και δύο μονάδες αφαλάτωσης παροχής 360 m<sup>3</sup>/d για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες νοτιοδυτικά του νησιού κοντά στην περιοχή του Πετούση σε υψόμετρο 250m όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Ο μετεωρολογικός σταθμός της Ίου από όπου έχουν ληφθεί τα ανεμολογικά δεδομένα είναι τοποθετημένος σε υψόμετρο 2m οπότε τα ανεμολογικά δεδομένα μετατρέπονται σύμφωνα με την εκθετική διανομή (Σχέση 4.1) για να προκύψουν έτσι οι τιμές του ανέμου που εμφανίζονται στο ύψος των ανεμογεννητριών. Μέσω του αντλιοστασίου αντλείται νερό από το επίπεδο της θάλασσας στη δεύτερη δεξαμενή σε μανομετρικό υψόμετρο 90m. Το αντλιοστάσιο απαρτίζεται από τέσσερις αντλίες, μία 800 KW, μία 250 KW και δύο 100 KW. Οι μονάδες αφαλάτωσης υπολογίζεται ότι χρειάζονται ενέργεια ίση με 5 kWh/m<sup>3</sup> και έχουν συνολική ισχύ 150 KW. Ακόμη, ορίζεται σταθερή παραγωγή 110 KW από τον Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής της Πάρου που αποτελεί το 20% της μέσης ισχύος.

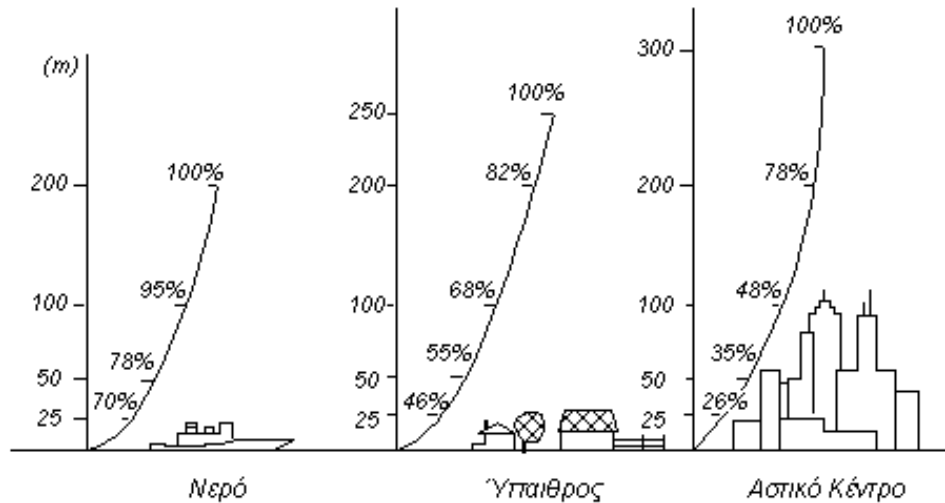


Σχήμα 4.1 Θέσεις ανεμογεννητριών (Πηγή: Google earth 2020 κατόπιν επεξεργασίας)

## 4.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 4.2.1 Κατακόρυφη διανομή του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει μια κατακόρυφη διανομή μέσα στο στρώμα της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα παρουσιάζει εκθετική αύξηση με την αύξηση του ύψους η οποία συνήθως είναι αξιοσημείωτη για τα πρώτα εκατό μέτρα από το έδαφος, συνήθως εντός του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας με την αύξηση του ύψους εξαρτάται κυρίως από το ανάγλυφο της περιοχής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2 (Καλδέλλης, 2005).



Σχήμα 4.2 Επίδραση ύψους τοποθέτησης στην κατανομή της ταχύτητας του ανέμου (Πηγή: Καββαδίας Κ.Α.)

Για την περιγραφή της κατακόρυφης διανομής της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιείται η εκθετική διανομή (power law) η οποία στηρίζεται στην θεωρία των οριακών στρωμάτων:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad (4.1)$$

Όπου  $u_1$  και  $u_2$  οι ταχύτητες σε υψόμετρα  $z_1$  και  $z_2$  αντίστοιχα και  $z_0$  η παράμετρος τραχύτητας η οποία εξαρτάται από το έδαφος όπως φαίνεται στον παρακάτω σχήμα. Στην προκειμένη περίπτωση έχει ληφθεί παράμετρος  $z_0=0.1$ .

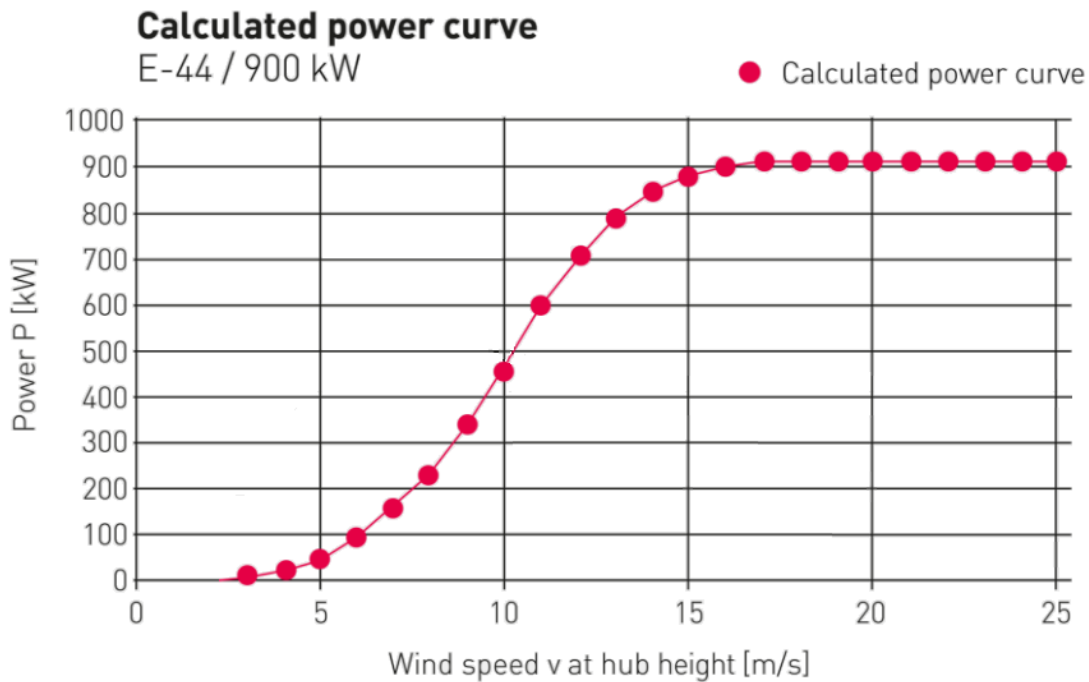
#### Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας $z_0$ για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)

Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 10-15 m	40-70

Σχήμα 4.3 Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας  $z_0$  για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm) (Πηγή: Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999)

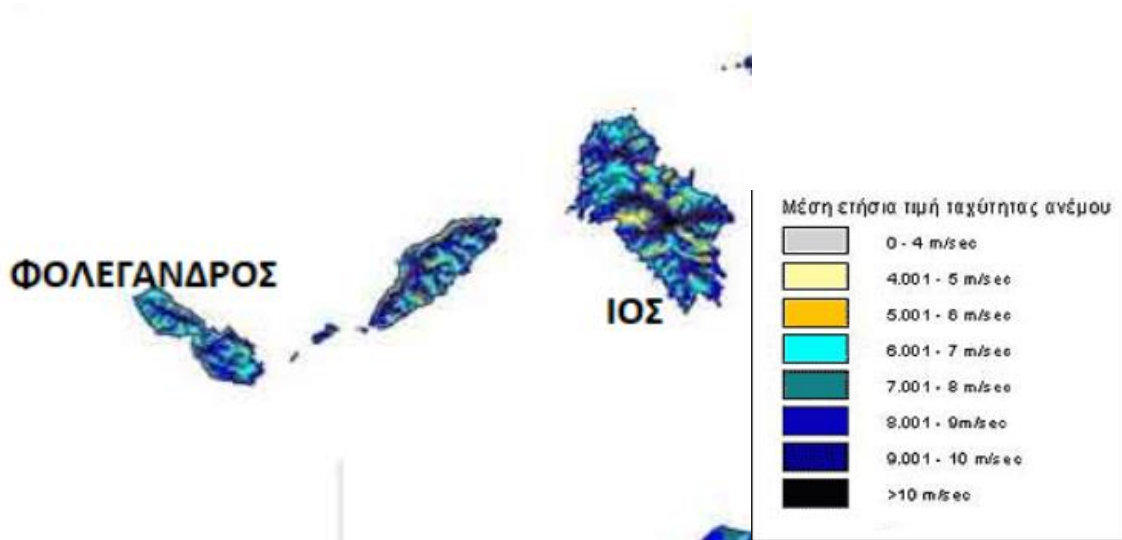
## 4.2.2 Μοντέλο ανεμογεννητριών

Το μοντέλο των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιείται στην παρούσα ανάλυση έργου είναι η A/Γ Enercon 44 με ισχύ 900 Kw. Η καμπύλη ισχύς της φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4 Καμπύλη ισχύος A/Γ Enercon 44 (Πηγή: <https://www.enercon.de/home/>)

Τα δεδομένα για τις ταχύτητες του ανέμου δεν ήταν εφικτό να ληφθούν από το νησί της Φολεγάνδρου καθώς δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός. Τα στοιχεία αυτά λήφθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της Ίου για το έτος 2017 δεδομένου ότι η Ίος είναι ένα από τα κοντινότερα νησιά και με ανάλογες ταχύτητες ανέμου με την Φολεγάνδρο. Οι μέσες ταχύτητες ανέμου που επικρατούν στο νησί είναι της τάξης των 7-8 m/s όπως φαίνεται και από τον παρακάτω χάρτη αιολικού δυναμικού στο Σχήμα 4.5. Στο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιούνται οι μέσες ταχύτητες του ανέμου σε χρονικό βήμα μίας ώρας.



Σχήμα 4.5 Χάρτης αιολικού δυναμικού (Πηγή: <http://www.cres.gr>)

Για τον υπολογισμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος η οποία μπορεί να περιγραφεί προσεγγιστικά από την παρακάτω πολυωνυμική εξίσωση 6<sup>ου</sup> βαθμού:

- $u \leq 2: 0$
- $2 < u < 17: P = 0.000479 u^6 - 0.020121u^5 + 0.237154 u^4 - 0.358363 u^3 - 0.779043 u^2 + 3.713895 u$
- $u \geq 17:900$

(Μυσίρης, 2015)

Όπου  $u$  σε m/s η ταχύτητα του ανέμου. Η ισχύς (kW) που προκύπτει πολλαπλασιάζεται με το πλήθος των Α/Γ που έχει επιλεχθεί καθώς και με το χρονικό βήμα, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 1 ώρα, ώστε να μετατραπεί η ισχύς σε ενέργεια (kWh).

### 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στη μελέτη του συγκεκριμένου Υβριδικού Συστήματος μελετώνται διάφορα σενάρια λειτουργίας με σκοπό την κάλυψη κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο των αναγκών του νησιού.

Στο σύστημα που μελετάται γίνεται η παραδοχή ότι σε κάθε περίπτωση ο ΑΣΠ Πάρου συμβάλει σταθερά 110 KW στο δίκτυο, ισχύ δηλαδή που αντιστοιχεί στο 20% της μέσης ενεργειακής ζήτησης του νησιού. Σε όλα τα σενάρια ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες παρέχεται κατευθείαν στο δίκτυο και το υπόλοιπο μοιράζεται σε λοιπές χρήσεις όπως για άντληση και αφαλάτωση νερού. Τα σενάρια που εξετάζονται είναι τα εξής:

#### Σενάριο 1: Καθαρή αντλησιοταμίευση

Σενάριο 2: Υβριδικό σύστημα με μονάδα αφαλάτωσης σε προτεραιότητα για κάλυψη αναγκών ύδρευσης

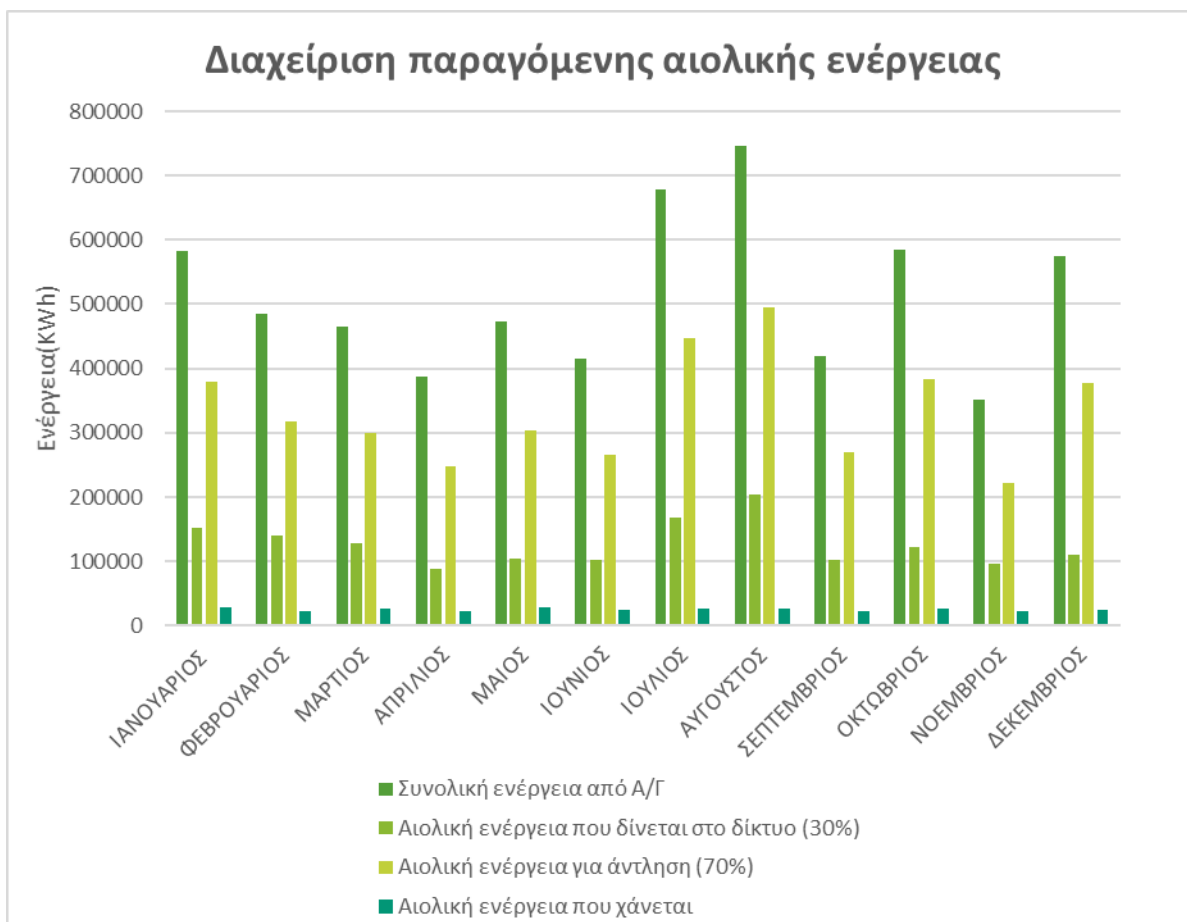
Σενάριο 3: Υβριδικό σύστημα με μονάδα αφαλάτωσης σε προτεραιότητα για κάλυψη αναγκών ύδρευσης & άρδευσης

Για την προσομοίωση του Υβριδικού Συστήματος μορφώνεται στο πρόγραμμα Microsoft Excel 365 μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος για κάθε σενάριο.

#### 4.3.1 Σενάριο 1: Καθαρή αντλησιοταμίευση

Στο Σενάριο 1 (Σ-1) εξετάζεται η απόδοση του Υβριδικού Συστήματος στη περίπτωση καθαρής αντλησιοταμίευσης χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η μονάδα αφαλάτωσης. Το (Σ-1) λοιπόν αφορά στην αποκλειστική κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ζήτησης του νησιού και δεν προβλέπει κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης. Η ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ κατανέμεται ως εξής: το 30% διατίθεται απευθείας στο δίκτυο, ενώ το υπολειπόμενο 70% αξιοποιείται για άντληση θαλασσινού νερού προς τον άνω ταμιευτήρα. Δεδομένου ότι υπάρχουν πάνω από μία αντλίες κάθε φορά ελέγχεται η επάρκεια διατιθέμενης ενέργειας από τις Α/Γ και λειτουργεί η αντλία με την μεγαλύτερη ισχύ. Το νερό που αντλείται αποθηκεύεται στην άνω δεξαμενή. Αν οι ηλεκτρικές ανάγκες δεν καλύπτονται από την σταθερή παραγωγή του ΑΣΠ (ΔΕΗ) σε συνδυασμό με την απευθείας ενέργεια που δίνουν οι Α/Γ στο δίκτυο, τότε υπολογίζονται τα απαιτούμενα κυβικά που χρειάζεται να κατευθυνθούν στον υδροστρόβιλο ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες. Στην περίπτωση που το απόθεμα της άνω δεξαμενής δεν επαρκεί για να καλύψει αυτά τα απαιτούμενα κυβικά, τότε αναγκαστικά το δίκτυο συνδέεται και πάλι με αυτό του ΑΣΠ Πάρου για να ικανοποιηθούν πλήρως οι ανάγκες του νησιού.

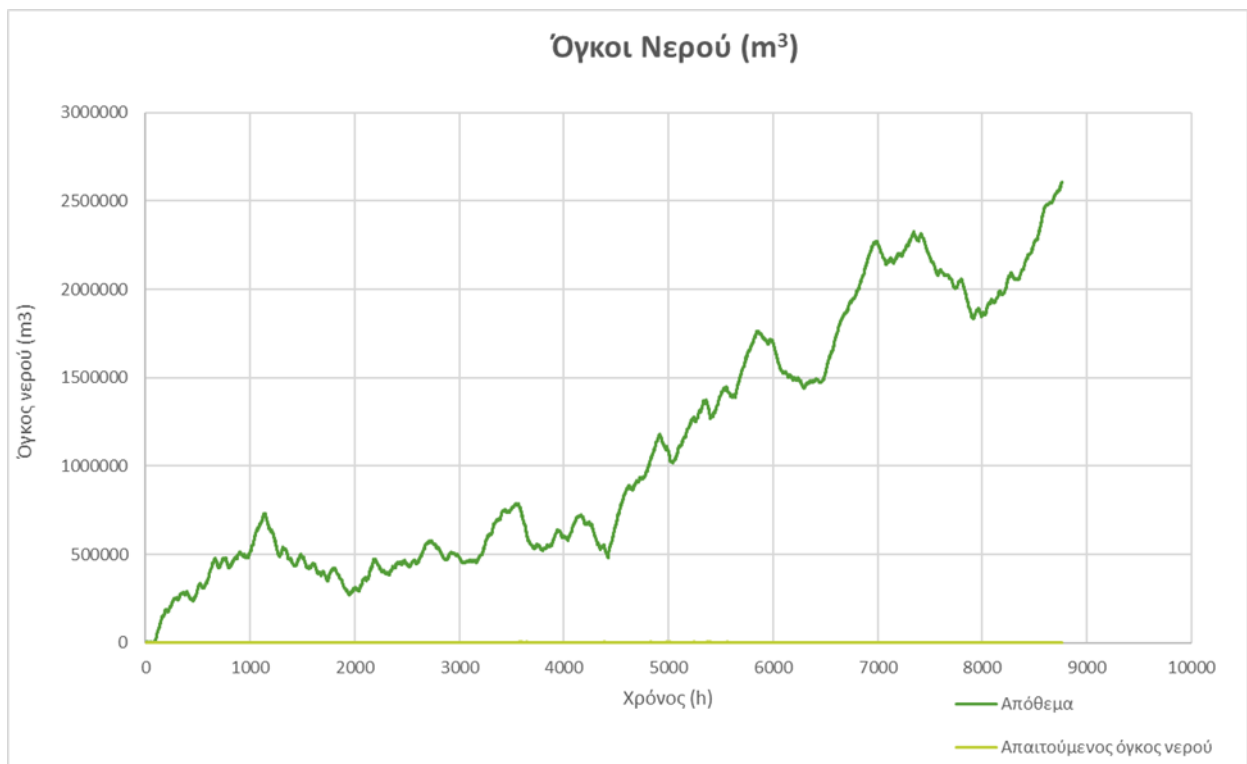
Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Το ποσοστό του 30% πηγαίνει κατευθείαν στο δίκτυο για χρήση και το ποσοστό του 70% χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού. Είναι φανερό ότι, σύμφωνα και με τις παραδοχές του σεναρίου αυτού, δεν καταναλώνεται καθόλου ενέργεια για αφαλάτωση νερού. Ακόμη παρατηρείται ότι υπάρχουν, όπως είναι λογικό, απώλειες ενέργειας που ωστόσο δεν είναι σημαντικές. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.6 η παραγωγή αιολικής ενέργειας δεν είναι σταθερή κάθε μήνα και αυτό γιατί εξαρτάται άμεσα από την μεταβλητότητα του αέρα. Παρουσιάζονται έντονες μεταβολές τόσο στην ποσότητα όσο και στην χρονική στιγμή που εμφανίζονται οι αιχμές.



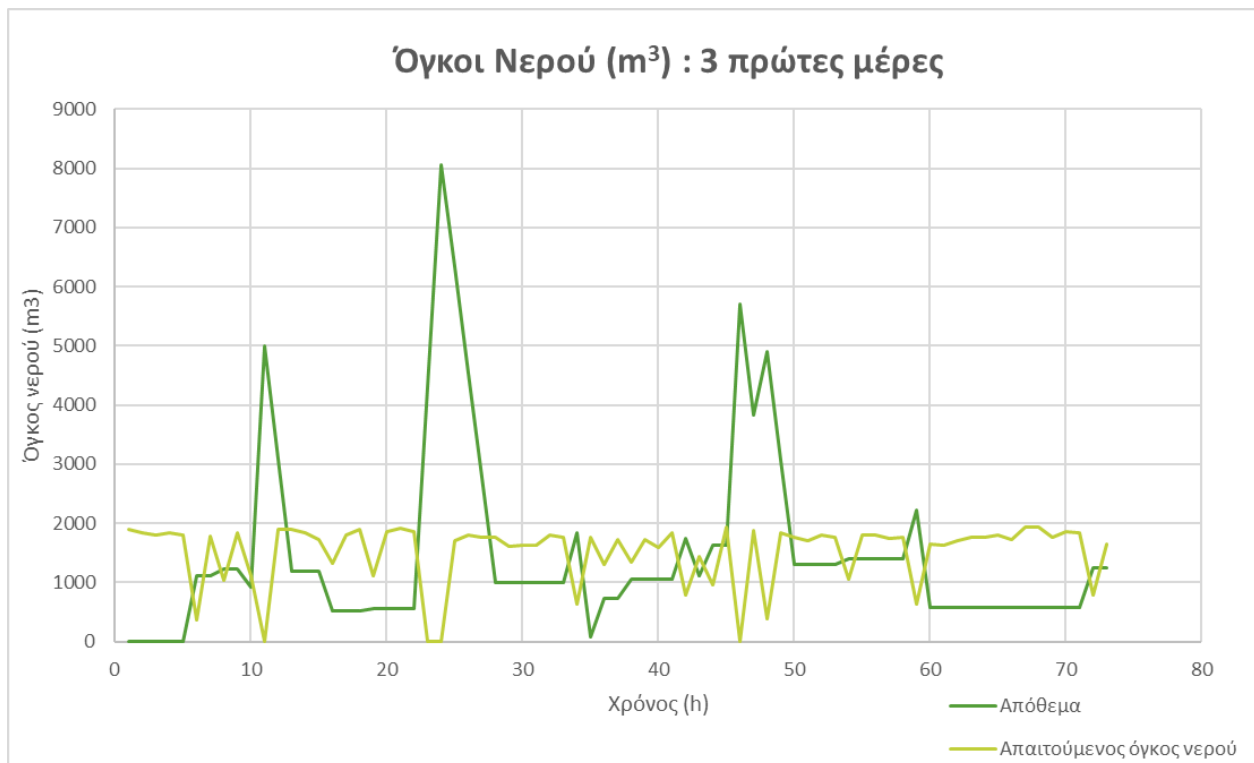
Σχήμα 4.6 Διαχείριση παραγόμενης αιολικής ενέργειας (Σ-1)

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην περιγραφή του σεναρίου όταν η παραγόμενη αιολική ενέργεια που δίνεται απευθείας στο δίκτυο σε συνδυασμό με την σταθερή παραγωγή από το ΑΣΠ δεν καλύπτουν τις ηλεκτρικές ανάγκες του νησιού τότε υπολογίζονται τα απαιτούμενα κυβικά που πρέπει να κατευθυνθούν προς τον υδροστρόβιλο για την παραγωγή του υπόλοιπου της ζητούμενης ενέργειας. Παρακάτω στο Σχήμα 4.7 φαίνεται μια γραφική απεικόνιση του αποθέματος που υπάρχει στην άνω δεξαμενή η οποία στην αρχή του έργου είναι άδεια κατά το 2017. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.7 ήδη από την αρχή σχεδόν του έργου το απόθεμα πάντα υπερκαλύπτει τον απαιτούμενο όγκο νερού για την απελευθέρωση της υπολειπόμενης ποσότητας ενέργειας, πράγμα που καθιστά και το έργο πολύ αποδοτικό. Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται ότι τις πρώτες μέρες του έργου και μέχρι να δημιουργηθεί κατάλληλο απόθεμα, υπάρχει διακύμανση μεταξύ αποθέματος και απαιτούμενου όγκου, πράγμα που σημαίνει ότι ο υδροστρόβιλος δεν μπορεί να λειτουργεί κάθε φορά που απαιτείται.



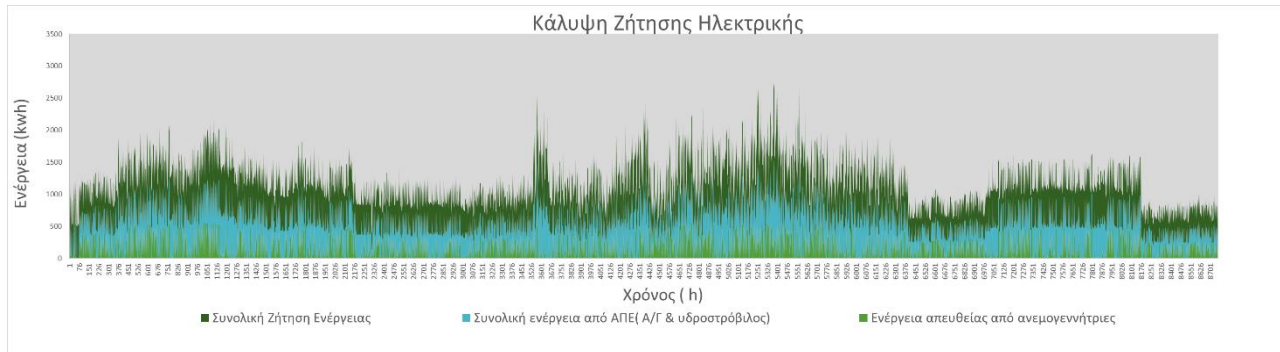


Σχήμα 4.7 Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας (Σ-1)



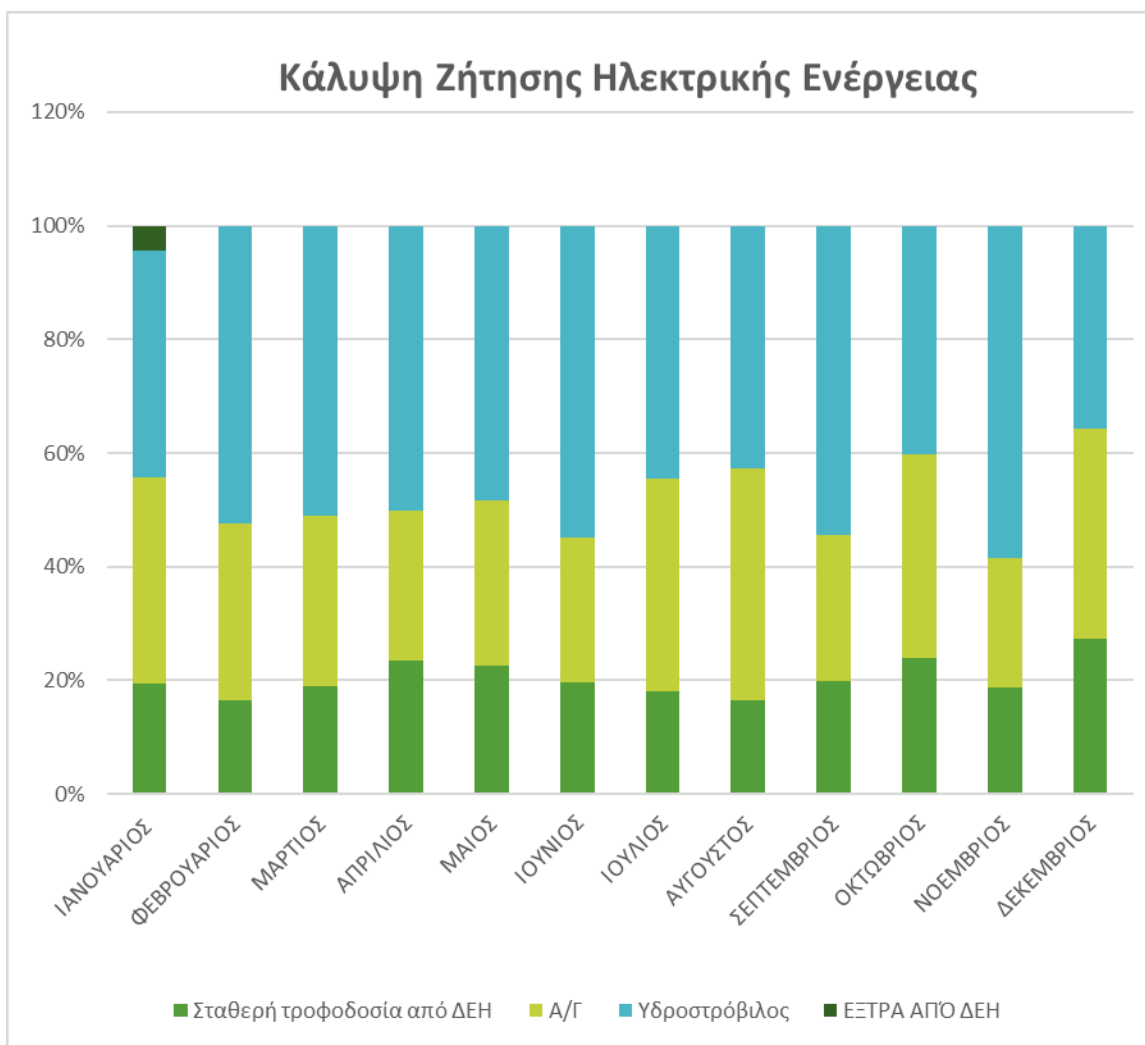
Σχήμα 4.8 Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας για τις 3 πρώτες μέρες λειτουργίας του έργου (Σ-1)

Παρακάτω παρατίθεται η συμμετοχή κάθε μορφή ενέργειας στην κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού για το έτος 2017 σε ωριαία βάση. Συγκεκριμένα φαίνεται η συνολική ζήτηση σε ενέργεια, η συνολική συμβολή των ΑΠΕ στο δίκτυο, δηλαδή το 30% της ενέργειας από τις Α/Γ και η ενέργεια από το υδροηλεκτρικό έργο, καθώς και μόνο η ενέργεια από τις Α/Γ. Όπως είναι φυσικό και εμφανές και από το Σχήμα 4.9 η ποσότητα της ενέργειας που δεν καλύπτεται από τις ΑΠΕ, καλύπτεται από τη ΔΕΗ και μέσα σε αυτή τη ποσότητα περιλαμβάνεται και η σταθερή ποσότητα ενέργειας που έχει ήδη οριστεί από το ΑΣΠ Πάρου που αντιστοιχεί σε 110 KW.



Σχήμα 4.9 Κάλυψη ετήσιας ζητούμενης ισχύος (Σ-1)

Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζεται το αθροιστικό διάγραμμα ποσοστιαίας συμμετοχής στην κάλυψη των αναγκών ανά μήνα. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 30% της απευθείας διάθεσης της συνολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια τότε το νησί χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του με το δίκτυο της ΔΕΗ στη Πάρο προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες ζήτησης. Το νησί είναι ενεργειακά αυτόνομο όλο τον χρόνο πέρα από την αρχή λειτουργίας του τον Ιανουάριο όπου και χρειάστηκε η διασύνδεση με το ΑΣΠ Πάρου.



Σχήμα 4.10 Κάλυψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σ-1)

Ακολούθως στο Σχήμα 4.11 φαίνεται αναλυτικά ότι οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού κατά τη διάρκεια ενός έτους καλύπτονται κατά 32% από την απευθείας χρήση του 30% της αιολικής ενέργειας, κατά 48% από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 20% προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ, το οποίο άλλωστε έχει οριστεί εξ αρχής. Το έργο δηλαδή φτάνει αξιοπιστία σχεδόν 100%. Συγκεκριμένα η αξιοπιστία του έργου είναι 99%, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.12. Δηλαδή αν εξαιρεθεί η σταθερή ποσότητα που λαμβάνεται ούτως η άλλως για λόγους ασφάλειας από την ΔΕΗ, δεν χρειάζεται σχεδόν καθόλου περεταίρω διασύνδεση του δικτύου με αυτό της ΔΕΗ. Δεδομένου ότι το έργο έχει τόσο καλή αξιοπιστία και ικανοποιεί σχεδόν εξ ολοκλήρου τις ανάγκες για ηλεκτροδότηση, παρακάτω σε επόμενα σενάρια εξετάζεται η ικανοποίηση και των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης με την χρήση μονάδων αφαλάτωσης.



Σχήμα 4.11 Ποσοστό κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας από τις διάφορες μορφές ενέργειας



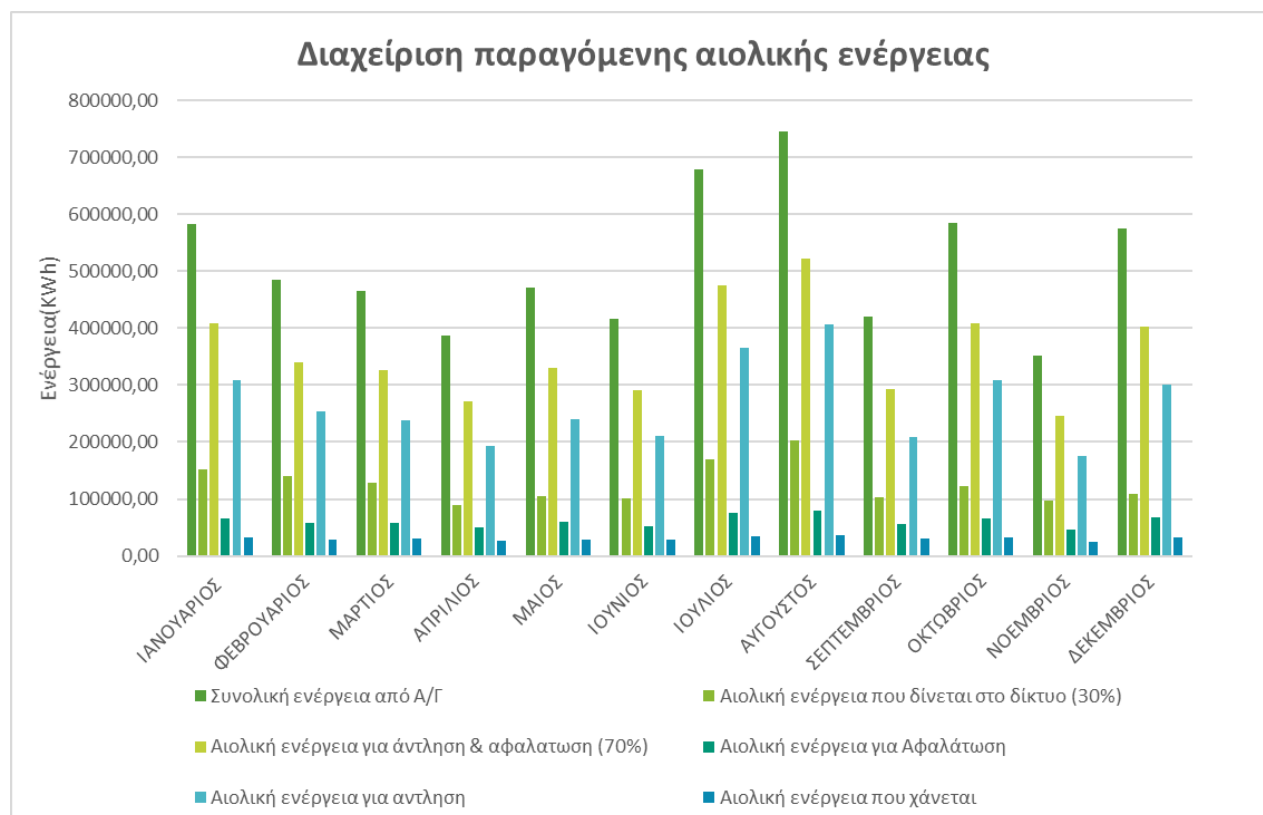
Σχήμα 4.12 Ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σ-1)

#### 4.3.2 Σενάριο 2: Υβριδικό σύστημα με μονάδα αφαλάτωσης σε προτεραιότητα για κάλυψη αναγκών ύδρευσης

Στο Σενάριο 2 (Σ-2) εξετάζεται η απόδοση του Υβριδικού Συστήματος στη περίπτωση διασύνδεσης του με τη μονάδα αφαλάτωσης προκειμένου να καλυφθούν και οι ανάγκες για ύδρευση πέραν της ηλεκτροδότησης. Στο (Σ-2) από την παραγωγή της αιολικής ενέργειας το 30% δίνεται απευθείας στο δίκτυο και το 70% δίνεται για αφαλάτωση και άντληση.

Η μονάδα αφαλάτωσης έχει 2 μέλη παροχής 360 m<sup>3</sup>/d. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τιμή παροχής δεδομένου ότι υπάρχει ήδη διακήρυξη για χρηματοδότηση ενός τέτοιου έργου στο νησί. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται στα 150 KW. Η κάθε μονάδα παράγει 15 m<sup>3</sup>/h, και άρα προκύπτει μέγιστη ωραία παραγωγή στα 30 m<sup>3</sup>/h.

Στο Σενάριο 2 δίνεται προτεραιότητα στην κάλυψη των αναγκών ύδρευσης. Για τον λόγο αυτό από το 70% της αιολικής ενέργειας φροντίζεται πρώτα να τεθούν σε λειτουργία οι μονάδες αφαλάτωσης και ύστερα να δοθεί ενέργεια για την άντληση νερού. Ανάλογα με την ποσότητα της διατιθέμενης ενέργειας από τις Α/Γ που προορίζεται προς τις Μ/Α, μπορεί να λειτουργούν είτε και οι δύο Μ/Α ή μόνο η μία ή ακόμη και καμία. Η υπόλοιπη ενέργεια από το 70% δίνεται για άντληση, όπου και σε αυτή την περίπτωση εξετάζεται πόσες και ποιες αντλίες είναι σε θέση να λειτουργούν με βάση την προσφερόμενη ενέργεια από τις Α/Γ. Για κάθε ώρα, αν η σταθερή ενέργεια που δίνεται από την ΔΕΗ και η αιολική ενέργεια που δίνεται κατευθείαν στο δίκτυο δεν επαρκούν για να καλύψουν την ζήτηση, τότε υπολογίζεται ο απαιτούμενος όγκος νερού που χρειάζεται να υπάρχει στον άνω ταμιευτήρα για να παραχθεί το υπολειπόμενο ποσό την ενέργειας από τον υδροστρόβιλο. Αν υπάρχει διαθεσιμότητα νερού, ο υδροστρόβιλος λειτουργεί και καλύπτει τις ανάγκες της ενέργειας αλλιώς απαιτείται η διασύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ.

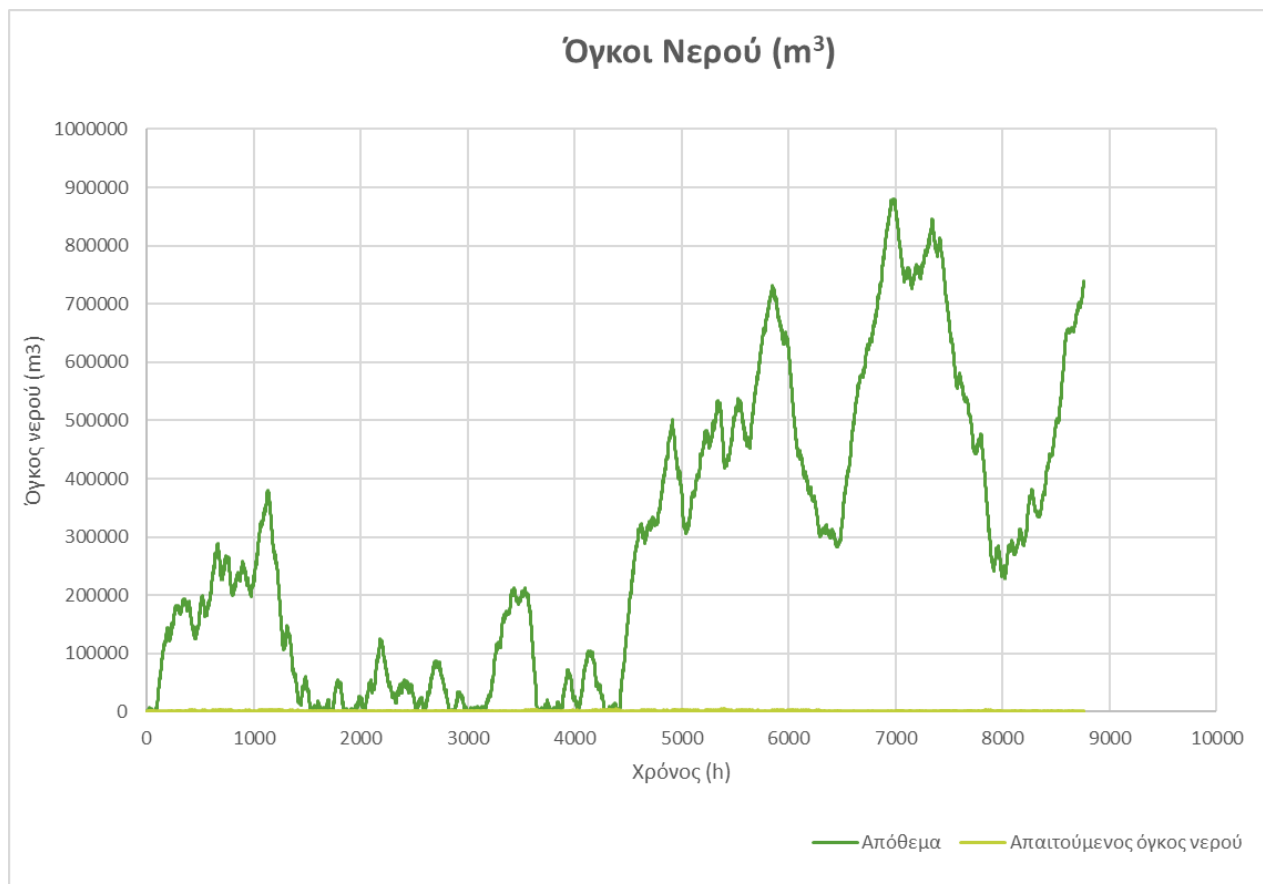


Σχήμα 4.13 Διαχείριση παραγόμενης αιολικής ενέργειας (Σ-2)

Στο Σχήμα 4.13 φαίνεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα η ενέργεια που δίνεται για αφαλάτωση είναι πολύ λιγότερη από αυτή που διατίθεται για άντληση παρόλο που τίθεται σε προτεραιότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί και η εγκατεστημένη ισχύς της Μ/Α δεν είναι πολύ μεγάλη, αφού αντίστοιχα και οι ζητήσεις σε ύδρευση είναι σχετικά χαμηλές και αντίστοιχες του πληθυσμού του νησιού.

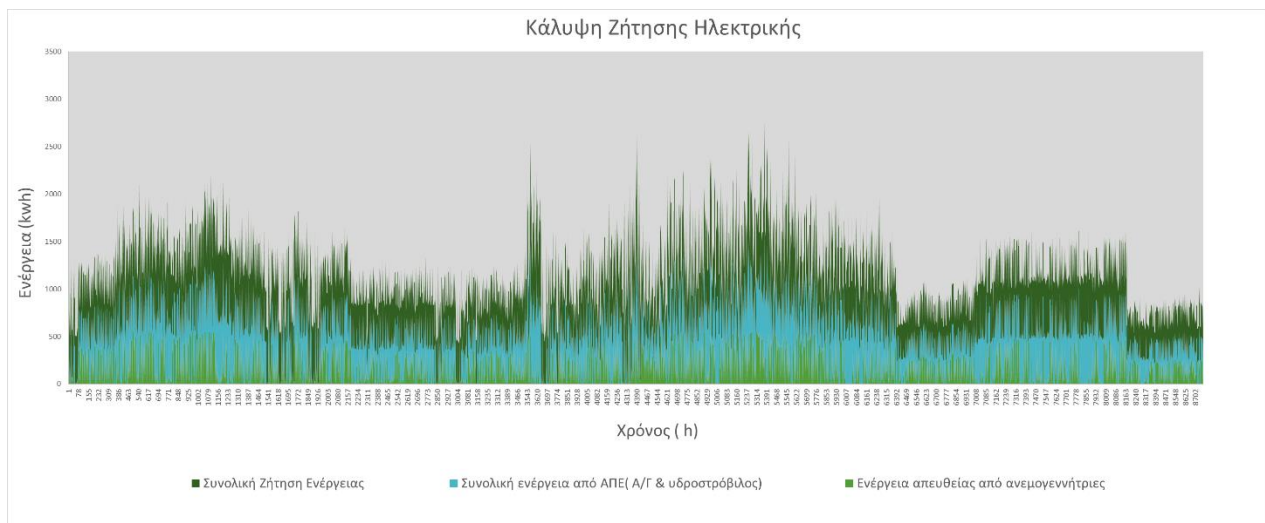
Παρακάτω στο Σχήμα 4.14 φαίνεται μια γραφική απεικόνιση του αποθέματος που υπάρχει στην άνω δεξαμενή η οποία στην αρχή του έργου είναι άδεια κατά το 2017. Όπως φαίνεται και στο

Σχήμα 4.14 το απόθεμα από τις 4500 ώρες λειτουργίας του έργου και έπειτα, δηλαδή πρακτικά από τον Ιούνιο και μετά, πάντα υπερκαλύπτει τον απαιτούμενο όγκο νερού για την απελευθέρωση της υπολειπόμενης ποσότητας ενέργειας. Ωστόσο, μέχρι και τον Ιούνιο υπάρχουν ώρες-που όμως δεν είναι πολλές- που δεν υπάρχει το κατάλληλο απόθεμα για να τεθεί ο υδροστρόβιλος σε λειτουργία για να καλύψει πλήρως τις ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό υποδεικνύει ότι στο Σ-2 που γίνεται προσπάθεια κάλυψης και των αναγκών ύδρευσης μέσω της τροφοδοσίας Μ/Α, η αξιοπιστία κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθεί.



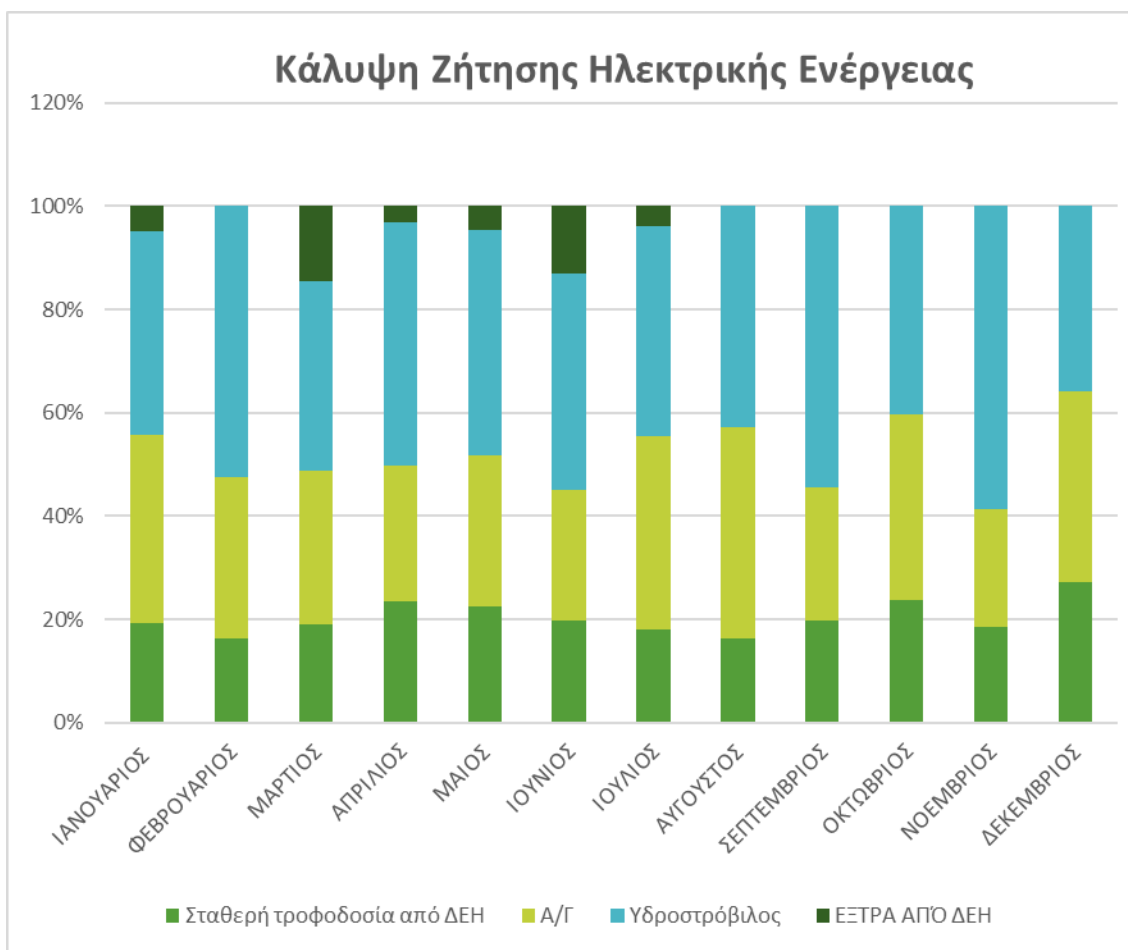
Σχήμα 4.14 Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας (Σ-2)

Παρακάτω στο Σχήμα 4.15 παρατίθεται η συμμετοχή κάθε μορφή ενέργειας στην κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού για το έτος 2017 σε ωριαία βάση. Συγκεκριμένα φαίνεται η συνολική ζήτηση σε ενέργεια, η συνολική συμβολή των ΑΠΕ στο δίκτυο, δηλαδή το 30% της ενέργειας από τις Α/Γ και η ενέργεια από το υδροηλεκτρικό έργο, καθώς και μόνο η ενέργεια από τις Α/Γ. Όπως είναι φυσικό και εμφανές και από το Σχήμα 4.15 η ποσότητα της ενέργειας που δεν καλύπτεται από τις ΑΠΕ, καλύπτεται από τη ΔΕΗ και μέσα σε αυτή τη ποσότητα περιλαμβάνεται και η σταθερή ποσότητα ενέργειας που έχει ήδη οριστεί από το ΑΣΠ Πάρου που αντιστοιχεί σε 110 KW



Σχήμα 4.15 Κάλυψη ετήσιας ζητούμενης ισχύος (Σ-2)

Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζονται τα αθροιστικά διαγράμματα ποσοστιαίας συμμετοχής στην κάλυψη των αναγκών ανά μήνα. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 30% της απευθείας διάθεσης της αιολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια τότε το νησί χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του με το δίκτυο της ΔΕΗ στη Πάρο προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες ζήτησης. Το νησί είναι ενεργειακά αυτόνομο κατά το μισό έτος και συγκεκριμένα τους μήνες Φεβρουάριο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο. Τους υπόλοιπους μήνες χρειάζεται η διασύνδεση με το ΑΣΠ Πάρου.



Σχήμα 4.16 Κάλυψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σ-2)

Ακολουθώντας στο Σχήμα 4.17 φαίνεται αναλυτικά ότι οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού κατά τη διάρκεια ενός έτους καλύπτονται κατά 31% από την απευθείας χρήση του 30% της αιολικής ενέργειας, κατά 45% από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, κατά 20% από το δίκτυο της ΔΕΗ το οποίο έχει οριστεί εξ αρχής και υπολείπεται ακόμη ένα 4% το οποίο και δίνεται έξτρα από τη ΔΕΗ.

Η αξιοπιστία του έργου φτάνει στο 95% όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.18. Το 95% δηλαδή του χρόνου δεν χρειάζεται η επιπλέον τροφοδοσία από την ΔΕΗ. Παρά τις προσπάθειες δηλαδή για κάλυψη της ύδρευσης μέσω Μ/Α η αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας δεν μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, είναι χρήσιμο να εξεταστεί και η αξιοπιστία της κάλυψης των αναγκών ύδρευσης για να διαπιστωθεί αν άξιζε έστω και αυτή η μικρή μείωση στην αξιοπιστία της ηλεκτροδότησης.





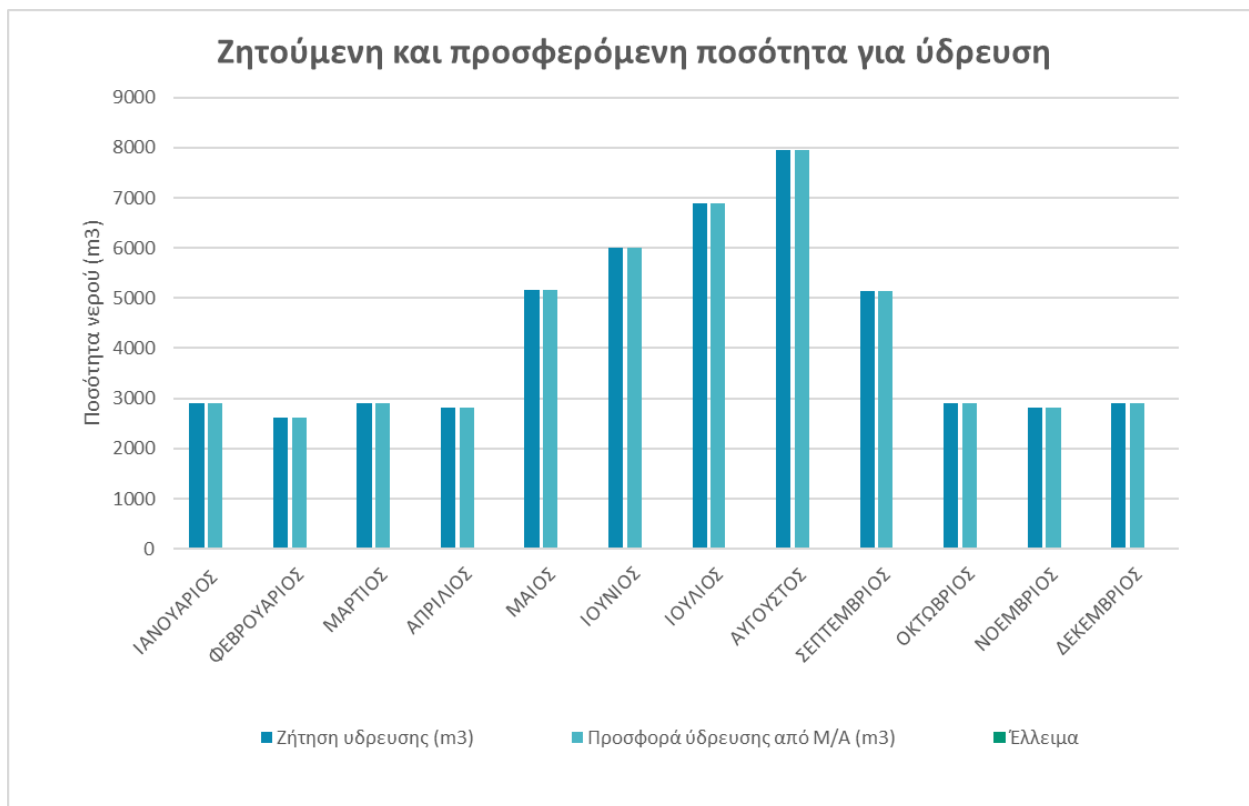
Σχήμα 4.17 Ποσοστό κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας από τις διάφορες μορφές ενέργειας (Σ-2)



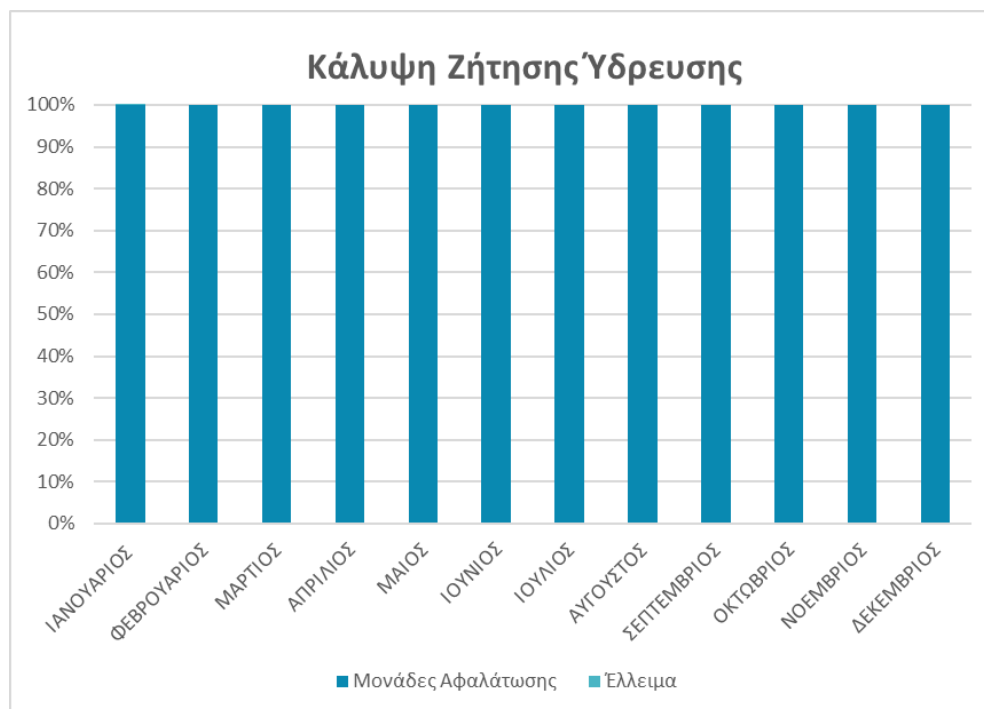
Σχήμα 4.18 Ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σ-2)

Στο Σχήμα 4.19 φαίνεται η μηνιαία ζήτηση και προσφορά νερού για το έτος 2017. Αν εξαιρεθεί ο πρώτος μήνας λειτουργίας του έργου που υπάρχει μια μικρή ποσότητα ελλείματος, τους

υπόλοιπους μήνες η ζήτηση ισούται με την προσφορά από τη Μ/Α. Παρακάτω στο Σχήμα 4.20 φαίνεται η ποσοστιαία κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση. Κάθε μήνα η κάλυψη φτάνει το 100% αφήνοντας μηδενικό έλλειμα όπως ήδη αναφέρθηκε, ακόμη και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που είναι και οι μήνες αιχμής λόγω του αυξημένου τουρισμού.



Σχήμα 4.19 Ζητούμενη και προσφερόμενη ποσότητα νερού για ύδρευση (m³) (Σ-2)



Σχήμα 4.20 Κάλυψη ζήτησης ύδρευσης (Σ-2)

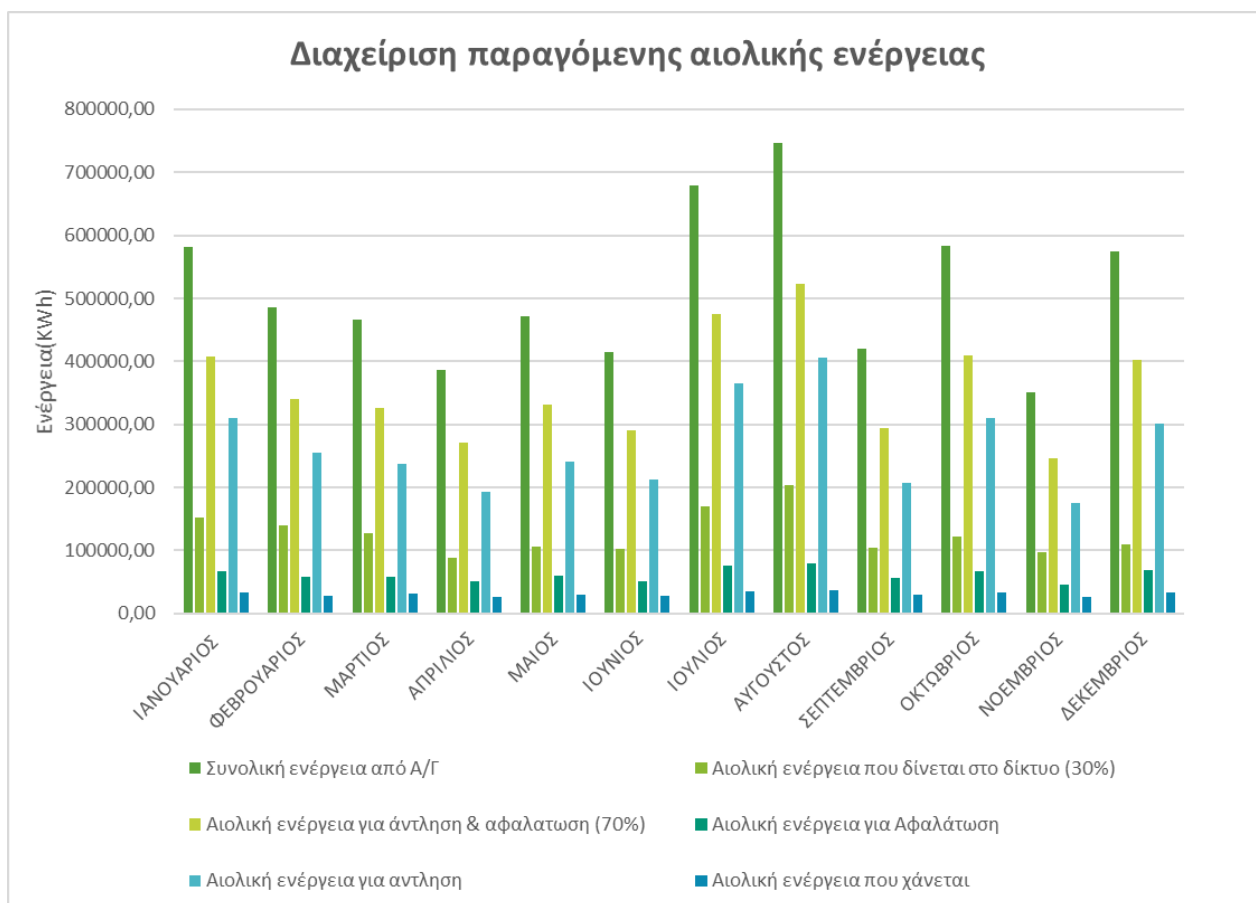
Στη συνέχεια στο Σχήμα 4.21 παρουσιάζεται η αξιοπιστία ως προς την ύδρευση, που όπως είναι λογικό και αναμενόμενο φτάνει το 100%. Οι μονάδες αφαλάτωσης που επιλέχθηκαν λοιπόν καλύπτουν στο έπακρο τις ανάγκες του νησιού για ύδρευση.



Σχήμα 4.21 Ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της συνολικής ζήτησης ύδρευσης (Σ-2)

### 4.3.3 Σενάριο 3: Υβριδικό σύστημα με μονάδα αφαλάτωσης σε προτεραιότητα για κάλυψη αναγκών ύδρευσης & άρδευσης

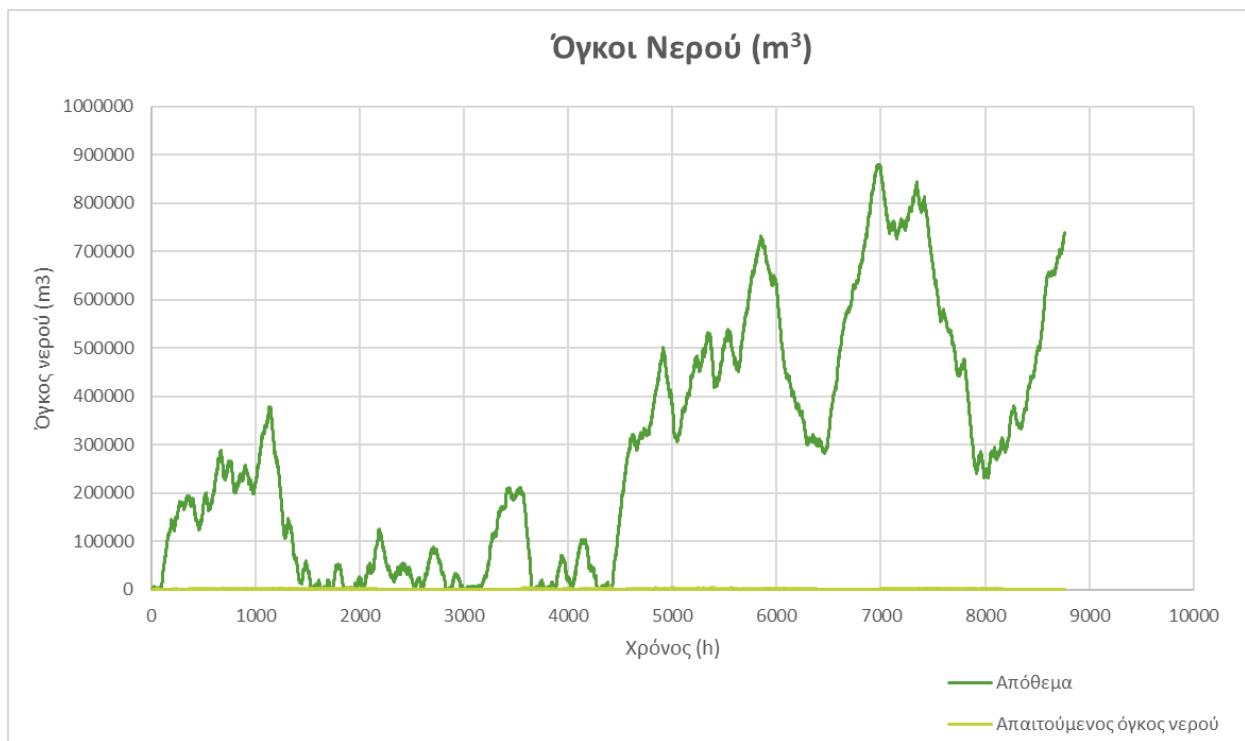
Στο Σενάριο 3 (Σ-3) εξετάζεται η απόδοση του Υβριδικού Συστήματος στη περίπτωση διασύνδεσης του με τη μονάδα αφαλάτωσης προκειμένου να καλυφθούν και οι ανάγκες για ύδρευση και άρδευση πέραν της ηλεκτροδότησης. Στο (Σ-2) τα ποσοστά αξιοπιστίας ήταν πολύ ικανοποιητικά τόσο για την ηλεκτροδότηση όσο και για την ύδρευση και γι' αυτό εξετάζεται αν με τις παραπάνω εγκαταστάσεις μπορεί να ικανοποιηθούν και οι ανάγκες της άρδευσης. Στο (Σ-3) από την παραγωγή της αιολικής ενέργειας το 30% δίνεται απευθείας στο δίκτυο όπως και στα δύο προηγούμενα σενάρια και το 70% δίνεται για αφαλάτωση και άντληση. Η μονάδα αφαλάτωσης τίθεται και πάλι σε προτεραιότητα. Από το 70% της αιολικής ενέργειας φροντίζεται δηλαδή πρώτα να τεθούν σε λειτουργία οι μονάδες αφαλάτωσης και ύστερα να δοθεί ενέργεια για την άντληση νερού. Όσον αφορά την διάθεση του αφαλατωμένου νερού, σε προτεραιότητα τίθεται η κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και ύστερα αυτές της άρδευσης. Η Μ/Α που έχει επιλεγεί, εξετάζεται κυρίως για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης καθώς η παροχή της είναι μόλις 720 m<sup>3</sup>/d και γι' αυτό αναμένεται η αξιοπιστία της άρδευσης να μην είναι τόσο ικανοποιητική. Στο μοντέλο προσομοίωσης για το (Σ-3) λαμβάνεται υπόψη και το νερό της βροχής. Υπολογίζεται για κάθε ώρα αν ο όγκος νερού από την βροχή καλύπτει απευθείας την ζήτηση για άρδευση για να μην σταλεί νερό στο δίκτυο. Σε περίπτωση που δεν καλύπτει από μόνη της η βροχή και αν υπάρχει διαθέσιμο αφαλατωμένο νερό, τότε προσφέρετε αφαλατωμένο νερό τόσο όσο η διαφορά της ζήτησης για άρδευση και του νερού της βροχής.



Σχήμα 4.22 Διαχείριση παραγόμενης αιολικής ενέργειας (Σ-3)

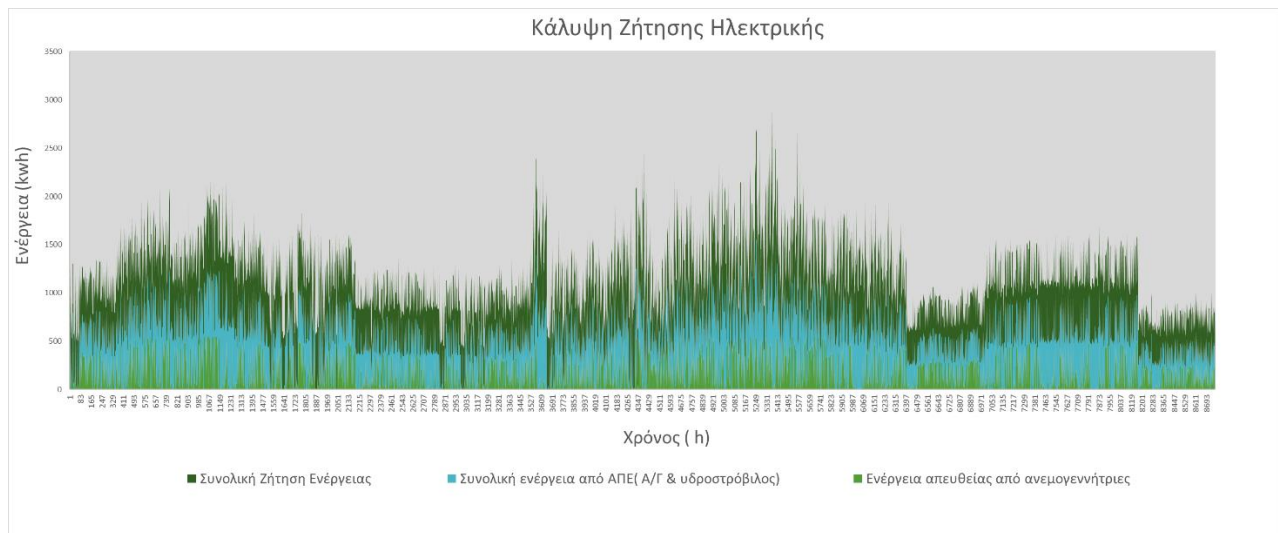
Στο Σχήμα 4.22 φαίνεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα η ενέργεια που δίνεται για αφαλάτωση όπως και στο (Σ-2) είναι πολύ λιγότερη από αυτή που διατίθεται για άντληση παρόλο που τίθεται σε προτεραιότητα.

Παρακάτω στο Σχήμα 4.23 φαίνεται μια γραφική απεικόνιση του αποθέματος που υπάρχει στην άνω δεξαμενή η οποία στην αρχή του έργου είναι άδεια κατά το 2017. Όπως και στο (Σ-2) απόθεμα από τις 4500 ώρες λειτουργίας του έργου και έπειτα, δηλαδή πρακτικά από τον Ιούνιο και μετά πάντα υπερκαλύπτει τον απαιτούμενο όγκο νερού για την απελευθέρωση της υπολειπόμενης ποσότητας ενέργειας. Πρακτικά φαίνεται και από το Σχήμα 4.22 ότι έχει γίνει περίπου η ίδια κατανομή στην διάθεση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Άρα ο όγκος του νερού είναι περίπου ο ίδιος και γι' αυτό και στο Σχήμα 4.23 η απεικόνιση του αποθέματος μοιάζει αρκετά με αυτή της απεικόνισης του (Σ-2). Η διαφορά στην ουσία με το (Σ-2) υπόκειται κυρίως στην διαφορετική κατανομή του αφαλατωμένου νερού.



Σχήμα 4.23 Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας (Σ-3)

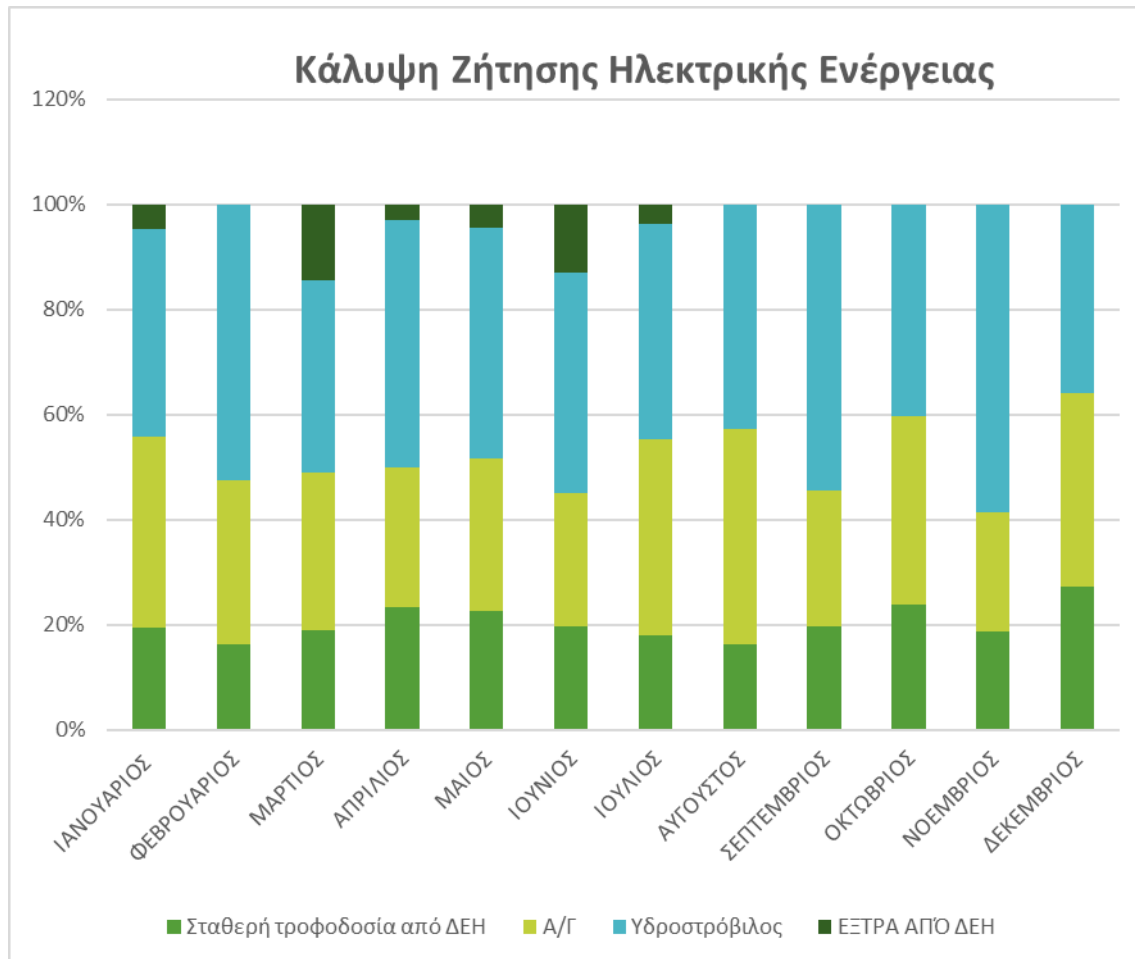
Παρακάτω στο Σχήμα 4.24 παρατίθεται η συμμετοχή κάθε μορφή ενέργειας στην κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού για το έτος 2017 σε ωριαία βάση. Συγκεκριμένα φαίνεται η συνολική ζήτηση σε ενέργεια, η συνολική συμβολή των ΑΠΕ στο δίκτυο, δηλαδή το 30% της ενέργειας από τις Α/Γ και η ενέργεια από το υδροηλεκτρικό έργο, καθώς και μόνο η ενέργεια από τις Α/Γ.



Σχήμα 4.24 Κάλυψη ετήσιας ζητούμενης ισχύος (Σ-3)

Στο Σχήμα 4.25 παρουσιάζονται τα αθροιστικά διαγράμματα ποσοστιαίας συμμετοχής στην κάλυψη των αναγκών ανά μήνα. Όταν η ζήτηση δεν καλύπτεται από το 30% της απευθείας διάθεσης της αιολικής ενέργειας και από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια τότε το νησί χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του με το δίκτυο της ΔΕΗ στη Πάρο προκειμένου να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες ζήτησης. Το νησί είναι ενεργειακά αυτόνομο κατά το μισό έτος και

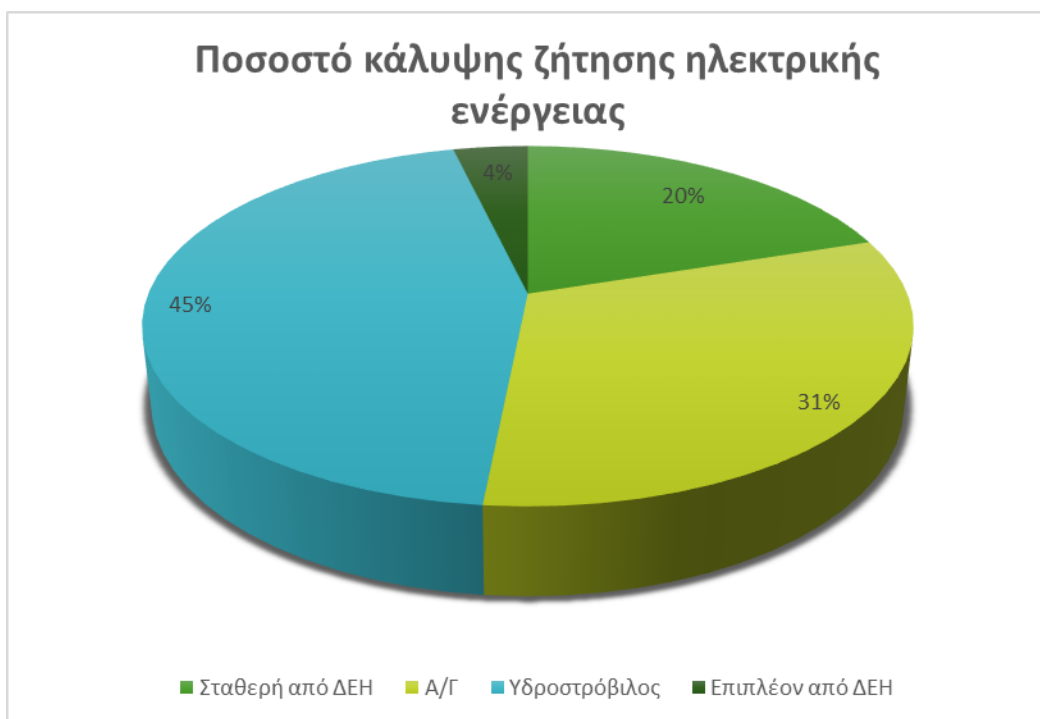
συγκεκριμένα τους μήνες Φεβρουάριο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο. Τους υπόλοιπους μήνες χρειάζεται η διασύνδεση με το ΑΣΠ Πάρου.



Σχήμα 4.25 Κάλυψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σ-3)

Ακολουθώντας στο Σχήμα 4.26 φαίνεται αναλυτικά ότι οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού κατά τη διάρκεια ενός έτους καλύπτονται κατά 31% από την απευθείας χρήση του 30% της αιολικής ενέργειας, κατά 45% από την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, κατά 20% από το δίκτυο της ΔΕΗ το οποίο έχει οριστεί εξ αρχής και υπολείπεται ακόμη ένα 4% το οποίο και δίνεται έξτρα από τη ΔΕΗ.

Η αξιοπιστία του έργου φτάνει στο 95% όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.27. Το 95% δηλαδή του χρόνου δεν χρειάζεται η επιπλέον τροφοδοσία από την ΔΕΗ. Παρά τις προσπάθειες δηλαδή για κάλυψη της ύδρευσης και άρδευσης μέσω Μ/Α η αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας δεν μειώνεται σημαντικά. Ουσιαστικά, η αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας δεν μειώθηκε καθόλου σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο με την επιχείρηση ικανοποίησης και των αναγκών της άρδευσης. Ωστόσο, είναι χρήσιμο να εξεταστεί και η αξιοπιστία της κάλυψης των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης και αν τελικά επηρεάζεται αρκετά η αξιοπιστία της ύδρευσης στην προσπάθεια εξυπηρέτησης και των αναγκών άρδευσης.



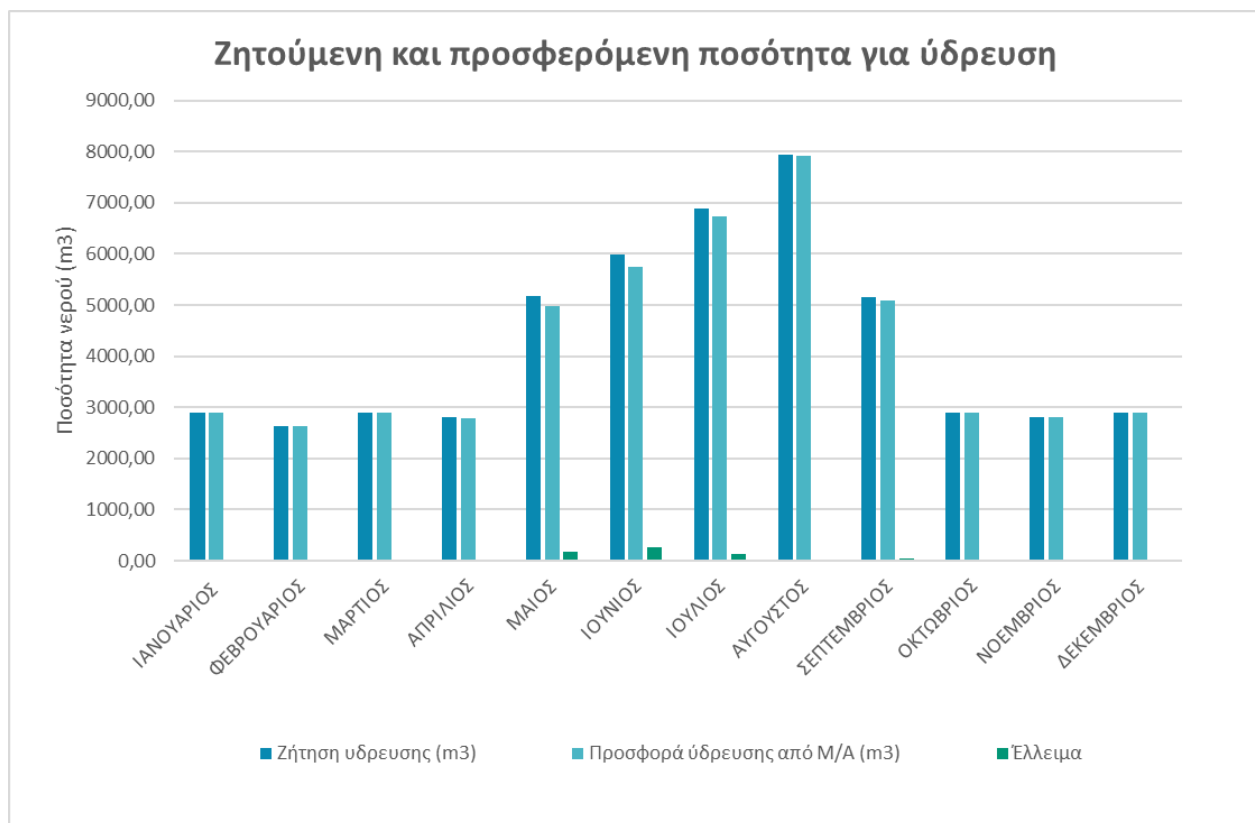
Σχήμα 4.26 Ποσοστό κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας από τις διάφορες μορφές ενέργειας (Σ-3)



Σχήμα 4.27 Ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σ-3)

Στο Σχήμα 4.28 φαίνεται η μηνιαία ζήτηση και προσφορά νερού για το έτος 2017. Όπως φαίνεται και στο σχήμα μερικούς μήνες και κυρίως του καλοκαιρινούς, Απρίλιο με Σεπτέμβριο παρατηρείται έλλειμα, δηλαδή η προσφερόμενη ποσότητα νερού δεν καλύπτει εξ ολοκλήρου την

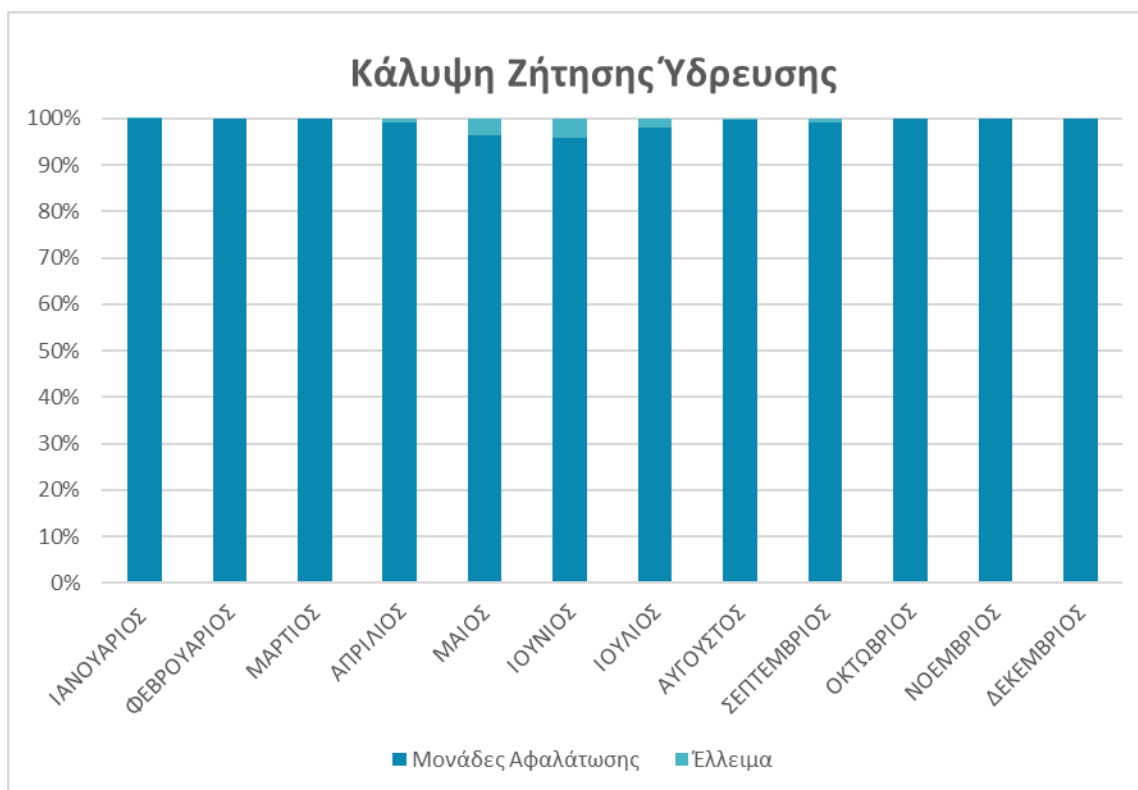
ζήτηση. Είναι αναμενόμενο να εμφανιστεί το έλλειμα αυτούς τους μήνες, δεδομένου ότι τότε οι ανάγκες σε ύδρευση είναι μεγαλύτερες λόγω τουρισμού αλλά και γιατί αυτοί οι μήνες είναι ταυτόχρονα οι μήνες που απαιτούν άρδευση.



Σχήμα 4.28 Ζητούμενη και προσφερόμενη ποσότητα νερού για ύδρευση (m<sup>3</sup>) (Σ-3)

Παρακάτω στο Σχήμα 4.29 φαίνεται η ποσοστιαία κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση. Κάθε μήνα η κάλυψη ξεπερνά το 95%, ενώ πάνω από το μισό έτος φτάνει το 100%. Στο Σχήμα 4.30 φαίνεται η αξιοπιστία ως προς την ύδρευση η οποία είναι 99%. Παρά τις προσπάθειες ικανοποίησης και τις ανάγκες ως προς άρδευση η αξιοπιστία της ύδρευσης έπεσε μόνο 1%.



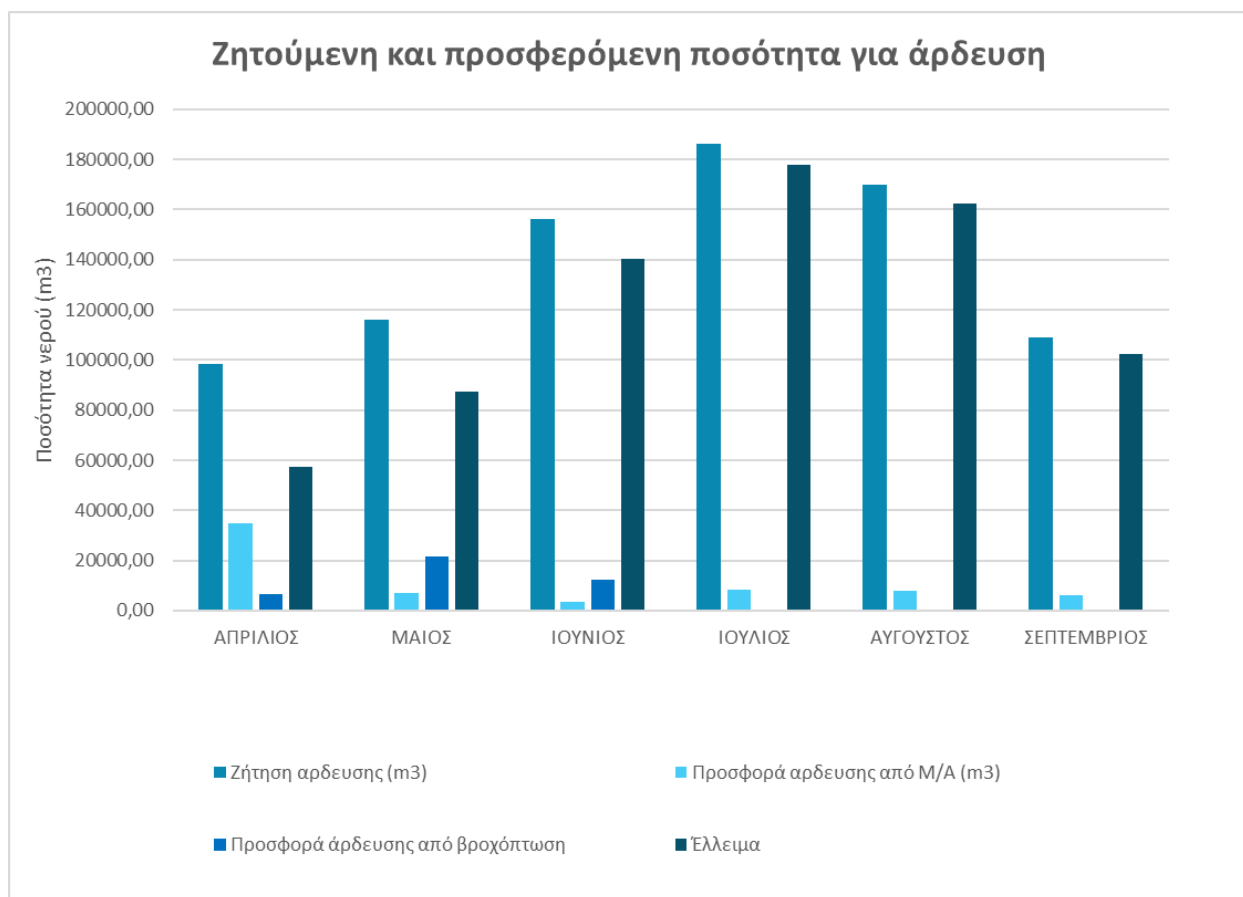


Σχήμα 4.29 Κάλυψη ζήτησης ύδρευσης (Σ-3)



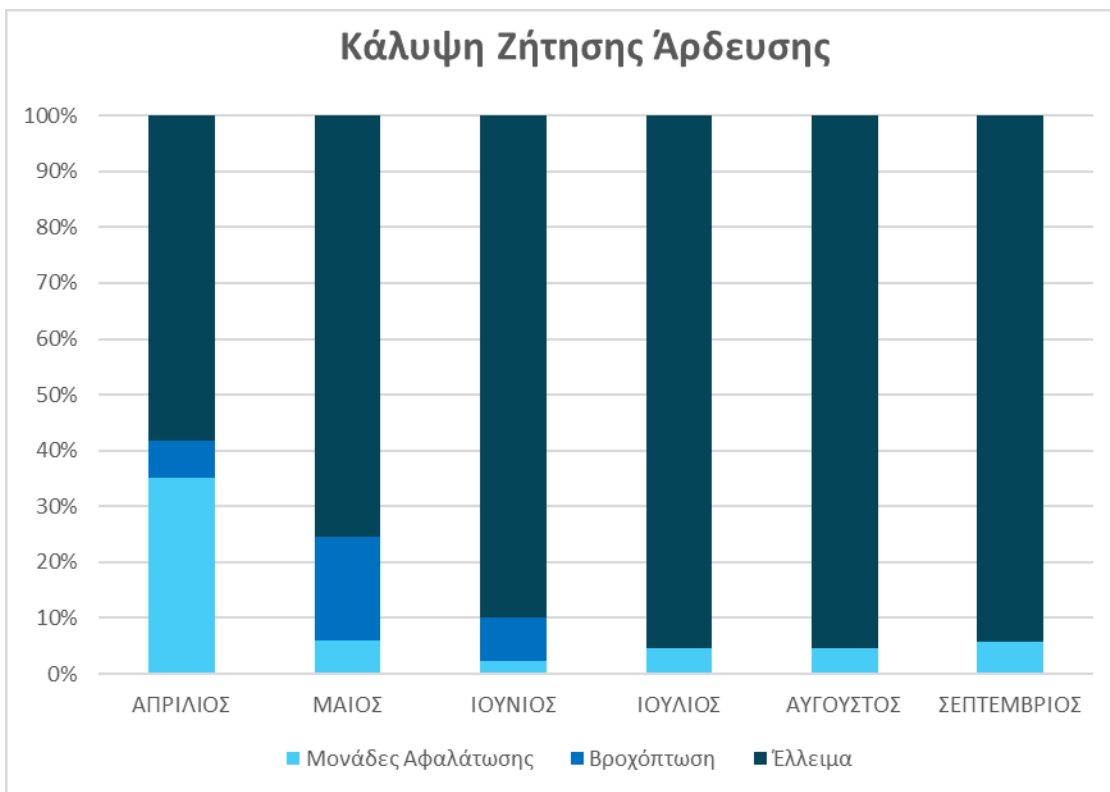
Σχήμα 4.30 Ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της συνολικής ζήτησης ύδρευσης (Σ-3)

Στη συνέχεια πρέπει να εξεταστεί και η αποδοτικότητα του έργου όσον αφορά την άρδευση. Στο Σχήμα 4.31 φαίνεται η μηνιαία ζήτηση νερού για άρδευση για το έτος 2017 όπως υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται επίσης η προσφορά νερού τόσο από τη Μ/Α όσο και από την βροχόπτωση. Όπως φαίνεται και στο σχήμα η συμβολή της Μ/Α δεν είναι τόσο σημαντική, αφήνοντας έτσι μεγάλο έλλειμμα όλους του μήνες που απαιτείται άρδευση.



Σχήμα 4.31 Ζητούμενη και προσφερόμενη ποσότητα νερού για άρδευση (m<sup>3</sup>) (Σ-3)

Παρακάτω στο Σχήμα 4.32 φαίνεται η ποσοστιαία κάλυψη των αναγκών σε άρδευση. Τους περισσότερους μήνες η κάλυψη είναι κάτω από 10% με εξαίρεση τον Μάρτιο που η κάλυψη φτάνει το 35%. Στο Σχήμα 4.33 φαίνεται η αξιοπιστία ως προς την άρδευση η οποία είναι 10%. Το 10% του χρόνου δηλαδή η Μ/Α μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες σε άρδευση. Συνεπώς με μείωση κατά 1% της αξιοπιστίας της ύδρευσης επιτυγχάνεται 10% αξιοπιστία ως προς άρδευση.



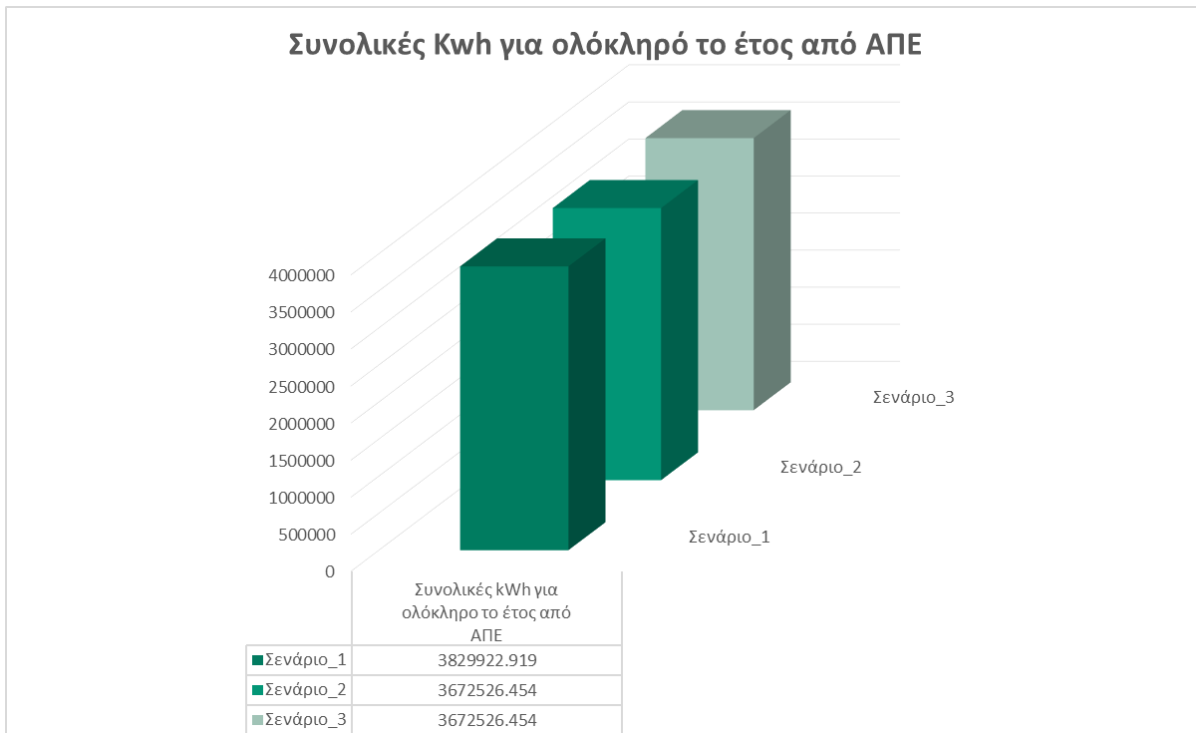
Σχήμα 4.32 Κάλυψη ζήτησης άρδευσης (Σ-3)



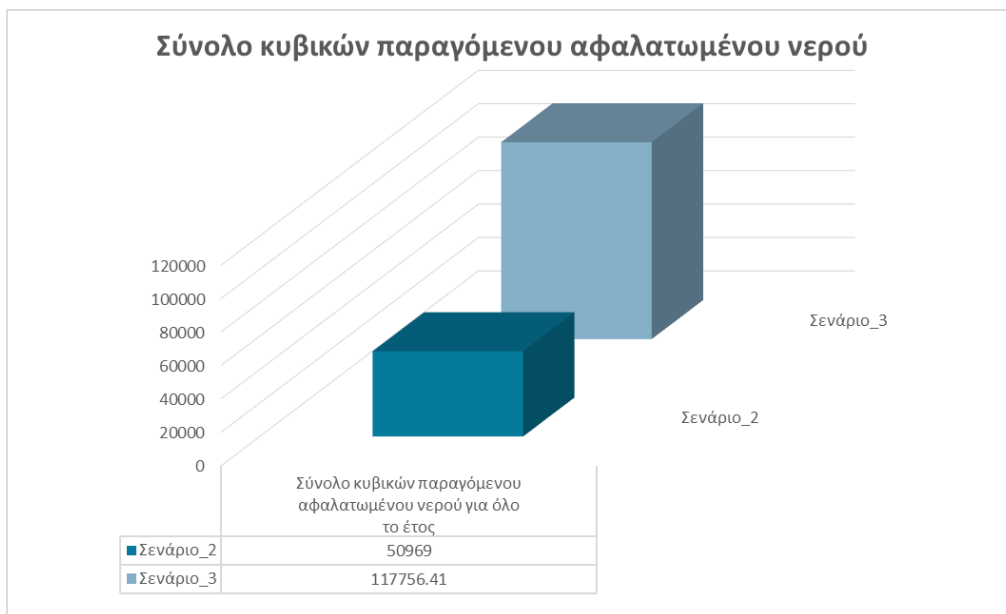
Σχήμα 4.33 Ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της συνολικής ζήτησης άρδευσης (Σ-3)

#### 4.3.4 Τελικές ποσότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και νερού

Παρακάτω παρατίθενται οι συνολικές ποσότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς και οι συνολικές ποσότητες παραγωγής αφαλατωμένου νερού για κάθε ένα από τα Σενάρια που εξετάζονται στην παρούσα ανάλυση.



Σχήμα 4.34 Συνολικές kWh για ολόκληρο το έτος από ΑΠΕ



Σχήμα 4.35 Σύνολο κυβικών παραγόμενου αφαλατωμένου νερού.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΟΦΕΛΟΥΣ

### 5.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ

Το **κεφάλαιο** αποτελεί το οικονομικό αγαθό, εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες, το οποίο έχει την ικανότητα να παράγει άλλα αγαθά.

Ο **τόκος** είναι η απόδοση (αύξηση) του κεφαλαίου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Το **επιτόκιο** είναι ο τόκος του κεφαλαίου για μια νομισματική μονάδα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Η **χρονική αξία του χρήματος (time value of money)** εκφράζει την αξία του χρήματος με βάση τον χρόνο. Ένα χρηματικό ποσό σήμερα είναι περισσότερο χρήσιμο από ένα ίσο ποσό που θα είναι διαθέσιμο στο μέλλον

**Χρηματοροή (cash flow)** είναι το χρηματικό ποσό που εισέρχεται ή εξέρχεται από μία οικονομική μονάδα (επιχείρηση, νοικοκυριό) μία χρονική στιγμή. Οι θετικές χρηματοροές αποτελούν τα έσοδα, οι αρνητικές τα έξοδα και οι καθαρές χρηματοροές είναι η διαφορά θετικών και αρνητικών χρηματοροών.

Η **Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) ή Net Present Value (NPV)** εκφράζει την αξία που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των ετήσιων καθαρών χρηματοροών που προβλέπονται σε ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα ζωής μίας επένδυσης.

$$ΚΠΑ = \left[ \sum_{\tau=1}^v \frac{KTP_{\tau}}{(1 + \varepsilon)^{\tau}} \right] - E_0 \quad (5.1)$$

Όπου:

ΚΤΡ: η καθαρή ταμειακή ροή, η διαφορά εσόδων – εξόδων σε κάθε περίοδο

$\varepsilon$ : επιτόκιο προεξόφλησης

$v$ : η διάρκεια ζωής του έργου

$\tau$ : η περίοδος προεξόφλησης

$E_0$ : η αρχική επένδυση

Ο **Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR)** εκφράζει το επιτόκιο προεξόφλησης στο οποίο η Καθαρή Παρούσα Αξία μηδενίζεται. Το επιτόκιο αυτό ( $\varepsilon$ ) αποδίδει την εσωτερική αποδοτικότητα της επένδυσης (IRR) και υπολογίζεται από την επίλυση της εξίσωσης:

$$ΚΠΑ = 0 = \left[ \sum_{\tau=1}^v \frac{KTP_{\tau}}{(1 + \varepsilon)^{\tau}} \right] - E_0 \quad (5.2)$$

Το επιτόκιο προεξόφλησης ενσωματώνει το ρίσκο που αναλαμβάνει ο επενδυτής προκειμένου να πραγματοποιήσει το έργο.

Η σχέση του IRR με το  $\varepsilon$  στην ουσία αποτελεί κριτήριο για την ανάληψη ενός έργου:

- Αν  $IRR > \varepsilon$ , σημαίνει ότι η απόδοση της επένδυσης είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση εγκρίνεται, καθώς είναι οικονομικά βιώσιμη.
- Αν  $IRR = \varepsilon$ , σημαίνει ότι είναι οριακή η απόδοση της επένδυσης και ενδεχομένως να μην αποφέρει κέρδος.

- Αν  $IRR < \varepsilon$ , σημαίνει ότι η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση απορρίπτεται, γιατί είναι ασύμφορη.

Οι **αποσβέσεις** αντιπροσωπεύουν τη σταδιακή μείωση της αξίας των πάγιων περιουσιακών στοιχείων μιας επένδυσης (κτήριο, μηχάνημα κλπ.) και θεωρητικά επιτρέπουν τη σταδιακή ανάκτηση του κόστους αγοράς των παγίων και την αντικατάσταση του μετά το τέλος της ζωής τους. Η επιβάρυνση αυτή δεν αποτελεί πραγματική ταμειακή εκροή, καθώς αυτή πραγματοποιήθηκε στον χρόνο της αγοράς τους, αλλά νόμιμη δυνατότητα μείωσης του φορολογητέου εισοδήματος. Οι συντελεστές απόσβεσης εξαρτώνται από το είδος του πάγιου περιουσιακού στοιχείου και τον χρόνο ζωής του έργου. Για παράδειγμα για στοιχεία με μικρό χρόνο ζωής οι συντελεστές απόσβεσης είναι υψηλότεροι. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων του κάθε στοιχείου πρέπει να είναι γνωστά το αρχικό κόστος επένδυσης, ο χρήσιμος χρόνος ζωής και υπολειμματική του αξία. Στην ουσία χρησιμοποιείται ένας σταθερός συντελεστής απόσβεσης στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Όταν μια επιχείρηση δικαιούται να αποσβέσει ένα ποσό σε κάποιο οικονομικό έτος (καθορίζεται νομοθετικά), τότε το ουσιαστικό της κέρδος δεν είναι το ποσό αυτό αλλά το γινόμενο αυτού με το φορολογικό συντελεστή που χρησιμοποιείται για την φορολόγηση των κερδών της. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τον ισολογισμό, το ποσό της απόσβεσης αφαιρείται από τα καθαρά κέρδη, και αφού αυτά φορολογηθούν, προστίθεται ξανά στο ενεργητικό της.

Η **περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου** ορίζεται το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να καλυφθεί η δαπάνη της αρχικής επένδυσης από τις ετήσιες ταμειακές ροές μετά των φόρων. Μια επένδυση είναι ασφαλέστερη όσο πιο μικρή είναι η περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου. Επενδυτικά σχέδια με περίοδο ανάκτησης μεγαλύτερη από 7 έως 8 χρόνια θεωρούνται ριψοκίνδυνα ή χαμηλής απόδοσης

Το **κόστος μιας επένδυσης** δεν καλύπτεται σχεδόν ποτέ αποκλειστικά από τα κεφάλια του επενδυτή. Το κόστος αυτό καλύπτεται από χρηματοδοτήσεις, όπως επιχορηγήσεις ή και δάνεια από πιστωτικά ιδρύματα. Το κεφάλαιο που δανείζεται ο επενδυτής επιστρέφεται σταδιακά με την αμοιβή του δανειστή.

Το **χρεολύσιο** είναι η επιστροφή του κεφαλαίου.

Ο **τόκος** υπολογίζεται βάσει του επιτόκιου δανεισμού και του προς αποπληρωμή κεφαλαίου και αποτελεί στην ουσία την αμοιβή του κεφαλαίου.

Η **μέθοδος αποπληρωμής ενός δανείου** γίνεται είτε με σταθερό χρεολύσιο ή με σταθερό τοκοχρεολύσιο, που αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο. Ο υπολογισμός του τοκοχρεολυσίου γίνεται με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

$$T\Delta = \frac{\varepsilon(1 + \varepsilon)^v}{(1 + \varepsilon)^v - 1} K \quad (5.3)$$

Όπου:

TΔ: η τοκοχρεωλυτική δόση

ε: το επιτόκιο δανεισμού

v: περίοδοι αποπληρωμής του δανείου (αριθμός δόσεων)

K: κεφάλαιο δανεισμού

(Δ. Καλιαμπάκος & Δ. Δαμιγός, 2008)

## 5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΈΡΓΟΥ

Τα κόστη των επιμέρους τμημάτων του έργου, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, βασίζονται σε εκτιμήσεις, έπειτα από έρευνα κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αντίστοιχων έργων.

Πίνακας 5.1 – Πίνακας εκτιμώμενων δαπανών προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού έργου

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπανών(€)
<b>1</b>	<b>Δαπάνες Μελετών-Επιβλέψεων-Αδειοδοτήσεων</b>	
	Αρχιτεκτονική, Η/Μ μελέτες, Αδειοδότηση, Επιβλέψεις	100000
<b>2</b>	<b>Μονάδα αφαλάτωσης</b>	
	Διαμόρφωση γηπέδου εγκατάστασης ΜΑ, δρόμος προσπέλασης, κατασκευή βάσεων για τον εξοπλισμό και υποδομές, περίφραξη, φωτισμός και μέτρα ασφαλείας	70000
	Φρεάτιο άντλησης θαλασσινού νερού, φίλτρο, σωλήνες προσαγωγής -επιστροφής, εργασίες στη θάλασσα, σωλήνες τροφοδότησης	60000
	Εξοπλισμός: προεπεξεργασίας, φίλτρα, αντλιοστάσια θαλ/νού νερού, δεξαμενή, containers, μονάδες αφαλάτωσης RO	500000
	Μεταφορά-εγκατάσταση εξοπλισμού	100000
	Προμήθεια περνοφόρου ανυψωτικού μηχανήματος (fork-lift)	12000
	Δοκιμές, θέση σε λειτουργία (commissioning)	25000
	Αποκατάσταση και βελτίωση περιβάλλοντος χώρου	10000
	Εκπαίδευση	10000
<b>3</b>	<b>Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί</b>	
	Αντλιοστάσιο, αντλίες, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	600000
<b>4</b>	<b>Δεξαμενές</b>	
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	100000
<b>5</b>	<b>Υδροστρόβιλος</b>	
	Πλήρης εξοπλισμός υδροστρόβιλου (Υδροστρόβιλος, μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης)	900000
	Αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	80000
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	20000
<b>6</b>	<b>Ανεμογεννήτριες</b>	
	Πλήρης εξοπλισμός ανεμογεννητριών Enercon 2 x E44 (μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης, γερανοί ανέγερσης)	1500000
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	15000
	Εκπαίδευση προσωπικού	10000
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4112000</b>
	<b>ΦΠΑ(24%)</b>	<b>986880</b>
	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ</b>	<b>5098880</b>

### 5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης, τα οποία βασίζονται σε εκτιμήσεις, έπειτα από έρευνα κόστους λειτουργίας και συντήρησης αντίστοιχων έργων.

Πίνακας 5.2 – Πίνακας εκτιμώμενων δαπανών ετήσιας λειτουργίας και συντήρησης έργου

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπανών(€)
<b>1</b>	<b>Δαπάνες Διοίκησης – Διαχείρισης Έργου</b>	
	Αμοιβή προσωπικού διαχείρισης	50000
<b>2</b>	<b>Μονάδα αφαλάτωσης</b>	
	Συντήρηση μονάδας, χημική λειτουργία και καθαρισμού, αντικατάσταση μεμβρανών	10000
	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια	30000
<b>3</b>	<b>Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί</b>	
	Συντήρηση του εξοπλισμού, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	2000
<b>4</b>	<b>Δεξαμενές</b>	
	Συντήρηση, αναλώσιμα	1000
<b>5</b>	<b>Υδροστρόβιλος</b>	
	Συντήρηση μονάδας, αναλώσιμα	4000
<b>6</b>	<b>Ανεμογεννήτριες</b>	
	Συντήρηση μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	5000
	<b>Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια</b>	30000
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>132000</b>
	<b>ΦΠΑ(24%)</b>	<b>31680</b>
	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ</b>	<b>163680</b>

Για το προκείμενο έργο θα υπάρχει κατάλληλο τμήμα διεύθυνσης και διαχείρισης, το οποίο θα είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση λειτουργίας του. Το τμήμα αυτό θα είναι υπεύθυνο για το συντονισμό του προσωπικού, τις πληρωμές αυτού, την ανάλυση στοιχείων, την προμήθεια αναλώσιμων, τον συντονισμό συντηρήσεων και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν κατά την λειτουργία του έργου.

Για την Μ/Α και τον υδροστρόβιλο χρειάζονται εκπαιδευμένοι τεχνικοί τόσο για την συντήρηση τους όσο και για τον έλεγχο ομαλής λειτουργίας τους. Το πλήθος των τεχνικών θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής αυτών σε περίπτωση αδειών ή ασθένειας, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες που είναι και οι μήνες αιχμής. Ακόμη για την Μ/Α



απαραίτητη είναι η χρήση ενός περονοφόρου οχήματος (fork-lift) για την μεταφορά αναλώσιμων και για την πλήρωση της μονάδας με χημικά. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται τρεις τεχνικοί, πλήρους απασχόλησης

Για τις 2 Α/Γ προβλέπονται αντίστοιχα 2 τεχνικοί με κατάλληλη εκπαίδευση για τον έλεγχο ομαλής λειτουργίας και τη συντήρησή τους.

## 5.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για την ανάλυση του κόστους παραγωγής χρειάζεται να οριστεί ο χρονικός ορίζοντας του έργου. Δεδομένου ότι τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα έχουν συνήθως διάρκεια ζωής 25 έτη, ο ορίζοντας του εν λόγω έργου ορίζεται στα 25 χρόνια.

Το ύψος της επένδυσης ανέρχεται στα 5.098.880 €. Για την κάλυψη αυτού του ποσού πρόκειται να δοθεί επιχορήγηση κατά 75% (3.824.160 €) από επιχειρησιακό πρόγραμμα για την προώθηση των ΑΠΕ στα νησιά, πρόκειται ακόμη να ληφθεί δάνειο για το 15% της επένδυσης (764.832 €), ενώ η ίδια συμμετοχή θα είναι το υπόλοιπο 10% (509.888 €).

Η αποπληρωμή του δανείου θα γίνει σε  $n=10$  έτη με την με την μέθοδο των ισοτοχρεολύσιων. Σύμφωνα με την Σχέση 5.3, το τοκοχρεολύσιο προκύπτει 85.146,09€ και η αποπληρωμή του δανείου θα πραγματοποιηθεί όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3- Αποπληρωμή δανείου

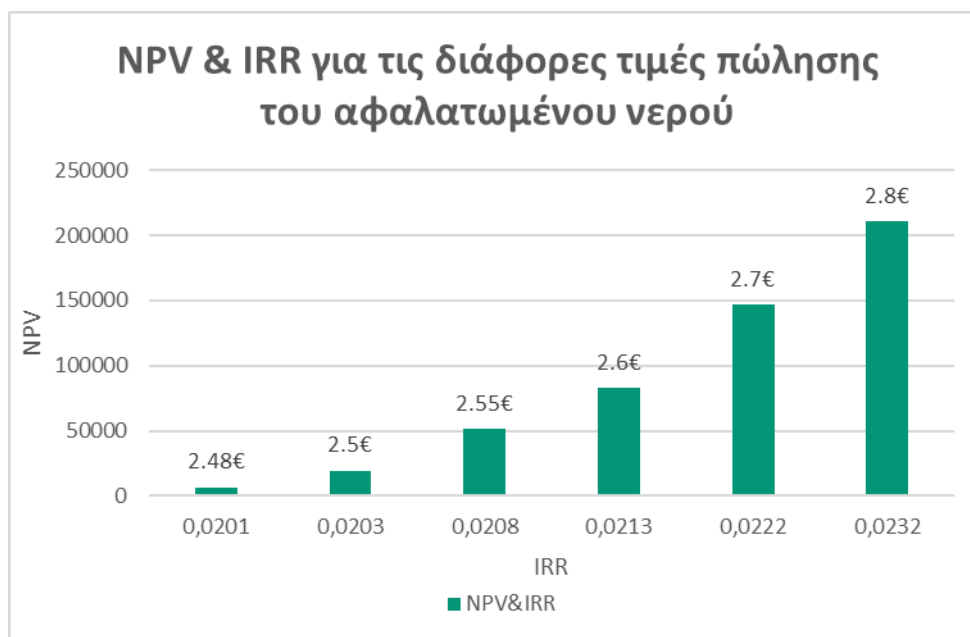
ΕΤΟΣ	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΤΟΚΟΙ	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΧΡΕΩΛΥΣΙΟΥ
0				764832
1	85146,09096	69849,45096	15296,64	694982,549
2	85146,09096	71246,43998	13899,651	623736,1091
3	85146,09096	72671,36878	12474,7222	551064,7403
4	85146,09096	74124,79615	11021,2948	476939,9441
5	85146,09096	75607,29208	9538,79888	401332,652
6	85146,09096	77119,43792	8026,65304	324213,2141
7	85146,09096	78661,82668	6484,26428	245551,3875
8	85146,09096	80235,06321	4911,02775	165316,3242
9	85146,09096	81839,76448	3306,32648	83476,55976
10	85146,09096	83476,55976	1669,5312	0
	851460,9096	764832	86628,9096	

Ο συντελεστής φορολογίας των καθαρών κερδών λαμβάνεται ίσος με 35%. Το επιτόκιο προεξόφλησης είναι 2%. Ο συντελεστής απόσβεσης είναι 10% και η απόσβεση θα γίνει στα 10 πρώτα χρόνια.

Η υπολειμματική αξία του έργου θεωρείται μηδενική. Θεωρείται ότι το κράτος παραχωρεί το δικαίωμα εκμετάλλευσης σε μια ιδιωτική εταιρεία για ορισμένο χρόνο (η οποία αναλαμβάνει την περάτωση και την αποπληρωμή του, αλλά αποκομίζει και τα όποια κέρδη απ' τη λειτουργία του) και μετά την παρέλευση του χρόνου αυτού το έργο μεταβιβάζεται πάλι στο κράτος, το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί το ίδιο το έργο ή να το παραχωρήσει πάλι σε άλλη εταιρεία.

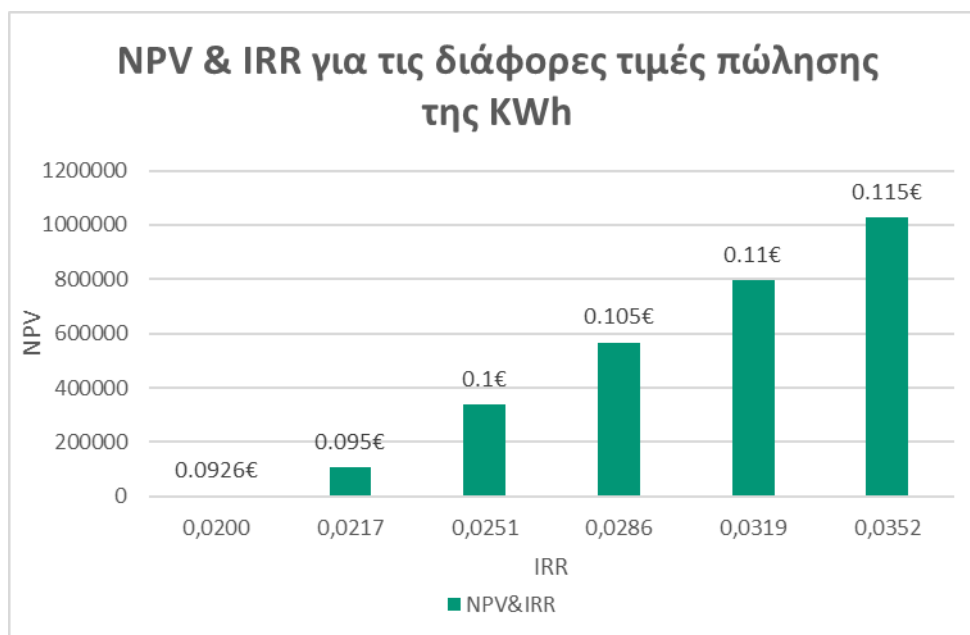
Τα έσοδα της επένδυσης προκύπτουν από την πώληση της ενέργειας και του νερού. Υπολογίζεται για το Σενάριο 2 ότι η ετήσια ενέργεια που δίνεται αποκλειστικά από ΑΠΕ, τις ανεμογεννήτριες δηλαδή και τον υδροστρόβιλο είναι: **3.672.526 kWh** και η ετήσια ποσότητα αφαλατωμένου νερού που παράγεται από τις μονάδες αφαλάτωσης ετησίως ανέρχεται στα **50.969 m<sup>3</sup>**

Η τιμή του κυβικού στη Φολέγανδρο ανέρχεται στα 10-12€ περίπου. Η Καθαρή Παρούσα Αξία στην επένδυση μηδενίζεται για τιμή στα 2.48€/m<sup>3</sup>, οπότε για την τιμή αυτή ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης ισούται με το επιτόκιο και η επένδυση είναι οριακά συμφέρουσα. Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται η αποδοτικότητα του έργου ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού μέσα από το διάγραμμα της NPV και του IRR για διάφορες τιμές του νερού.



Σχήμα 5.1 NPV & IRR για διάφορες τιμές πώλησης του αφαλατωμένου νερού

Η τιμή της κιλοβατώρας από την ΔΕΗ ανέρχεται στα 0.11€. Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία αλλά με μεταβλητή την τιμή της ενέργειας και σταθερή την τιμή του αφαλατωμένου νερού στα 3€/m<sup>3</sup> που είναι περίπου η τιμή νερού που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση, η Καθαρή Παρούσα Αξία μηδενίζεται για τιμή ίση με 0.0926€/kWh. Για την τιμή αυτή ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης ισούται με το επιτόκιο και η επένδυση είναι οριακά συμφέρουσα. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η αποδοτικότητα του έργου ανάλογα με την τιμή πώλησης της κιλοβατώρας μέσα από το διάγραμμα της NPV και του IRR για διάφορες τιμές πώλησης.



Σχήμα 5.2 NPV & IRR για διάφορες τιμές πώλησης kWh

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω σχήματα η NPV ανεβαίνει αρκετά με μικρή αύξηση της τιμής πώλησης του νερού ή της κιλοβατώρας αντίστοιχα.

Για έναν συνδυασμό πώλησης του νερού στα 3€/m<sup>3</sup> και του ρεύματος στα 0.11€/kWh η NPV προκύπτει περίπου στα 800.000€. Με κατάλληλη βελτιστοποίηση μπορεί να καθοριστεί ο πλέον συμφέρων συνδυασμός τιμών πώλησης.

Πέραν όμως του χρηματικού κέρδους που προσφέρει αυτή η επένδυση δεδομένου ότι με ίδια τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας το κόστος του νερού μπορεί να πέσει στο ¼ του σημερινού του κόστους, δεν πρέπει να αμεληθούν και τα περιβαλλοντικά οφέλη καθώς και η ενεργειακή αυτονομία που χαρίζει το παρόν υπό μελέτη έργο.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΕΣΜΑΤΑ

---

### 6.1 ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε η παρουσίαση των διάφορων μορφών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η βιβλιογραφική επισκόπηση διάφορων υβριδικών έργων με ΑΠΕ καθώς και της διαδικασίας αφαλάτωσης. Τέλος μορφώθηκε μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ενός Υβριδικού Συστήματος με 2 Α/Γ, 1 αντλητικό σταθμό 2 Μ/Α και 1 υδροστρόβιλο στη Φολέγανδρο και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα του συστήματος ως προς την κάλυψη ηλεκτρικών, υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

Γενικά συμπεράσματα:

- Οι περιβαλλοντικές συνέπειες από τη καύση συμβατικών καυσίμων και κυρίως η ρύπανση και η κλιματική αλλαγή καθώς και ο κίνδυνος εξάντληση τους, έχουν οδηγήσει στην αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και στην ανάπτυξη Υβριδικών Συστημάτων με χρήση ΑΠΕ.
- Το πλούσιο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας και κυρίως του νησιωτικού της τμήματος την καθιστά κατάλληλο τόπο για την εγκατάσταση Υβριδικών Συστημάτων με βάση την αιολική ενέργεια.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εγκατάστασης υβριδικών έργων όπως είναι οι αλλαγές του φυσικού τοπίου, αντισταθμίζονται από τα οφέλη λειτουργίας τους και από τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.
- Τα υβριδικά έργα διαθέτουν την δυνατότητα τόσο να εγκατασταθούν ως ανεξάρτητα συστήματα όσο και να ενταχθούν σε υπάρχοντες σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συμβατικές μορφές ενέργειας, με τις κατάλληλες παρεμβάσεις.
- Η μέθοδος της αφαλάτωσης συμβάλει σημαντικά στο πρόβλημα έλλειψης νερού και αυτό γίνεται κατανοητό και από την ραγδαία ανάπτυξη της σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες.
- Η αντίστροφη ώσμωση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αφαλάτωσης λόγω της χαμηλής της κατανάλωσης σε ενέργεια και της συμβατότητας της με Φ/Β ή Α/Γ.
- Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να εκμεταλλευτούν τόσο συμβατικές όσο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο όλες οι μέθοδοι δεν είναι συμβατές με όλες τις μορφές ΑΠΕ.

Τα κυριότερα συμπεράσματα από την ανάλυση του υπό μελέτη Υ/Σ συνοψίζονται στα εξής:

- Ο πληθυσμός του νησιού αυξάνεται τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουρισμού, αυξάνοντας παράλληλα και τις ζητήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια και ύδρευση.
- Τους μήνες Απρίλη με Σεπτέμβρη οι ζητήσεις σε αφαλατωμένο νερό είναι ακόμη πιο αυξημένες, δεδομένου ότι πρόκειται για την περίοδο άρδευσης.
- Η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια σε ημερήσιο επίπεδο παρατηρείται πιο αυξημένη κατά τις απογευματινές-βραδινές ώρες.
- Οι αιχμές στην ύδρευση σε ημερήσιο επίπεδο παρατηρούνται κατά τις πρωινές και τις βραδινές ώρες.

- Σε τοπικό επίπεδο η εγκατάσταση ΥΕ προσφέρει σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας όλο τον χρόνο με αποφυγή εκπομπών ρύπων και διακοπών ρεύματος.
- Στο Σ-1 που δεν απαιτείται ενέργεια για την αφαλάτωση νερού, γίνεται σχεδόν πλήρη κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Στο Σ-1 ο μόνος μήνας που απαιτείται περεταίρω σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ είναι ο Ιανουάριος και αυτό γιατί η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού στην αρχή του έργου είναι άδεια και δεν υπάρχει πάντα ο απαιτούμενος όγκος για την λειτουργία του υδροστροβίλου.
- Στο Σ-2 η αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται στο 95% εξαιτίας την προσφοράς ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης. Πρακτικά όσο τροφοδοτείται η μονάδα αφαλάτωσης τόσο μειώνονται τα αντλούμενα κυβικά προς τον άνω ταμιευτήρα. Επομένως υπάρχει πτώση της αξιοπιστίας ως προς την κάλυψη των Ηλεκτρικών Αναγκών.
- Η δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης εξυπηρετεί τις ανάγκες σε ύδρευση του νησιού προσφέροντα αξιοπιστία που φτάνει το 100% (Σ-2)
- Από το Σ-3 συμπεραίνεται ότι οι Μ/Α που μελετώνται για εγκατάσταση δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης. Η δυναμικότητάς τους είναι ανεπαρκής.
- Ακόμη όμως και με ανεπαρκή δυναμικότητα μονάδων αφαλάτωσης για άρδευση με μείωση μόνο κατά 1% της αξιοπιστίας της ύδρευσης, καλύπτεται η άρδευση κατά 10%.
- Στο Σ-3 παρατηρείται ότι δεν μειώνεται καθόλου η αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι δεν αυξάνεται η δυναμικότητα των Μ/Α που λειτουργούν. Άρα με μηδενική μείωση της αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης επιτυγχάνεται 10% κάλυψη των αναγκών άρδευσης.
- Από την ανάλυση κόστους- οφέλους προκύπτει ότι με τιμή πώληση της kWh στα ίδια επίπεδα με αυτά τη ΔΕΗ μπορεί να μειωθεί μέχρι και στο ¼ η τιμή του νερού.
- Αν αυξηθεί η τιμή πώλησης του νερού και της kWh έστω και σε μικρό βαθμό από την τιμή στην οποία μηδενίζεται η ΚΠΑ, η ΚΠΑ αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό.

## 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

Με βάση την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής και σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προέκυψαν έχουν προκύψει ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω μελέτη και ανάλυση.

Καταρχάς προτείνεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας και σε άλλα νησιά της Ελλάδας διασυνδεδεμένα και μη καθώς και σε οικισμούς και κοινότητες συμβάλλοντας έτσι στην τοπική ανεξαρτησία από το δίκτυο της ΔΕΗ αλλά και στο συνολικό ισοζύγιο της χώρας αυξάνοντας την συμβολή των ΑΠΕ.

Ακόμη θα ήταν ενδιαφέρον η ανάλυση των αποτελεσμάτων να γινόταν με χρήση ανεμολογικών δεδομένων του ίδιου νησιού μελέτης και όχι του γειτονικού της Ίου δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εξαγωγής ακριβέστερων αποτελεσμάτων.

Επιπλέον ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η διαστασιολόγηση των μεγεθών των ταμιευτήρων θαλασσινού και αφαλατωμένου νερού καθώς και η λεπτομερής χωροθέτηση των επι μέρους εγκαταστάσεων.

Για μελλοντική μελέτη θα μπορούσε επίσης να αναλυθεί και εφαρμογή μονάδων αφαλάτωσης μεγαλύτερης δυναμικότητας με σκοπό την πλήρη κάλυψη και των αναγκών της άρδευσης.

Τέλος θα μπορούσε ακόμη να δημιουργηθούν συνθετικές χρονοσειρές ανέμου, πληθυσμού, αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης και άρδευσης, με σκοπό την πρόβλεψη της μελλοντικής απόκρισης του έργου και την ακριβέστερη ανάλυση κόστους-οφέλους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

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

Γεωργοπούλου Μ., Αφαλάτωση με ΑΠΕ σε άνυδρα ελληνικά νησιά, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013.

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

Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν. & Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις στην Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα, Βασικές Αρχές Ενεργειακής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2019.

Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν. & Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις στην Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα, Υδροηλεκτρική Ενέργεια-Γενικές Διατάξεις Υδροηλεκτρικών Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2019.

Καβαδίας Κ.Α., Καλαφάτης Ε., Ζαφειράκης Δ.Π., Καλδέλλης Ι.Δ., Ανάλυση Τεχνικής Αξιοπιστίας εν Λειτουργία Ανεμογεννητριών στην Ελλάδα, Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Πειραιά, Αθήνα, 2010.

Καβαδίας Κ.Α., Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Υβριδικές Εγκαταστάσεις Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα, 2005.

Καραχάλιου, Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010.

Κατσιγιάννης Γ., Ανεμογεννήτριες, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων, ΤΕΙ Κρήτης [http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files%20/HPIESI\\_Pres\\_02\\_Wind\\_Turbines.pdf](http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files%20/HPIESI_Pres_02_Wind_Turbines.pdf) (Ανάκτηση 5/10/19)

Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α. και Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις στην Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα, Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2017.

Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α. και Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις στην Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα, Αιολική Ενέργεια- Ηλιακή Ενέργεια- Βιομάζα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2018.

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.Α., Αργυρίου Α.Α., Καραγιάννης Φ.Ε., Συμβατικές & Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Εκδόσεις ΤεκΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2006.

Μπαλάς Ε., Εξαμυσοδιαπνοή, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα, 2012.

Μπρέτσιου Μ.Μ., Αξιολόγηση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στους Φούρνους Κορσέων, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016.

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

Νικητάκος Ν., Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Θαλάσσιο Περιβάλλον, Εκδόσεις Σιδέρη, 2008.

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

Παπαντώνης, Δ., Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2008.

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

Ροντήρης Σ., Δντης Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων, Ο ρόλος των ΑΠΕ και των Υβριδικών Συστημάτων στο μετασχηματισμό της ενεργειακής Αγοράς, ΔΕΗ Ανανεώσιμες, 2017

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

Σαρρής Μ.Δ., Αξιολόγηση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Νήσο Πάτμο, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2018.

Bertsiou M., Feloni E., Baltas E., Cost-benefit analysis for a Hybrid renewable energy system in Fournoi Island, 2016.

Ghaffour N., Missimer T.M., Amy G.L., Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability, Desalination, 2013.

Katsaprakakis D.A., Hybrid power plants in non-interconnected insular systems, Applied Energy, 2016.

Panagopoulos A., Process simulation and techno-economic assessment of a zero liquid discharge/multi-effect desalination/thermal vapor compression (ZLD/MED/TVC) system, International Journal of Energy Research, 2020.

Panagopoulos A., Haralambous K-J., Loizidou M., Desalination brine disposal methods and treatment technologies-A review, Science of The Total Environment, 2012.

Warsinger D., Mistry K., Nayar K., Chung H., Entropy generation of desalination powered by variable temperature waste heat, Entropy, 2015.

Zotalis K., Diolynas E., Mammasi N., Angelakis A., Desalination Technologies: Hellenic Experience, Water, 2014.

Γεωπληροφοριακός χάρτης Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας: <http://www.rae.gr/site/> (προσπέλαση 5/2/2020)

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: <http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology> (προσπέλαση 28/4/2020)

Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr/> (προσπέλαση 25/11/2019)



Ιστοσελίδα Φολεγάνδρου: <https://www.folegandros.gr/> (προσπέλαση 3/2/2020)

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας:  
<http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm> (προσπέλαση 15/4/2020)

Μετεωρολογικός σταθμός Ιου: <http://penteli.meteo.gr/stations/ios/> (προσπέλαση 28/4/2020)

Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου <http://www.pnai.gov.gr/Arthro.aspx?a=9344> (προσπέλαση 29/4)

Φιλότης- Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/>  
(προσπέλαση 27/4/2020)

Meteo Διαδραστική Βάση Δεδομένων <https://meteosearch.meteo.gr/default.asp> (προσπέλαση  
15/4/2020)