

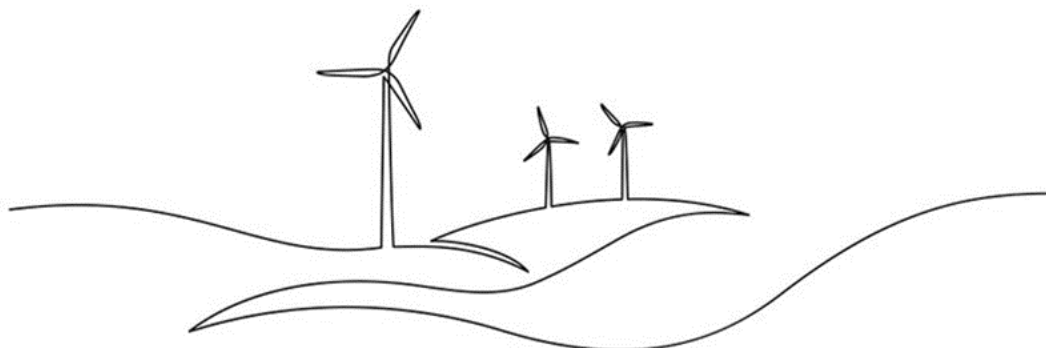


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΛΜΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΑΜΟΡΓΟ**



Καφάσης Κωνσταντίνος

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΛΜΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΤΗΣ ΑΜΟΡΓΟΥ**

Καφάσης Κωνσταντίνος

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

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Καφάσης Κωνσταντίνος,

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περιεχόμενα

Περίληψη	
Extended Abstract.....	i
Introduction.....	i
Study Area	i
Methodology	ii
Results	xiii
Conclusions.....	xvii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενική Αναφορά.....	1
1.2 Αντικείμενο Εργασίας.....	3
1.3 Διάρθρωση Εργασίας.....	3
2. Υβριδικά Συστήματα	5
2.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα	5
Ορισμός και Λειτουργία Υβριδικών Συστημάτων	5
2.2 Παραδείγματα Αυτόνομων Υβριδικών Σταθμών στον Ελλαδικό Χώρο.....	14
2.3 Αναγκαιότητα Υβριδικών Συστημάτων στον Ελλαδικό Χώρο	15
3. Αφαλάτωση.....	17
3.1 Η Ανάγκη για Νερό	17
3.2 Λειτουργία και Μέθοδοι Μονάδων Αφαλάτωσης	17
3.3 Διαχείριση άλμης.....	25
3.3.1. Χαρακτηριστικά και μέθοδοι διαχείρισης.....	25
3.3.2. Ανάκτηση και αξιοποίηση άλμης	26
4. Περιοχή Μελέτης Νήσου Αμοργού	31
4.1 Γεωγραφικά Στοιχεία.....	31
4.2 Μορφολογικά Στοιχεία.....	31
4.3 Ιστορικά Στοιχεία	32
4.4 Μετεωρολογικά – Κλιματολογικά Στοιχεία.....	32
4.5 Φυσικό Περιβάλλον.....	34
4.6 Δημογραφικά Στοιχεία.....	38
4.7 Υποδομές	40

4.8	Οικονομικά Στοιχεία	44
4.9	Κίνδυνοι και Προβλήματα του Νησιού	48
5.	Μεθοδολογία.....	51
5.1	Εισαγωγή Τεχνική - Περιγραφή Έργου	51
	Εξεταζόμενα Σενάρια Λειτουργίας Έργου	51
5.2	Επεξεργασία Ανεμολογικών Δεδομένων.....	55
5.3	Εκτίμηση Υδρευτικών, Αρδευτικών και Ενεργειακών Αναγκών	59
5.3.1.	Εκτίμηση Πληθυσμιακής Αύξησης	59
5.3.2.	Υδρευτικές, Αρδευτικές και Κτηνοτροφικές Υδατικές Ανάγκες.....	62
5.4	Αρχικά Χαρακτηριστικά των Μονάδων	71
5.5	Υπολογιστική Διαδικασία Μεγέθους Μονάδων.....	80
6.	Οικονομική Ανάλυση	84
6.1	Κόστη μονάδων	84
6.2	Δείκτες Οικονομικής Ανάλυσης.....	89
6.3	Χρηματοδότηση	92
7.	Αποτελέσματα	93
7.1	Εκτιμήσεις μεγέθους Μονάδων και Δεξαμενών	93
7.1.1.	Σενάριο 1 ^ο	93
7.1.2	Σενάριο 2 ^ο	104
7.1.3.	Σύγκριση Σεναρίων.....	116
7.2	Οικονομική Ανάλυση.....	117
7.2.1.	Σενάριο 1 ^ο	118
7.2.2.	Σενάριο 2.1 – Χωρίς Πώληση Παραγόμενης Άλμης	125
7.2.3.	Σενάριο 2.2 – Πώληση Παραγόμενης Άλμης.....	132
7.2.4.	Σύγκριση Σεναρίων.....	135
8.	Συμπεράσματα.....	136
9.	Βιβλιογραφία	138

Περίληψη

Τα απομακρυσμένα ελληνικά νησιά παρουσιάζουν συγκεκριμένες υδατικές ελλείψεις που σε συνδυασμό με την χρήση ρυπογόνων σταθμών παραγωγής ενέργειας καθιστούν σημαντικά προβλήματα. Αυτά τα νησιά τα οποία λόγω της απομακρυσμένης τοποθεσίας τους αποτελούν τόπο έλξης για πολλούς τουρίστες και είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ανάπτυξη του τριτογενή τομέα της χώρας. Αυτή όμως η αύξηση του τουρισμού τα τελευταία χρόνια οδηγεί σε απότομες αλλαγές των υδατικών και ενεργειακών αναγκών. Ταυτόχρονα, η έλλειψη υδατικών πόρων συρρικνώνει τον πρωτογενή τομέα και οδηγεί στην μονομερή ανάπτυξη του τόπου καθώς παρατηρείται αποκλειστική στροφή προς τον τουρισμό. Η κάλυψη των υδατικών αναγκών καλύπτεται με μεταφορά νερού μέσω δεξαμενόπλοιων από την ηπειρωτική χώρα, γεγονός που αυξάνει ραγδαία το κόστος νερού. Η ενεργειακή ζήτηση από την άλλη, καλύπτεται από αυτόνομους τοπικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας που καταναλώνουν συμβατικό καύσιμο, γεγονός που οδηγεί σε ρύπανση του περιβάλλοντος και στην ενεργειακή εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, συνεπώς και σε ένα εξαρτώμενο κόστος ενέργειας.

Είναι απαραίτητο λοιπόν γίνει εισαγωγή των «πράσινων» μορφών ενέργειας για την μεγαλύτερη δυνατή μείωση των συμβατικών καυσίμων, και την κατά μέρους ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση. Τα ελληνικά νησιά αποτελούν πρόσφορο έδαφος για αυτές τις τεχνολογίες καθώς χαρακτηρίζονται από ισχυρά αιολικά δυναμικά, και συνεπώς η τοποθέτηση μίας πολύ ώριμης «πράσινης» μορφής ενέργειας –αυτή των ανεμογεννητριών– αποτελεί την βάση μία τέτοιας αρχής στο ενεργειακό ισοζύγιο. Σε περαιτέρω διεύρυνση των «πράσινων» τεχνολογιών στο ενεργειακό πρόβλημα, τα τελευταία χρόνια έρχονται στο προσκήνιο όλο και περισσότερο τα υβριδικά συστήματα. Οι ανεμογεννήτριες αν και μπορούν να προσφέρουν άμεση διείσδυση στις ενεργειακές καταναλώσεις, χαρακτηρίζονται από τυχαιότητα και συνεπώς δεν είναι δυνατή η πρόβλεψη της ενεργειακής παραγωγής από αυτές. Τα υβριδικά συστήματα προσφέρουν την δυνατότητα της αποθήκευσης ενέργειας, γεγονός που αυξάνει την ενεργειακή διείσδυση των Α.Π.Ε., και την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας. Το βασικό σκεπτικό είναι ότι οι μονάδες Α.Π.Ε. παράγουν περίσσεια ενέργειας που δεν χρειάζεται το σύστημα, και συνεπώς θα ήταν εύλογο να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. Η περίσσεια ενέργεια οδηγείται σε μονάδες αποθήκευσης, που μπορεί να είναι μπαταρίες ή δεξαμενές νερού ενός συστήματος αντλησοταμίευσης.

Το πρόβλημα των υδατικών πόρων από την άλλη καλείται να καλύψουν οι μονάδες αφαλάτωσης, μια ώριμη τεχνολογία που έχει πολλές εφαρμογές στον ελλαδικό χώρο. Η εκμετάλλευση του θαλασσινού νερού στα νησιά καθιστά την αφαλάτωση εύκαιρη λύση στο υδατικό πρόβλημα. Σε συνδυασμό με τις μονάδες Α.Π.Ε. που είναι δυνατόν να υποστηρίξουν τις μονάδες αφαλάτωσης, ένα υβριδικό σύστημα με μονάδες αφαλάτωσης

αποτελεί την καλύτερη δυνατή λύση στα προβλήματα των άνυδρων απομακρυσμένων νησιών.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη, ο υπολογισμός, η προσομοίωση και η τελική αξιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος με μονάδες αφαλάτωσης. Το έργο τοποθετείται στο άνυδρο νησί της Αμοργού το οποίο χαρακτηρίζεται από όλα τα παραπάνω προβλήματα των απομακρυσμένων νησιών που αναφέρθηκαν, και το εύρος λειτουργίας του έργου είναι 25 έτη. Συγκεκριμένα, το έργο αποτελείται από ένα αιολικό πάρκο, δυο δεξαμενές, αντλιοστάσιο, υδροστρόβιλο, μονάδα αφαλάτωσης για επεξεργασία του θαλασσινού νερού. Για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα μελετηθεί και ένα διαφορετικό σενάριο, κατά το οποίο θα γίνεται επεξεργασία της άλμης. Στο αρχικό σενάριο η παραγόμενη άλμη όπως συνηθίζεται, απορρίπτεται στο θαλασσινό υδατικό περιβάλλον, με κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η αρχή του έργου γίνεται με την απόκτηση και μελέτη των μετεωρολογικών δεδομένων και τις ενεργειακές και υδατικές ανάγκες του νησιού. Με την εκτίμηση της πληθυσμιακής αύξησης και των ενεργειακών και υδατικών καταναλώσεων των κατοίκων από τα προηγούμενα χρόνια γίνεται μία εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών. Εν συνεχεία, για την εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ, επεξεργάζονται τα ανεμολογικά δεδομένα και παράγονται τυχαιές χρονοσειρές για τις ταχύτητες τους ανέμου. Με την υδατικές καταναλώσεις υπολογίζονται και οι μονάδες αφαλάτωσης.

Τέλος, γίνεται οικονομική ανάλυση του έργου και στα δύο σενάρια, ώστε να διαπιστωθεί εάν είναι οικονομικά βιώσιμο και εφαρμόσιμο.

Extended Abstract

Introduction

Greece is characterized by a large number of remote islands. Many of them are faced with extreme water shortages, especially in the summer months. The solution provided by the government is tankers that carry water from the mainland, but at a very high cost which is around 10€/m³. This approach, not only makes the island's water dependable, but also increases the overall municipal costs, and cuts the development of the primary sector.

In addition, these remote islands are also depended on autonomous power stations to satisfy their energy needs. These autonomous systems usually consume conventional fuels, like diesel or mazut, which are harmful to the environment.

Taking the above into consideration, it is clear that a new approach is needed to cover the water and energy needs.

The use of Renewable Energy Sources (RES) as part of a hybrid system is very intriguing, as the wind potential of these islands is quite high, and the energy provided by the RES combined with desalination methods is considered to be a more viable and affordable solution.

The objective of this undergraduate thesis is to develop a model to simulate the operation of such a solution for the island of Amorgos and will be consisted of a hybrid system - including wind turbines and a hydropower plant –, and a desalination unit. In a second scenario, a brine processing unit will be added to the model to minimize the environmental impacts, with the possibility of financial exploitation of the produced brine also being explored.

Study Area

The island of Amorgos belongs to the Cyclades Island group, located in the Aegean Sea. It is located 222km far from Piraeus and the total surface of the island is about 121km². It has an elongated shape with a length of 32km and an SW-NA orientation. The island is morphologically divided into two parts. The first part is located in the east, with three main mountain tops, Krikelos, Profitis Ilias, and Korakas, while the west part is characterized by small valleys and bays.

The climate of Amorgos is Mediterranean, with mild winters and dry, warm summers. The annual rainfall depth is approximately 411mm. The wind direction is mainly N-NW with an annual frequency of approximately 69%.

Certain parts of the island have been included in the natural environment protection program NATURA 2000, to protect and preserve the flora and fauna of sea and land habitats.

According to the last population census in 2011, the population of the Island is estimated at 1950 inhabitants. The island has a port authority, a police department, a post office, and basic municipal services. The total length of the road network is about 50km, and a 10km road is for agricultural use.

The energy needs of Amorgos Island are covered by six power generation units that consume diesel, with a maximum power of 5.28MW and minimum power of 2.99MW. The water needs are covered by water transferred from the mainland and the boreholes and wells found on the island. The average annual water quantity traded is 138.000m³. The energy needs can be obtained by the Operator of the Hellenic Electricity Distribution Network on an annual basis.

Methodology

To resolve the water and energy problem, a system based on renewable energy sources as part of a hybrid system will be combined with a desalination plant, and on a secondary basis, a brine processing unit. The hybrid plant consists of wind turbines, a hydropower plant, and the existing diesel units. The size and number of the wind turbines as well as the size of the desalination and brine processing unit will be decided by the running model, taking into account the energy and water needs of the island. Two tanks of water will be required to store the water for the hydropower plant. An additional tank will be used to store the water produced for agricultural needs, while the water for urban needs will be stored in the existing municipal tanks. The energy provided by the wind turbines for the energy needs of the island has a penetration coefficient of approximately 30%. The coefficient exists to protect the system from instability, as in the case of low energy production by the wind turbines, the diesel engines cannot immediately cover the energy needs. In contrast, the total energy needs of the desalination and brine processing units can be covered by the wind turbines as their operation can be paused for the diesel engines to gradually increase energy production in case of lower energy production by the wind turbines. Therefore, a penetration coefficient, in this case, is not necessary. The basic concept of the system developed in this study is primarily to produce clean water for urban needs, on a second basis to cover energy needs and on a third basis to produce water for agricultural use. The energy produced by the wind turbines is used to cover the needs of the desalination plant. The remaining energy is then used to cover the urban energy needs with a penetration coefficient of 30% as mentioned above. In the case that there is still an excess of energy, it is used to pump and store water for the use of the hydropower plant. In times of energy deficiency, the hydropower plant drops water for the hydro turbine to produce energy that is then used to support the system. If the energy produced by the hydro turbine is not adequate, the

desalination and brine processing units will stop their operation for agricultural water needs. The lifetime of the overall system containing the hybrid system and the desalination and brine processing units is considered to be 25 years.

The first stage of the methodology starts with collecting the original data. The original data that must be obtained is:

- Water and energy needs are based on the population for every month of the year.
- Agriculture water needs, are mostly based on the existing crops and livestock.
- Wind speed series of at least ten years.
- The average monthly temperature and rainfall for the island.

From the above, there can be an estimation of the future water and energy needs for the next 25 years. Moreover, with the obtained historic wind speed series, a synthetic time series of wind speed for the next 25 years can be created (25 series of 1 year each).

By using the water and energy needs and the synthetic time series for wind speed, the basic characteristics and sizes of the units can be estimated. First of all, as the urban water need is the first need to be covered, the size of the desalination unit is first calculated. Then, an initial estimation is made for the parameters of the wind turbines and the hydropower plant. The number and size of the units can be changed based on the desirable outcomes. With the initial unit parameters calculated, the results that should be expected are:

- Percentage of urban water reliability.
- Percentage of energy coverage.
- Percentage of agricultural water reliability.
- Percentage of energy penetration for the RES.

Finally, a financial analysis will determine the viability of the examined scenarios. The analysis consists of 6 indicators:

- N.P.V.-Net Present Value.
- I.R.R.- Internal Rate of Return.
- Payback Period.
- Discounted Payback Period.
- R.O.I.- Return of Investment.
- R.O.E.- Return of Equities.

Depending on the above percentages and the financial viability of each scenario, it can be determined if the scenarios are viable and reliable for investment.

A. Estimation of Water and Energy needs.

To estimate the water and energy needs for the following years, the population growth must be determined, as it is the basic factor of the above needs. Considering that the population follows a geometric growth, it can be estimated by the equation:

$$P_i = a * P_{i+1}$$

Where $\alpha=1+\gamma$ and $\gamma = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}}$.

P_i expresses the population during year i , while γ expresses the variation of the population (Tsakiris 2010).

Knowing the population for the next 25 years, the water and energy needs can be determined.

The urban water needs were calculated qualitatively as there is no database for monthly consumption for the island. Therefore, the water consumption per monthly period was estimated via gathering data from the transferred water quantities to the island, the quantities from the drillings as well as the water consumption of other Greek Islands. The numbers are satisfactory so that the average water consumption for each person is estimated at 180 l/day. Therefore, the values for monthly consumption for the maximum water demand, i.e., the last year of the project (25th year), are obtained. The results are presented in Figure 1.

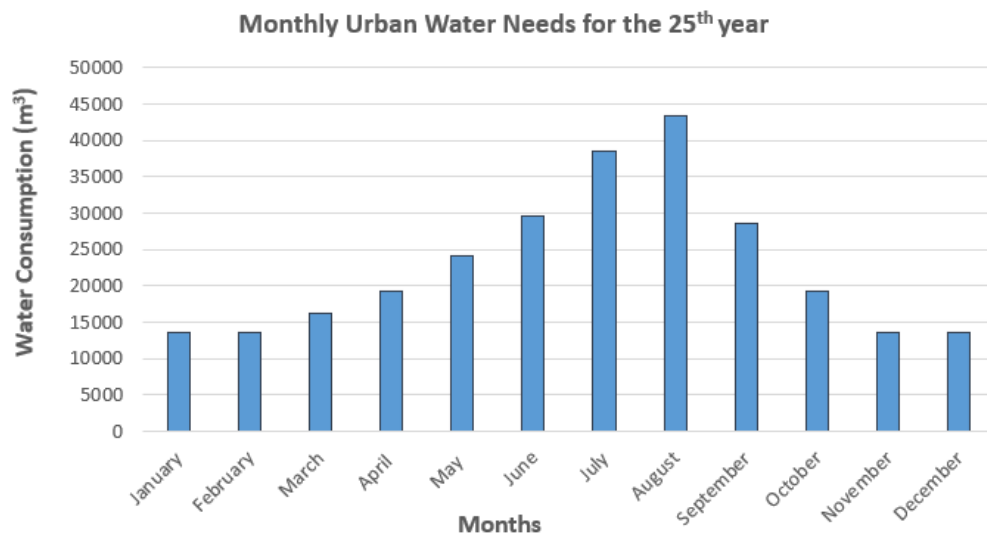


Figure 1. Monthly Water Needs for the 25th year.

Regarding energy needs, energy consumption for every year has been obtained by the Hellenic Electricity Distribution Network Operator for the years 2012-2019. Considering the

energy consumption and needs of other Greek islands in the Aegean Sea, an estimation has been made for the daily energy consumption per resident of Amorgos Island, for every month. Therefore, by multiplying the estimated energy consumption per resident by the population, the daily energy needs can be obtained. The results are presented in Figure 2.

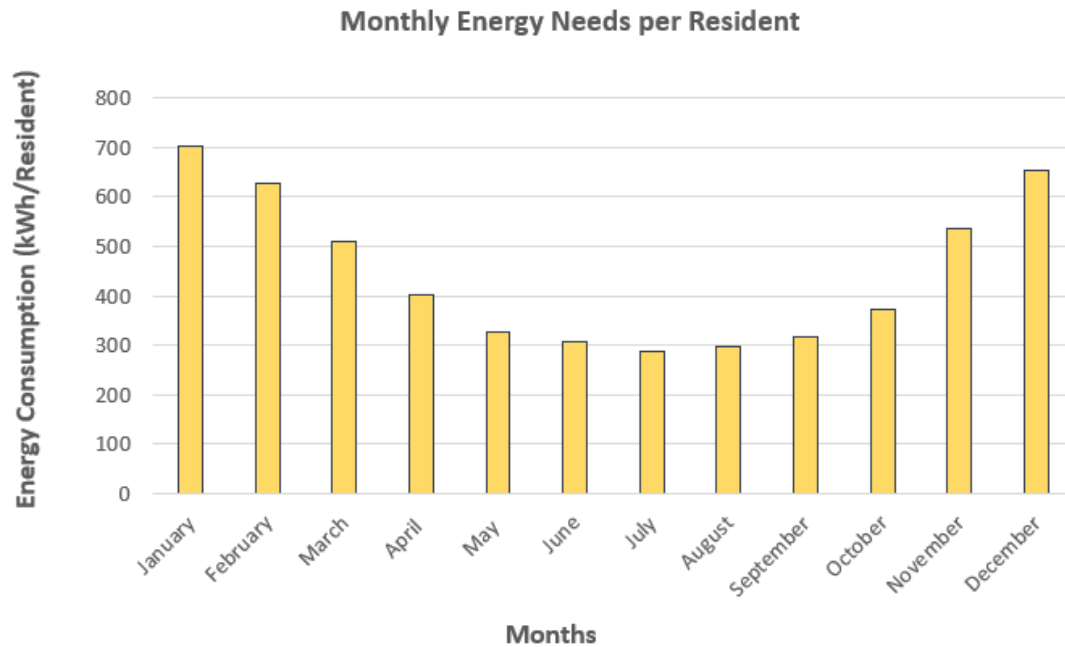


Figure 2. Monthly Energy Needs per Resident.

To calculate the energy needs on an hourly basis, the variation of energy consumption during the day is needed, as shown in Figure 3 (Mihailov; Evstatiev; Kadirova 2018).

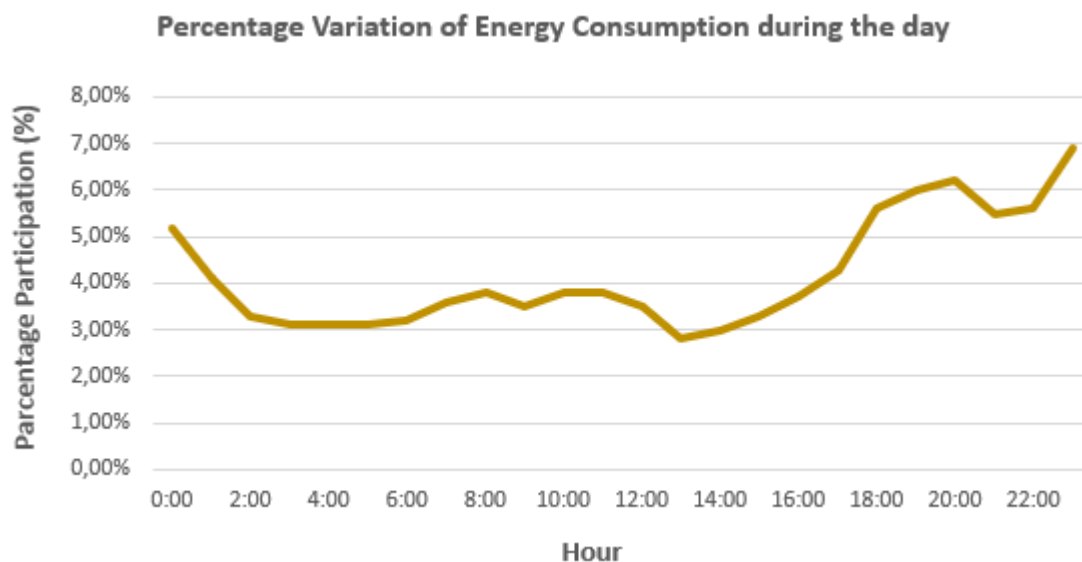


Figure 3. Percentage of Energy Consumption during the day.

Regarding the agricultural water needs, the existing crops and the number of livestock have been used. For each crop, the total evapotranspiration (ETC) has been calculated by first

calculating the evapotranspiration for an average period of one month (ET_o) based on the equation by Blaney-Criddle (FAO 2021):

$$ET_o = p * (0,46 * T_{mean} + 8)$$

Where:

p: monthly average percentage of sunshine hours

T: average monthly temperature (°C)

ET_o : evapotranspiration over an average period of one month (mm/d)

The total evapotranspiration ET_c is then calculated by the following equation:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

K_c is the plant factor of each crop and expresses the effects of changes in leaf area, plant height, crop characteristics, growth rates, plant resistance, and soil conditions. The plant factor changes through the growth period of the plant and takes four values in its lifetime (FAO 2021). Then, the results are multiplied by the crop yield factors. Lastly, by subtracting the average monthly rainfall from ET_c , the required water needs for the crops are obtained. The total water needs for agriculture on the island of Amorgos, are presented in Figure 4.

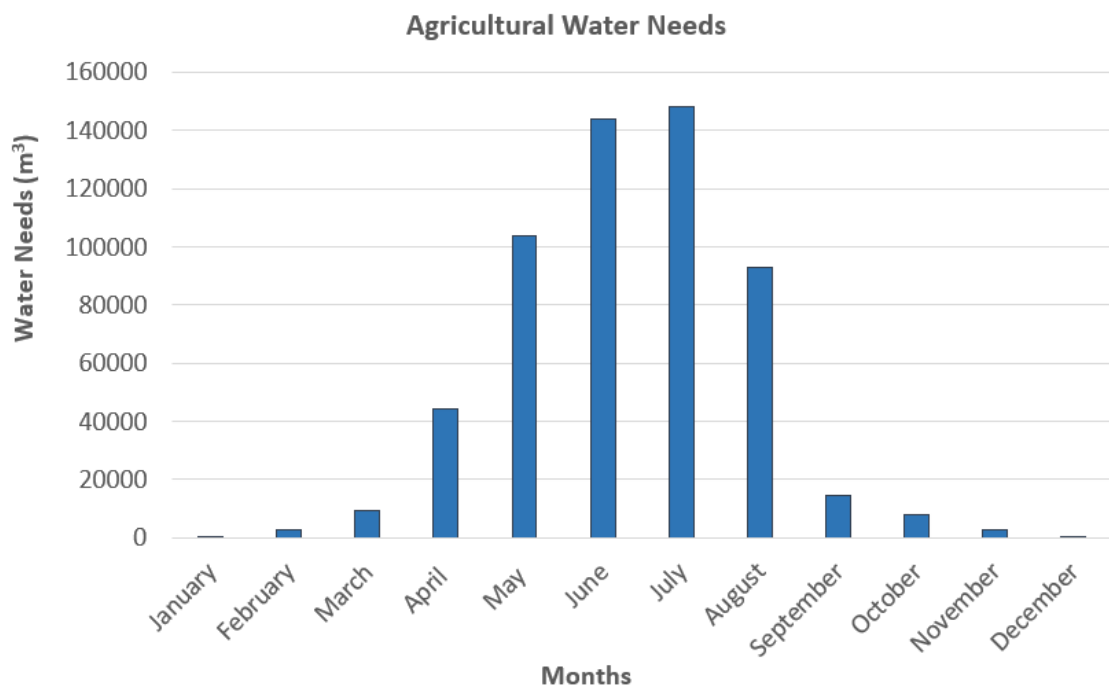


Figure 4. Monthly Agricultural Water Needs.

B. Production of Synthetic Wind Speed Series

The first step towards the production of the synthetic series is the conversion of the historic wind speed series to the corresponding higher altitude. The original altitude of the data series is 10m, and the location of the wind turbines is corresponding to 300m altitudes. According to the power law (Koutsogiannis; Ksanthopoulos; 1999), the wind speed of 300m can be calculated with the equation:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$

Where:

z_1, z_2 : the corresponding altitudes, in positions 1 and 2.

u_1, u_2 : the corresponding wind speeds in altitudes z_1 and z_2 .

z_0 : ground roughness parameter

The historic wind speed series for the altitude of 300m is calculated with the above equation, and their frequency of appearance is shown in Figure 5.

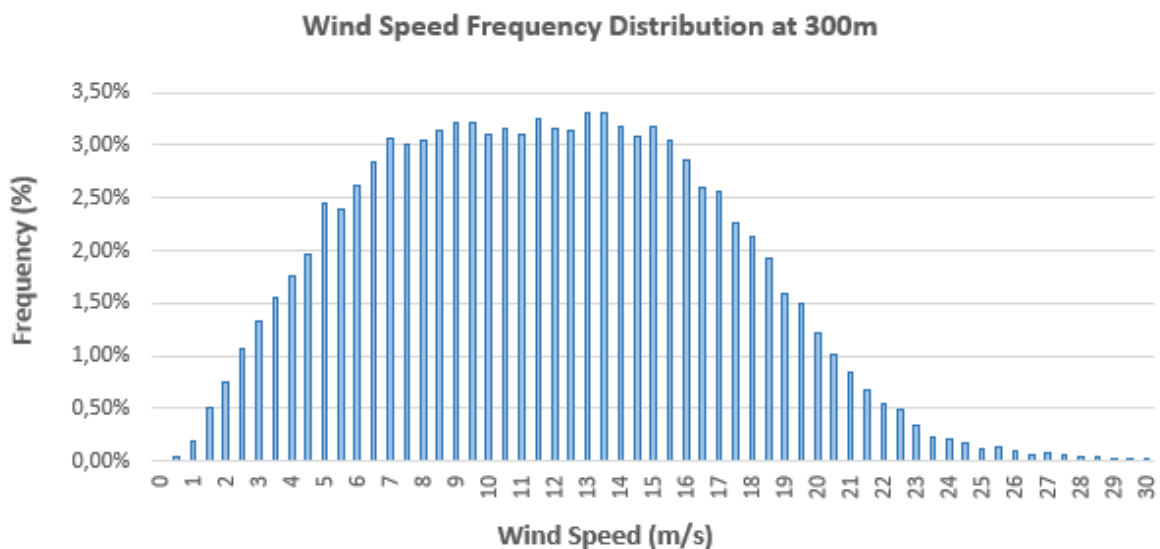


Figure 5. Wind Speed Frequency Distribution at 300m.

After the wind speeds have been converted to the desired altitude, the next step is the production of the synthetic wind speed series. According to the estimated lifetime of the project, 25 synthetic times series are generated. The method chosen to generate this data is that of the autoregressive model AR(1). The produced synthetic time series have common characteristics with the historic one. In particular, they express one realization of the particular infinite ones that can occur. Each row consists of 8760 values, which represent the

number of hours in one year. The methodology for calculating these according to the AR(1) model is analyzed below:

Methodology for AR(1)

1) Calculating Statistical Characteristics and Autocorrelation Coefficient (1st and 2nd order) of the Initial Time Series

- Mean, Dispersion, Standard Deviation, Skewness Coefficient, Curvature Coefficient. The autocorrelation coefficient is calculated with the Correl command or using Data Analysis in Excel software.

2) Series Permanence.

- Calculation of mean, standard deviation and variance for each month.
- The series permanence is done by subtracting from each value the average and dividing the remainder by the standard deviation of the month to which it belongs.

3) Calculating the Stastical Characteristics and Autocorrelation Coefficient (1st and 2nd order) of the calculated Permanenced Series.

- Using Correl command or Data Analysis

4) The AR(1) model is used to calculate the autocorrelation coefficient F1 and the Theoretical Deviation C1.

- $F(1) = R(1)$ where R(1): Autocorelation coefficient of 1st order
- $C1 = C * (1 - (F(1))^2)^{0.5}$ where C^2 : dispersion of the permanenced series

5) Random number generation, with lenght as the time series, with mean zero and standard deviation 1.

- The random number generation is done with the command NORM.DIST() and RAND() or with Data Analysis → Random Number Generator

6) Synthetic permanenced time series values calculation.

- $X(1) = C1 * NR(1)$
- $X(I) = C1 * NR(I) + F(1) * (XI - 1)$

7) De-permanence of the series.

- Reversed procedure of permanence method.
- The statical characteristics and autocorrelation coefficients should agree with those of the real one.

Using the method presented above, the synthetic times series are created and are shown in Figure 6.

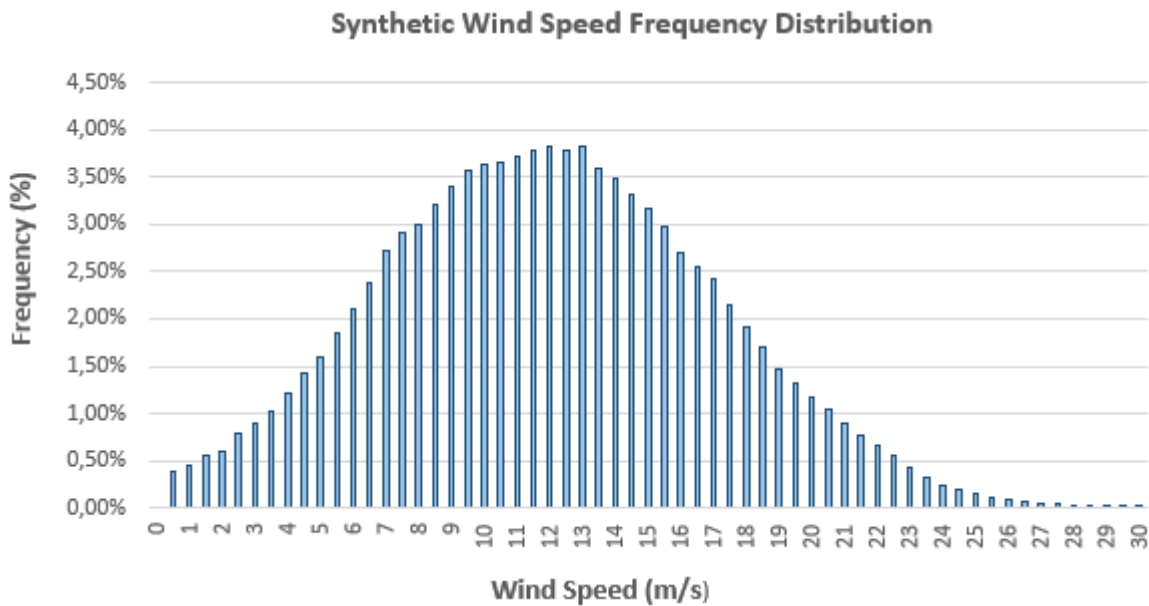


Figure 6. Synthetic Wind Speed Frequency Distribution.

C. System Units

As mentioned above, the hybrid system consists of the following units:

- An existing power generation unit which consumes diesel fuel.
- Wing Turbines.
- Pump Storage Unit.
- Desalination Unit.
- Brine Processing Unit (2nd scenario).

Diesel Power Generation Unit

The island has 6 diesel units with a total maximum power of 5.28MW and minimum power of 2.99MW, which is approximately 50% of the maximum power. The minimum power is needed to keep the unit operational, even if the energy needs are less than that. Some of the Diesel units will be excluded, minimizing the use of diesel fuel. The average energy production from 1 litre of diesel fuel is approximately 9.77kWh. This value is vital for the financial analysis of the system, as the primary cost of the unit arises from the consumption of diesel fuel. There is no knowledge about whether any diesel units stop their operation or not for some months of the year.

Wind Turbines

The selection of wind turbines is based on the cost, size, and capacity factor c_f . A comparison of multiple wind turbine models is made through the Bauer & Matysik website (Matysik; Bauer 2021), for wind turbines rated from 500kW to 2.000kW. The three main ones and their characteristics are shown in Table 1 below.

Table 1. Wind Turbines Characteristics.

Wind Turbine Models	Nominated Power (kW)	Capacity Factor c_f	Produced Energy (MWh/year)	Rotor Diameter (m)	Total Cost (€)
Enercon-44	910	0,596	4700	44	1.031.205,00 €
Vensys 77	1500	0,71	9334	76,8	1.583.898,00 €
Gamesca G80	2000	0,693	12147	80	2.028.171,00 €

Based on the above information, the Vensys 77 model is chosen for the developed system, based mainly on its higher capacity factor. According to the produced synthetic wind times series, the power curve of the turbine with the synthetic time series is presented in Figure 7.

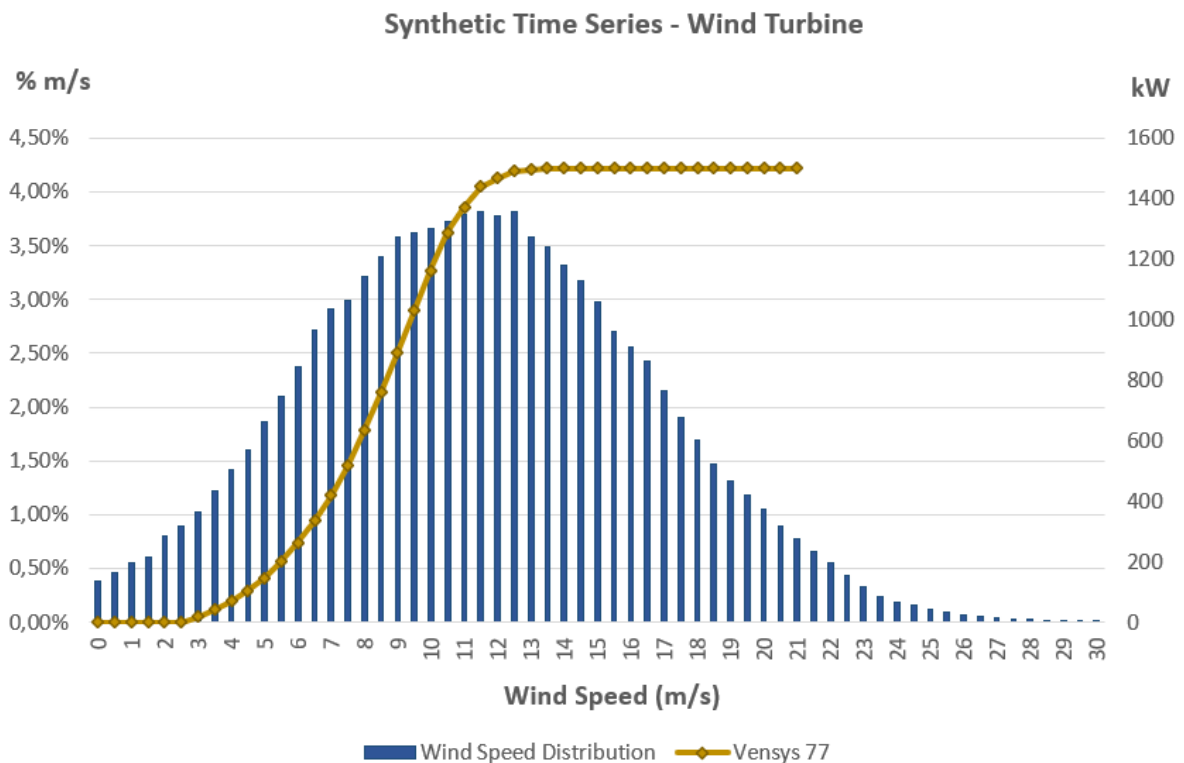


Figure 7. Synthetic Time Series – Wind Turbine.

Pump Storage Unit

The pump storage unit consists of two tanks, pumps, and a hydro turbine. The first tank is to be placed at an altitude of 72m and a distance of 650m from the sea, while the second tank will be placed at an altitude of 280m and a distance of 580m from the first tank. The volume of tanks will be calculated throughout the test of the model. The pumps are used to pump water to the first tank (Tank 1). Tank 1 supplies the desalination unit, and works as a link to pump sea water to the second tank (Tank 2). Both the pipelines that connect the tanks are double for bidirectional use. This allows for the sea water to be returned to the sea through the pipes, in the case that Tank 1 is filled from the water of Tank 2 in use of the hydro turbine. Also, it should be possible for the brine that comes from the desalination unit to be returned to the sea.

When excess energy is produced, the system provides energy for the pumps to operate, and pump water from the sea to Tank 1, and subsequently to Tank 2, saving it for storage. In the case of an energy shortage, the water from Tank 2 starts to fall to the hydro turbine, generating energy to cover the shortage.

Desalination Unit

The method chosen for desalination is Reverse Osmosis. This method is the most commonly used in Greece and is financially and technically mature to use. Additionally, this method can be supported by the energy produced by the wind turbines and the hydroelectric project. The desalination unit that was chosen for this study was developed by a Greek constructor company, named TEMAK. The basic characteristics of the unit are shown in Table 2, while the number of units will be determined later.

Table 2. Characteristics of the Desalination unit by TEMAK.

Desalination Unit TSW 364PX from TEMAK	
Maximum Water Production (m ³ /24h)	1021
Energy Consumption (kWh/m ³)	2.80
Water Recovery (%)	44

Brine Processing Unit

The brine processing unit is based on the research of the innovative project “SOL-BRINE” (Kseugenos; 2016). The main characteristics of this brine processing unit are presented in Table 3.

Table 3. Brine Processing Unit Characteristics as developed in the “SOL-BRINE” project.

Brine Processing Unit	
Unit's Lifetime	25 years
Standardized Total Cost	2.7 - 3.7 €/m ³
Water Recovery	73%
Energy Consumption	45 kWh/m ³
Water Quality	50 ppm

Operating System Procedure

The procedure starts with the cover of urban water needs. The pumps pump water to Tank 1, where the desalination unit takes water from. The desalination unit's capacity is constructed, so it can meet the highest daily water needs in the next 25 years. The wind turbines and diesel units support the energy needs of the desalination plant.

The remaining energy is then used to cover the energy needs of the island, with the exception that the wind turbines have a direct penetration coefficient of 30% of the total hourly energy needs of the islands, and cannot provide more than that.

If excess energy is still present after completion of the above, and the capacity of the desalination unit has not reached its maximum, the desalination process for the production of agricultural water starts. The agricultural water is then transferred to a reservoir.

Any energy that remains, is then used to pump water from the sea to Tank 1 and Tank 2. The Tanks have a minimum and maximum capacity which cannot be exceeded.

In case of an energy shortage, Tank 2 releases water towards the hydro turbine, which then produces energy to cover the energy shortage.

Scenario 2

The operating procedure remains the same, with the only difference being that the brine processing unit is in cooperation with the desalination unit, and consumes more energy. The amount of brine that will be processed will vary depending on the energy consumptions and viability of the system. There will be two financial analyses of the 2nd scenario, based on whether the brine produced is being sold or not.

Results

Following the calculations and tests performed on the system developed, the following characteristics for the units in each scenario have been calculated and are presented in Table 4. The brine processing unit will process the 20% of the produced brine. A rate above that, will require more diesel units, and by doing that, the purpose of the unit will come into conflict with the idea of reducing the environmental impacts.

Table 4. Calculated characteristics of the units for each scenario examined.

System Results	Scenario 1	Scenario 2
Maximum Power of Diesel Units (kW)	2440	2440
Desalination Unit Capacity (m ³ /24h)	5100	5100
Pump 1 Nominated Power (kW)	580	580
Pump 2 Nominated Power (kW)	2175	2175
Number of Wind Turbines	4 X 1.5MW	5 X 1.5MW
Hydroturbine Power (kW)	3 X 1.5MW	3 X 1.5MW
Agriculture Water Reservoir (m ³)	10.000	10.000
Tank 1 (m ³)	10.000	10.000
Tank 2 (m ³)	100.000	150.000
Brine Processing Unit Capacity (m ³ /24h)	-	2.400
Produced Brine that is processed (%)	-	20%

The results obtained from the operation of the above units, regarding water and energy efficiency as well as RES Penetration are presented in Table 5 below.

Table 5. System's Operation Results for each scenario.

Scenarios	Urban Water Reliability (%)	Energy Coverage (%)	Agricultural Water Reliability (%)	RES Penetration (%)
Scenario 1	99,99%	94,15%	46,38%	43,29%
Scenario 2	99,99%	94,23%	46,22%	48,79%

As shown above, the RES penetration and the urban water reliability are satisfactory in both scenarios. The first and second scenarios provide positive results for the system operation, in both urban water reliability and energy coverage. The agricultural water reliability, although below 50%, is still considered desirable. In Table 6 below, the yearly water reliability and energy coverage are shown for each scenario.

Table 6. Yearly results on water reliability and energy coverage for each scenario.

Year	Scenario 1			Scenario 2		
	Urban Water Reliability (%)	Agricultural Water Reliability (%)	Energy Coverage (%)	Urban Water Reliability (%)	Agricultural Water Reliability (%)	Energy Coverage (%)
1	99,99%	47,93%	98,19%	99,99%	47,55%	98,53%
2	99,99%	46,64%	95,88%	99,99%	46,27%	95,15%
3	99,99%	47,78%	98,19%	99,99%	47,70%	98,22%
4	99,99%	47,59%	98,26%	99,99%	47,38%	98,53%
5	99,99%	46,80%	96,12%	99,99%	46,53%	95,38%
6	99,99%	46,42%	95,04%	99,99%	46,31%	94,90%
7	99,99%	48,67%	99,10%	99,99%	48,03%	99,59%
8	99,99%	45,35%	95,41%	99,99%	46,04%	95,26%
9	99,99%	46,14%	93,62%	99,99%	46,04%	93,45%
10	99,99%	47,46%	96,67%	99,99%	47,16%	96,52%
11	99,99%	47,06%	96,31%	99,99%	46,78%	96,44%
12	99,99%	47,23%	96,20%	99,99%	47,05%	96,34%
13	99,99%	45,06%	90,98%	99,99%	44,69%	90,50%
14	99,99%	46,55%	93,15%	99,99%	45,93%	93,06%
15	99,99%	45,21%	89,77%	99,99%	44,61%	89,14%
16	99,99%	45,39%	91,64%	99,99%	45,34%	91,84%
17	99,99%	45,37%	91,67%	99,99%	45,44%	91,55%
18	99,99%	46,22%	92,25%	99,99%	46,14%	92,68%
19	99,99%	45,98%	93,75%	99,99%	46,32%	94,90%
20	99,99%	45,49%	91,84%	99,99%	45,94%	91,93%
21	99,99%	44,52%	91,36%	99,99%	44,64%	91,45%
22	99,99%	46,17%	91,46%	99,99%	45,57%	91,61%
23	99,99%	46,47%	94,30%	99,99%	46,52%	95,07%
24	99,99%	45,07%	89,26%	99,99%	44,88%	89,14%
25	99,99%	46,83%	93,42%	99,99%	46,63%	94,44%

The RES penetration is derived both from the operation of the wind turbines and the hydroelectric project. The specific penetration of each RES unit is shown in Figure 8.

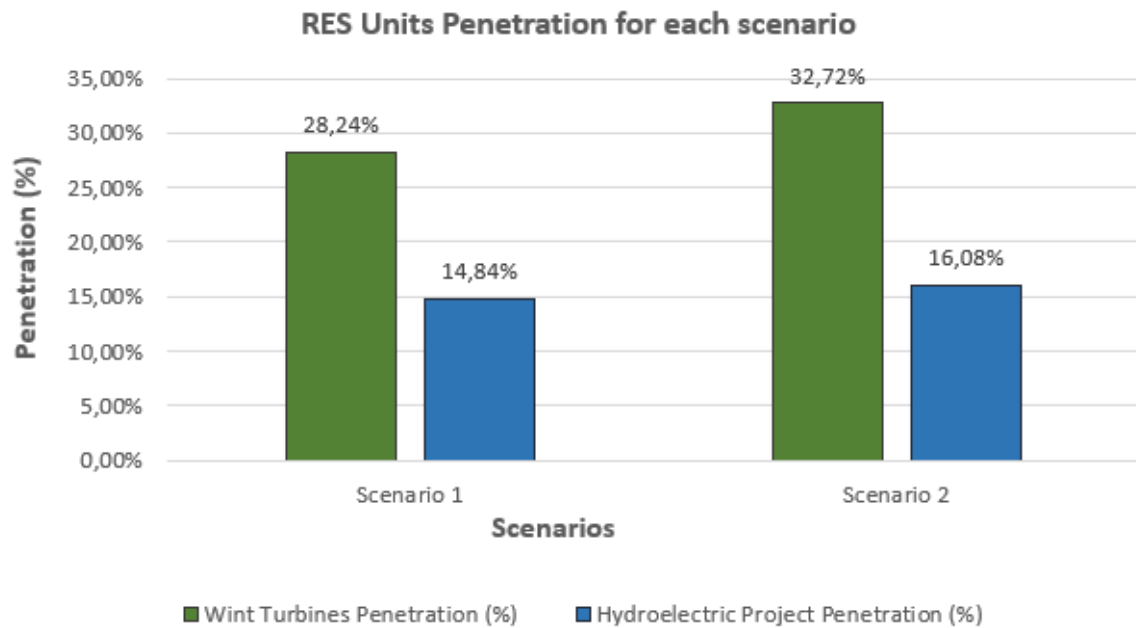


Figure 8. RES Units Penetration for each scenario.

Both scenarios are characterized by satisfying RES penetration. The wind turbines have high penetration due to the fact that they can directly support the urban energy needs with a coefficient of 30%, and they can support the energy needs of the desalination and brine processing units. The H/E project cannot easily exceed the above penetration, even if the upper tank was bigger, and the pumps and hydro pumps had more power.

In terms of financial analysis, scenario 1 was tested as known and there were two financial analyses performed on scenario 2. In the first one (Scenario 2.1), the brine produced is not sold and in the other one (Scenario 2.2) it is sold for a price of 5.85€/m³ (Kseugenos; 2016). The results of these analyses are provided in Figure 9 below.

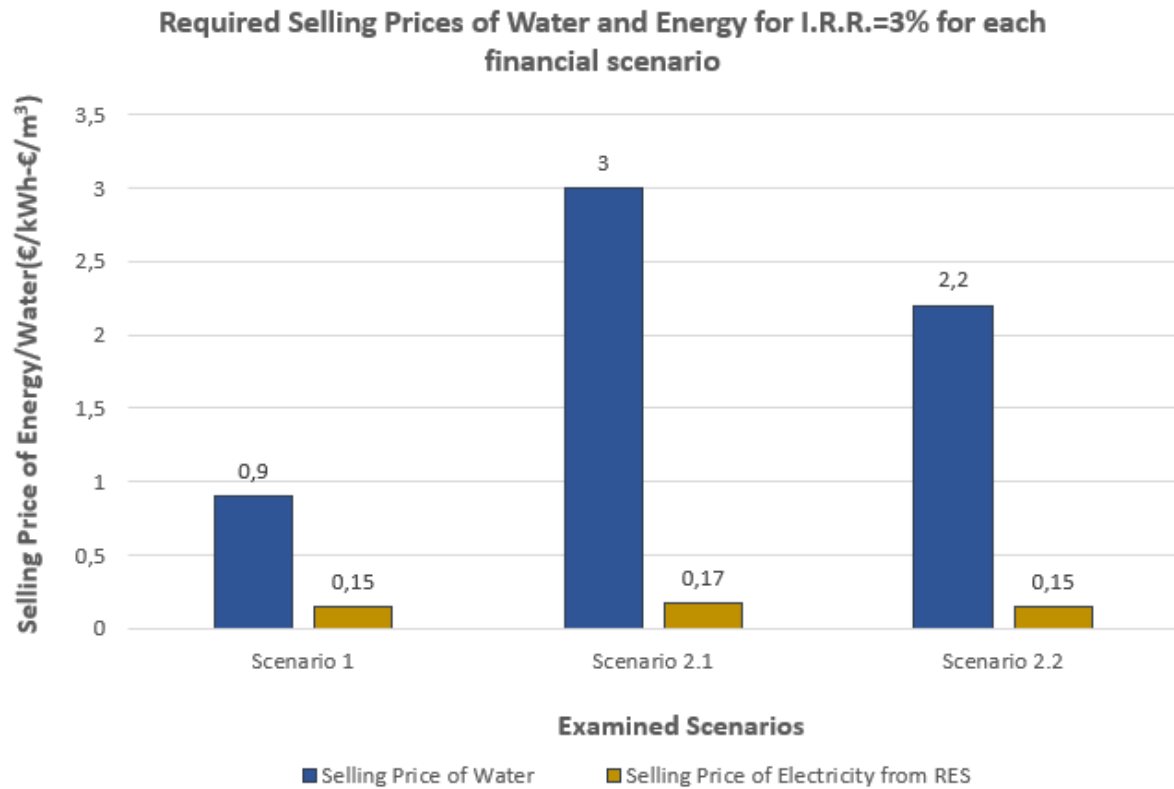


Figure 9. Required selling Prices of Water and Energy for I.R.R.=3%, for each financial scenario.

For the above prices, the N.P.V. is zero. Any increase in these prices increases the N.P.V. value of each scenario, as well as the R.O.E. and R.O.I. values while decreasing the Payback Period and the Discounted Payback Period. The energy produced from the Diesel units has a steady selling price of 0.20€/kWh.

As can be seen from the figure above, Scenario 1 is characterized by satisfactory selling prices of energy and water, which makes the investment sustainable. Scenarios 2.1 and 2.2 are characterized as less profitable compared to Scenario 1. A small decrease in the price of water occurs in Scenario 2.2 compared to 2.1 as there is also the sale of the produced brine.

Conclusions

Generally, the results of energy, water and irrigation coverage are satisfactory in all the scenarios examined. Given that Diesel units with a total power of 2.22MW were removed, and the penetration of RES is over 40%, the results are very encouraging.

The first scenario is satisfactory, but as in the other scenarios, the sale price of the energy would be expected to be lower. For a selling price of water above €0.70/m³ and energy €0.15/kWh, the investment is considered sustainable. The selling price of water is very satisfactory, while that of energy, although acceptable, would be expected to be lower, given that today, the selling price of energy from RES is 0.0875€/kWh. But at the same time, if it is considered that the selling price of electricity from conventional energy production units exceeds €0.30/kWh in the last year, the investment is sustainable. Also, the funding and grants are likely to be much more than what was estimated, which would make the project even more profitable and sustainable.

The 2nd Scenario is characterized by increased energy demands. This has a cost in the economic analysis, as the brine treatment unit requires energy that is often provided by the Diesel unit, which leads to an increase in fuel costs in the overall system. This can also be seen from the high required sales price, especially for produced water, which reaches €3.00/m³. In the case of the sale of the brine produced, the economic data is better, but it is not certain that proper economic utilization of the brine can be made, as the project is pilot. At the same time, to process the brine at 100%, it was calculated that all Diesel units and a total of 9 wind turbines would have to operate to cover the energy demand. Therefore, it is reasonable to test the treatment of the brine in a percentage, so that the Diesel units are not used, and to have an initial image of the operation of the system, if it is functional and with any possibility of treating the brine, since the program is a pilot and has not been tested on a large scale.

Further analysis could be done in different sections of the project. Particularly:

- A complete study of the brine disposal pipeline, calculating both the cost and its improvement to reduce the environmental impact.
- The introduction of further units, to support the present system or improve it, such as storage batteries or solar parks.
- The investigation of the optimal location of the HRES, based on the current legislative framework.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική Αναφορά

Η ανάπτυξη του κάθε κράτος αλλά και της κοινωνίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ενέργεια. Η απόκτηση και η διαχείριση της ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση και την εξέλιξη του ανθρώπου, από την ενέργεια που χρειάζεται ένα νοικοκυριό, μέχρι την βιομηχανική παραγωγή και την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ταυτόχρονα όμως, η διατήρηση, η προστασία και η φύλαξη του φυσικού περιβάλλοντος από τις ίδιες τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι μια πρόκληση, αλλά κυριότερα μία ηθική υποχρέωση για τους μηχανικούς. Συνεπώς, η παραγωγή ενέργειας έρχεται σε μία έντονη αντίφαση με την προστασία του περιβάλλοντος. Η ανάγκη για ενέργεια οδηγεί σε επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον, το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από την χρήση συμβατικών καυσίμων οδηγεί σε συνεχής αύξηση της θερμοκρασία του πλανήτη και σε όξυνση της κλιματικής κρίσης. Η καύση λιγνίτη, μαζούτ και diesel, μολύνει την ατμόσφαιρα σε τοπικό επίπεδο επηρεάζοντας πολλούς κατοίκους που βρίσκονται κοντά σε συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Λύση στην εξισορρόπηση της παραπάνω αντίφασης έρχονται να δώσουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Οι τεχνολογίες που τις αναπτύσσουν συνεχώς εξελίσσονται ώστε να συμβάλλουν όλο και περισσότερο στο ενεργειακό ισοζύγιο. Η αναγκαιότητα εισχώρησης των Α.Π.Ε. στα ενεργειακά συστήματα φαίνεται και από το [Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα](#) από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Οι στόχοι του σχεδίου έχουν τεθεί για το έτος 2030 και αποσκοπούν στην αύξηση του μεριδίου των Α.Π.Ε. σε ποσοστό άνω του 35%, στον μηδενισμό της κατανάλωσης λιγνίτη για στην ηλεκτροπαραγωγή, στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, και στην συνολική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας. Ειδικότερα, προβλέπεται να διπλασιαστεί η συνολική δυναμικότητα των αιολικών και φωτοβολταϊκών πάρκων. Ο παραπάνω στόχος θα επιτευχθεί σε έναν βαθμό με την συμβολή του πλούσιου αιολικού και ηλιακού δυναμικού των ελληνικών νησιών.

Τα περισσότερα από αυτά στη παρούσα φάση χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή, συνήθως μονάδες diesel, για τις ενεργειακές του ανάγκες. Για να γίνει εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού αυτών, είναι απαραίτητη η διασύνδεση τους με την ηπειρωτική χώρα, έργο το οποίο όμως μπορεί να αργήσει να πραγματοποιηθεί, ή και σε ορισμένες περιπτώσεις δεν θα γίνει μέσα στην επόμενη 20ετία. Συνεπώς, στα απομακρυσμένα νησιά είναι απαραίτητο να εισαχθούν καινούργιες τεχνολογίες για την ενεργειακή τους ανεξαρτητοποίηση. Εδώ έρχονται να συμβάλλουν τα υβριδικά συστήματα, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές απαιτήσεις των νησιών.

Με την εισαγωγή των μονάδων Α.Π.Ε. μπορούμε να επιτύχουμε συνεχή υποστήριξη του συστήματος ενέργειας, μειώνοντας τη κατανάλωση καυσίμου. Ταυτόχρονα, επειδή τα νησιά χαρακτηρίζονται από σύντομες περιόδους υψηλής αιχμής στην ζήτηση ενέργειας, ειδικότερα τους καλοκαιρινούς μήνες, η εισαγωγή μονάδων αποθήκευσης ενέργειας είναι όλο και πιο συχνή. Οι συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες) και οι μονάδες αντλησοταμίευσης έρχονται όλο και πιο συχνά στο προσκήνιο, με τις τελευταίες να είναι σε πολύ ώριμο τεχνολογικό επίπεδο. Ειδικότερα στα νησιά με την χρήση του θαλασσινού νερού σε σύστημα αντλησοταμίευσης η χρήση των μονάδων αυτών είναι όλο και πιο συχνή. Με την αποθήκευση νερού στις μονάδες αντλησοταμίευσης δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας μέσω υδροστροβίλου, είτε σε περιόδους αιχμής, είτε σε μόνιμη υποστήριξη του ενεργειακού συστήματος.

Τα απομονωμένα νησιά, πέραν των ενεργειακών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν, έχουν και ζητήματα λειψυδρίας. Οι υδατικές απαιτήσεις των νησιών, εκπληρώνονται έως ένα βαθμό από την μεταφορά νερού μέσω δεξαμενόπλοιων από την ηπειρωτική χώρα, γεγονός όμως που οδηγεί σε υψηλή τιμή προμήθειας του νερού, σε μέγεθος έως και 10.00€/m³. Η έλλειψη νερού στα νησιά αυτά οδηγεί ταυτόχρονα σε οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς αναστέλλονται και εξαφανίζονται πολλές οικονομικές δραστηριότητες. Η γεωργία και η κτηνοτροφία συρρικνώνονται, γεγονός που μειώνει και την δυνατότητα ανάπτυξης των τοπικών προϊόντων. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα βασικά γεωργικά προϊόντα που καλλιεργούνται δεν επαρκούν για τις ανάγκες του τοπικού πληθυσμού, γεγονός που οδηγεί στην εισαγωγή προϊόντων από την ενδοχώρα, αυξάνοντας όμως την τιμή αυτών. Ταυτόχρονα, οι κάτοικοι λόγω της έλλειψης οδηγούνται στην υπεράντληση των υπογείων υδάτων, γεγονός που προκαλεί το περιβαλλοντικό πρόβλημα της υφαλμύρισης αυτών. Λύση στο ζήτημα έρχονται να δώσει είτε η κατασκευή φραγμάτων είτε η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης, όπου η δεύτερη λύση αποτελεί και την πιο συνηθισμένη τα τελευταία χρόνια. Η ενεργειακή απαίτηση των μονάδων αφαλάτωσης καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών έχει μειωθεί με την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας, ενώ ταυτόχρονα η συνεργασία των Α.Π.Ε. με τις μονάδες αφαλάτωσης είναι όλο και πιο συχνή.

Ως μηχανικοί, έχουμε ηθική υποχρέωση να αναλογιζόμαστε τις συνέπειες των τεχνικών και δομικών έργων στο φυσικό περιβάλλον, και κυριότερα να δίνουμε βάρος στην επίδραση που έχουν αυτά στις τοπικές κοινωνίες. Δεν είναι μόνο ανάγκη να επιλύσουμε το πρόβλημα της ενεργειακής και κλιματικής κρίσης, αλλά και πως αυτό θα γίνει σε ένα αρμονικό πλαίσιο συνεργασίας με την προστασία και την ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών.

1.2 Αντικείμενο Εργασίας

Το αντικείμενο της εργασίας είναι ο σχεδιασμός μονάδας αφαλάτωσης και ενός υβριδικού συστήματος στο νησί της Αμοργού. Το υβριδικό σύστημα αποτελείται από ανεμογεννήτριες και μονάδα αντλησοταμίσευσης, υποστηριζόμενο από το υπάρχον συμβατικό σύστημα ενέργειας του νησιού. Το υβριδικό σύστημα θα παίξει υποστηρικτικό ρόλο στις ενεργειακές απαιτήσεις τους νησιού και της αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση θα ικανοποιεί πλήρως τις υδρευτικές ανάγκες του νησιού και σε ένα βαθμό και τις αρδευτικές. Ταυτόχρονα, θα γίνει και εισαγωγή μονάδας επεξεργασίας της άλμης που προέρχεται από την μονάδα της αφαλάτωσης ώστε να γίνει προσπάθεια για ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Θα γίνει προσομοίωση της λειτουργίας των παραπάνω ώστε μέσα από οικονομικά, περιβαλλοντικά και ενεργειακά κριτήρια να γίνει διαστασιολόγηση των μονάδων, ενώ ταυτόχρονα θα δειχθούν οι διάφορες οικονομικές επιλογές διαχείρισής τους.

1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Αρχικά στο 2^ο κεφάλαιο θα γίνει μία εισαγωγή της λειτουργίας των υβριδικών συστημάτων. Θα γίνει επεξήγηση διαφόρων συνιστωσών, θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά τους, τα μεγέθη τους, και τα κύρια κριτήρια για την διαστασιολόγηση τους. Ταυτόχρονα, θα γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα τους στη παρούσα εποχή κλιματικής και ενεργειακής κρίσης.

Στο 3^ο κεφάλαιο, θα εισαχθεί η έννοια της αφαλάτωσης. Θα εξηγηθούν οι διάφορες τεχνικές που υπάρχουν στην αγορά, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, οι ενεργειακές απαιτήσεις καθώς και το επίπεδο ωρίμανσης αυτών. Από αυτές, θα παρουσιαστούν οι κυριότερες που υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο, ώστε να γίνει και επιλογή αυτής που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα. Τέλος, θα παρουσιαστεί η μονάδα επεξεργασίας άλμης. Ειδικότερα, θα γίνει επιγραμματική παρουσίαση των διαφόρων μεθόδων διαχείρισης της άλμης, και εν συνεχεία, η δυνατότητα ανάκτησης και αξιοποίησης της. Θα γίνει ειδική αναφορά για το πιλοτικό σύστημα αξιοποίησης της άλμης "SOL-BRINE" το οποίο και θα εισαχθεί στο παρόν έργο.

Στο 4^ο κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά του νησιού μελέτης μας. Ειδικότερα θα γίνει αναφορά για τα γεωγραφικά, μορφολογικά, ιστορικά στοιχεία. Εν συνεχεία, θα αναφερθούν και στοιχεία που θα επηρεάσουν την διαστασιολόγηση του έργου, όπως τα μετεωρολογικά, κλιματολογικά, φυσικά, και δημογραφικά. Έπειτα θα γίνει λόγος για τις υποδομές του νησιού και την οικονομική δραστηριότητα λαμβάνει χώρο. Τέλος, θα

παρουσιαστούν τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει το νησί και πως αυτά μπορούν να επιλυθούν.

Στο 5^ο κεφάλαιο, γίνεται πλήρης παρουσίαση της μεθοδολογίας σχεδιασμού του έργου. Θα εξηγηθούν τα δύο κύρια σενάρια που θα εξεταστούν, και θα εξηγηθεί η διαδικασία επεξεργασίας των πρωτεύων δεδομένων που έχουμε, όπως τα ανεμολογικά στοιχεία και οι υδατικές και ενεργειακές καταναλώσεις. Θα δημιουργηθούν συνθετικές χρονοσειρές ανεμολογικών δεδομένων, και θα υπολογιστούν οι εκτιμήσεις των υδατικών και ενεργειακών αναγκών. Εν συνεχεία, θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά κάθε μονάδα του συστήματος, η ενέργεια που απαιτούν ή παράγουν, και οι βασικές συνιστώσες σχεδιασμού τους. Τέλος, θα γίνει λεπτομερής επεξήγηση της διαδικασίας σχεδιασμού ανά βήματα.

Στο 6^ο κεφάλαιο, γίνεται η οικονομική ανάλυση του έργου. Αναλύονται τα κόστη των μονάδων, οι οικονομικοί δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν, και οι πιθανές χρηματοδοτήσεις που μπορούν να συμβάλλουν στην επένδυση του έργου.

Στο 7^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα και για τα δύο σενάρια. Τα κόστη, οι οικονομικοί δείκτες, τα μεγέθη σχεδιασμού, η ενεργειακή και υδατική αξιοπιστία του συστήματος, και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

2. Υβριδικά Συστήματα

2.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα

Ορισμός και Λειτουργία Υβριδικών Συστημάτων

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα υβριδικά συστήματα αναφέρονται όλο και περισσότερο. Μέχρι στιγμής, το πιο συνηθισμένο ενεργειακό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το συμβατικό και θα ήταν εύλογο να εξηγηθεί η διαφορά μεταξύ των συμβατικών και μη συμβατικών συστημάτων.

Εν ολίγοις, η παραγωγή ενέργειας των παραδοσιακών ενεργειακών συστημάτων βασίζεται σε μονάδες εγγυημένης ισχύος και ελεγχόμενης παραγωγής, δηλαδή με ρυθμιζόμενη παραγωγή ενέργειας. Δηλαδή, μια θερμοηλεκτρική μονάδα ενέργειας, ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της και την ποσότητα του καυσίμου που παρέχεται, μπορεί να μεταβάλλει την ενεργειακή της απόδοση.

Στην περίπτωση των υβριδικών συστημάτων, αποτελούνται από μονάδες μη εγγυημένης ισχύος (μη συμβατικά), δηλαδή δεν υπάρχει έλεγχος στην παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια αυτών των συστημάτων δεν μπορεί να υπολογιστεί γιατί χαρακτηρίζεται από τυχαιότητα. Τέτοιες μονάδες είναι συνήθως οι μονάδες Α.Π.Ε. όπου η ενέργεια τους εξαρτάται από την τυχαία διαθεσιμότητα του αιολικού δυναμικού ή και την ηλιακή ακτινοβολία.

Τα υβριδικά συστήματα δεν αποτελούνται μόνο από μονάδες Α.Π.Ε. καθώς αυτό δεν επαρκεί για τις ενεργειακές ανάγκες. Ο σκοπός του υβριδικού συστήματος είναι να περιορίσει τη χρήση των εγγυημένων μονάδων παραγωγής μέσω της διείσδυσης μη εγγυημένων μονάδων ισχύος, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η χρήση εγγυημένων μονάδων παραγωγής που καταναλώνουν συμβατικά καύσιμα. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να συνδυαστούν και με μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Η λειτουργία της μονάδας αποθήκευσης σε συνδυασμό με τις παραπάνω μονάδες είναι η εξής:

- Όταν η στιγμιαία ισχύς από της μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής υπερβαίνει ένα ποσοστό στιγμιαίας ζήτησης ισχύος, τότε αποθηκεύεται ενέργεια στις μονάδες αποθήκευσης.
- Όταν η στιγμιαία ισχύς από τις μονάδες μη εγγυημένης ισχύος δεν επαρκεί για την κάλυψη ενός ποσοστού στιγμιαίας ζήτησης ισχύος, τότε το έλλειμμα συμπληρώνεται από τις μονάδες αποθήκευσης.

Το ποσοστό της στιγμιαίας ζήτησης ισχύος που αναφέρεται παραπάνω, ονομάζεται και *ποσοστό στιγμιαίας διείσδυσης* των μονάδων μη εγγυημένης ισχύος. Το ποσοστό αυτό επιβάλλεται από περιορισμούς ασφαλείας και ευστάθειας της λειτουργίας του συστήματος και διαμορφώνεται βάσει διαφόρων παραμέτρων, όπως το μέγεθος του συστήματος, τις καιρικές συνθήκες κλπ. Αυτό διότι σε περιπτώσεις απότομης αύξησης φορτίου ή κάποιας ξαφνικής απώλειας παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος πτώσης ή αστάθειας του συστήματος. Η αντίδραση και η αντοχή του συστήματος εξαρτώνται από:

- Το ποσοστό διείσδυσης των μονάδων μη εγγυημένης ισχύος στην παραγωγή.
- Τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μονάδων εγγυημένης ισχύος.
- Το ποσοστό του φορτίου και της εφεδρείας
- Τα όρια ανοχής σε διαταραχές τάσης και συχνότητας.

Για ποσοστά *στιγμιαίας διείσδυσης* κάτω του 10% δεν προκύπτει πρόβλημα στην δυναμική ισορροπία του συστήματος από πιθανή απώλεια παραγωγής, ενώ για ποσοστά ισχύος μεγαλύτερα του 37% , το σύστημα δύσκολα ανακάμπτει (Κατσαπρακάκης 2015). Ένα εύλογο μέγεθος ποσοστού στιγμιαίας διείσδυσης για ένα σύγχρονο υβριδικό σύστημα είναι της τάξης του 30%.

Εν συνεχεία λοιπόν, ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από αποτελείται από τα παρακάτω δύο μέρη:

- Μονάδες βάσης, οι οποίες αποτελούνται από μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής, πρακτικά Α.Π.Ε., όπως αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκοί σταθμοί κλπ.
- Μονάδες αποθήκευσης, που σκοπό έχουν της προσαρμογή της στοχαστικής παραγωγής ενέργειας από το υβριδικό σύστημα. Αυτές μπορεί να είναι ένα σύστημα αντλησοταμίευσης, ηλεκτρομηχανικοί συσσωρευτές, μονάδες συμπίεσης αέρα κλπ.
- Μονάδες εφεδρείας, που έχουν σκοπό την κάλυψη της ζήτησης ισχύος σε περίπτωση χαμηλής διαθεσιμότητας από τις μονάδες βάσης και αποθέματος από τις μονάδες αποθήκευσης. Να σημειωθεί ότι αυτές οι μονάδες δεν διακόπτον ποτέ την λειτουργία τους, ακόμα και ένα επιτυγχάνεται 100% διείσδυση από ΑΠΕ, για λόγους ασφαλείας, και είναι πάντα σε λειτουργία σε ένα *τεχνικό ελάχιστο*.

Το σκεπτικό ενός τέτοιου συστήματος αποσκοπεί είτε στην διείσδυση μέχρι και 100% των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, είτε στην εγγυημένη παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. για την υποστήριξη των μονάδων εφεδρείας σε ώρες υψηλής ενεργειακής ζήτησης. Αυτό

εξαρτάται από το μέγεθος της ζήτησης που ζητείται να καλύψει και τις ανάγκες και προτεραιότητες του χρήστη, καθώς και από το μέγεθος του υβριδικού σταθμού. Η κατηγοριοποίηση των υβριδικών σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας αναλογεί στο μέγεθος κάλυψης της ζήτησης ισχύος. Ειδικότερα διακρίνουμε τέσσερις (4) κατηγορίες:

- Μεγάλου μεγέθους, με κάλυψη ζήτησης ισχύος μεγαλύτερη των 3MW.
- Μεσαίου μεγέθους, με κάλυψη ζήτησης μικρότερη των 3MW και μεγαλύτερη του 1MW.
- Μικρού μεγέθους, με κάλυψη ζήτησης που δεν υπερβαίνει το 1MW.
- Πολύ μικρού μεγέθους, με κάλυψη ισχύος που δεν ξεπερνά τα 100kW.

Μονάδες Βάσης

Οι πιο ώριμες τεχνολογικά μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής είναι τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Με τελικό ειδικό κόστος εγκατάστασης που κυμαίνεται μεταξύ των 1.000 - 1.200 €/kW. Ωστόσο, οι ανεμογεννήτριες έχουν αυξημένο κόστος συντήρησης, αλλά και όσον αφορά τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, η έκταση που απαιτούν είναι πολλαπλάσια από αυτή των αιολικών πάρκων.

Σημαντική συνιστώσα στις εγκαταστάσεις μεγάλου μεγέθους Α.Π.Ε. για την διαστασιολόγηση και βιωσιμότητα ενός υβριδικού σταθμού είναι ο συντελεστής απασχόλησης c_f (capacity factor). Ως συντελεστής απασχόλησης ενός σταθμού παραγωγής ισχύος ορίζεται το πηλίκο της πραγματικής παραγωγής ενέργειας, προς την θεωρητικά μέγιστη που θα μπορούσε να παραχθεί από τη μονάδα για το ίδιο χρονικό διάστημα. Για τα αιολικά πάρκα ο συντελεστής μπορεί να είναι από 25% έως 50%. Αντίστοιχα για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, ο συντελεστής μπορεί να φτάσει το 20%.

Ειδικότερα στα ελληνικά νησιά, τα αιολικά πάρκα δύσκολα θα έχουν ετήσιο συντελεστή απασχόλησης κάτω του 40%, ενώ ένας φωτοβολταϊκός σταθμός ακόμα και στις πιο ευνοϊκές συνθήκες, δηλαδή με μέγιστη ακτινοβολία και με διεύθυνση πλαισίων κάθετα στη ακτινοβολία, δε πρόκειται να ξεπεράσει το 20%. Αυτό διότι το μισό χρονικό διάστημα παραμένουν μη παραγωγικά, δηλαδή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πρακτικά δηλαδή, θα απαιτηθεί εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 1.5 – 2 φορές μεγαλύτερη από αυτού του αιολικού πάρκου, αναιρώντας το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Συνεπώς, για υβριδικά συστήματα μεγάλου μεγέθους η ιδανική επιλογή είναι αυτή των αιολικών πάρκων.

Ακόμα ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αιολικών πάρκων σε σχέση με τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς είναι η διαθεσιμότητα και η κατανομή της ισχύος τους στη διάρκεια του έτους. Η κατανομή και διαθεσιμότητα ισχύος επηρεάζει άμεσα και την χωρητικότητα της μονάδας αποθήκευσης του υβριδικού συστήματος. Η παραγωγή από

έναν φωτοβολταϊκό σταθμό επικεντρώνεται κυρίως τους θερινούς μήνες, και ειδικότερα για την Ελλάδα παρατηρείται ότι το 65% της ετήσιας παραγωγής από φωτοβολταϊκό σταθμό γίνεται τους μήνες Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο (Κατσαπρακάκης 2015). Συνεπώς, η διαστασιολόγηση μίας μονάδας αποθήκευσης ενός υβριδικού σταθμού που συμπεριλαμβάνει φωτοβολταϊκό σταθμό, οδηγεί σε πολύ μεγάλη αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης, προκειμένου να ανταποκριθεί στη κάλυψη χειμερινής ισχύος, δεδομένου και της χαμηλής παραγωγής που έχει ως μονάδα βάσης.

Συνεπώς, η μονάδα βάσης θα πρέπει :

- Να αποδίδει υψηλή παραγωγή ενέργειας, με υψηλό συντελεστή απασχόλησης.
- Να παρουσιάζει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.
- Να μη συνεπάγεται την κατασκευή πολύ μεγάλης μονάδας αποθήκευσης.

Μονάδες Αποθήκευσης

Όπως προαναφέρθηκε, για υβριδικούς σταθμούς μεγάλου μεγέθους θα απαιτηθεί και μονάδα αποθήκευσης μεγάλης χωρητικότητας. Το μέγεθος της ζήτησης ισχύος που καλείτε να καλύψει είναι ανάλογη και με την ισχύ φόρτισης και εκ φόρτισης της μονάδας αποθήκευσης. Με βάση εμπειρικά αποτελέσματα από την διαστασιολόγηση υβριδικών σταθμών, οι μονάδες αποθήκευσης μεγάλου μεγέθους θα πρέπει να παρουσιάζουν μια χωρητικότητα από 1% έως 3% της ετήσιας παραγωγής ενέργειας από το αιολικό πάρκο του υβριδικού σταθμού (Κατσαπρακάκης 2015). Η ισχύς εκ φόρτισης της μονάδας αποθήκευσης θα πρέπει να είναι της τάξης του ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου. Επί παραδείγματι, για ένα αιολικό πάρκο ενός υβριδικού σταθμού με ονομαστική ισχύ 50MW και συντελεστή απασχόλησης 30%, θα χρειαστεί μονάδα αποθήκευσης με χωρητικότητα περίπου ίση με 1 300 MWh καθώς:

$$50 \text{ MWh} * 8760h * 30\% * 1\% = 1300 \text{ MWh}$$

Σε περίπτωση κατασκευής αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού ως μονάδα αποθήκευσης, αυτό συνεπάγεται, εάν θεωρήσουμε υψομετρική διαφορά 300m και συντελεστή απόδοσης 90%, σε δεξαμενή ωφέλιμου όγκου της τάξης περίπου των 1.800.000m³, διότι:

$$V(m^3) = \frac{P(Watt)}{\eta * H(m) * \gamma\left(\frac{kN}{m^3}\right)} \quad 2.1$$

Αν και υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης, λίγες είναι αυτές που επαρκούν για την διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε υβριδικό σύστημα. Αυτές είναι:

- Σταθμοί αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage Systems- CAES)
- Αναστρέψιμα Υδροηλεκτρικά – Αντλησοταμίευση (Pumped Storage Systems -PSS)

Παρακάτω παρουσιάζονται περιληπτικά οι λειτουργίες αυτών των τεχνολογιών.

Σταθμοί Αποθήκευσης Συμπιεσμένου Αέρα

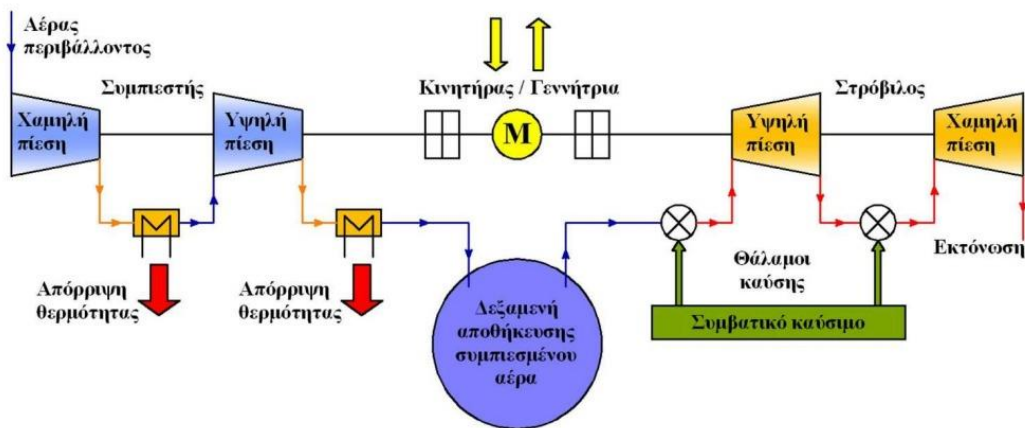
Στα Συστήματα Αποθήκευσης Συμπιεσμένου Αέρα η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή ελαστικής ενέργειας, μέσω συμπίεσης αέρα. Τα CAES διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα συμβατικά και τα αδιαβατικά (AA-CAES).

Συμβατικά CAES

Ο αλγόριθμος λειτουργίας ενός συμβατικού CAES έχει ως εξής:

- Όταν υπάρχει περίσσεια ενέργεια από τη μονάδα Α.Π.Ε. του υβριδικού σταθμού, διατίθεται σε ένα διβάθμιο συμπιεστή με ενδιάμεση ψύξη του συμπιεσμένου αέρα ανάμεσα στις δύο βαθμίδες. Ο αέρας του περιβάλλοντος, ο οποίος συμπιέζεται σε πίεση της τάξης μεταξύ των 40 – 70bar, μετά την έξοδό του από το συμπιεστή, ψύχεται ξανά, με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα σε χαμηλά επίπεδα αποσκοπεί στην μείωση της πυκνότητάς του, άρα και του όγκου του, και στην αποθήκευση του σε κατά το δυνατόν μεγαλύτερης μάζας αέρα ανάλογα με τον όγκο του χώρου αποθήκευσης. Στο τελικό στάδιο αποθήκευσης, ο κρύος και συμπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται σε μία υπόγεια δεξαμενή.
- Στην περίπτωση που απαιτείται η μονάδα αποθήκευσης να συμπληρώσει την παραγωγή ισχύος για την κάλυψη της ζήτησης, ο συμπιεσμένος αέρας ελευθερώνεται από τη δεξαμενή αποθήκευσης, θερμαίνεται σε ένα καυστήρα και οδηγείται προς εκτόνωση σε ένα διβάθμιο στρόβιλο, με ενδιάμεση αναθέρμανση του ανάμεσα στις δύο βαθμίδες του.

Παρακάτω στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση της δομής και λειτουργίας ενός συμβατικού CAES.

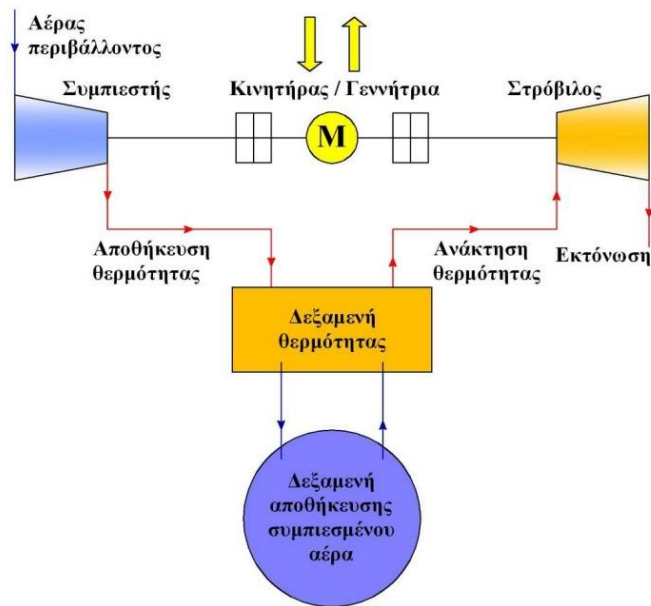


Σχήμα 2.1 Δομή και λειτουργία ενός συμβατικού CAES (Κατσαπρακάκης 2015)

Αδιαβατικά CAES

- Σε ένα αδιαβατικό σταθμό αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (AA-CAES), η αφαιρούμενη θερμότητα από τον αέρα κατά τη συμπίεσή του, δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον, αλλά αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας. Η αλλαγή αυτή στη δομή λειτουργίας, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3, αποτελεί τη βασική διαφορά ανάμεσα στα συμβατικά και στα αδιαβατικά CAES. Ουσιαστικά, τα AA-CAES εκμηδενίζουν τη κατανάλωση συμβατικού καυσίμου για την αναθέρμανση του αέρα πριν την εκτόνωσή του στις βαθμίδες του στροβίλου, το οποίο αποτελεί και τον βασικό σκοπό ανάπτυξης των AA-CAES. Με τα αδιαβατικά CAES, ο συνολικός βαθμός απόδοσης του κύκλου αποθήκευσης – παραγωγής μπορεί να φτάσει σε τιμές της τάξης του 70%, προσεγγίζοντας έτσι τις αντίστοιχες τιμές της απόδοσης που επιτυγχάνεται σε ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό.

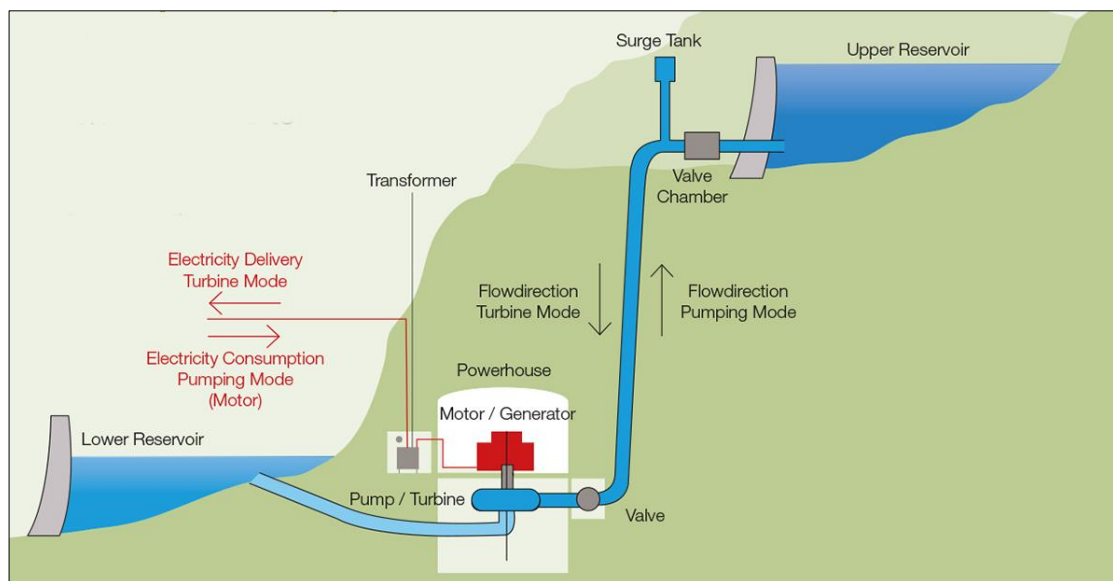
Παρακάτω στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η δομή και λειτουργία ενός αδιαβατικού CAES.



Σχήμα 2.2 Δομή και λειτουργία ενός αδιαβατικού CAES (Κατσαπρακάκης 2015)

Αναστρέψιμα Υδροηλεκτρικά

Η αποθήκευση ενέργειας με τη μέθοδο της αντλιοσταμείωσης ή, διαφορετικά, με αντλιοσταμειωτήρες ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά (Pumped Storage Systems – PSS), είναι η περισσότερο τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά ανταγωνιστική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας για υβριδικά συστήματα μεγάλου μεγέθους. Η βασική δομή και λειτουργία ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Δομή και λειτουργία ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού συστήματος (ANDRITZ)

Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό αποτελείται από δύο δεξαμενές νερού, με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους, συνήθως μερικών εκατοντάδων μέτρων. Οι δεξαμενές μπορεί να έχουν χωρητικότητα από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα, έως μερικά εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η μεταφορά νερό μεταξύ των δεξαμενών πραγματοποιείται ή μέσω μονής σωλήνωσης, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για άντληση όσο και για πτώση νερού, ή μέσω δύο ανεξάρτητων σωληνώσεων, μία για άντληση και μία για πτώση. Η επιλογή μεταξύ μονής ή διπλής σωλήνωσης, εξαρτάται από τον αλγόριθμο λειτουργίας του υβριδικού σταθμού, από τον οποίο προκύπτει αν θα υπάρχει η ανάγκη για ταυτόχρονη πτώση και άντληση νερού, δηλαδή, για ταυτόχρονη φόρτιση και εκφόρτιση της μονάδας αποθήκευσης. Συνήθως επιλέγεται διπλή σωλήνωση για ευελιξία του υβριδικού συστήματος και για υψηλότερη διείσδυση Α.Π.Ε. στο σύστημα. Τα κάτω άκρα των σωληνώσεων νερού καταλήγουν σε ένα αντλιοστάσιο και σε ένα υδροηλεκτρικό σταθμό. Όταν υπάρχει περίσσεια ισχύος από τις Α.Π.Ε. που πρέπει να αποθηκευτεί, η ισχύς αυτή οδηγείται στις αντλίες του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, μέσω των οποίων το νερό αντλείται από την κάτω και αποθηκεύεται στην άνω δεξαμενή. Με αυτό το τρόπο αποθηκεύεται ενέργεια στην άνω δεξαμενή με τη μορφή δυναμική ενέργειας. Όταν απαιτηθεί ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση ελλείματος, γίνεται πτώση του αποθηκευμένου νερού και μέσω των σωληνώσεων καταλήγει στον υδροστρόβιλο του υδροηλεκτρικού σταθμού, παρέχοντας έτσι απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι επιλογές λειτουργίας ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού συστήματος είναι δύο, αυτή για απαλοιφή αιχμών ζήτησης ισχύος και αυτή για υψηλή διείσδυση σε υβριδικά συστήματα με συνεισφορά των Α.Π.Ε. (Κατσαπρακάκης 2015).

Λειτουργία απαλοιφής αιχμών ζήτησης ισχύος

Αν και η παρούσα λειτουργία δεν χρησιμοποιείται σε απομονωμένα υβριδικά συστήματα αξίζει να αναφερθεί. Η λειτουργία αυτή των υδροηλεκτρικών συστημάτων, αποσκοπεί στην κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών σε ώρες αιχμής. Η ενέργεια που αποθηκεύεται όπως αναφέρθηκε, αποσκοπεί στην κάλυψη της ζήτησης ενέργειας σε ώρες αιχμής. Οι συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως είναι οι ντιζελογεννήτριες, χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος στις πρωινές ώρες όπου η κατανάλωση ρεύματος είναι χαμηλή, ενώ τις μεσημεριανές έως και τις πρώτες βραδινές ώρες το κόστος αυτό αυξάνεται λόγω αυξημένης ζήτησης. Συνεπώς είναι εύλογο, τις βραδινές ώρες να γίνεται χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας, ώστε να μειώνεται το υψηλό κόστος παραγωγής από τις συμβατικές μονάδες. Για αυτή την λειτουργία τα υδροηλεκτρικά κατασκευάζονται με μονή σωλήνωση καθώς δεν υπάρχει ταυτόχρονη πτώση και αποθήκευση ισχύος από αυτά.

Λειτουργία υψηλής διείσδυσης Α.Π.Ε. σε υβριδικά συστήματα

Σε αυτή την περίπτωση, το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό αποσκοπεί στην αντιμετώπιση της τυχαιότητας των Α.Π.Ε. στην παραγωγή ενέργειας, με την αποθήκευση της ενέργειας τους όταν παρατηρείται πλεόνασμα. Ο πιο δημοφιλής συνδυασμός όπως προαναφέρθηκε, είναι τα αιολικά πάρκα με τα υδροηλεκτρικά, για υψηλή διείσδυση των Α.Π.Ε. Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται διπλή σωλήνωση, για ταυτόχρονη πτώση και άντληση νερού. Η ανάγκη για τη διπλή σωλήνωση προσδίδει υψηλότερο ποσοστό στιγμιαίας διείσδυσης από τα αιολικά πάρκα, που αποσκοπεί την δυναμική ασφάλεια του συστήματος. Ουσιαστικά, αποθηκεύεται η ενέργεια που δεν επιτρέπεται να διεισδύσει στο δίκτυο από τα αιολικά, ενώ ταυτόχρονα όμως, είναι δυνατή η πτώση νερού για παραγωγή ενέργειας από τους υδροστρόβιλους. Ταυτόχρονα, η διπλή σωλήνωση προσφέρει περισσότερη ασφάλεια στο σύστημα, για τυχόν βλάβη του συστήματος άντλησης ή των αιολικών πάρκων στην παραγωγή ενέργειας, με άμεση δυνατότητα κάλυψης αναγκών με την πτώση νερού.

2.2 Παραδείγματα Αυτόνομων Υβριδικών Σταθμών στον Ελλαδικό Χώρο

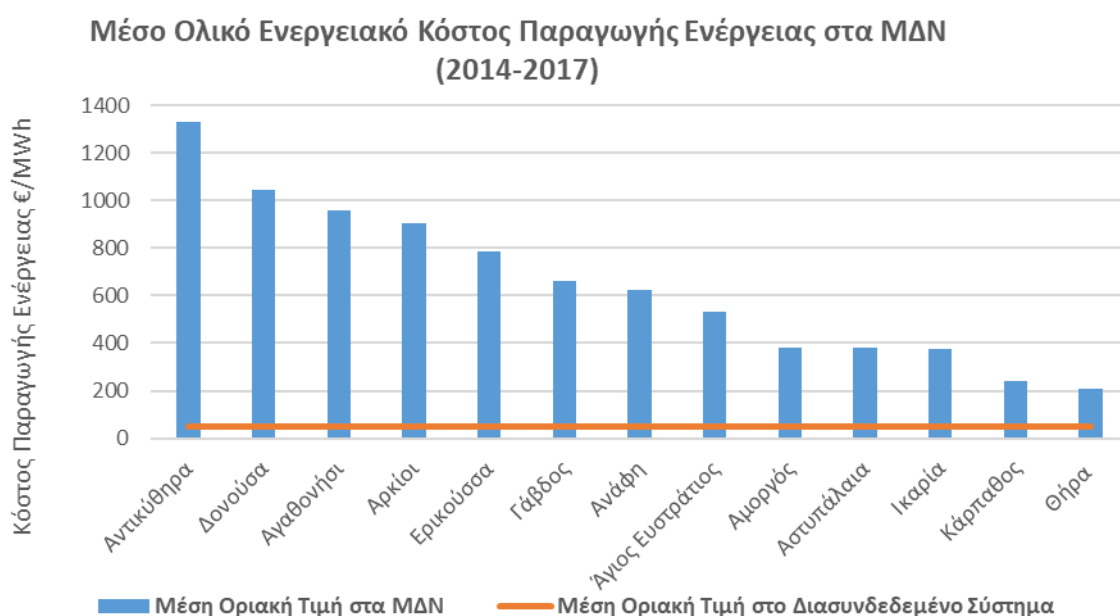
Ως παράδειγμα προς κατανόηση τόσο την διαστασιολόγηση, αλλά και την λειτουργικότητα ενός υβριδικού σταθμού στον Ελλαδικό χώρο, δίνεται το υβριδικό σύστημα της νήσου Ικαρίας. Το σύστημα αξιοποιεί την αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού, υποκαθιστώντας σημαντικά τον πετρελαϊκό σταθμό του νησιού. Τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1 .

Πίνακας 2.1 Τεχνικά και Οικονομικά Χαρακτηριστικά Υβριδικού Σταθμού Ικαρίας (Κατσαπρακάκης 2015)

<i>Υβριδικός σταθμός Ικαρίας</i>	
Ετήσια αιχμή ζήτησης ισχύος (MW)	7,8
Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	27.600
Αιολικά πάρκα (αριθμός Α/Γ / ισχύς)	4 × 600 kW = 2.4 MW
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής (m ³)	900.000
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής (m ³)	80.000
Ολικό μανομετρικό (m)	724 (άνω δεξαμενή)
	555 (κάτω δεξαμενή)
Χωρητικότητα αποθήκευσης (MWh)	1.500
Αντλιοστάσιο (μονάδες/ισχύς)	8 × 250 kW = 2MW
Υδροηλεκτρικός σταθμός (μονάδες/ισχύς)	2 × 1.550kW + 1.050 kW = 4,15 MW
Συνολικό αρχικό κόστος εγκατάστασης (€)	26.000.000
Αρχικό κόστος αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού (€)	23.000.000
Ειδικό κόστος αποθήκευσης αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού (€/kWh)	15,33
Συνολικός βαθμός απόδοσης αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού (%)	69
Ετήσια διείσδυση ενέργειας υβριδικού σταθμού (%)	50,0

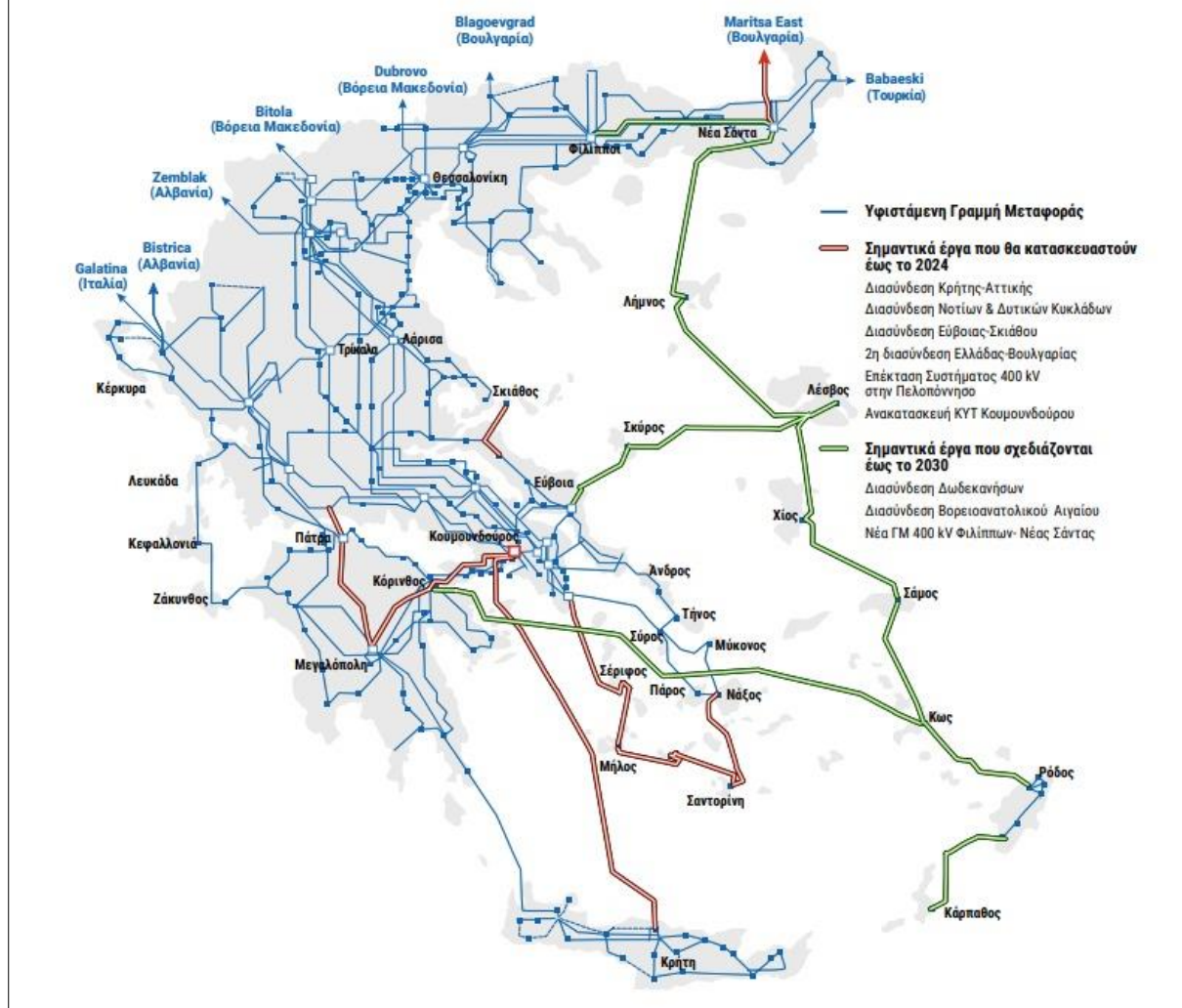
2.3 Αναγκαιότητα Υβριδικών Συστημάτων στον Ελλαδικό Χώρο

Ο μεγάλος αριθμός νησιών είναι χαρακτηριστικό της φυσικής ελληνικής γεωγραφίας. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ τα νησιά κατέχουν το 15% της συνολικής έκτασης της χώρας, με συνολικό αριθμό 2.500, με τα 165 από αυτά να είναι κατοικήσιμα. Ταυτόχρονα, σε αυτά κατοικεί το 12% του συνολικού πληθυσμού της χώρας. Ελάχιστα ελληνικά νησιά είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τα περισσότερα από αυτά αυτόνομα, και εξαρτώμενα από θερμοηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Αυτό οδηγεί σε υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, έως και 3.6 φορές μεγαλύτερο από αυτό της ηπειρωτικής χώρας, λόγω χρήσης συμβατικού καυσίμου. Σύμφωνα με την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργεια (ΡΑΕ) υπάρχουν 29 αυτόνομα συστήματα, εκ το οποίων ορισμένα από αυτά αποτελούνται από σύμπλεγμα νησιών (ΡΑΕ 2022). Τα συνολικά Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) είναι 61. Το κόστος παραγωγής ενέργειας σε κάποια από αυτά τα νησιά παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4. Αν και υπάρχει μελλοντικό σχέδιο επέκτασης και σύνδεσης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5, πολλά από τα νησιά δεν θα συνδεθούν σύντομα ή και καθόλου. Την λύση για τη μείωση της χρήσης των συμβατικών καυσίμων έρχονται να δώσουν οι Α.Π.Ε. με την συμβολή των υβριδικών συστημάτων, ώστε να υποστηρίξουν τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα ενέργειας. Ακόμα όταν ολοκληρωθεί η σύνδεση αυτών των νησιών, η συμβολή του αιολικού δυναμικού και της ηλιακής ακτινοβολίας που χαρακτηρίζει τα ελληνικά νησιά θα συμβάλλει σημαντικά στο ενιαίο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας.



Σχήμα 2.4 Μέσο Ολικό Ενεργειακό Κόστος για τα ΜΔΝ (Katsoulakos 2019)

Χάρτης Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας



Σχήμα 2.5 Χάρτης Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ 2022)

Γενικότερα, η εισαγωγή των υβριδικών συστημάτων ενέργειας σε μη διασυνδεδεμένα συστήματα ενέργειας αποσκοπεί στα εξής:

- Στην υψηλή διείσδυση των Α.Π.Ε. στο σύστημα και στην υψηλή εκμετάλλευση των τοπικών δυνατοτήτων τους.
- Στην μείωση των συμβατικών καυσίμων, για την μείωση τόσο του κόστους όσο και της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από αυτά.
- Στην ενδυνάμωση τη τοπικής οικονομίας.
- Στην βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας των γεωγραφικά απομονωμένων περιοχών.

3. Αφαλάτωση

3.1 Η Ανάγκη για Νερό

Το νερό αποτελεί το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη και την διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Είναι καθοριστικό για την επιβίωση του ανθρώπου και τις δραστηριότητες του για ανάπτυξη. Αν και αναγκαίο, για ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού η πρόσβαση σε αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ειδικότερα στην πόσιμη μορφή του. Το πόσιμο νερό καταλαμβάνει μόλις το 3% του συνολικού νερού του πλανήτη, με το υπόλοιπο 97% να αποτελεί το νερό των ωκεανών και θαλασσών, το οποίο είναι και αλμυρό. Ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού γλυκού νερού, της τάξης του 68%, δεν είναι προσβάσιμο, διότι μπορεί να είναι είτε στους παγετώνες των πόλων είτε στις κορυφές των οροσειρών είτε στην ατμόσφαιρα. Ένα ποσοστό της τάξης του 30% είναι κάτω από την επιφάνεια της γης και αποτελεί τα υπόγεια ύδατα. Στην ουσία, το προσβάσιμο πόσιμο νερό, το οποίο αποτελούν κυρίως οι λίμνες και τα ποτάμια αποτελεί μόνο το 1% της συνολικής ποσότητας του νερού (USGS 1993).

Ειδικότερα στην Ελλάδα, με τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών, την εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, την αστικοποίηση, καθώς και τις απότομες δημογραφικές μεταβολές, ειδικότερα τους θερινούς μήνες στις τουριστικές περιοχές και στα νησιά, δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα έλλειψης πόσιμου νερού και αρδευτικού. Η έλλειψη νερού οδηγεί στο να απαιτείται η μεταφορά του μέσω πλοίων, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το κόστος (ΥΠΕΝ 2017). Συνεπώς, ένα από τα προβλήματα της εποχής είναι η λειψυδρία που αντιμετωπίζουν πολλές περιοχές, και η αφαλάτωση καλείται να το επιλύσει.

3.2 Λειτουργία και Μέθοδοι Μονάδων Αφαλάτωσης

Ός <<αφαλάτωση>> ορίζουμε την διαδικασία διαχωρισμού του μεγαλύτερου ποσοστού των αλάτων και μετάλλων από αλατούχα υδατικά διαλύματα. Ουσιαστικά, με την μέθοδο της αφαλάτωσης ανακτάται πόσιμο νερό από θαλασσινό, υφάλμυρο, ή και χαμηλής ποιότητας. Αποτελεί μια διαδικασία που χρησιμοποιείται σε παράκτιες κυρίως περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας, και αποτελεί τεχνολογικά και οικονομικά ώριμη και εφικτή λύση. Η παράμετρος που ορίζει την ποιότητα και τον χαρακτηρισμό του νερού ως πόσιμου είναι η αλατότητα (ή αλμυρότητα) ή αλλιώς τα Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (Total Dissolved Solids - TDS) με μονάδα μέτρησης mg/l ή ppt (parts per thousands). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας θέτει ως ανώτερο όριο για το πόσιμο νερό τα 600 mg/l (WHO 2017). Το θαλασσινό νερό σε αντιστοιχία, έχει TDS της τάξεως άνω των 15.000 mg/l και ειδικότερα η Μεσόγειος

Θάλασσα έχει αλατότητα περίπου 38.600 mg/l TDS (Bashithalshaaer; Persson; Aljaradin 2011).

Για την αφαλάτωση του νερού έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται πολλαπλές τεχνικές, οι οποίες παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω:

- Αντίστροφη Όσμωση (RO)
- Απόσταξη με εκτόνωση (Multi-stage Flash, MSF)
- Απόσταξη με πολλαπλές βαθμίδες (Multiple Effect Distillation, MED)
- Επανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC)
- Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)
- Ηλεκτροαπιονισμός (Electrodeionisation, EDI)
- Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation, SD)
- Μικροδιήθηση (Microfiltration, MF)
- Νανοδιήθηση (Nanofiltration, NF)
- Υπερδιήθηση (Ultrafiltration, UF)

Άλλες μέθοδοι που βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης ή με μικρότερη εφαρμογή είναι:

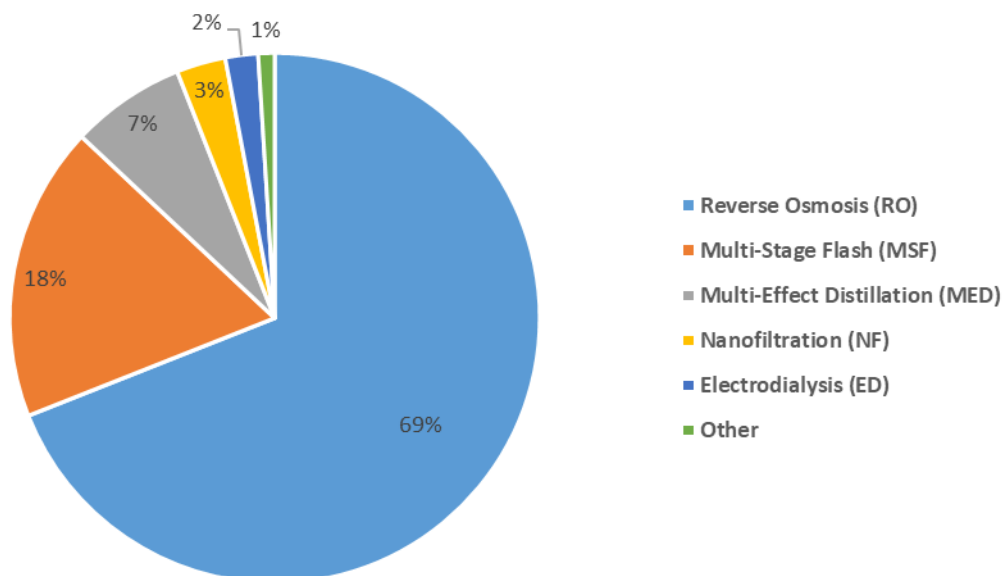
- Απόσταξη με μεμβράνες (Membrane Distillation, MD)
- Διεξάτμιση (Pervaporation)
- Ευθεία Όσμωση (Forward Osmosis, FO)
- Ιοντοεναλλαγή (Ion Exchange, IX)

Γενικότερα οι παραπάνω τεχνικές διακρίνονται σε δύο (2) κύριες κατηγορίες:

- Τεχνικές αλλαγής φάσης ή θερμικές τεχνικές
- Τεχνικές μίας φάσης ή τεχνικές μεμβρανών

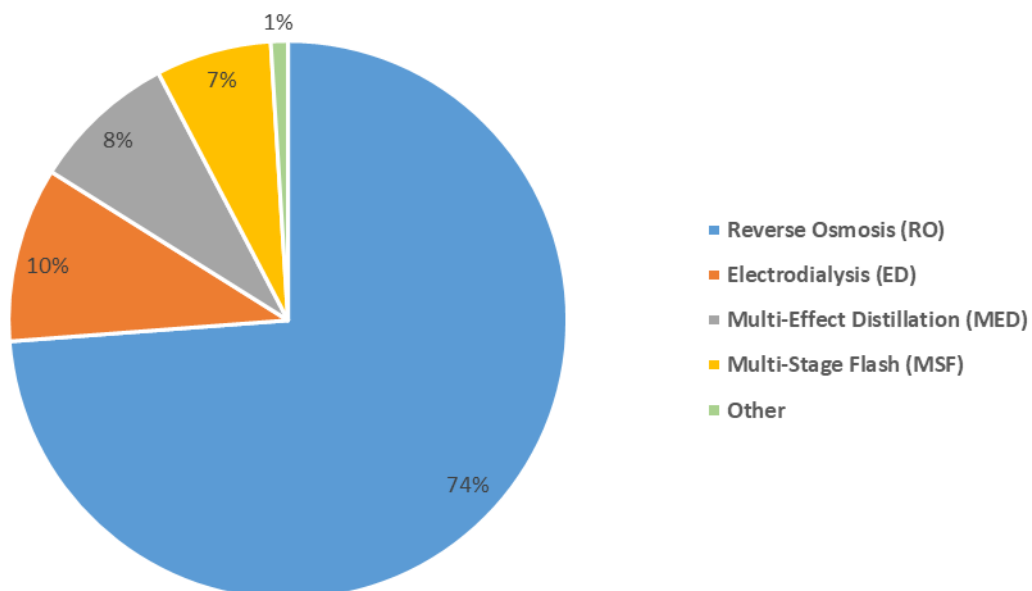
Η πιο διαδεδομένη κατηγορία μεθόδων αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα, είναι αυτή των μεμβρανών. Η πρώτη σε χρήση μέθοδος είναι αυτή της RO με ποσοστό 69% στη παγκόσμια αγορά. Αναλυτικά, τα ποσοστά χρήσης της κάθε μεθόδου αναφέρονται στο Σχήμα 3.1, ενώ για τον ελλαδικό χώρο στο Σχήμα 3.2.

Ποσοστό χρήσης μεθόδων αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα



Σχήμα 3.1 Ποσοστό χρήσης μεθόδων αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα (Jones 2019).

Ποσοστό χρήσης μεθόδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα

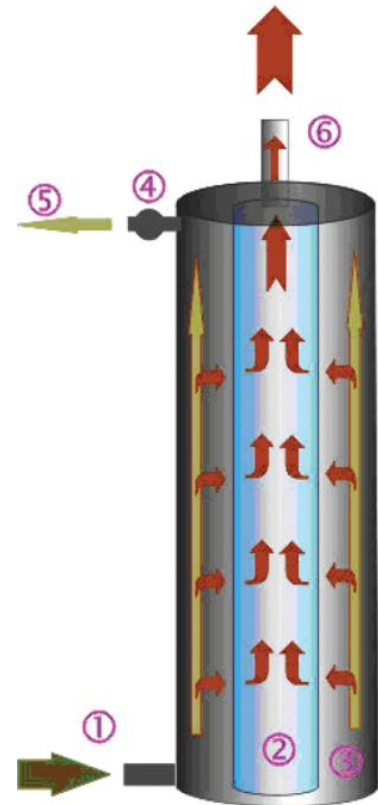


Σχήμα 3.2 Ποσοστό χρήσης μεθόδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα (Zotalis 2014).

Αντίστροφη Όσμωση (RO)

Στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, έχουμε τεχνητή πίεση του αλατούχου διαλύματος ώστε να περάσει μέσα από του πόρους μια ημι-διαπερατής μεμβράνης προς ένα θάλαμο καθαρού νερού. Άρα έχουμε αντίστροφη όσμωση καθώς το νερό με την μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων ωθείται προ το θάλαμο με την μικρότερη συγκέντρωση. Το αλάτι παραμένει λοιπόν στο διαμέρισμα του αλατούχου διαλύματος, ενώ το καθαρό νερό διαπερνά. Όπως φαίνεται στο δίπλα Σχήμα 3.3, το νερό προς αφαλάτωση εισέρχεται στο σύστημα από την είσοδο 1 και τοποθετείται στο χώρο 3.

Ο χώρος 3 βρίσκεται υπό πίεση και έτσι το νερό αναγκάζεται κατά ποσοστό 25% να περάσει από την μεμβράνη 2 και να εξέλθει καθαρό από την έξοδο 6. Εάν ξεπεραστεί το όριο πίεσης της βαλβίδας, τότε θα εξέλθει από την έξοδο 5 χωρίς να έχει καθαριστεί (MinDevGR 2019).



Σχήμα 3.3 Λειτουργία αντίστροφης όσμωσης (MinDevGR 2019)

Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού ακολουθεί μια διαδικασία τριών σταδίων:

- Το στάδιο προ-επεξεργασίας
- Το στάδιο της αντίστροφης όσμωσης
- Το τελικό στάδιο της επεξεργασίας

Στάδιο προεπεξεργασίας

Το στάδιο προεπεξεργασίας στοχεύει στην προστασία των μεμβρανών από τα άλατα και τους μικροοργανισμούς, η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου με τοποθέτηση σχάρας (ώστε να μη διέρχονται ψάρια, πλαστικά κ.α.).
- Προχλωρίωση θαλασσινού νερού, την προσθήκη οξέων (για αποφυγή απόθεσης αλάτων).
- Φίλτρο άμμου (για φιλτράρισμα μικρότερων σωματιδίων).
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου (για κατακράτηση στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες).
- Αποχλωρίωση.
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία.

Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης

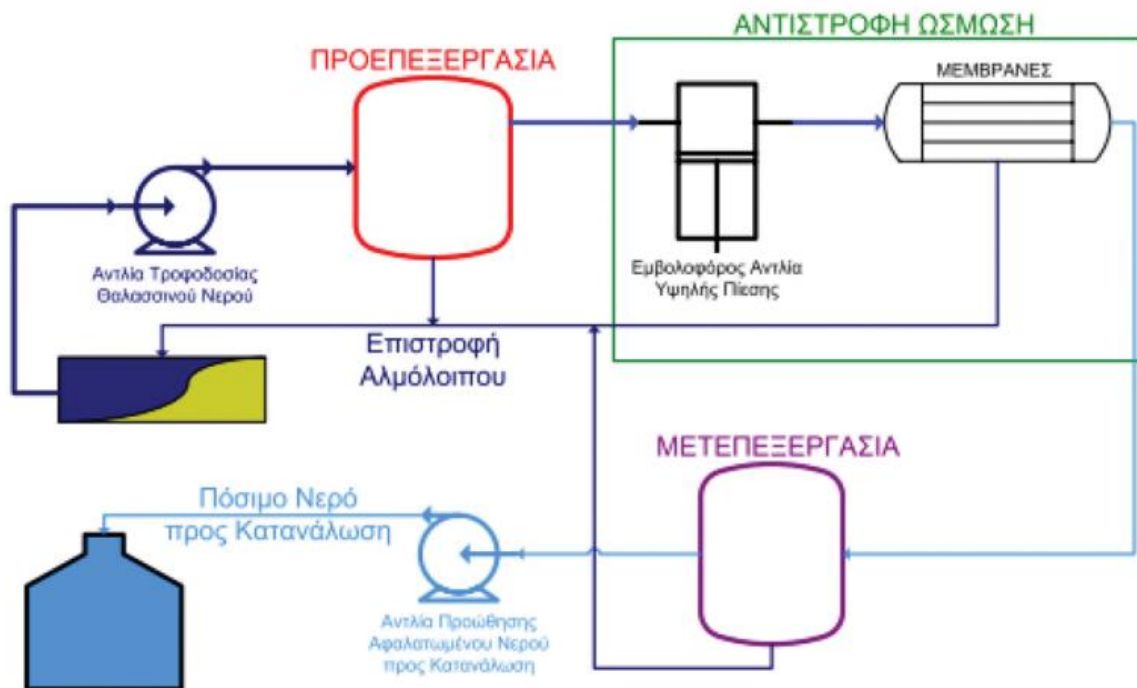
Περιλαμβάνει την συμπίεση κατά την οποία, αντλία αυξάνει την πίεση του κατεργασμένου νερού τροφοδοσίας, η οποία πίεση είναι κατάλληλη για την μεμβράνη και την αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας και τον διαχωρισμό κατά τον οποίο οι διαπερατές μεμβράνες παρεμποδίζουν την διέλευση των διαλυμένων αλάτων, ενώ επιτρέπουν στο αφαλατωμένο νερό να περάσει μέσα.

Στάδιο τελικής επεξεργασίας

Σε αυτό το στάδιο το παραγόμενο νερό προετοιμάζεται ώστε να μπορεί να γίνει η διανομή του, αυτή η προετοιμασία περιλαμβάνει:

- Την απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο.
- Την ρύθμιση της οξύτητας (pH).
- Την αύξηση της σκληρότητας του νερού.
- Την τελική χλωρίωση.

Παρακάτω παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4 η συνολική λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης για την επεξεργασία του νερού προς αφαλάτωση με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης (MinDevGR 2019).



Σχήμα 3.4 Ροή λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση (MinDevGR 2019)

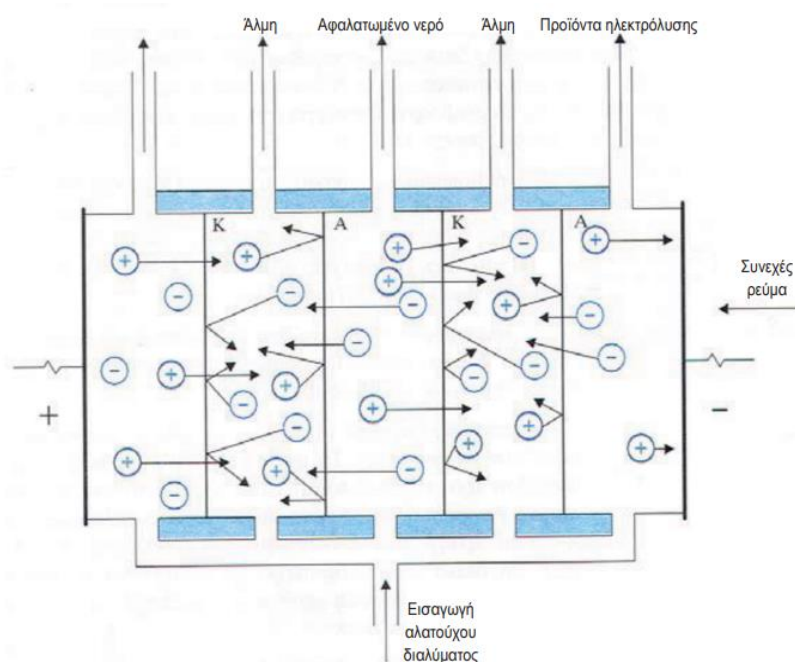
Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 3.1 σύμφωνα με το Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά μεθόδου αντίστροφης ώσμωσης (MinDevGR 2019)

Αντίστροφη Ώσμωση	
Νερό τροφοδοσίας	(Θ) Θαλασσινό
	(Υ) Υφάλμυρο
Εύρος μεγεθών	(Θ) 0,4 - 128.000 m ³
	(Υ) 2,5 - 98.000 m ³
Ποιότητα παραγόμενου νερού	250 - 500 ppm TDS
Απαιτούμενη Ενέργεια	Ηλεκτρική (3-15 kWh/m ³)
	Θερμική (0,5-3 kWh/m ³)

Ηλεκτροδιάλυση (ED)

Το προς αφαλάτωση νερό περνάει μέσα από ένα σύστημα ηλεκτρικά φορτισμένων μεμβρανών που διαχωρίζουν τα ιόντα των διαλυμένων αλάτων και τα απομακρύνουν από το καθαρό νερό. Στη συνέχεια εφαρμόζεται στο διάλυμα ηλεκτρική τάση επιβάλλοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο διάλυμα. Τα φορτισμένα ιόντα κινούνται προς την κατεύθυνση των ηλεκτροδίων εκείνων που έχουν αντίθετο φορτίο με αυτά (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας της μεθόδου Ηλεκτροδιάλυσης (MinDevGR 2019)

Στην αφαλάτωση με ηλεκτρόλυση, το ηλεκτρολυτικό κελί περιλαμβάνει δύο μεμβράνες σαν διαχωριστικά τοιχώματα. Στα πλευρικά τοιχώματα υπάρχουν τα ηλεκτρόδια της συσκευής που συνδέονται με πηγή συνεχούς ρεύματος. Στη συσκευή διοχετεύεται θαλασσινό νερό. Κατά την κίνηση τους, τα διαλυμένα ιόντα προσκολλώνται στις μεμβράνες με επιλεκτικό τρόπο. Τα ιόντα των αλάτων που συνήθως περιλαμβάνονται στο νερό διαπερνούν τις

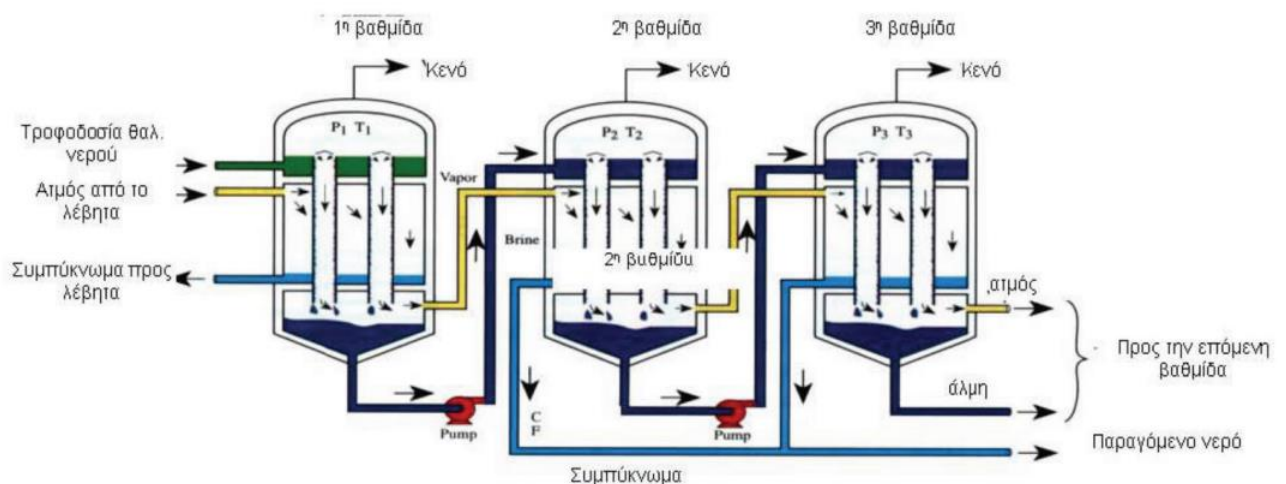
μεμβράνες εγκαταλείποντας τον ενδιάμεσο θάλαμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ενδιάμεσος θάλαμος να περιέχει νερό με λιγότερα άλατα και επομένως πιο καθαρό.

Προφανώς αυτή η μέθοδος δεν υφίσταται με μη ιοντικά στερεά, ενώ ταυτόχρονα η ενέργεια που απαιτείται είναι ανάλογη με την συγκέντρωση των αλάτων. Για αυτό το λόγο η μέθοδος αυτή προτιμάται σε υφάλμυρα νερά, με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.2:

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά Ηλεκτροδιάλυσης.

Ηλεκτροδιάλυση	
Νερό τροφοδοσίας	Υφάλμυρο
Εύρος μεγεθών	15 - 50.000 m ³
Ποιότητα παραγόμενου νερού	300 - 500 ppm TDS
Απαιτούμενη Ενέργεια	Ηλεκτρική (1,5-4 kWh/m ³) για 1.500 - 3.500 ppm

Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)



Σχήμα 3.6 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας Πολυβάθμιας Εξάτμισης (MinDevGR 2019)

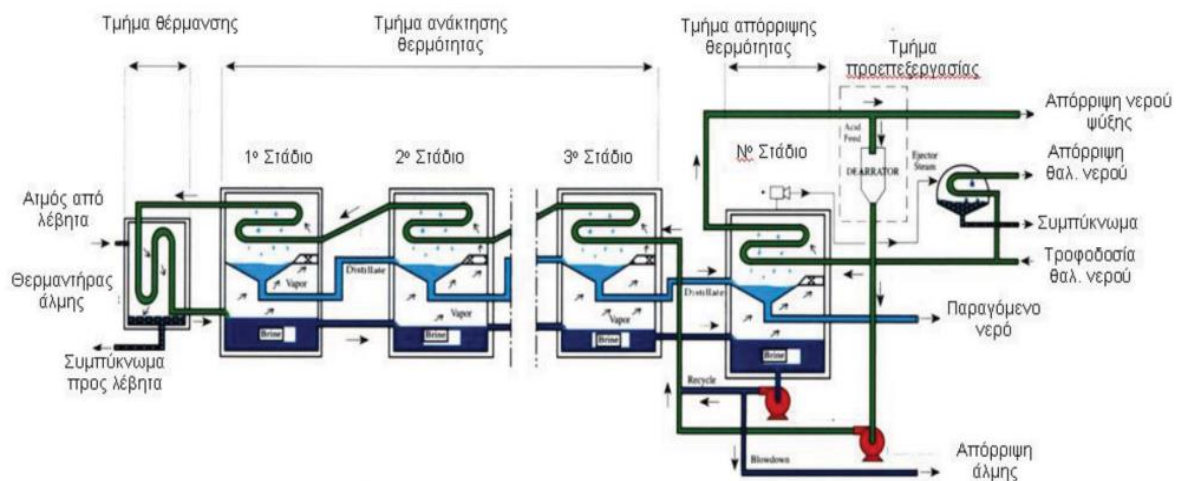
Η πολυβάθμια εξάτμιση αποτελείται από μια πηγή θέρμανσης, έναν αποστακτήρα, έναν συμπυκνωτή ατμών και έναν διαχωριστή που παγιδεύει τις λεπτές σταγόνες της άλμης και τις αποχωρίζει από τον ατμό. Για καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας του συστήματος το σύστημα αποτελείται από πολλαπλούς εξατμιστήρες σε σειρά.

Αρχικά το αλμυρό νερό θερμαίνεται μέχρι την θερμοκρασία βρασμού του (100°C) στην πρώτη βαθμίδα του συστήματος. Οι ατμοί που προκύπτουν από τη πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιούνται ως ατμός θέρμανσης στην δεύτερη, η οποία βρίσκεται δε χαμηλότερη πίεση από την πρώτη ώστε το διάλυμα της άλμης να βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο με ολοένα χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία (MinDevGR 2019). Τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.3 :

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά Πολυβάθμιας εξάτμισης

Πολυβάθμια Εξάτμιση	
Νερό τροφοδοσίας	(Θ) Θαλασσινό
Εύρος μεγεθών	500 - 20.000 m ³
Ποιότητα παραγόμενου νερού	10 ppm TDS
Απαιτούμενη Ενέργεια	Ηλεκτρική (4-6 kWh/m ³) Θερμική (290 KJ/kg)

Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF)



Σχήμα 3.7 Σχηματική απεικόνιση λειτουργία πολυβάθμιας εκτόνωσης (MinDevGR 2019)

Η τεχνολογία της πολυβάθμιας εκτόνωσης χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και είναι κατάλληλη για εφαρμογές μεγάλου μεγέθους, δηλαδή ποσότητες νερού της τάξεως των 1.000 – 60.000 m³/ημέρα. Στην μέθοδο αυτή, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται υπό συγκεκριμένη πίεση, σε θερμοκρασία λίγο πιο χαμηλή από αυτή του σημείου βρασμού. Στη

συνέχεια, το θαλασσινό νερό εισέρχεται σε ένα θάλαμο χαμηλότερης πίεσης από αυτή του διαλύματος με αποτέλεσμα να βράζει απότομα. Συνεπώς, το νερό αρχίζει να εξατμίζεται μέχρι να έρθει μια ισορροπία με τους σχηματιζόμενους ατμούς. Ο απότομος βρασμός σε συνδυασμό με τον σχηματισμό ατμών έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη του διαλύματος. Για να είναι δυνατή μια νέα απότομη εξάτμιση στην επόμενη βαθμίδα πρέπει η πίεση στο θάλαμο να είναι χαμηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του διαλύματος στην επόμενη βαθμίδα. Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4 :

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά Πολυβάθμιας Εκτόνωσης

<i>Πολυβάθμια Εκτόνωση</i>	
Νερό τροφοδοσίας	(Θ) Θαλασσινό
Εύρος μεγεθών	1000 - 60.000 m ³
Ποιότητα παραγόμενου νερού	10 ppm TDS
Απαιτούμενη Ενέργεια	Ηλεκτρική (4-6 kWh/m ³) Θερμική (290 KJ/kg)

3.3 Διαχείριση άλμης

3.3.1. Χαρακτηριστικά και μέθοδοι διαχείρισης

Η άλμη αποτελεί το απόβλητο της διαδικασίας της αφαλάτωσης του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Η συγκέντρωση της ως προς τα διάφορα άλατα μπορεί να είναι της τάξης των 40.000 – 30.000 ppm, και οι χημικές ουσίες που περιέχει είναι σχεδόν διπλάσιες από το νερό τροφοδοσίας. Η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της άλμης εξαρτώνται από τη ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και των χαρακτηριστικών της μονάδας αφαλάτωσης. Όσο πιο αλμυρό είναι το νερό τροφοδοσίας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα παραγόμενης άλμης. Ταυτόχρονα, τα χημικά που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της προεπεξεργασίας επηρεάζουν τη σύσταση της παραγόμενης άλμης, μετατρέποντας την μη φιλική προς το περιβάλλον και ειδικότερα προς τον θαλασσινό και υδροφόρο ορίζοντα.

Η συνεχής απόρριψη της άλμης στη θάλασσα αυξάνει την αλατότητα, όπως έχει παρατηρηθεί στην Μεσόγειο (Bashitialshaaer; Persson; Aljaradin 2011) και η υψηλή αλατότητα στη συνέχεια αυξάνει και το λειτουργικό κόστος των μονάδων στα επόμενα χρόνια. Όσον αφορά τις άμεσες επιπτώσεις στον υδάτινο κόσμο, στο χώρο της Μεσογείου όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, τα λιβάδια Ποσειδωνίας (*Posidonia Oceanica*), τα οποία

έχουν θεμελιώδη ρόλο στην ανάπτυξη και υγεία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων είναι ευαίσθητα στην υψηλή αλατότητα της άλμης (Gacia; Invers; Manzanera 2007), και η καταστροφή τους δεν είναι αναστρέψιμη λόγω της αργής ανάπτυξης τους.

Η διαχείριση της αποτελεί μια πρόκληση στην ανάπτυξη μονάδων αφαλάτωσης, καθώς με την καλύτερη διαχείριση αυξάνεται και το κόστος, αλλά πρέπει να μειωθούν στο καλύτερο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της. Οι συνήθεις μέθοδοι διαχείρισης της είναι οι εξής:

- Διάθεση σε επιφανειακά νερά (Surface Water Discharge)
- Διάθεση σε συστήματα αποχέτευσης (Sewer Discharge)
- Έγχυση σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς (Deep Well Injection)
- Λίμνες εξάτμισης (Evaporation Ponds)
- Άρδευση, διάθεση στο έδαφος (Land Application)
- Συνδυασμένη απόρριψη με υγρά απόβλητα
- Μηδενικά Υγρά Απόβλητα (Zero Liquid Discharge - ZLD)

Η πιο συνήθης μέθοδος στη Μεσόγειο και στον ελλαδικό χώρο είναι αυτή της διάθεσης σε επιφανειακά νερά με χρήση με χρήση υποθαλάσσιου αγωγού, με συγκεκριμένη μελέτη ώστε να διαχέεται μακριά από την ακτή και με τον υπολογισμό ρευμάτων ώστε να απομακρύνεται καλύτερα. Αν και ωστόσο, δεν υπάρχει διαδικασία, ούτε υπηρεσία επίσημα που να ορίζει τον τρόπο καθορισμού διάχυσης της άλμης ή τα όρια αυτής (MinDevGR 2019).

3.3.2. Ανάκτηση και αξιοποίηση άλμης

Ανάκτηση άλμης

Για ελάχιστες ή μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την άλμη έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ανάκτησης των αλάτων, αν και οι περισσότερες δεν είναι τεχνολογικά ώριμες ή χαρακτηρίζονται από υψηλά κόστη και απαιτήσεις ενέργειας. Ο τεχνολογικός ορισμός αυτής της μεθόδου είναι η “κλασματική κρυστάλλωση” ή “ κλασματική καθίζηση” (Ξεύγενος Δ. 2016). Η κλασματική κρυστάλλωση αναφέρεται κυρίως σε μελέτες γεωλογίας όπου το φαινόμενο της κρυστάλλωσης λαμβάνει χώρα με αλλαγή της συγκέντρωσης του διαλύματος μέσω εξάτμισης ή με αλλαγή της θερμοκρασίας. Αντίθετα, η κλασματική καθίζηση συνήθως αναφέρεται στο φαινόμενο καθίζησης με τη χρήση χημικών.

Η μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί, κυρίως σε βιομηχανίες, είναι αυτή των Μηδενικών Υγρών Αποβλήτων (ZLD). Η τεχνική ZLD αναφέρεται σε οποιαδήποτε διάταξη με τεχνολογίες, η οποία αφαιρεί όλη την ποσότητα του νερού από την άλμη. Η τεχνική ZLD δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα σε Δημοτικές μονάδες αφαλάτωσης για παραγωγή πόσιμου

νερού καθώς θεωρείται οικονομικά και ενεργειακά κοστοβόρα, και ταυτόχρονα επειδή απαιτεί μεγάλη έκταση εγκατάστασης (Ξεύγενο Δ. 2016).

Μία καινοτομία στην επεξεργασία της άλμης, η οποία υιοθέτησε και εφάρμοσε την μέθοδο ZLD, είναι η το πρόγραμμα "SOL-BRINE" (SOL-BRINE 2013) που εφαρμόστηκε στο νησί της Τήνου. Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με συνεργασία με την εταιρία Culligan Hellas SA με σκοπό την παραγωγή προϊόντος από επεξεργασία της άλμης για κατανάλωση. Το έργο βραβεύτηκε ως το καλύτερο έργο του ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE, μετά από ψηφοφορία του κοινού, στη θεματική ενότητα «Περιβάλλον» (Green Awards), λαμβάνοντας τελικά το πρώτο βραβείο ανάμεσα σε 4.306 ολοκληρωμένα έργα στην Ευρώπη κατά την τελευταία 25ετία (1992-2017). Η πιλοτική μονάδα καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της με ηλιακή ενέργεια, με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών και ο επόμενος στόχος είναι να διαδοθεί η ευρύτερα η τεχνολογία της. Η εφαρμογή του συστήματος επεξεργασίας της άλμης σε πλήρη μονάδα αφαλάτωσης θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂, και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος λόγω μη απόρριψης της άλμης. Τα αποτελέσματα του προγράμματος μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην ανάπτυξη ανάλογων συστημάτων μεγαλύτερης κλίμακας (MinDevGR 2019).

Με την μέθοδο επιτεύχθηκε υψηλή ανάκτηση νερού (σε ποσοστά μεγαλύτερα του 90%) και παραγωγή στερεού άλατος εμπορικής αξίας. Στα πλαίσια του προγράμματος "SOL-BRINE", αναπτύχθηκε, ελέγχθηκε και βελτιστοποιήθηκε ένα πιλοτικό σύστημα επεξεργασίας άλμης, του οποίου οι κύριες συνιστώσες είναι οι ακόλουθες:

- Εξατμιστήρας
- Κρυσταλλωτήρας
- Ξηραντήρας
- Συμπιεστής
- Ηλιακοί Συλλέκτες

Εξατμιστήρας

Αποτελεί το πρώτο στάδιο επεξεργασίας της άλμης που παράγεται από την μονάδα αφαλάτωσης. Με χρήση θερμότητας και σε λειτουργία υπό κενό γίνεται διαχωρισμός της άλμης σε δύο ρεύματα, σε ατμό και σε συμπυκνωμένη άλμη. Ο εξατμιστήρας αποτελείται από 3 βαθμίδες, έναν προθερμαντήρα και έναν μηχανικό ή θερμικό συμπιεστή. Ο προθερμαντήρας προθερμαίνει την άλμη τροφοδοσίας έως τη θερμοκρασία βρασμού. Ο συμπιεστής χρησιμοποιείται για την συμπίεση του ατμού της τελευταίας βαθμίδας και την επαναχρησιμοποίησή του ατμού ως μέσο θερμότητας της πρώτης βαθμίδας. Έτσι, μειώνονται οι ανάγκες ατμού από το παραβολικό κάτοπτρο. Η πρώτη βαθμίδα θερμαίνεται

από εξωτερική πηγή, ενώ η δεύτερη και η τρίτη βαθμίδα θερμαίνονται από τον ατμό που παράγεται από την πρώτη και δεύτερη βαθμίδα αντίστοιχα. Ο ατμός ανακτάται ως απιονισμένο νερό υψηλών προδιαγραφών ενώ ο λόγος συμπύκνωσης της άλμης που παράγεται είναι της τάξης του 3.8.

Κρυσταλλωτήρας

Σε αυτό το στάδιο γίνεται ο διαχωρισμός του στερεού άλατος (μάγμα) από το κορεσμένο διάλυμα. Το συμπυκνωμένο ρεύμα άλμης που εξέρχεται από την τελευταία βαθμίδα του εξατμιστήρα, περιέχει περισσότερο από 25% στερεά. Το ρεύμα αυτό τροφοδοτείται στον κρυσταλλωτήρα. Κατά την απομάκρυνση περισσότερης ποσότητας διαλύτη (νερού), το διάλυμα φτάνει σε μία κατάσταση ισορροπίας όπου τα ιόντα σχηματίζουν κρυστάλλους. Όταν αυξάνει περαιτέρω η συγκέντρωση του διαλύματος, τα ιόντα κρυσταλλώνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα, με αποτέλεσμα το μέγεθος των κρυστάλλων να αυξάνει. Ο ατμός που παράγεται επανασυμπιέζεται και θερμαίνει το διάλυμα κρυστάλλωσης. Οι κρύσταλλοι σχηματίζουν το μάγμα στον πυθμένα του κρυσταλλωτήρα. Το μάγμα απομακρύνεται από τον κρυσταλλωτήρα και τροφοδοτείται στον ξηραντήρα με σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας.

Ξηραντήρας

Το υπόλειμμα που παράγεται κατά την κρυστάλλωση περιέχει αρκετή υγρασία. Για την απομάκρυνση της θα χρησιμοποιηθεί ρεύμα ζεστού αέρα, με αποτέλεσμα ένα τελικό ξηρό προϊόν. Το υπόλειμμα κρυστάλλωσης θα τοποθετείται σε δίσκους εντός του ξηραντήρα, όπου ρεύμα ζεστού αέρα θα έρχεται σε επαφή με το υπόλειμμα σε συγκεκριμένη ταχύτητα. Η υγρασία απομακρύνεται από το υπόλειμμα και μεταφέρεται στο ρεύμα αέρα. Το ρεύμα ζεστού αέρα θερμαίνεται σε έναν εναλλακτή θερμότητας από τα ρεύματα συμπυκνωμένου ατμού από τον εξατμιστήρα και τον κρυσταλλωτήρα.

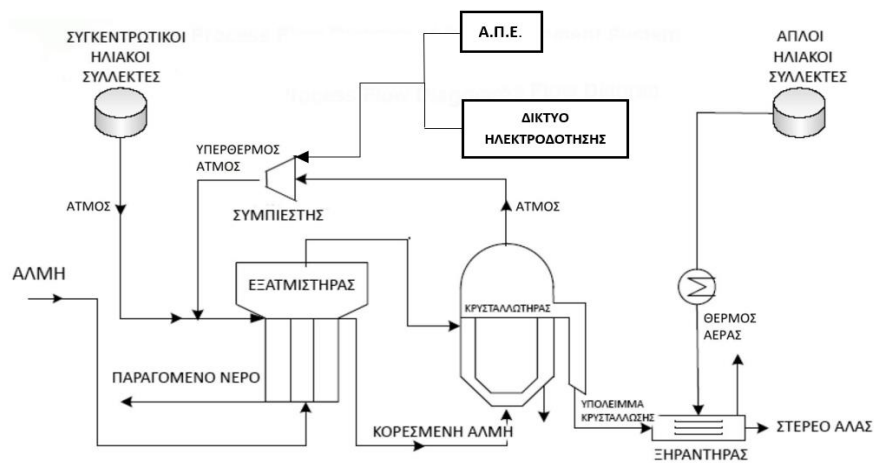
Συμπιεστής

Ο συμπιεστής τροφοδοτείται από το ρεύμα ατμού της μονάδας εξάτμισης ή κρυστάλλωσης, και χρησιμοποιείται προκειμένου να αυξηθεί η πίεση και θερμοκρασία του παραγόμενου ατμού, ώστε ο ατμός αυτός να οδηγείται στην είσοδο του εξατμιστήρα και να ανακτάται μέρος ενέργειας.

Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι θερμικές ανάγκες θα καλυφθούν με χρήση πεδίου ηλιακών συλλεκτών, ενώ οι υπόλοιπες ηλεκτρικές ανάγκες από μονάδες Α.Π.Ε. ή από τη κεντρική μονάδα παραγωγής ενέργειας του νησιού.

Παρακάτω στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του συστήματος επεξεργασίας της άλμης από μονάδες αφαλάτωσης (Ξεύγενος Δ. 2016).



Σχήμα 3.8 Διάγραμμα ροής του συστήματος επεξεργασίας άλμης (Ξεύγενος Δ. 2016).

Αξιοποίηση της παραγόμενης άλμης

Κατά την επεξεργασία της άλμης με το πιλοτικό σύστημα, η ποσότητα των αλάτων παραμένει η ίδια, ενώ σταδιακά απομακρύνεται ποσότητα καθαρού νερού από το διάλυμα. Τα βασικά αποτελέσματα από την λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας άλμης παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 3.5:

Πίνακας 3.5 Βασικά αποτελέσματα συστήματος επεξεργασίας άλμης.

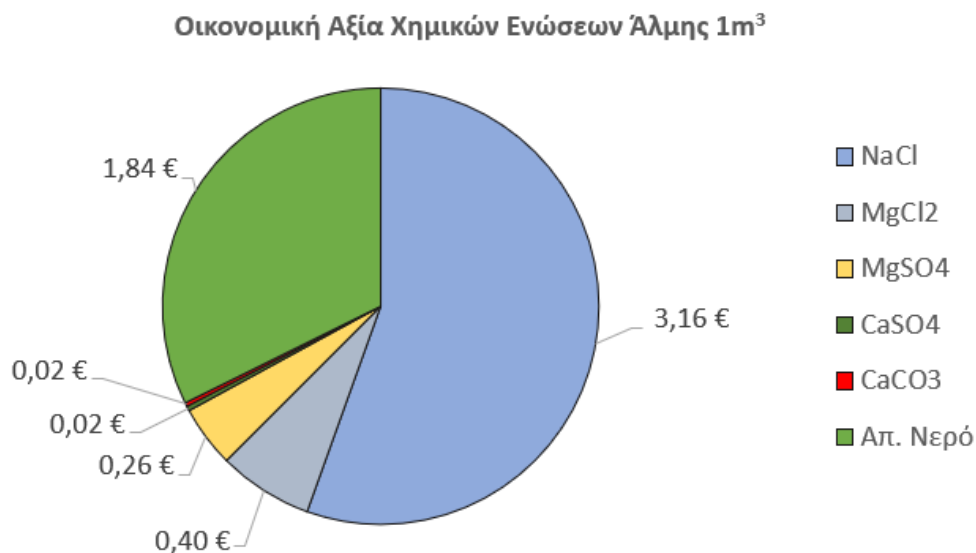
TDS Εξόδου	26%
Λόγος Συγκέντρωσης (C.F.)	7.4
Λόγος Ανάκτησης (R)	86.54%
Παραγόμενο Νερό (R*1kg)	865.4 g

Από την επεξεργασία της άλμης παράγονται πολλαπλές καθαρές χημικές ενώσεις οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν και να δώσουν οικονομική απόδοση στο σύστημα από την πώληση τους, καθώς και απιονισμένο νερό. Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι χημικές ενώσεις που παράγονται και η ποσότητα αυτών ανά 1m³ επεξεργασμένης άλμης, ενώ στον Πίνακα 3.7 οι χρήσεις αυτών και η οικονομική τους αξία (Ξεύγενος Δ. 2016).

Πίνακας 3.6 Χρήσεις και Οικονομική Αξία χημικών ενώσεων και απιονισμένου νερού.

Χημικές Ενώσεις	Κύριες Χρήσεις	Οικονομική Αξία (€/t)
NaCl (Χλωριούχο νάτριο)	Κοινό αλάτι, Λιπάσματα, Προϊόντα διατροφής, Αποχιονισμό δρόμων, Φαρμακευτική χρήση	25 -500 €/τόνο
MgCl ₂ (Χλωριούχο μαγνήσιο)	Αποπαγιοποίηση δρόμων, Λίπασμα, Κατασταλτικό σκόνης, Σταθεροποιητικό εδάφους	53 €/τόνο
MgSO ₄ (Θειικό μαγνήσιο)	Λίπασμα	79 €/τόνο
CaSO ₄ (Θειικό ασβέστιο)	Κατασκευαστικό τομέα (γύψος - ημιυδρίτης), Ιατρική, Γεωργία	7 -32 €/τόνο
CaCO ₃ (Ανθρακικό ασβέστιο)	Χαρτοβιομηχανία, Πλαστικά, Σκυρόδεμα, Ζωοτροφές, Υαλουργία, Εντομοκτόνο	60 -350 €/τόνο
Απιονισμένο Νερό	Φαρμακοβιομηχανία, Συστήματα ψύξης, Βιομηχανικά μηχανήματα, κ.α.	2 €/τόνο

Συνεπώς, εάν θεωρήσουμε την κατώτερη δυνατή οικονομική αξία των ενώσεων, η άλμη 1m³ περιέχει ενώσεις συνολικής οικονομικής αξία 5,85€/m³ άλμης. Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η οικονομική συμβολή των κάθε ενώσεων στην οικονομική αξία 1m³ άλμης.



Σχήμα 3.9 Οικονομική Αξία Χημικών Ενώσεων Άλμης 1m³.

4. Περιοχή Μελέτης Νήσου Αμοργού

4.1 Γεωγραφικά Στοιχεία

Το νησί της Αμοργού ανήκει στο Νομό των Κυκλάδων της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου, με πρωτεύουσα την Ερμούπολη της Σύρου. Είναι το ανατολικότερο νησί του Νομού με συνολική έκταση 121 km² και 7^ο σε μέγεθος ανάμεσα στα νησιά των Κυκλάδων. Το σχήμα του είναι επίμηκες με μήκος περίπου 32 km και προσανατολισμό ΒΑ-ΝΔ. Απέχει από τον Πειραιά 138 ναυτικά μίλια (222 km). Μια γενικότερη απεικόνιση του νησιού, παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Γεωγραφική Απεικόνιση Αμοργού (Πηγή: www.arcgis.com).

4.2 Μορφολογικά Στοιχεία

Η μορφολογία του νησιού είναι κυρίως ορεινή και ημιορεινή, με τον κύριο ορεινό όγκο να αναπτύσσεται κατά μήκος του μεγάλου άξονα του νησιού (ΒΑ-ΝΔ), χωρίζοντας το πρακτικά σε δύο τμήματα, το δυτικό και το ανατολικό. Η οροσειρά αποτελείται από τρία ψηλά βουνά,

τον Κρίκελο (821μ.) στα βόρεια, τον προφήτη Ηλία (699μ.) στο μέσο και τον Κόρακα (607μ.) στα νοτιοδυτικά. Στο δυτικό τμήμα κυρίως, σχηματίζονται εύφορες κοιλάδες και κόλποι με παραλίες με άμμο, ενώ οι ανατολικές ακτές θεωρούνται αφιλόξενες τόσο για κατοίκηση όσο και για ασφαλή ελλιμενισμό. Το ανατολικό τμήμα χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο όπου επικρατούν τα ανθρακικά πετρώματα. Σε αυτό το τμήμα τα πρηνή καταλήγουν σχεδόν κατακόρυφα προς στις ακτές, που ταυτόχρονα όμως αποτελούν προστατευτικό τοίχος για τα δυτικά γόνιμα και κατοικήσιμα εδάφη.

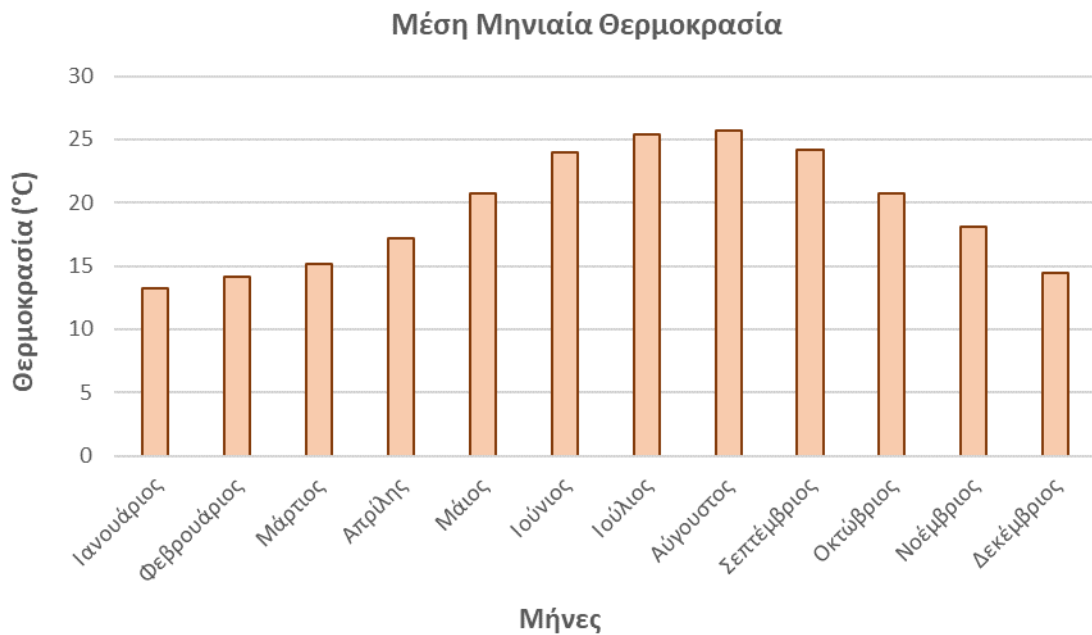
4.3 Ιστορικά Στοιχεία

Από την αρχαιότητα έως σήμερα η Αμοργός άλλαξε πολλά ονόματα. Μερικά από αυτά ήταν Παγκάλη, Καρκησία και Ψυχιά. Το σημερινό της όνομα προέρχεται πιθανόν από το φυτό <<άμοργος>> του οποίου το σπάνιο πορφυρό χρώμα χρησιμοποιήθηκε για την βαφή των αυτοκρατορικών χιτώνων, στην κλασική και ρωμαϊκή εποχή. Εξαιτίας των πολυάριθμων αρχαιολογικών ευρημάτων, γνωρίζουμε ότι η Αμοργός κατοικείται ήδη από την ύστερη Εποχή του Λίθου κατά την 4^η π.Χ. χιλιετία. Αποτελούσε σημαντικό κέντρο του Κυκλαδικού Πολιτισμού κατά την 3^η π.Χ. χιλιετία. Αρχαίοι τάφοι (θόλοι) και κυκλαδικά αγαλματίδια είναι μερικά από τα ευρήματα που μαρτυρούν τα διάφορες φάσεις της Κυκλαδικής Περιόδου που έζησε το νησί. Αρκετοί κατακτητές πέρασαν με τα χρόνια από το νησί και έποικοι που προέρχονταν από την Ασσυρία, τη Μίλητο, τη Νάξο τη Σύρο και τη Κρήτη. Κατά την ελληνιστική περίοδο το νησί υπήρξε μέλος της συμμαχίας της Δήλου, υπό την ηγεσία της Αθήνας. Στη συνέχεια πέρασε στους Μακεδόνες, στους Πτολεμαίους και τέλος στους Ρωμαίους. Οι τελευταίοι χρησιμοποίησαν το νησί σαν τόπο εξορίας για κατάδικους. Στις αρχές του 13^{ου} αιώνα το νησί πέρασε στους Ενετούς έως όπου ο πειρατής Βαμβαρόσα υποδούλωσε την Αμοργό και την παρέδωσε στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Η Αμοργός απέκτησε την ανεξαρτησία της το 1823.

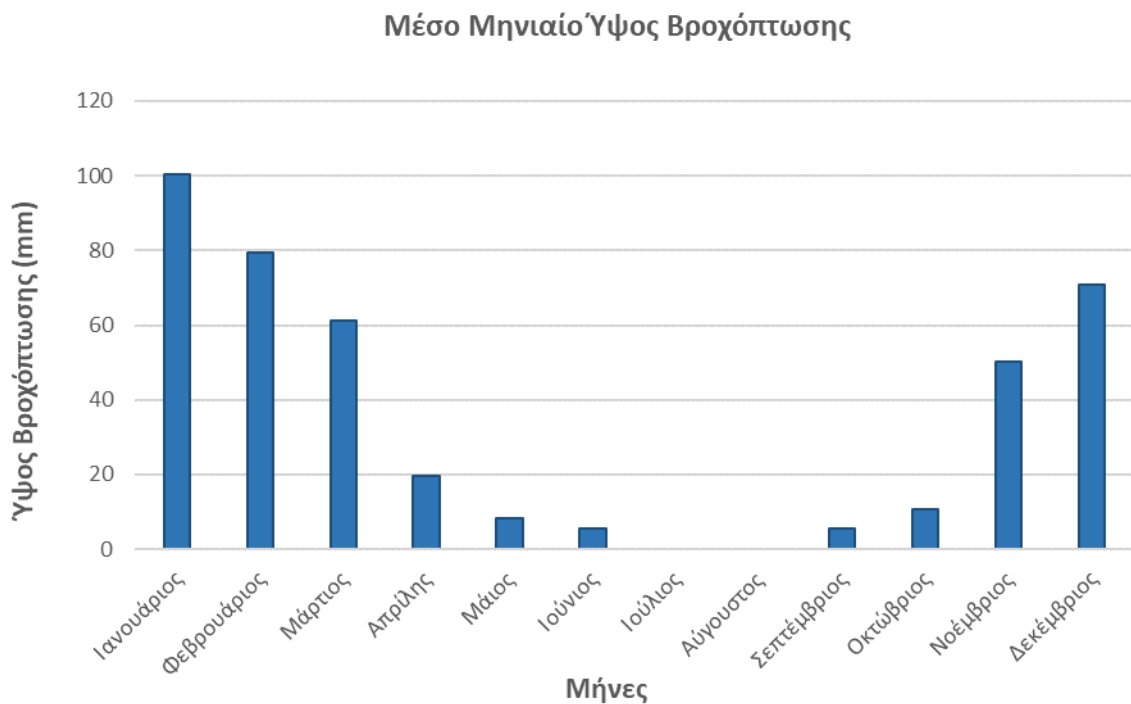
4.4 Μετεωρολογικά – Κλιματολογικά Στοιχεία

Η Αμοργός κατατάσσεται από άποψη κλίματος στον εύκρατο τύπο του χερσαίου Μεσογειακού, όπου χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες με λίγες βροχές, με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια. Διαθέτει μετεωρολογικό σταθμό από το 2012 στο χωριό Αιγιαλή σε υψόμετρο 3.00μ. Σύμφωνα με τον σταθμό, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι οι ψυχρότεροι μήνες του χρόνου, ενώ ο Ιούλιος και ο Αύγουστος οι θερμότεροι. Οι βροχοπτώσεις τείνουν να έχουν ακραίες διακυμάνσεις με μέση τιμή ανά έτος τα 411mm. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι Β-ΒΔ με συνολική ετήσια συχνότητα 69%. Τα στοιχεία που

παράτιθενται εστιάζουν στην Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (Σχήμα 4.2), στο Μέσο Μηνιαίο Ύψος Βροχόπτωσης (Σχήμα 4.3) και στις Διευθύνσεις των Ανέμων (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.2 Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (Πηγή: www.meteo.gr).



Σχήμα 4.3 Μέσο Μηνιαίο Ύψος Βροχόπτωσης (Πηγή: www.meteo.gr).



Σχήμα 4.4 Διευθύνσεις ανέμων (Πηγή: www.meteo.gr).

4.5 Φυσικό Περιβάλλον

Η πανίδα και η χλωρίδα που εμφανίζεται στο νησί είναι χαρακτηριστική των κυκλαδίτικων οικοσυστημάτων με πολλά ενδημικά είδη. Οι απότομες πλαγιές ιδιαίτερα του ανατολικού και βόρειου τμήματος του νησιού είναι τυπικοί οικότοποι ενδημικών ειδών. Αυτός είναι και ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους το νησί έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα προστατευόμενων περιοχών φύσης. Ειδικότερα, 2 περιοχές του νησιού έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα NATURA 2000 (European Environment Agency), οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

1) Περιοχή NATURA GR4220012

Η προστατευόμενη περιοχή (Σχήμα 4.5) περιλαμβάνει την βορειοανατολική Αμοργό και τις παράκτιες βραχονησίδες της, με συνολική έκταση 6.026 εκταρίων. Η περιοχή είναι εξίσου σημαντική τόσο για την οικολογική και επιστημονική της αξία όσο και για την φυσική αισθητική της. Τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν υψηλό βαθμό ενδημισμού τόσο σε φυτικά όσο και σε ζωικά είδη. Η σημαντικότητα της χλωρίδας και της πανίδας οφείλεται στη θέση των νησίδων, που βρίσκονται στο κέντρο του Αιγαίου πελάγους, αλλά και στο σχετικά μεγάλο μέγεθος τους σε σχέση με άλλες. Το νησί της Αμοργού, το οποίο είναι το ανατολικότερο από το νησί των Κυκλάδων, παρουσιάζει χαρακτηριστικά στοιχεία της ασιατικής και ευρωπαϊκής πανίδας και χλωρίδας. Τα ασβεστολιθικά βράχια και οι σχισμές τους αποτελούν τυπικούς βιότοπους ενδημικών φυτικών ειδών. Έχει ενταχθεί ως Τόπος Κοινοτικού Ενδιαφέροντος και Ειδική Διατηρητέα Περιοχή (SCI-SAC) με ονομασία <<Βόρεια Αμοργός και Κύναρος, Λεβίθια, Μαυριά, Γλάρος και θαλάσσια ζώνη>>.

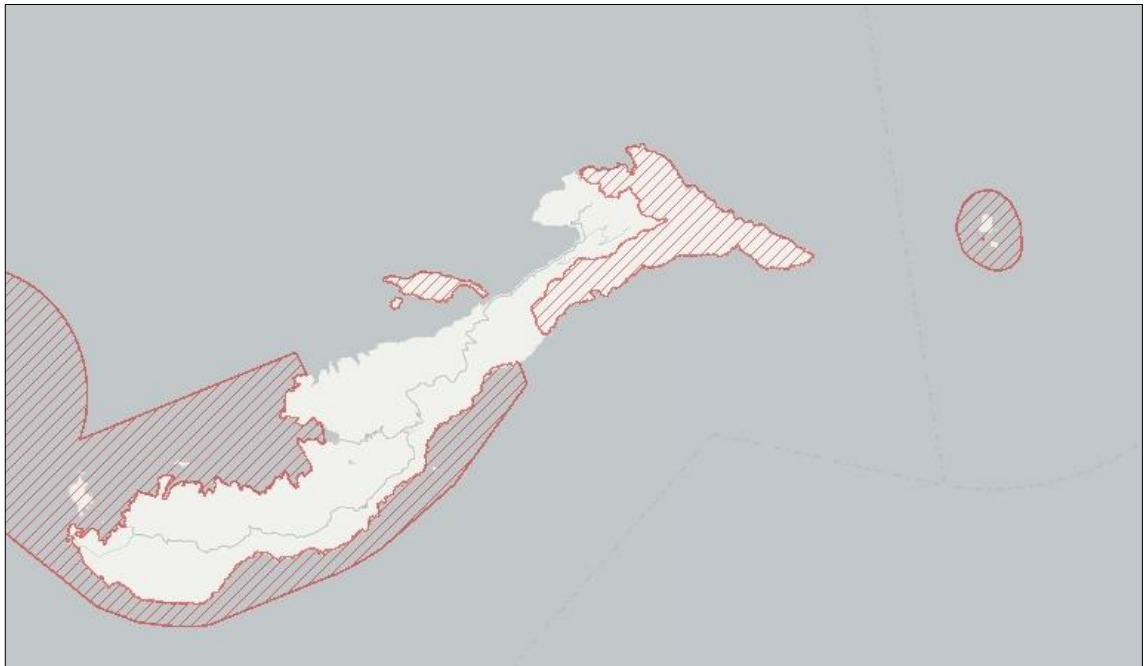


Σχήμα 4.5 Περιοχή NATURA GR4220012 (NATURA 2000).

2) Περιοχή NATURA GR4220021

Η προστατευόμενη περιοχή (Σχήμα 4.6) περιλαμβάνει μίας αρκετά μεγάλη έκταση και εκτός της νήσου της Αμοργού. Γενικότερα συμπεριλαμβάνει τις Μικρές Κυκλάδες, την Δονούσα, τις γύρω νησίδες και την θαλάσσια περιοχή αυτών. Ειδικότερα για την περιοχή μελέτης μας, περιλαμβάνει την Βορειοανατολική Αμοργό, την νήσο Νικουριά και τις Νοτιοδυτικές και Νοτιοανατολικές θαλάσσιες ζώνες της. Αποτελεί σημαντικό τόπο αναπαραγωγής και διέλευσης θαλάσσιων πτηνών και αρπακτικών. Οι θάμνοι, οι γκρεμοί και τα βράχια αποτελούν βιότοπο για τα είδη πανίδας. Αποτελεί Τόπο

Κοινοτικού Ενδιαφέροντος και Ειδική Διατηρητέα Περιοχή (SCI SAC) με ονομασία <<Μικρές Κυκλάδες, Βορειανατολική Αμοργός, Ανατολικές ακτές Δονούσας, γύρω νησίδες και θαλάσσια περιοχή>>.



Σχήμα 4.6 Περιοχή NATURA GR4220021 (NATURA 2000).

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά είδη από τις περιοχές NATURA που προαναφέρθηκαν.



Hen Harrier *Circus cyaneus*



Kotschy gecko *mediodactylus*

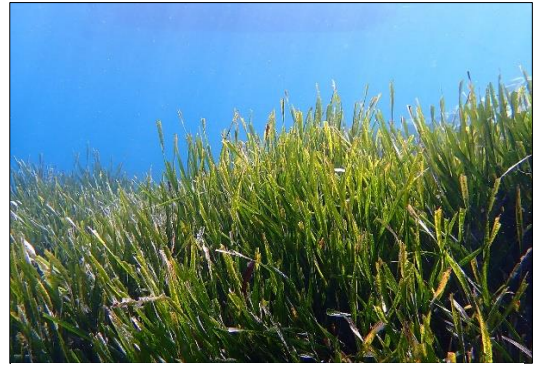


Swallow *Hirundo rustica*



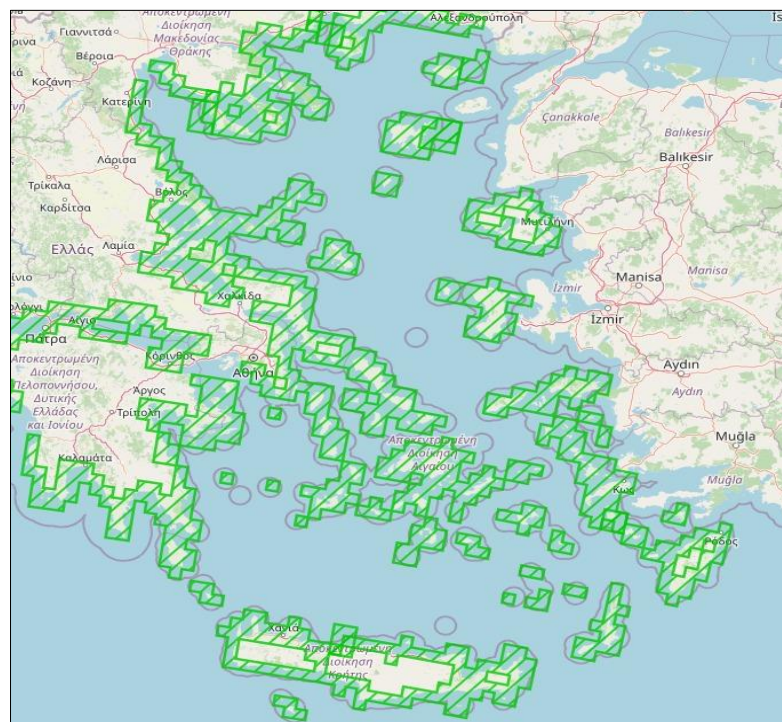
Pinna nobilis

Σημαντικό μέρος του οικοσυστήματος της Μεσογείου αποτελούν και τα λιβάδια Ποσειδωνίας (*Posidonia oceanica*). Τα γνωστά αποκαλούμενα – αν και λανθασμένως – “φυκιά”. Τα συναντάμε σε βάθη από 0 έως και 40 μέτρα. Περισσότερα από 300 είδη φυτών και 1.000 είδη θαλάσσιων ζώων ζουν στα λιβάδια Ποσειδωνίας, μεταξύ αυτών και πολλά ψάρια αλιευτικής σημασίας. Αποτελούν θεμελιώδεις οικοτόπους για



Posidonia oceanica

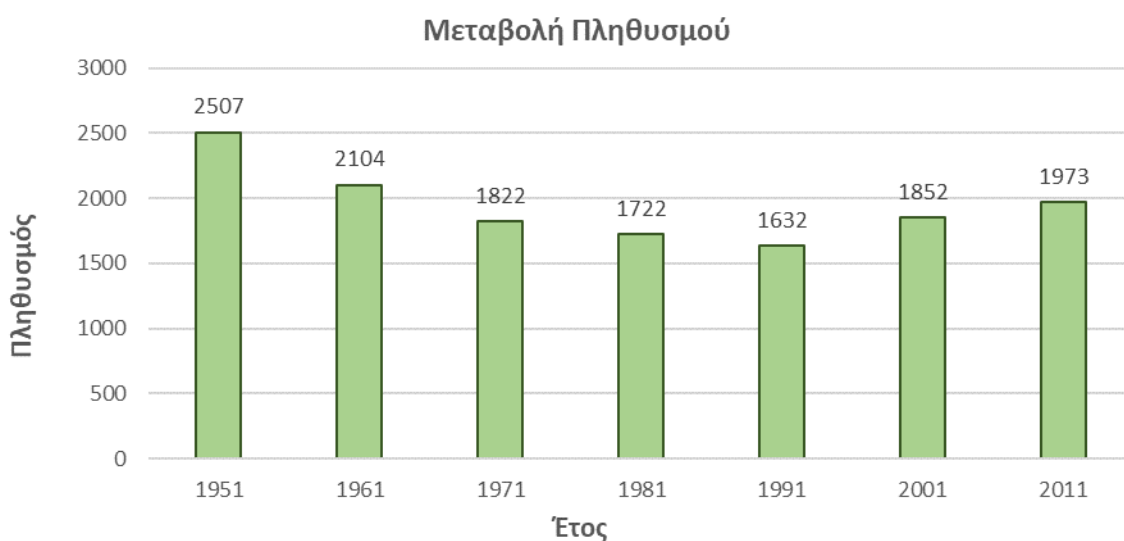
αυτά τα είδη, για την αναπαραγωγή και διαβίωση τους. Αποτελούν τόπο κατοικίας, τροφής, προστασίας, και λειτουργούν ακόμα και ως “βρεφοκομεία” για τον υποθαλάσσιο πληθυσμό. Η καταστροφή αυτών των λιβαδιών θα οδηγούσε και σε άμεση μείωση της τοπικής αλιείας (Unsworth; Mtwana; Cullen-Unsworth 2018). Ταυτόχρονα, αποτρέπουν την διάβρωση των ακτών και παραλιών μέσω των ριζωμάτων και των φύλλων τους. Όπως και τα χερσαία φυτά, έτσι και αυτά παράγουν μεγάλη ποσότητα οξυγόνου, μεταξύ 14 με 20 λίτρων την ημέρα ανά κυβικό μέτρο. Γενικότερα, τα υποθαλάσσια λιβάδια είναι οικοσυστήματα τα οποία έχουν μεγάλο δείκτη δέσμευσης άνθρακα, περίπου 50 φορές μεγαλύτερο από τα τροπικά δάση (Laffoley ; Grimsditch 2009). Εκτιμάτε ότι τα τελευταία 50 χρόνια έχει χαθεί το 33.6% των λιβαδιών Ποσειδωνίας στην Μεσόγειο λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας αλλά και της κλιματικής αλλαγής (Telesca; Belluscio; Criscoli 2015). Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης κατανομής της των λιβαδιών στο Αιγαίο (Σχήμα 4.7) από το European Marine Observation and Data Network ([EMODnet](#)).



Σχήμα 4.7 Χάρτης κατανομής *Posidonia oceanica* (Πηγή: [EMODnet](#)).

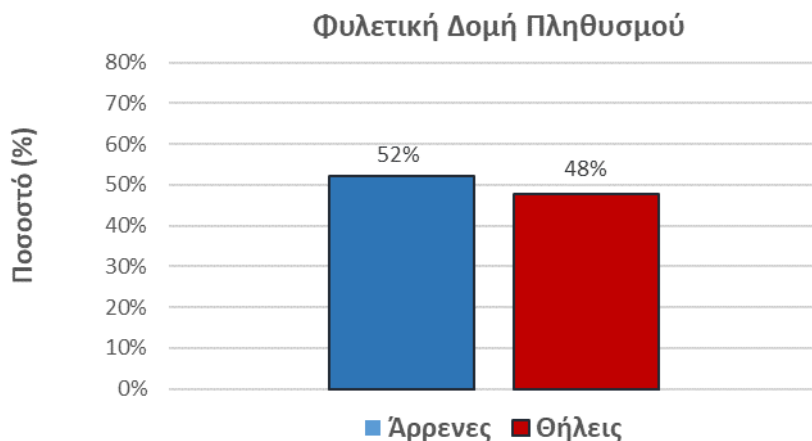
4.6 Δημογραφικά Στοιχεία

Η τελευταία απογραφή του πληθυσμού σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία ήταν το 2011, όπου ο πληθυσμός ανέρχεται σε 1.950 κατοίκους. Η εξέλιξη του πληθυσμού από το 1951 φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Παρατηρείται μια συνεχής μείωση των κατοίκων από το 1951 μέχρι το 1991 όπου και ξεκινάει η αύξηση του συνολικού πληθυσμού λόγω βελτίωσης των υποδομών, συγκοινωνιών και του τουρισμού. Η ίδια διακύμανση παρατηρείται και στο Νομό αλλά και την Περιφέρεια. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο πληθυσμός ανερχόταν σε 1 973 κατοίκους.



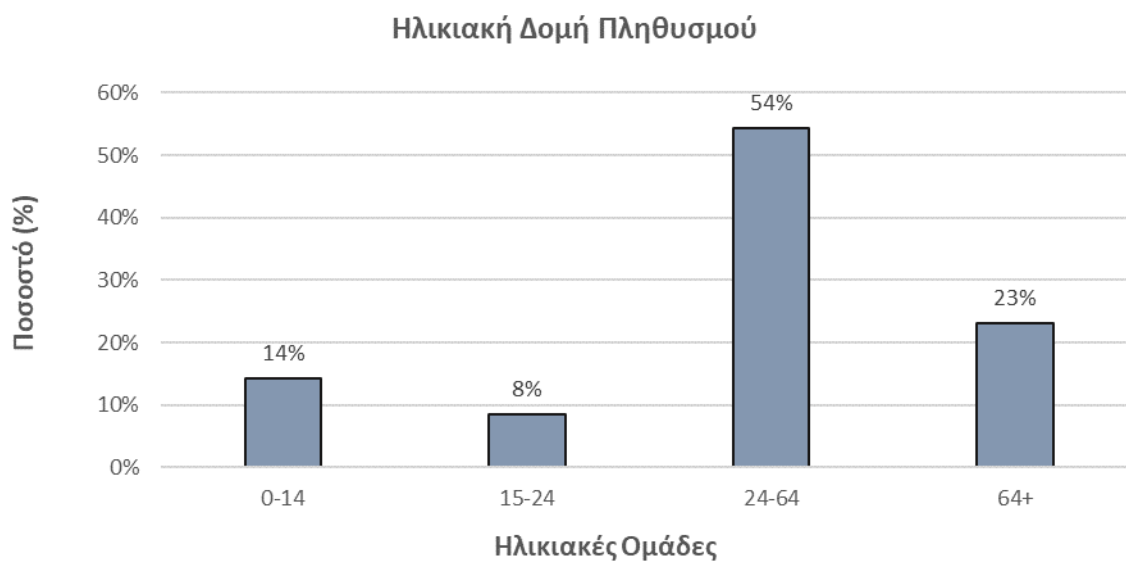
Σχήμα 4.8 Μεταβολή Πληθυσμού Αμοργού από το 1951 έως το 2011 (Πηγή: Ελ.Στατ.)

Η φυλετική δομή του πληθυσμού για το 2011 είναι ίσα κατανεμημένη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.9 παρακάτω.

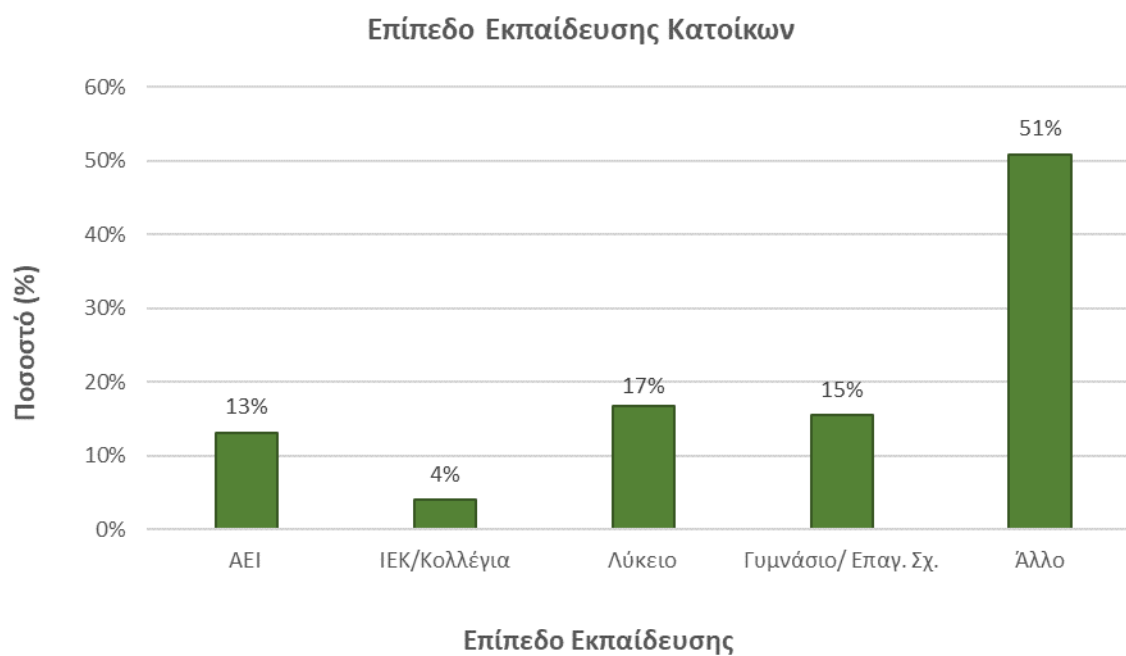


Σχήμα 4.9 Φυλετική Δομή Αμοργού (Πηγή: Ελ.Στατ.)

Εν συνεχεία, η ηλικιακή δομή και το επίπεδο εκπαίδευσης των κατοίκων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.10 και 4.11 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.10 Ηλικιακή Δομή Αμοργού 2011 (Πηγή: Ελ.Στατ)



Σχήμα 4.11 Επίπεδο Εκπαίδευσης Κατοίκων 2011 (Πηγή: Ελ.Στατ.)

4.7 Υποδομές

Υπηρεσίες

Στο νησί της Αμοργού λειτουργούν οι παρακάτω υπηρεσίες:

- Λιμεναρχείο
- Αστυνομία
- Ταχυδρομείο
- Βασικές Υπηρεσίες του Δήμου

Επίσης, λειτουργούν 4 Νηπιαγωγεία, 4 Δημοτικά Σχολεία, 1 Γυμνάσιο και 1 ΕΠΑ.Λ. Οι υποδομές υγείας περιορίζονται μόνο σε ένα περιφερειακό Ιατρείο. Ταυτόχρονα, η Αμοργός διαθέτει 1 ελικοδρόμιο, κυρίως για την διακομιδή ασθενών.

Μεταφορές

Το συνολικό μήκος του κύριου οδικού δικτύου της Αμοργού είναι 50 χιλ. ενώ σε 10 χιλ. ανέρχεται το συνολικό μήκος των αγροτικών δρόμων. Το ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο είναι σχετικά μικρό και εκτείνεται από την Αιγιάλη ως τη Χώρα, τα Κατάπολα και την Κάτω Μεριά.

Η ακτοπλοϊκή σύνδεση εξυπηρετείται από τα λιμάνια Καταπόλων και Αιγιάλης, όπου υπάρχουν και λιμενικοί σταθμοί, οι οποίοι διοικητικά ανήκουν στο λιμεναρχείο Νάξου.

Ενέργεια

Το νησί διαθέτει 6 εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Diesel. Η κατανάλωση καυσίμου φθάνει τους 1.760 τόνους ετησίως (ΠΝΑΙ 2014). Ο σταθμός παραγωγής είναι αυτόνομος και δεν υπάρχει σύνδεση με άλλο νησί ή την ηπειρωτική Ελλάδα. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα στοιχεία των σταθμών παραγωγής ενέργειας και στο Σχήμα 4.12 οι ετήσιες καταναλώσεις σύμφωνα με την ΔΕΔΔΗΕ, για τα έτη 2012 έως 2019, μετά από επικοινωνία.

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Κονδύλης 2013).

Αύξων Αριθμός Μηχανής	Κάυσιμο	Ελάχιστη Ενεργός Ισχύς (MW)	Μέγιστη Ενεργός Ισχύς (MW)
1	Diesel	0,600	1,122
2	Diesel	0,600	1,122
3	Diesel	0,640	1,000
4	Diesel	0,600	1,122
5	Diesel	0,275	0,460
6	Diesel	0,275	0,460
Σύνολο		2,990	5,286



Σχήμα 4.12 Ετήσιες Καταναλώσεις Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ)

Υδρευση - Άρδευση

Στα νησιά του Αιγαίου λειτουργούν ως πάροχοι υπηρεσιών νερού ύδρευσης δώδεκα (12) Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευση Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) και για τις περιοχές που δεν καλύπτουν οι ΔΕΥΑ, τριάντα ένας (31) Δήμοι, οι οποίοι παρέχουν υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης στην περιοχή αρμοδιότητάς τους. Η Αμοργός δεν είναι από τα νησιά που διαθέτουν ΔΕΥΑ λόγω μεγέθους, συνεπώς ο Δήμος είναι ο πάροχος για την διοίκηση, εκμετάλλευση και λειτουργία των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης (ΥΠΕΚΑ 2017). Στην Αμοργό υπάρχει μία Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ).

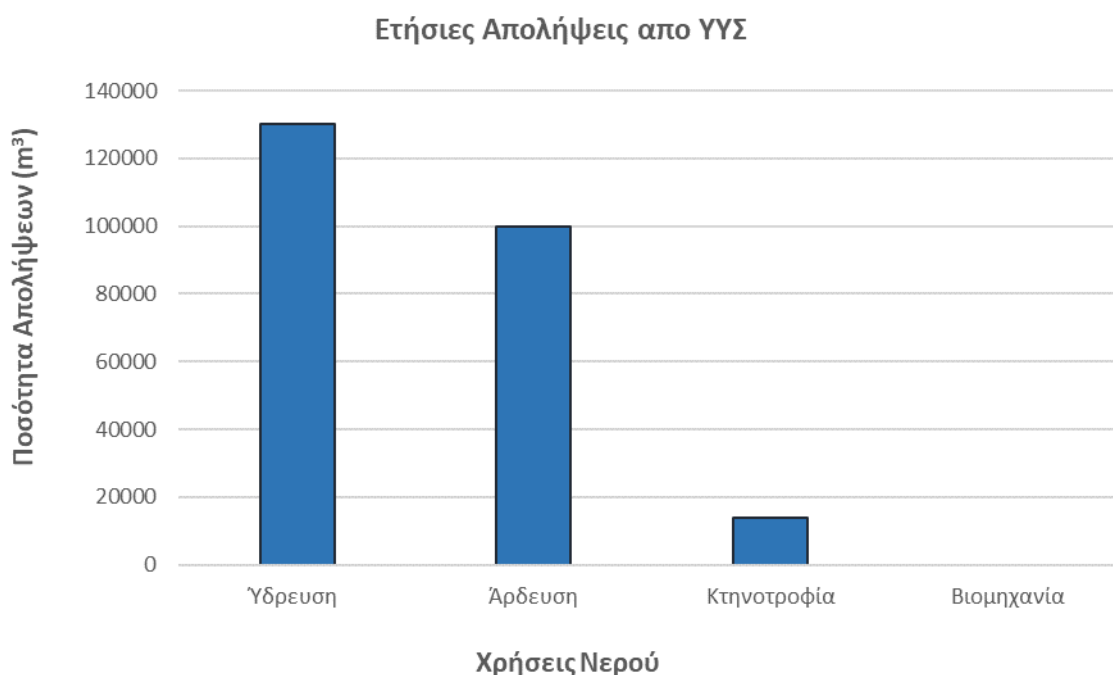
Στο νησί υπάρχουν 12 δημοτικές γεωτρήσεις, 6 δημοτικά πηγάδια και 10 δημοτικές πηγές, για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης του νησιού με συνολικά αντλούμενη ποσότητα νερού την ημέρα 1.200 m³/ημέρα. Τα στοιχεία αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Μετά από επικοινωνία με τις Τεχνικές Υπηρεσίες του Δήμου, υπάρχουν πολλές παράνομες και μη καταγεγραμμένες γεωτρήσεις και πηγάδια από ιδιώτες. Αυτό δυσχεραίνει την εκτίμηση της κατανάλωσης σε ύδρευση και άρδευση στο νησί.

Πίνακας 4.2 Δημοτικές Γεωτρήσεις, Πηγάδια και Πηγών

	Γεωτρήσεις	Πηγάδια	Πηγές	Σύνολο
Ύδρευση (m ³ /ημέρα)	900	200	40	1140
Άρδευση (m ³ /ημέρα)	20	7,5	54,5	82

Η υδροδότηση του νησιού συμπληρώνεται με τη μεταφορά νερού μέσω πλοίων με μέση διακινούμενη ποσότητα 138.000 m³ για την χρονική περίοδο 2012 με 2015. Θεωρήθηκε ότι δεν υπήρχαν αξιόλογες μεταβολές στα χρόνια (ΥΠΕΚΑ 2017). Ακόμη περισσότερα στοιχεία για τις υδρευτικές και αρδευτικές καταναλώσεις, αποκτούμε από τις απολήψεις των υπόγειων υδάτων, σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ 2017) (Σχήμα 4.13).



Σχήμα 4.13 Ετήσιες Απολήψεις από τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΠΕΚΑ 2017).

Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) – Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων

Στο Δήμο Αμοργού λειτουργεί από το 2009 ΧΥΤΑ (Σχήμα 4.14) στη θέση <<Παπαδιές>>, χωρητικότητας Α φάσης 28 400 κυβικών μέτρων και συνολικής μελλοντικής χωρητικότητας 56 828 κυβικών μέτρων (ΥΠΕΚΑ 2017).



Σχήμα 4.14 ΧΥΤΑ Αμοργού (THALIS E.S. S.A.)

Όσον αφορά τις υφιστάμενες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), η θέση της βρίσκεται στα Κατάπολα και έχει δυναμικότητα κατασκευασμένης εγκατάστασης 595 ισοδύναμων κατοίκων (ικ). Ταυτόχρονα έχει κηρυχθεί για διαγωνισμό από το 2017 για την υλοποίηση μονάδας και στην Αιγιάλη με δυναμικότητα 5.000 ισοδύναμων κατοίκων (Δήμος Αμοργού 2017).

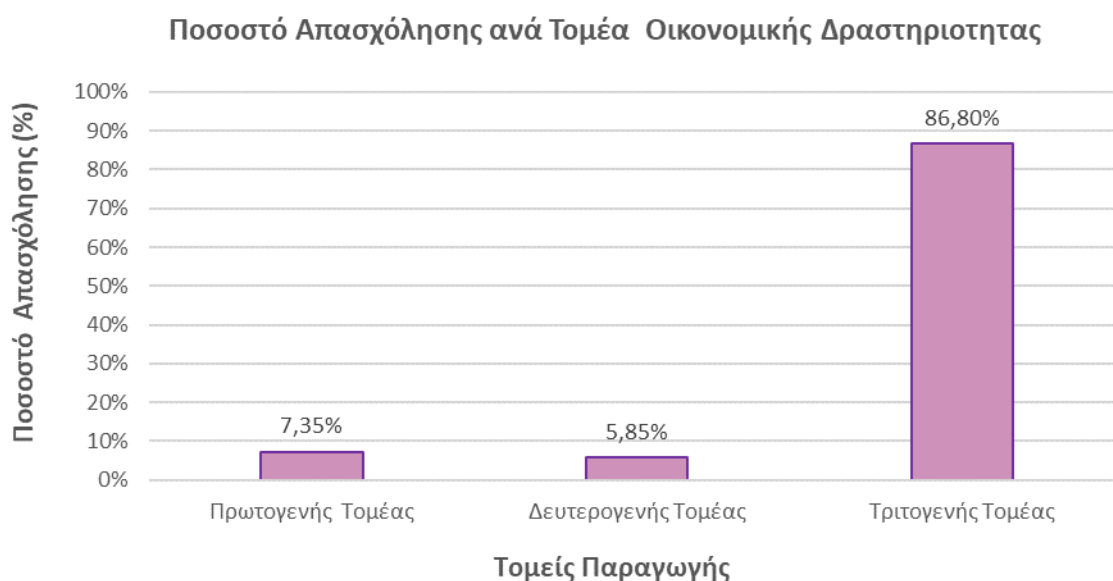
Παρακάτω παραθέτουμε (Πίνακας και τα ρυπαντικά φορτία στο Υδατικό Σύστημα από την ΕΕΛ της Αμοργού σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ 2017).

Πίνακας 4.3 Μέσα Ετήσια Ρυπαντικά Φορτία ΕΕΛ στο ΥΣ Αμοργού (ΥΠΕΚΑ 2017)

Κωδικός ΥΣ	Υδατικό Σύστημα	Συνολικό BODs	Συνολικό Άζωτο	Συνολικός Φώσφορος
EL1437C0071N	Ακτές Αμοργού	1303 kg/y	2085 kg/y	434 kg/y

4.8 Οικονομικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου ο τριτογενής τομέας είναι αυτός που επικρατεί με ποσοστό απασχόλησης 86,80 %. Ακολουθεί με αρκετά χαμηλότερο ποσοστό ο πρωτογενής τομέας με 7,35 % και ο δευτερογενής με 5,85 %. Αν και ειδικότερα για το νησί της Αμοργού πρόσφατα στοιχεία δεν υπάρχουν, μπορούμε εύλογα να υποθέσουμε ότι τα ποσοστά δεν θα έχουν μεγάλη μεταβολή. Παρακάτω στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζονται τα ποσοστά των τομέων όπως προαναφέρθηκαν (Ελ.Στατ.).



Σχήμα 4.15 Ποσοστό Απασχόλησης ανά Τομέα Οικονομικής Δραστηριότητας στη Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου για το έτος 2015 (Ελ.Στατ.)

Πρωτογενής Τομέας

Ο πρωτογενής τομέας είναι αρκετά περιορισμένος στο νησί και τα γεωργικά προϊόντα που μπορεί να βρει κανείς είναι μικρές ποσότητες κηπευτικών και ελαιόλαδου. Το έδαφος του νησιού είναι ορεινό και βραχώδες στο νησί, με δύο μικρές πεδιάδες στην Αιγιάλη και τα Κατάπολα όπου και εντοπίζεται η γεωργική δραστηριότητα. Οι εκτάσεις αρδεύονται από ιδιωτικά πηγάδια και γεωτρήσεις με χαμηλής ποιότητας νερό, γεγονός που αποτρέπει την περαιτέρω ανάπτυξη αυτού του τομέα. Παρακάτω αναφέρονται οι χρήσεις γης στο νησί, με τους βοσκότοπους να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4 Χρήσεις γης (ΥΠΕΚΑ 2017)

Αστικό	Βοσκότοποι	Δάση	Καλλιέργειες	Άλλο	Σύνολο
0,56%	51,33%	32,19%	7,86%	8,06%	100,00%

Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία στο νησί περιλαμβάνει την αιγοπροβατοτροφία, τα βοοειδή και τη μελισσοκομία. Πρόκειται για εξαιρετικής ποιότητας προϊόντα και ο μέθοδοι καλλιέργειας και εκτροφής πλησιάζουν τις βιολογικές. Ο κλάδος με το οικονομικό ενδιαφέρον είναι αυτός της αιγοπροβατοτροφίας, ενώ η μελισσοκομία αποτελεί συμπληρωματικό εισόδημα για τους περισσότερους. Η εκτροφή βοοειδών επίσης είναι περιορισμένη και απαντάται σε λίγα και διάσπαρτα σημεία του νησιού.

Στο νησί λειτουργεί σύγχρονο σφαγείο για αιγοπρόβατα ενώ σύγχρονα τυροκομεία δεν υπάρχουν. Τα προϊόντα αν και υψηλής ποιότητας δεν πληρούν τις προδιαγραφές διακίνησης.

Παρακάτω στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η διάρθρωση του πληθυσμού των ζώων και των μελισσοκομιών στο νησί (ΠΝΑΙ 2014).

Πίνακας 4.5 Διάρθρωση Πληθυσμού Κτηνοτροφίας για το έτος 2013

Είδος	Αριθμός
Πρόβατα	9250
Αίγες	3662
Χοίροι	200
Κουνέλια	300
Κότες	2650
Βοοειδή	138
Ίπποι-Όνοι	190
Μελίσσια	769

Γεωργία

Η γεωργικός τομέας αποτελείται κυρίως από εκτάσεις για Ελαιοκαλλιέργεια, Αμπελοκαλλιέργεια και κηπευτικών. Τα στοιχεία παρακάτω αφορούν τα ο έτος 2012 καθώς νεότερες πληροφορίες δεν υπάρχουν. Στο νησί υπάρχουν 368 ελαιοπαραγωγοί που καλλιεργούν συνολικά τεμάχια έκτασης 1795 στρεμμάτων, με μέση ετήσια παραγωγή είναι 30 τόνοι. Υπάρχει ένα συνεταιριστικό ελαιοτριβείο για τις ανάγκες των παραγωγών στο νησί. Η καλλιέργεια των αμπελιών είναι περιορισμένη, με 111 αμπελοτεμάχια σε έκταση 97,4 στεμμάτων και ετήσια παραγωγή 10 τόνους οινοποιήσιμων σταφυλιών.

Η μη ύπαρξη νερού για άρδευση και χαμηλής ποιότητας αυτού δεν δίνει την δυνατότητα μεγάλης παραγωγής κηπευτικών προϊόντων. Η παραγωγή είναι τόσο μικρή που δεν φτάνει για τις ανάγκες του ίδιου του νησιού, με συνέπεια τον αναγκαίο εφοδιασμό από την Νάξο και την κεντρική λαχαναγορά Αθηνών. Παρακάτω παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6 οι κύριες καλλιέργειες του νησιού με τις εκτάσεις αυτών και στο οι δενδρώδεις καλλιέργειες του νησιού (ΠΝΑΙ 2014). Να σημειωθεί ότι οι αριθμοί των αμπελιών είναι για το έτος 2009.

Πίνακας 4.6 Καλλιέργειες νησιού (ΠΝΑΙ 2014)

Είδος	Έκταση (στρ.)	Είδος	Έκταση (στρ.)
<i>Κηπευτικά</i>		<i>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας</i>	
Λάχανο	10	Σιτάρι σκληρό	45
Κουνουπίδι	11	Κριθάρι	190
Κρεμμύδια ξερά	21	Λοιπά σιτηρά	135
Τομάτες	42	Κουκιά	38
Φασολάκια	14	Φακή	8
Μπάμιες	2	Φάβα	175
Κολοκυθάκια	9	Ρεβίθια	15
Αγγούρια	7	Σιτηρά για σανό	365
Μελιτζάνες	10	Πατάτα	26
Πιπεριές	4	Αμπέλια	391
<i>Δενδρώδεις καλλιέργειες</i>			
<i>Είδος</i>		<i>Αριθμός</i>	
Ελιές		1 795	
Λεμονιές		460	
Πορτοκαλιές		661	
Μανταρινιές		177	
Αχλαδιές		272	
Μηλιές		95	
Βερικοκιές		120	
Ροδακινιές		132	
Κορομηλιές		95	
Συκιές		1 048	
Αμυγδαλιές		1 160	
Ροδιές		121	

Αλιεία

Στο νησί δραστηριοποιούνται 53 επαγγελματίες αλιείς σε σύνολο 33 αλιευτικών σκαφών. Ο αριθμός των ερασιτεχνικών σκαφών ανέρχεται σε 133. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες τα αλιευτικά πεδία αποτελούν πόλους έλξης για ερασιτέχνες ψαράδες. Τα αλιευτικά σκάφη ελλιμενίζονται κυρίως στα λιμάνια των Καταπόλων και Αιγιάλης, και λιγότερα στη περιοχή <<Καλοταρίτιστα>>.

Οι ποσότητες και το είδος των αλιευμάτων είναι συνάρτηση κυρίως της τουριστικής κίνησης, κατά τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο καθώς τότε υπάρχει η δυνατότητα ο τροφοδοσίας σε εστιατόρια και ξενοδοχεία.

Δεν υπάρχει τυποποίηση ή μεταποίηση αλιευτικών προϊόντων σε εμπορική κλίμακα αν και αξίζει να αναφερθεί ότι εφαρμόζεται στο νησί παραγωγή παραδοσιακών αλίπαστων και άλλων ιχθυοπαρασκευασμάτων (ΠΝΑΙ 2014).

Δευτερογενής Τομέας

Όπως αναφέρθηκε ο δευτερογενής τομέας δεν είναι αρκετά ανεπτυγμένος στο νησί. Στο νησί υπάρχει ένα συνεταιριστικό ελαιοτριβείο για τους τοπικούς ελαιοπαραγωγούς και ένα δημοτικό σφαγείο το οποίο εγκαινιάστηκε το 2017 (ΠΝΑ 2017). Προσφέρει διεθνής πιστοποίηση για εξαγωγή κρεάτων και εκτός της Αμοργού πληρώντας όλες τις προδιαγραφές. Επίσης, υπάρχουν μικρές επιχειρήσεις για την παραγωγή τοπικών προϊόντων από αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά.

Τριτογενής Τομέας

Ο τριτογενής τομέας είναι ο πιο ανεπτυγμένος στο νησί με τον τουρισμό και το εμπόριο να έχουν κυρίαρχη θέση. Ο αριθμός των τουριστικών καταλυμάτων και ξενοδοχείων σύμφωνα με την Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου αναφέρεται στο παρακάτω Πίνακα 4.7 . Οι αριθμοί αναφέρονται στο έτος 2014 και πιθανώς να έχει υπάρξει περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου από τότε. Ταυτόχρονα υπάρχουν και 61 επιχειρήσεις εστίασης σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (έτος 2014).

Πίνακας 4.7 Μονάδες τουριστικών καταλυμάτων
Αμοργού για το έτος 2014 (ΠΝΑΙ 2014)

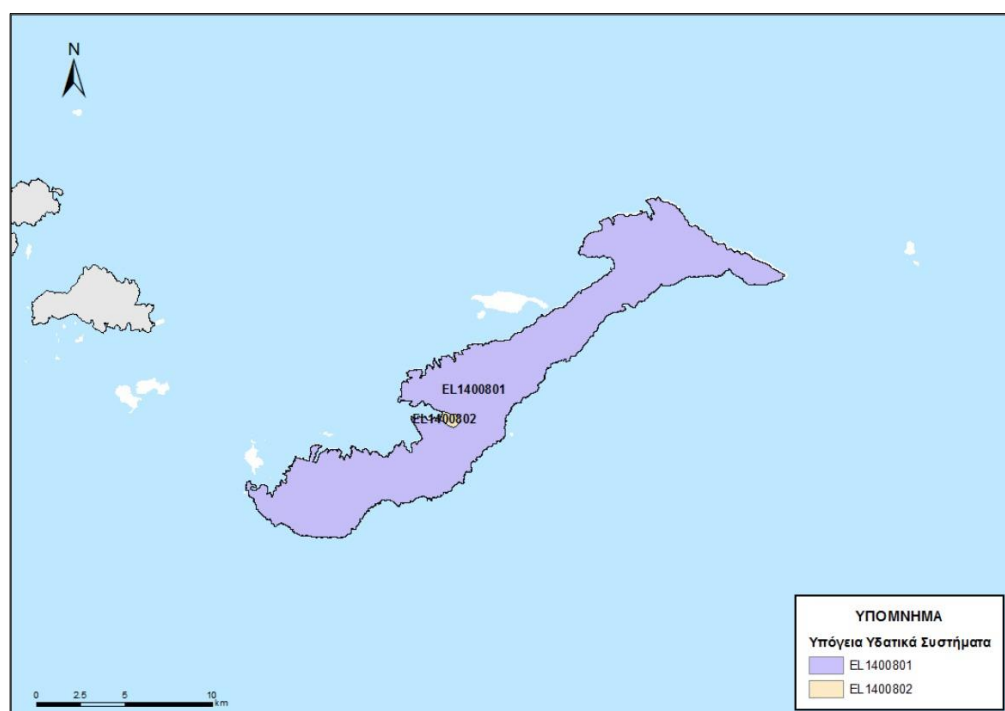
Κατηγορία	Μονάδες	Δωμάτια	Κλίνες
Ξενοδοχεία	11	197	395
Λοιπά καταλύματα	82	1 500	3 105
Σύνολο	93	1 697	4 500

4.9 Κίνδυνοι και Προβλήματα του Νησιού

Το νησί αποτελείται από δύο (2) Υπόγεια Υδατικά Συστήματα με ονομασίες <<Σύστημα Καταπόλων (Α)>> και <<Σύστημα Καταπόλων (Β)>>. Ως Υπόγεια Υδατικά Συστήματα ορίζεται το σύνολο του όγκου των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή υπέδαφος, εντός ενός ή περισσοτέρων υδροφόρων οριζόντων. Οι εκτάσεις και ο εδαφικός τύπος αυτών φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.8 ενώ η γεωγραφική τους απεικόνιση στο Σχήμα

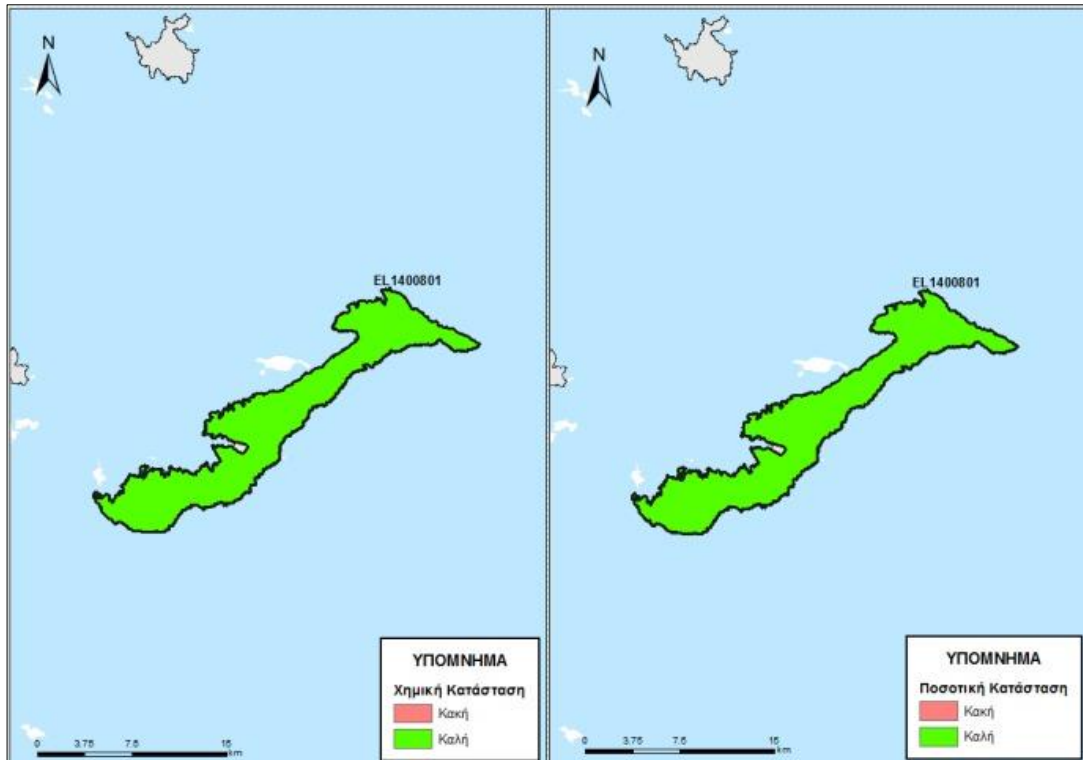
Πίνακας 4.8 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα Νήσου Αμοργού (ΥΠΕΚΑ 2017).

Κωδικός Συστήματος	Ονομασία ΥΣ	Τύπος ΥΣ	Έκταση (km ²)
EL1400801	Σύστημα Καταπόλων (Α), Ν.Αμοργός	Ρωγματικός	120,07
EL1400802	Σύστημα Καταπόλων (Β), Ν.Αμοργός	Κοκκώδης	0,6



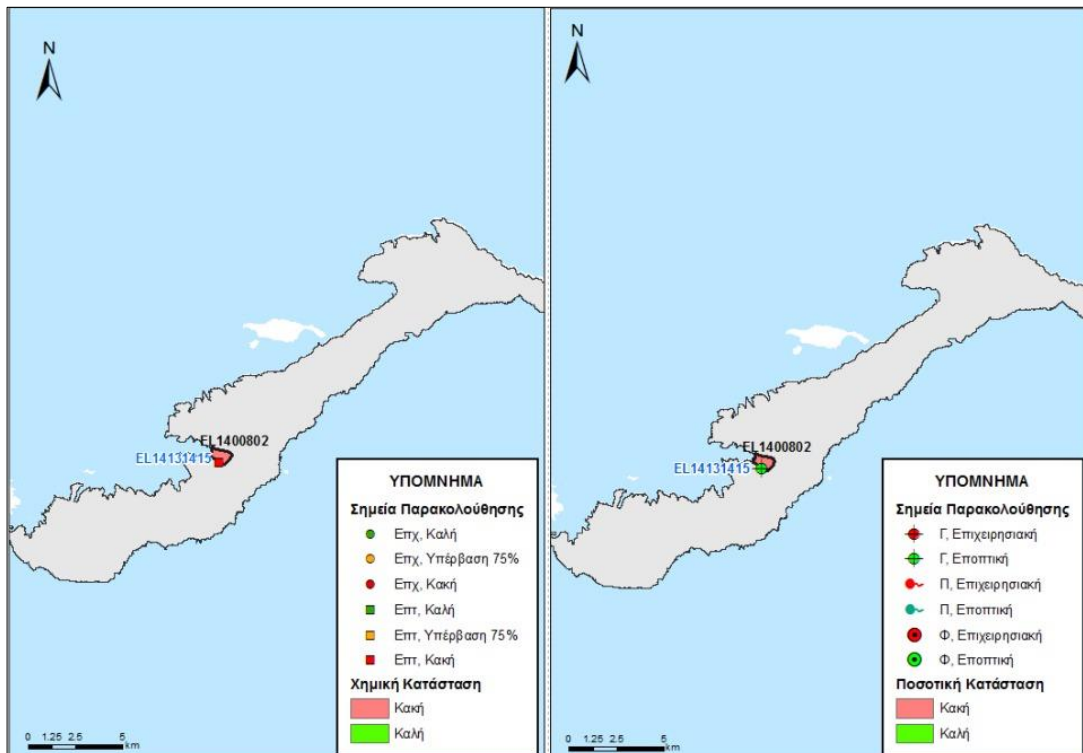
Σχήμα 4.15 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα Αμοργού (ΥΠΕΚΑ 2017).

Τα δύο υδατικά συστήματα αξιολογήθηκαν από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας ως προς την χημική τους και ποσοτική τους κατάσταση. Για το ΥΥΣ <<Καταπόλων (Α)>> δεν βρέθηκαν προβλήματα ή τυχόν ανησυχίες για την κατάσταση του, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.16.



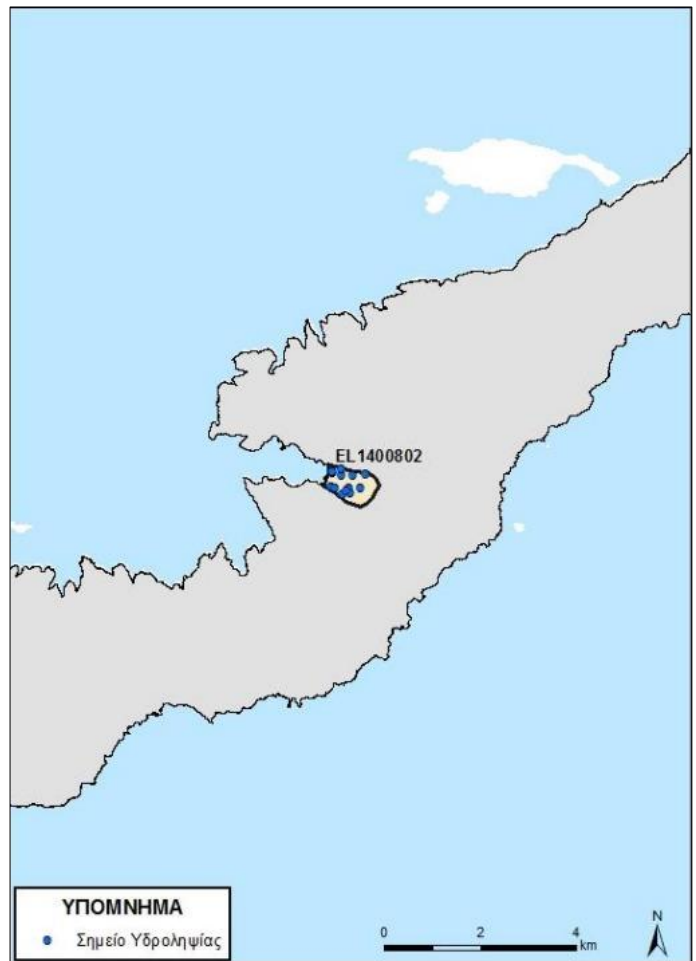
Σχήμα 4.16 Χημική και Ποσοτική Κατάσταση ΥΓΣ <<Καταπόλων (Α)>> Αμοργού (ΥΠΕΚΑ 2017)

Αντιθέτως το ΥΓΣ <<Καταπόλων (Β)>> παρουσίασε κακή χημική και ποσοτική κατάσταση όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.17 :



Σχήμα 4.17 Χημική και Ποσοτική Κατάσταση ΥΓΣ <<Καταπόλων (Β)>> (ΥΠΕΚΑ 2017)

Η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης βασίστηκε σε μετρήσεις ενός (1) επιχειρησιακού σημείου για την περίοδο 2013-2015. Προκύπτουν υψηλές τιμές Χλωρίου (Cl), και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις στάθμης, την γειτνίαση με τη θάλασσα υποδηλώνεται ότι στο ΥΥΣ έχουμε υφαλμύριση. Η αξιολόγηση της ποσοτικής κατάστασης του ΥΥΣ βασίστηκε στις μετρήσεις στάθμης ενός (1) σημείου για την περίοδο 2013-2015 αλλά λαμβάνονται υπόψιν και οι μετρήσεις από την περίοδο 2000-2008. Από την επεξεργασία των μετρήσεων προκύπτει ότι έχουμε χαμηλές στάθμες κοντά στο απόλυτο μηδέν, όπου με τις υψηλές τιμές Χλωρίου (Cl) και αγωγιμότητα που έχουν καταγραφεί φαίνεται η υφαλμύριση (ΥΠΕΚΑ 2017).



Σχήμα 4.18 Σημεία Υδροληψιών για το ΥΥΣ <<Καταπόλων (B)>> (ΥΠΕΚΑ, 2017)

Το πρόβλημα οφείλεται κυρίως στις υπεραντλήσεις από τις γεωτρήσεις και τα πηγάδια που υπάρχουν στην περιοχή (Σχήμα 4.18). Ειδικότερα σημειώνεται ότι Μέσες Ετήσιες Απολήψεις αγγίζουν τα 200.000 m³, ποσότητα που ισοδυναμεί αν όχι ξεπερνάει, την ετήσια τροφοδοσία του (ΥΠΕΚΑ 2017). Να σημειωθεί όπως προαναφέρθηκε ότι πολλές υδροληψίες είναι ιδιωτικές και παράνομες οπότε η σωστή εκτίμηση των όγκων νερού δυσχεραίνεται. Συνεπώς η έλλειψη επαρκούς ποσότητα κυρίως αρδευτικού και υδρευτικού νερού είναι ένα πρόβλημα που ζητείται να επιλυθεί τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και για την ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας μέσα της κτηνοτροφίας και γεωργίας. Η έλλειψη νερού οδηγεί σε μειωμένες γεωργικές καλλιέργειες και ταυτόχρονα σε υπερβόσκηση των βοσκοτόπων καταστρέφοντας την πανίδα του νησιού σταδιακά (ΠΝΑΙ 2014). Το νησί της Αμοργού έχει πολλές δυνατότητες για ανάπτυξη. Η αλματώδης αύξηση του τουριστικού κλάδου προσφέρει τη δυνατότητα απορρόφησης της τοπικής παραγωγής αν υποστηριχτεί από την σύγχρονη τεχνολογία για την δημιουργία μικρών μονάδων ζωικών προϊόντων. Η εξαιρετική ποιότητα των προϊόντων σε μεγαλύτερο επίπεδο παραγωγής και η αύξηση των τοπικών καλλιεργειών θα έδινε την απαραίτητη ώθηση ώστε το νησί να έχει μια αυτοδύναμη οικονομία.

5. Μεθοδολογία

5.1 Εισαγωγή Τεχνική - Περιγραφή Έργου

Σκοπός του έργου είναι η κάλυψη των υδατικών αναγκών του νησιού, τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος όσο και για την ανάπτυξη του τόπου, και η ταυτόχρονη μείωση της χρήσης των συμβατικών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, όσο αυτό είναι δυνατόν. Οι κύριοι συντελεστές από τους οποίους θα εξαρτηθεί η διαστασιολόγηση του έργου είναι τόσο το οικονομικό σκέλος, ώστε να μπορέσει να αποσβεστεί το συνολικό κόστος στη διάρκεια ζωής του έργου, αλλά και η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών κατά κύριο λόγο, κατά δεύτερον των ενεργειακών και αρδευτικών.

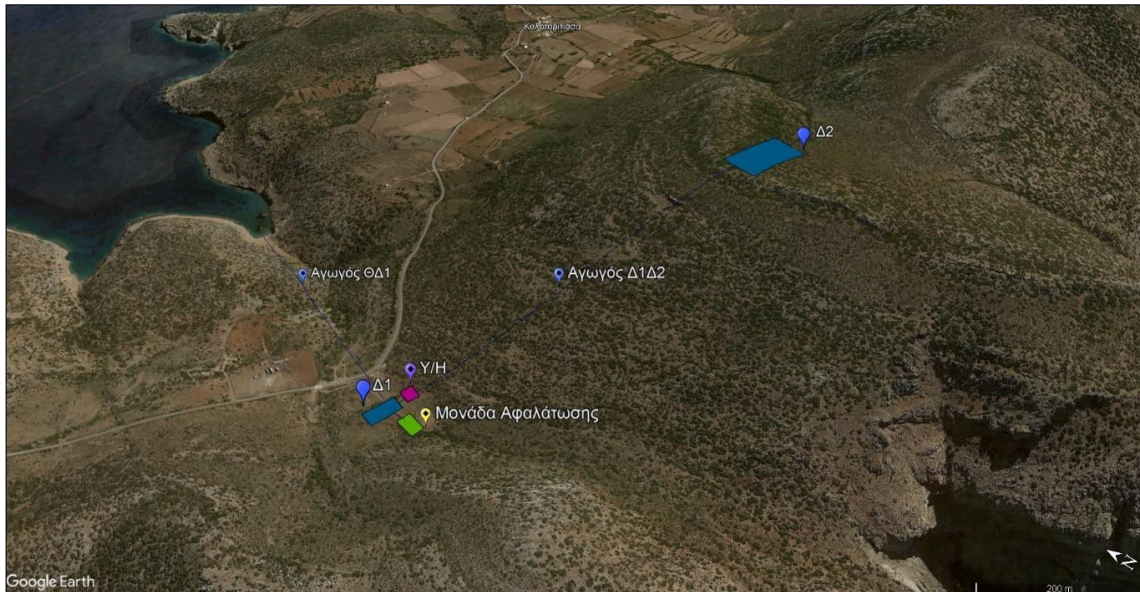
Εξεταζόμενα Σενάρια Λειτουργίας Έργου

Το υβριδικό σύστημα θα αποτελείται από ανεμογεννήτριες, μονάδες αφαλάτωσης και σύστημα αντλησοταμίευσης. Τα παραπάνω θα υποστηρίζονται από την παρούσα μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί το νησί, και καταναλώνει συμβατικό καύσιμο diesel κίνησης. Σε επόμενο επίπεδο, θα γίνει προσπάθεια αξιοποίησης της άλμης με μηδενικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, σύμφωνα με το πιλοτικό πρόγραμμα SOL-BRINE, το οποίο έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 3.3.2. Συνεπώς, τα δυο σενάρια που θα δοκιμαστούν παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1 Σενάρια εξέτασης λειτουργίας έργου.

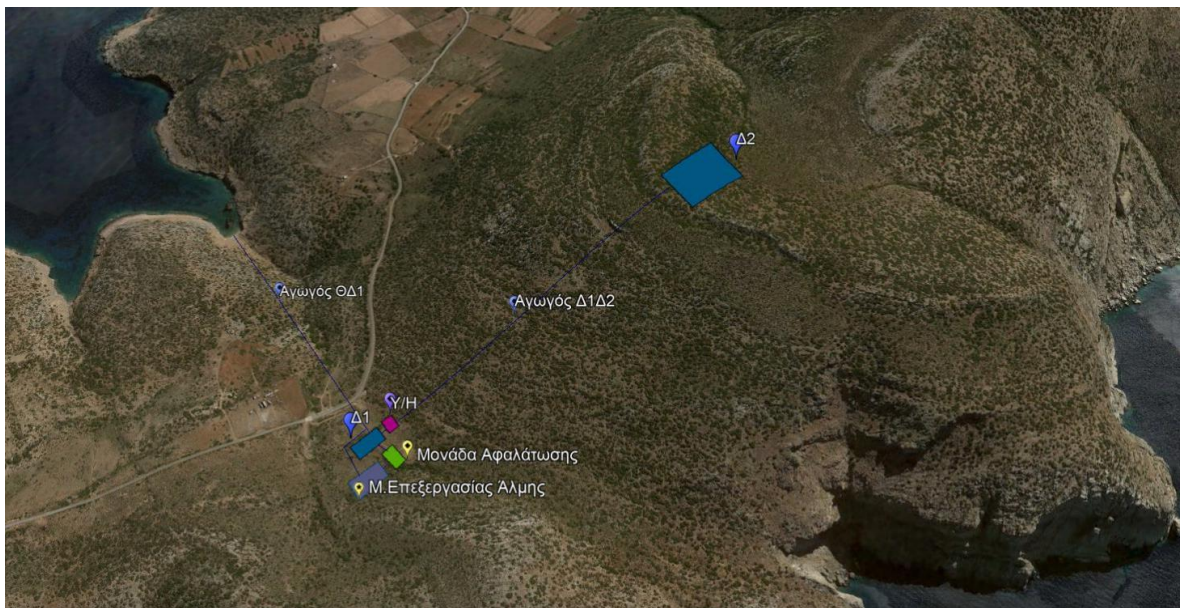
Εξεταζόμενα Σενάρια:	Σενάριο 1 ^ο	Σενάριο 2 ^ο
Μονάδες Λειτουργίας του Συστήματος	Ανεμογεννήτριες Αντλησοταμίευση Αφαλάτωση Μονάδα Diesel	Ανεμογεννήτριες Αντλησοταμίευση Αφαλάτωση Επεξεργασία Άλμης Μονάδα Diesel
Προτεραιότητα στην κάλυψη των αναγκών	1) Υδρευτικές ανάγκες 2) Ενεργειακές ανάγκες 3) Αρδευτικές ανάγκες	1) Υδρευτικές ανάγκες 2) Ενεργειακές ανάγκες 3) Αρδευτικές ανάγκες

Στο 1^ο Σενάριο το έργο θα διαθέτει δύο δεξαμενές, η μία σε υψόμετρο 76m (κάτω δεξαμενή Δ1) και η άλλη σε υψόμετρο 280m (άνω δεξαμενή Δ2), όπως αυτές φαίνονται και στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 Απεικόνιση θέσεων δεξαμενών, μονάδας αφαλάτωσης, Υ/Η σταθμού και αγωγών (1^ο Σενάριο).

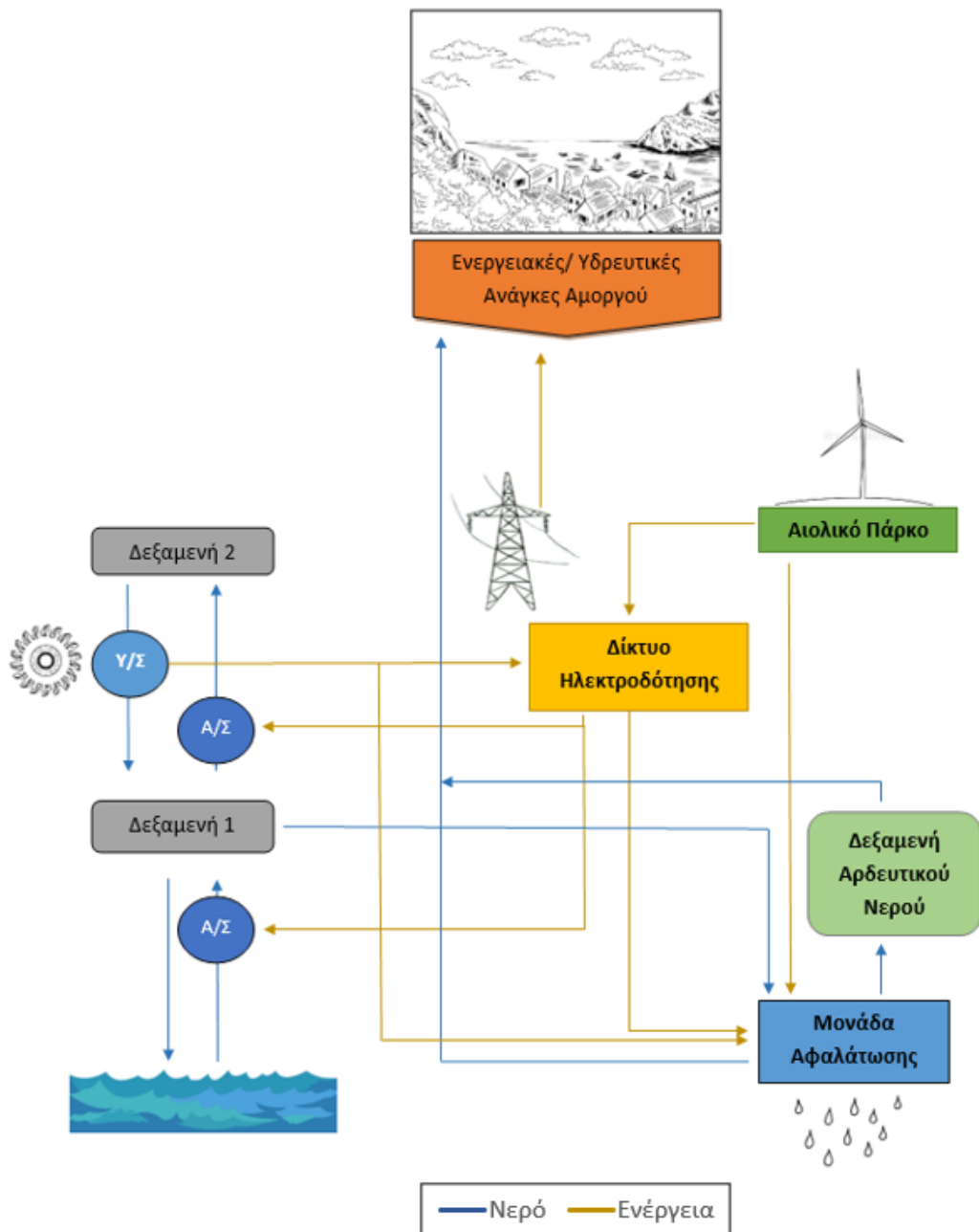
Ο αγωγός ΘΔ1 τροφοδοτεί την δεξαμενή Δ1 με θαλασσινό νερό. Η δεξαμενή Δ1 τροφοδοτεί την μονάδα αφαλάτωσης με το απαιτούμενο νερό προς αφαλάτωση. Όταν έχουμε περίσσεια ενέργειας, ο αγωγός ΘΔ1 τροφοδοτεί την δεξαμενή Δ1 και ταυτόχρονα η δεξαμενή Δ1 τροφοδοτεί την δεξαμενή Δ2 του Υ/Η έργου. Σε περίπτωση ελλείματος ενέργειας η δεξαμενή Δ2 τροφοδοτεί με νερό το Υ/Η έργο παράγοντας ενέργεια, και καταλήγει στην δεξαμενή Δ1. Εάν η Δ1 είναι στη μέγιστη χωρητικότητα της τότε το νερό απορρίπτεται στην θάλασσα μέσω του αγωγού ΘΔ1. Ταυτόχρονα, ο αγωγός ΘΔ1 απορρίπτει την άλμη από την μονάδα αφαλάτωση.



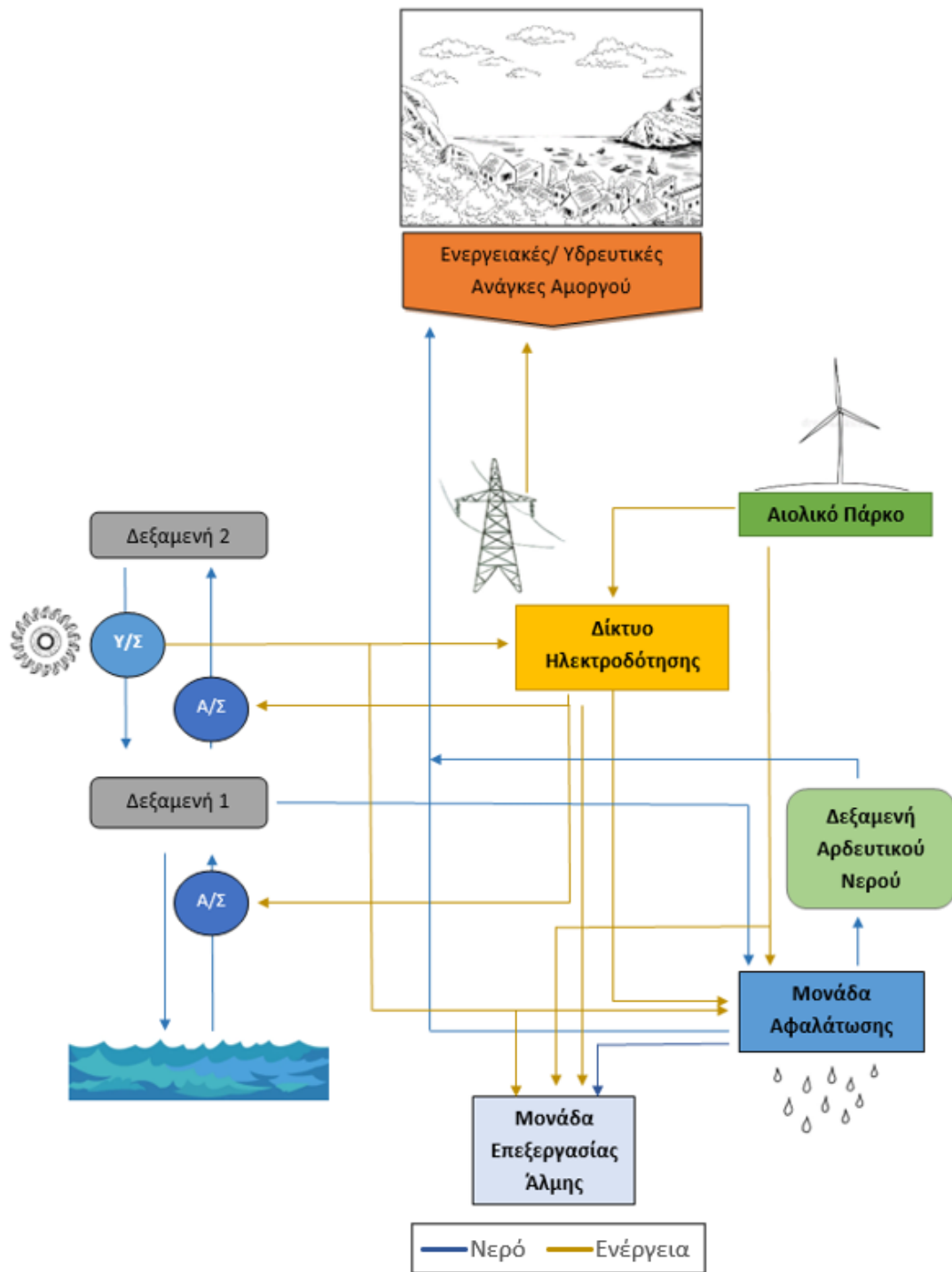
Σχήμα 5.2 Απεικόνιση θέσεων δεξαμενών, μονάδας αφαλάτωσης, μονάδα επεξεργασίας άλμης, Υ/Η σταθμού και αγωγών (2^ο Σενάριο).

Στο 2^ο Σενάριο όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2, η μόνη διαφοροποίηση είναι η προσθήκη της μονάδας επεξεργασίας άλμης. Η βασική λειτουργία ωστόσο των αγωγών παραμένει ίδια, με προσθήκη ότι εδώ έχουμε απόρριψη άλμης όταν δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια για την επεξεργασία της, και θα διοχετεύεται στον αγωγό ΘΔ1 για απόρριψη. Ταυτόχρονα, το υδροηλεκτρικό πέρα από την αφαλάτωση θα υποστηρίζει και την μονάδα επεξεργασίας άλμης σε περίπτωση ελλείματος.

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται μία σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του συστήματος σύμφωνα με τον 1^ο Σενάριο λειτουργίας, ενώ παρακάτω στο Σχήμα 5.4 η λειτουργία για το 2^ο Σενάριο.



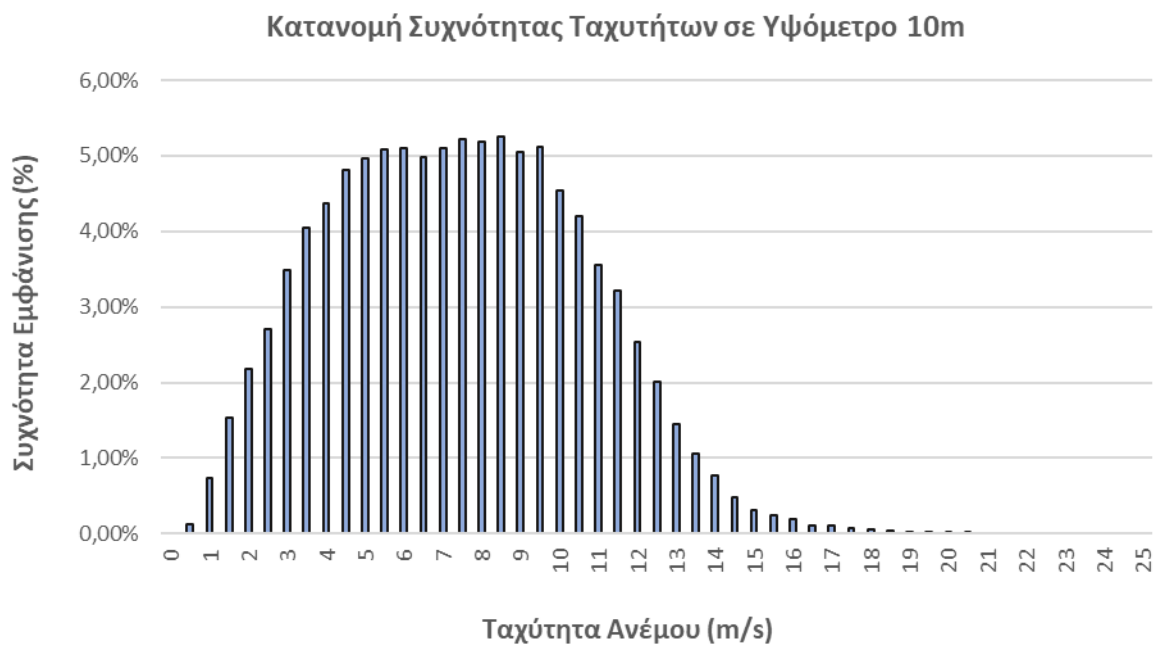
Σχήμα 5.3 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας συστήματος για το 1^ο σενάριο.



Σχήμα 5.4 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας συστήματος για το 2^ο σενάριο.

5.2 Επεξεργασία Ανεμολογικών Δεδομένων

Απαιτούμενο εργαλείο στην διαστασιολόγηση των ανεμογεννητριών είναι η απόκτηση ανεμολογικών δεδομένων και διαχείριση τους. Σκοπός μέσα από την διαχείριση είναι η επιλογή του μοντέλου της ανεμογεννήτριας και η τελική εκτίμηση της ενέργειας που παράγεται από τις συνθετικές χρονοσειρές που θα παραχθούν. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (PJIS 2022) , λαμβάνουμε την ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο δέκα μέτρων (10m) στην γεωγραφική θέση που επιθυμούμε. Τα δεδομένα παρέχονται σε χρονικό βήμα μίας ώρας και για το διάστημα των ετών 2005 έως 2016, οι συνολικές τιμές ανέρχονται σε 105.192 . Από τις αρχικές τιμές των δεδομένων μας μορφώνεται η Κατανομή Συχνότητας Ταχυτήτων (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5 Κατανομή Συχνότητας Ταχυτήτων σε υψόμετρο 10m.

Σαν πρώτη επεξεργασία των δεδομένων, είναι η μετατροπή τους σε αντίστοιχες ταχύτητες υψηλότερου υψομέτρου σύμφωνα με power law (Κουτσογιάννης; Ξανθόπουλος 1999). Από τις αρχικές τιμές υψομέτρου 10 μέτρων (10m) λαμβάνουμε τις αντίστοιχες τιμές σε υψόμετρο 300 μέτρων (300m) σύμφωνα τον τύπο:

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

z_1 : Υψόμετρο θέσης 1

z_2 : Υψόμετρο θέσης 2

z_0 : Παράμετρος τραχύτητας εδάφους

u_1 : Ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο z_1

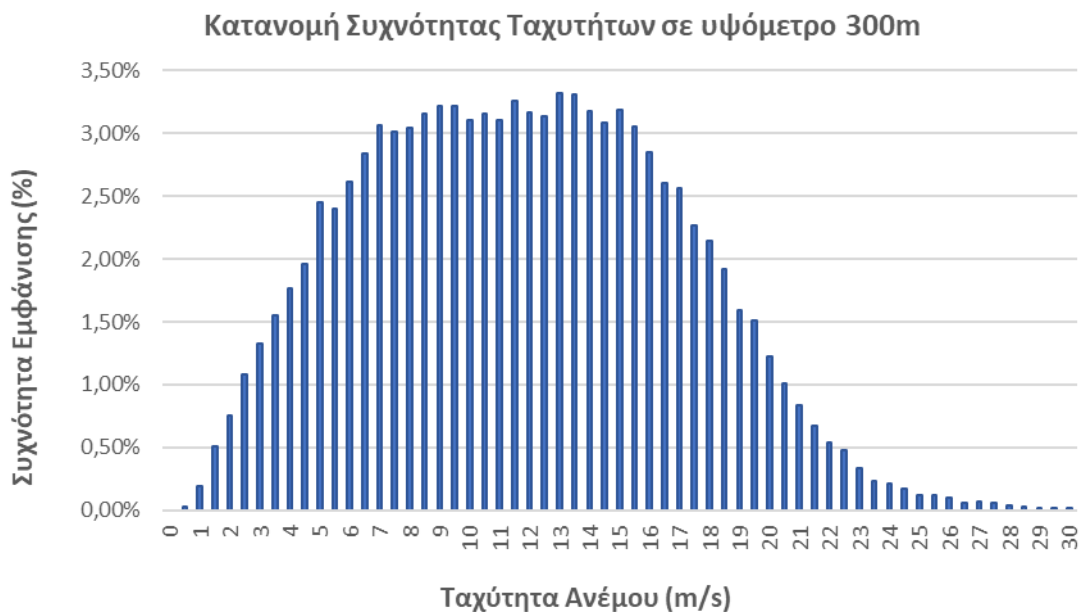
u_2 : Ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο z_2

Στην παρούσα εργασία έχουμε $z_1=10\text{m}$ και $z_2=300\text{m}$, ενώ για τον συντελεστή τραχύτητας επιλέχθηκε μια τιμή της τάξης $z_0=0.13$ σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 5.2:

Πίνακας 5.2 Τιμές παραμέτρου z_0 (Κουτσογιάννης; Ξανθόπουλος 1999)

Επιφάνεια	Τιμές παραμέτρου z_0
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη Επιφάνεια	0.002
Υδάτινη Επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά ύψους 10-50cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2m	20
Δένδρα ύψους 10-15m	40-70

Σύμφωνα με power law συνεπώς, προκύπτει η κατανομή συχνότητας ταχυτήτων σε υψόμετρο 300m, όπως και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6:



Σχήμα 5.6 Κατανομή συχνότητας ταχυτήτων σε υψόμετρο 300m.

Παραγωγή Συνθετικών Χρονοσειρών

Σύμφωνα με τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής έργου, δημιουργούμε 25 συνθετικές χρονοσειρές για την τον έλεγχο και την διαστασιολόγηση του συστήματος στα ποικίλα σενάρια χρήσης του. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την παραγωγή αυτών των δεδομένων είναι του αυτοπαλινδρόμενου μοντέλου AR(1) (autocorrelation). Οι παραγόμενες συνθετικές χρονοσειρές έχουν κοινά χαρακτηριστικά με την αρχική. Ειδικότερα, εκφράζουν μία πραγματοποίηση από τις πρακτικά άπειρες που μπορεί να επέλθουν. Η κάθε σειρά αποτελείται από 8760 τιμές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν και τις ώρες του έτους. Η μεθοδολογία υπολογισμού αυτών σύμφωνα με το μοντέλο AR(1) αναλύεται παρακάτω:

Μεθοδολογία AR(1)

1) Εύρεση Στατιστικών Χαρακτηριστικών και Συντελεστή Αυτοσυσχέτισης (1ης και 2ης τάξης) της Αρχικής Χρονοσειράς

- Μέσο όρο, Διασπορά, Τυπική Απόκλιση, Συντελεστή Ασυμμετρίας, Συντελεστή Κύρτωσης. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης υπολογίζεται με τη χρήση του προγράμματος Minitab.

2) Μονιμοποίηση της Χρονοσειράς

- Εύρεση μέσου όρου, τυπικής απόκλισης και διασποράς για κάθε μήνα.
- Η μονιμοποίηση της χρονοσειράς προκύπτει με αφαίρεση από την κάθε τιμή του μέσου όρου και διαίρεση του υπολοίπου με την τυπική απόκλιση του μήνα στον οποίο ανήκει.

3) Εύρεση Στατιστικών Χαρακτηριστικών και Συντελεστή Αυτοσυσχέτισης (1ης και 2ης τάξης) Μονιμοποιημένης Χρονοσειράς

- Με χρήση του λογιστικού προγράμματος Minitab

4) Χρησιμοποίηση μοντέλου AR(1) για εύρεση συντελεστή F1 και Θεωρητικής Απόκλισης C1

- $F(1) = R(1)$ όπου $R(1)$: Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης 1ης τάξεως
- $C1 = C * (1 - (F(1))^2)^{0.5}$ όπου C^2 : διασπορά μονιμοποιημένης σειράς

5) Παραγωγή Τυχαίων Αριθμών με Μέσο Όρο μηδέν και Τυπική Απόκλιση 1 όσο το μήκος της χρονοσειράς

- Η παραγωγή τυχαίων αριθμών μπορεί να γίνει με την εντολή NORM.DIST() και RAND() ή με χρήση Data Analysis → Random Number Generator

6) Υπολογισμός Τιμών Συνθετικής Μονιμοποιημένης Χρονοσειράς

- $X(1) = C1 * RN(1)$
- $X(I) = C1 * RN(I) + F(1) * (XI - 1)$

7) Απομονιμοποίηση της Συνθετικής Χρονοσειράς

- Αντίστροφη διαδικασία της μονιμοποίησης
- Τα στατιστικά χαρακτηριστικά και συντελεστές αυτοσυσχέτισης θα πρέπει να συμφωνούν με αυτά της πραγματικής

Η παραπάνω διαδικασία μας δίνει την κατανομή της συνθετικής χρονοσειράς, η οποία παρατίθεται στο Σχήμα 5.7:



Σχήμα 5.7 Κατανομή Ταχυτήτων Συνθετικής Χρονοσειράς.

5.3 Εκτίμηση Υδρευτικών, Αρδευτικών και Ενεργειακών Αναγκών

5.3.1. Εκτίμηση Πληθυσμιακής Αύξησης

Για την εκτίμηση των υδρευτικών και ενεργειακών αναγκών είναι απαραίτητη και η εκτίμηση της πληθυσμιακής αύξησης στον χρονικό ορίζοντα του έργου. Η πληθυσμιακή αύξηση αυξάνει και τις αναφερόμενες ανάγκες στη διάρκεια των ετών, δεδομένο από το οποίο επηρεάζεται και ο υπολογισμός του έργου.

Για την εκτίμηση του πληθυσμού μετά από n έτη, ακολουθώντας συντηρητική θεώρηση, χρησιμοποιήθηκε η αναδρομική εξίσωση 5.1, θεωρώντας ότι ο πληθυσμός ακολουθεί γεωμετρική αύξηση (Τσακίρης 2010):

$$P_i = a * P_{i-1} \quad 5.2$$

Όπου a και γ συντελεστές που προκύπτουν από τις σχέσεις 5.2 και 5.3, όπου i το εκάστοτε έτος.

$$a = 1 + \gamma \quad 5.3$$

$$\gamma = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}}$$

5.4

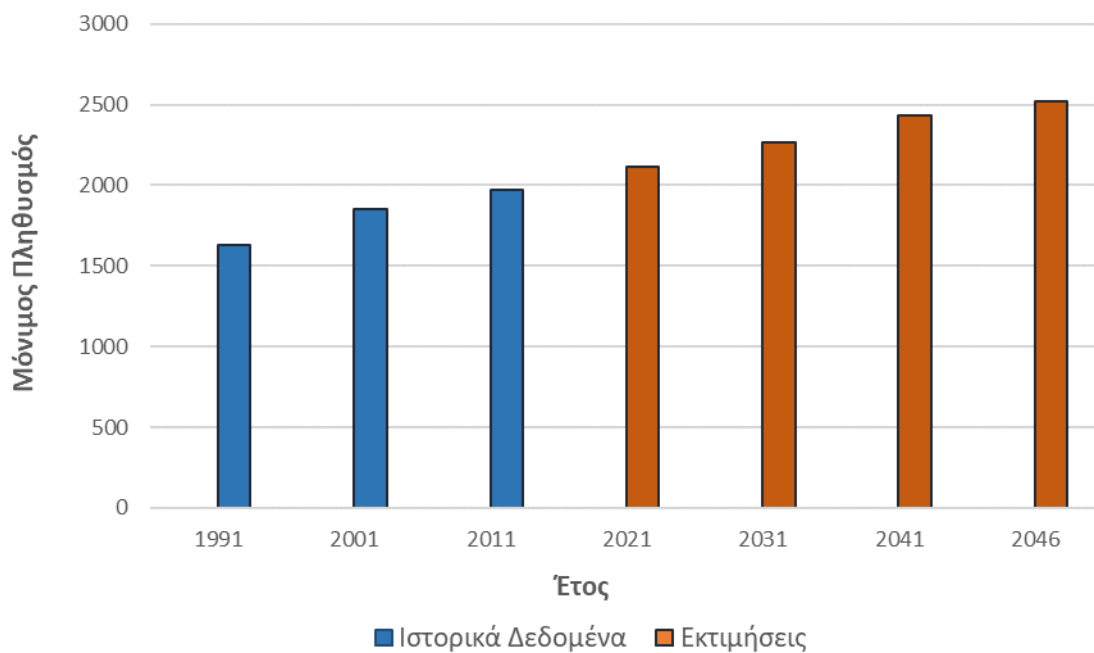
Για τον υπολογισμό του γ , θεωρήθηκε εύλογο να υπολογισθεί σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία μεταβολής των πληθυσμών, αυτών της δεκαετίας 2001-2011.

Τα πιο πρόσφατα στοιχεία που για τον πληθυσμό του νησιού είναι από το έτος 2011, συνεπώς είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι εφόσον αναφέρονται δέκα χρόνια πριν, και το έργο έχει χρονικό ορίζοντα ζωής 25 ετών, ο αριθμός n ετών της εξίσωσης να ισούται με 35. Τα στοιχεία, οι συντελεστές, και ο αναμενόμενος πληθυσμός αναφέρονται στον Πίνακα 5.3, ενώ η αύξηση του πληθυσμού στα επόμενα χρόνια παρατηρείται στο Σχήμα 5.8. Τα στοιχεία αναφέρονται στον μόνιμο πληθυσμό.

Πίνακας 5.3 Στοιχεία αναγωγής μόνιμου πληθυσμού

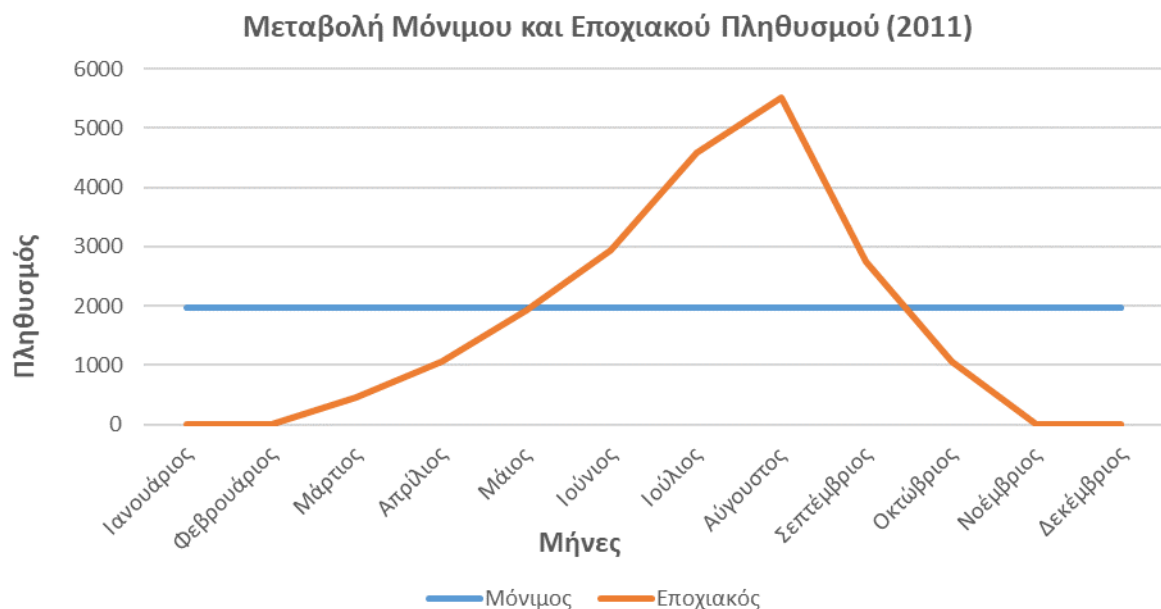
Αναγωγή Πληθυσμού	
P_0	1973
P_{35}	2519
α	1,007
γ	0,007
n	35

Εκτιμώμενη Αύξηση Μόνιμου Πληθυσμού

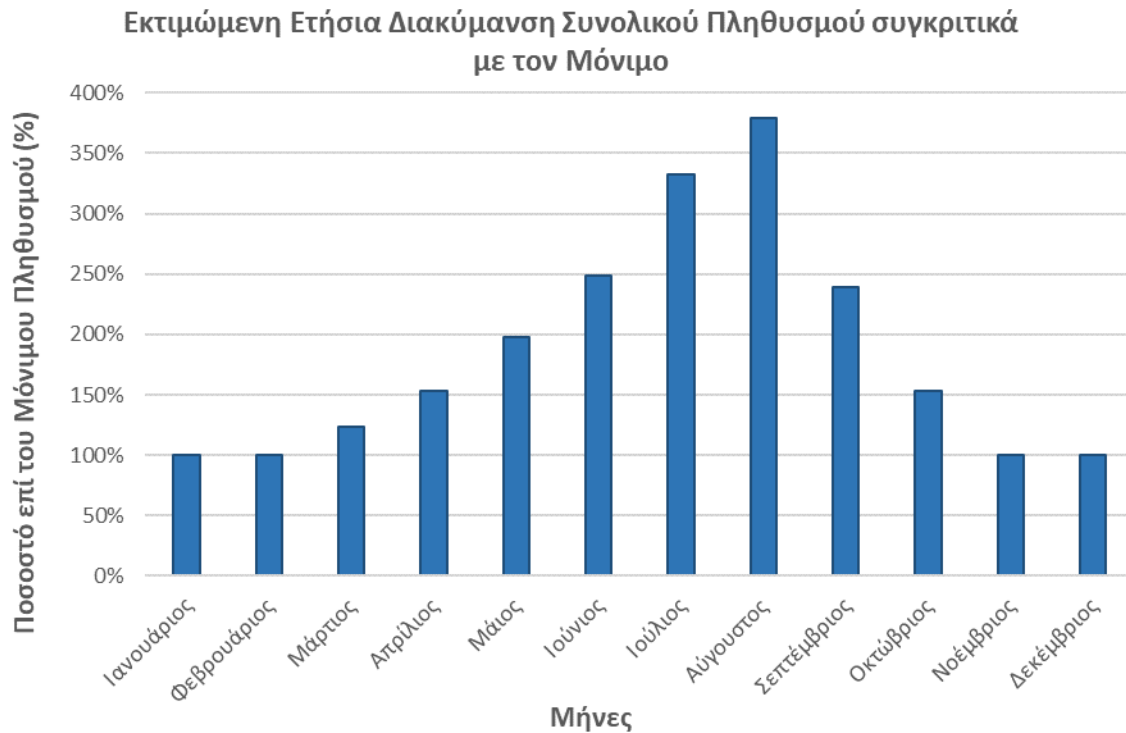


Σχήμα 5.8 Εκτιμώμενη αύξηση μόνιμου πληθυσμού.

Η εισροή των τουριστών και παραθεριστών στο νησί παρατηρείται από τον μήνα Μάρτιο μέχρι και τον Οκτώβριο σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή. Η μεταβολή και η σύγκριση με τον μόνιμο πληθυσμό φαίνεται στο Σχήμα 5.9. Ο υπολογισμός των μελλοντικών εισροών από εποχιακούς επισκέπτες θεωρήθηκε ως ένα μεταβαλλόμενο ποσοστό ως προς τον μόνιμο πληθυσμό του νησιού. Η εκτίμηση έγινε σύμφωνα τόσο με τα δεδομένα του έτους 2011, όσο και με συγκρίσεις από δεδομένα των νησιών Λειψών και Πάτμου. Οι ποσοστιαία μεταβολή μέσα στους μήνες, παρατηρήθηκε παρόμοια για τα νησιά, γεγονός που οδηγεί να θεωρήσουμε ότι εύλογα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Τα ποσοστά της μεταβολής του συνολικού πληθυσμού ως προς τον μόνιμο, τα οποία και θα χρησιμοποιηθούν, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.9 Μεταβολή μόνιμου και εποχιακού πληθυσμού για το έτος 2011.



Σχήμα 5.10 Εκτιμώμενη μεταβολή συνολικού πληθυσμού συγκριτικά με τον μόνιμο.

5.3.2. Υδρευτικές, Αρδευτικές και Κτηνοτροφικές Υδατικές Ανάγκες

Το νησί της Αμοργού καλύπτει τις υδατικές του ανάγκες με μεταφερόμενες ποσότητες νερού από την Νάξο και με ταυτόχρονες γεωτρήσεις στο νησί, οι οποίες είναι δημοτικές αλλά και ιδιωτικές. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ 2017) η μεταφερόμενη ποσότητα νερού στο νησί είναι της τάξης των 138.00 m³ ανά έτος.

Πάλι σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, έχουν ληφθεί στοιχεία και για τις μέσες ετήσιες απολήψεις από τα υπόγεια ύδατα του νησιού για χρήσεις άρδευσης, ύδρευσης και κτηνοτροφίας, οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 5.4.

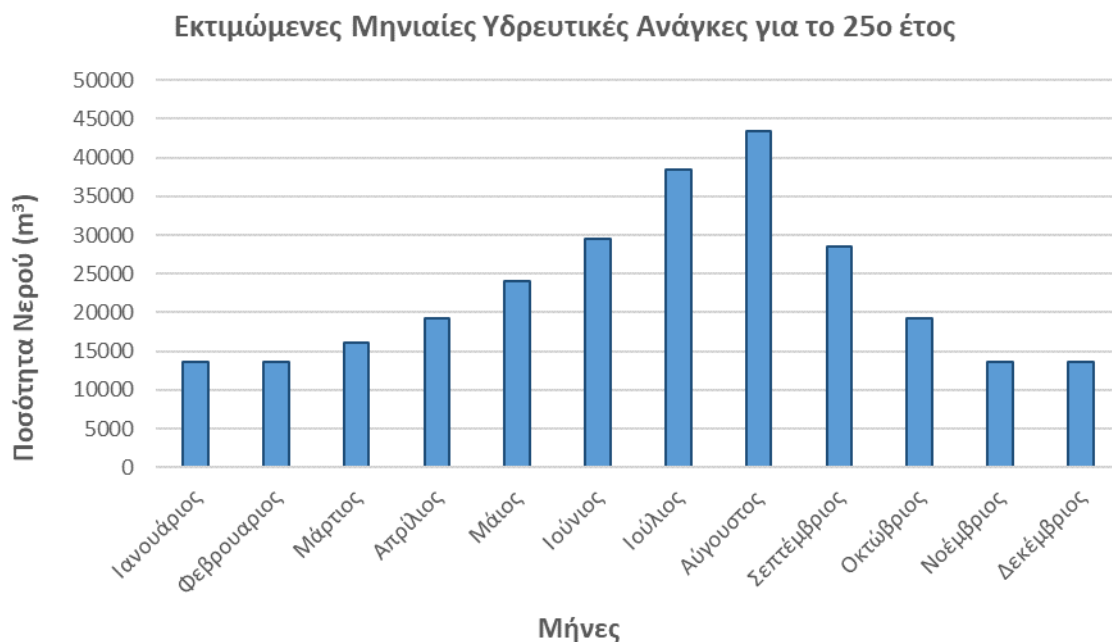
Πίνακας 5.4 Μέσες ετήσιες απολήψεις νησιού (ΥΠΕΚΑ 2017)

Μέσες Ετήσιες Απολήψεις		
Άρδευση (m ³)	Υδρευση (m ³)	Κτηνοτροφία (m ³)
120.000	130.000	14.000

Υδρευση

Οι ανάγκες ύδρευσης υπολογίστηκαν ποιοτικά καθώς δεν υπάρχει βάση δεδομένων για μηνιαίες καταναλώσεις στο νησί. Συγκεντρώνοντας τα στοιχεία από τις άνω μεταφερόμενες ποσότητες, τις ποσότητες από τις γεωτρήσεις, καθώς και τις καταναλώσεις των νησιών της Πάτμου, των Λειψών και της Δονούσας, εκτιμήθηκε η υδρευτική κατανάλωση του νησιού

ανά μηνιαία περίοδο. Τα νούμερα είναι ικανοποιητικά, ώστε να θεωρηθεί μια μέση τιμή ημερήσια κατανάλωσης νερού για κάθε άτομο της τάξης των 180 L/ημέρα. Συνεπώς μετά από υπολογισμό προκύπτουν οι μηνιαίες καταναλώσεις για την μέγιστη υδρευτική ζήτηση, δηλαδή το τελευταίο έτος του έργου. Τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.11.



Σχήμα 5.11 Μηνιαίες Υδρευτικές Ανάγκες για το 25^ο έτος ζωής του έργου.

Άρδευση

Τα κυριότερα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αναγκών είναι οι καλλιέργειες που υπάρχουν στο νησί σύμφωνα με το επιχειρησιακό σχέδιο Αγροτικής Ανάπτυξης 2011-2020 (ΠΝΑΙ 2014), και παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 4.6 και 4.7.

Για κάθε καλλιέργεια, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφής και Γεωργίας (FAO 2021) και σε συνδυασμό με τον Υπουργείο Γεωργίας και Αγροτικής Ανάπτυξης Κύπρου (ΜΟΑ 2014), υπολογίστηκαν τα στάδια ανάπτυξης κάθε καλλιέργειας, οι φυτικοί συντελεστές (K_c) και η εξατμισοδιαπνοή (ET_c), τα οποία επεξηγούνται παρακάτω. Από τα παραπάνω στοιχεία, υπολογίζονται οι υδατικές ανάγκες κάθε καλλιέργειας.

Στάδια Ανάπτυξης

Τα στάδια ανάπτυξης αναφέρονται στον κύκλο βλάστησης του φυτού, από την σπορά έως την πλήρη ωρίμανση της καλλιέργειας και την συγκομιδή της. Διαχωρίζονται σε τέσσερα

στάδια, τα οποία αναφέρονται παρακάτω ανά σειρά και με μονάδα μέτρησης των αριθμό των ημερών. Οι τιμές ανακτήθηκαν από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφής και Γεωργίας (FAO, 2021).

Περίοδος Εγκατάστασης Καλλιέργειας L_{ini}

Το στάδιο κατά το οποίο αρχίζει η σπορά ή η μεταφύτευση και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση και ανάπτυξη της καλλιέργειας σε ποσοστό κάλυψης εδάφους όχι μεγαλύτερου του 10%. Για τις ήδη εγκατεστημένες καλλιέργειες θεωρητικά αρχίζει με την εμφάνιση καινούργιας βλάστησης.

Περίοδος Κύριας Βλάστησης L_{dev}

Η φυσική συνέχεια του προηγούμενου σταδίου και φτάνει μέχρι και σε ποσοστό 60% φυτοκάλυψης. Σηματοδοτείται συνήθως από την άνθηση τους ή την πλήρη σκίαση του εδάφους σε λαχανοκομικές φυτείες γραμμικής φύτευσης.

Περίοδος Διαμόρφωσης της Παραγωγής L_{mid}

Είναι η περίοδος ανθοφορίας και σχηματισμού των καρπών με πλήρη φυτοκάλυψη εδάφους. Ταυτόχρονα παρατηρείται κιτρίνισμα και πτώση των γηραιότερων φύλλων, σημάδια πιο έντονα κατά την περίοδο της ωρίμανσης. Η περίοδος διαμόρφωσης της παραγωγής για πολλές φυτείες και ιδιαίτερα για τις ετήσιες λαχανοκομικές αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος διάρκειας του βλαστικού τους κύκλου.

Περίοδος Ωρίμανσης L_{late}

Στάδιο ωρίμανσης των καρπών και συγκομιδής της καλλιέργειας. Στις δενδρώδεις καλλιέργειες παρατηρείται πτώση των φύλλων και έναρξη του λήθαργου.

Στον Πίνακα 5.5 δίνονται ενδεικτικά κάποιες τιμές των Σταδίων Ανάπτυξης L (FAO 2021).

Πίνακας 5.5 Ενδεικτικά Στάδια Ανάπτυξης L (FAO 2021)

Καλλιέργεια	$L_{initial}$	L_{dev}	L_{mid}	L_{late}	Σύνολο	Εποχή Φύτευσης
Αγγούρια υπαίθρου	25	35	50	20	130	Νοέμβριος
Αγκινάρες	40	40	250	30	360	Απρίλιος

Φυτικοί Συντελεστές

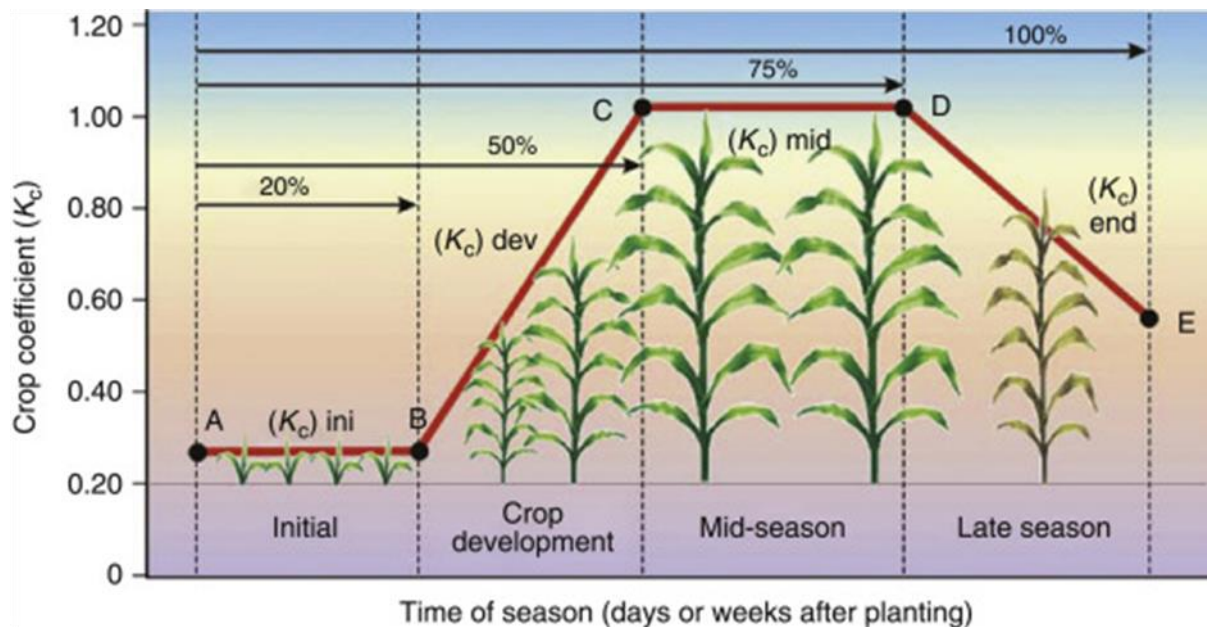
Οι τιμές του K_c αντιπροσωπεύουν τις επιδράσεις των αλλαγών στην επιφάνεια των φύλλων, το ύψος του φυτού, τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, το ρυθμό ανάπτυξης, τον βαθμό φυτοκάλυψης, τις αντοχές του φυτού και τις συνθήκες του εδάφους. Αλλάζουν στην διάρκεια ζωής του φυτού και παίρνουν τρεις χαρακτηριστικές τιμές οι οποίες αλλάζουν γραμμικά στο χρόνο. Ο φυτικός συντελεστής είναι από τις μεταβλητές που βοηθούν στην εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής κάθε καλλιέργειας. Η διακύμανση του φυτικού συντελεστή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.12, ενώ τα τρία στάδια είναι τα εξής:

($K_{c\text{ini}}$): Αναφέρεται στο στάδιο εγκατάστασης της καλλιέργειας, όπου η απώλεια νερού είναι μεγάλη καθώς εξατμίζεται από το έδαφος λόγω μειωμένης φυτοκάλυψης.

($K_{c\text{dev}}$): Αναφέρεται στην γραμμική αύξηση της τιμής από το προηγούμενο στάδιο στο επόμενο, μέχρι να διαμορφωθεί η πλήρης βλάστηση του φυτού.

($K_{c\text{mid}}$): Η μέγιστη τιμή του συντελεστή, όπου και αντιστοιχεί στη βλαστική περίοδο και την περίοδο παραγωγής.

($K_{c\text{end}}$): Με γραμμική μείωση της τιμής φτάνουμε στην τιμή $K_{c\text{end}}$ που αντιστοιχεί και στο τελικό στάδιο του βλαστικού κύκλου.



Σχήμα 5.12 Διακύμανση Φυτικού Συντελεστή K_c (L.S.Pereira 2005)

Ορισμένες από τις καλλιέργειες δεν απαιτούν άρδευση. Για κάθε μία που απαιτεί, σύμφωνα με τον μήνα φύτευσης και συγκομιδής, τους φυτικούς συντελεστές τους Kc, υπολογίστηκε η Εξατμισοδιαπνοή σύμφωνα με τους Blaney–Criddle (FAO 2021).

Ως εξατμισοδιαπνοή ETc (evapotranspiration) εννοούμε την ποσότητα νερού που καταναλώνεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου.

Ο τύπος των Blaney-Criddle ορίζεται ως εξής:

$$ET_o = p * (0,46 * T_{mean} + 8) \quad 5.5$$

p: Μηνιαίο Μέσο Ποσοστό Ωρών Ηλιοφάνειας

T: Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)

ETo: Εξατμισοδιαπνοή σε μία μέση περίοδο ενός μήνα (mm/d)

Για τον υπολογισμό απαιτήθηκαν οι μέσες θερμοκρασίες τις οποίες γνωρίζουμε από μετεωρολογικό σταθμό στην Αμοργό και το ποσοστό ωρών ημέρας κάθε μήνα, το οποίο υπολογίστηκε σύμφωνα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος λαμβάνοντας τιμές από (FAO, 2021).

Πίνακας 5.6 Ποσοστό Ωρών Ημέρας (FAO 2021)

Ποσοστό Ωρών Ημέρας τον Μήνα για Γεωγραφικό Πλάτος 25° (p)					
Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλης	Μάιος	Ιούνιος
0,24	0,26	0,27	0,29	0,3	0,31
Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24

Πίνακας 5.7 Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (meteo 2021)

Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία σε Celsius (C°) (T)					
Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλης	Μάιος	Ιούνιος
13,23	14,16	15,16	17,19	20,71	24,01
Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
25,39	25,70	24,21	20,74	18,14	14,41

Εφόσον υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή ETo σύμφωνα με την τοποθεσία και το κλίμα, υπολογίζουμε την συνολική εξατμισοδιαπνοή ETc της καλλιέργειας πολλαπλασιάζοντας με τους αντίστοιχους συντελεστές

$$ET_c = ET_o * K_c$$

5.6

Η παραπάνω ποσότητα, πολλαπλασιασμένη με τις ημέρες του μήνα αποτελεί και την υδατική ανάγκη των καλλιεργειών σε ύψος νερού ανά μήνα σε χιλιοστά (mm/month).

Αφαιρώντας και την μέση μηνιαία βροχή (Πίνακας 5.8) από τις ανάγκες (meteo 2021), έχουμε μία μείωση των αρδευτικών αναγκών.

Πίνακας 5.8 Μέσο Ύψος Βροχής (meteo 2021)

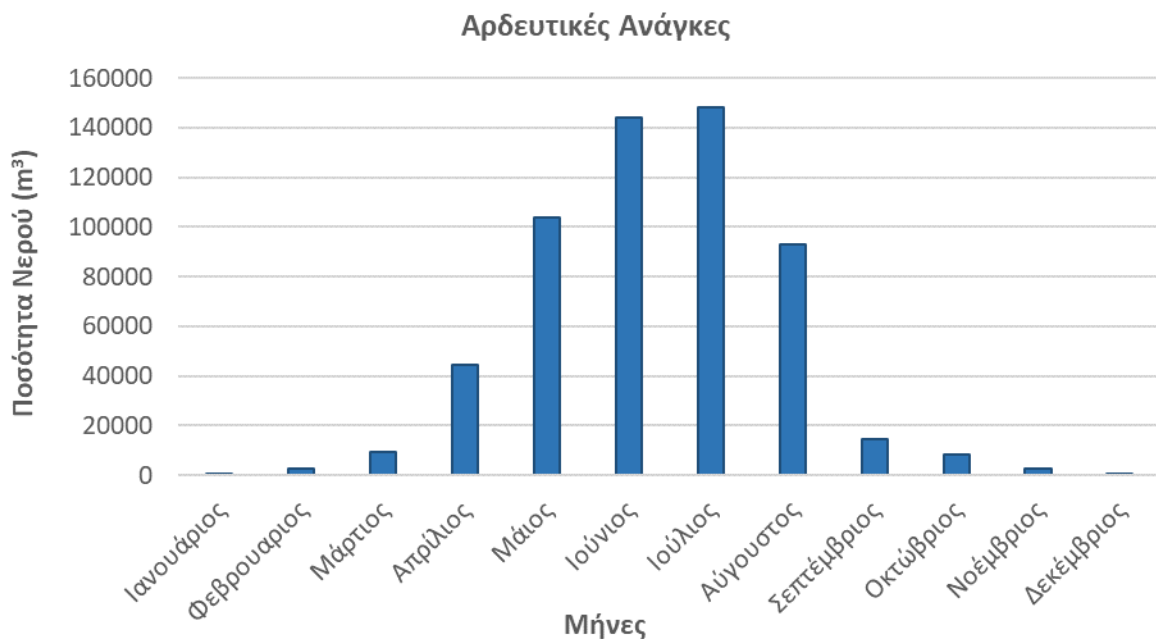
Μέσο Ύψος Βροχής (mm)					
Ιαν	Φεβρ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν
100,25	79,40	61,38	19,60	8,20	5,63
Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ
0,00	0,00	5,53	10,55	50,23	70,85

Τελικώς, συμπεριλαμβάνονται και τυπικές τιμές των συντελεστών απόδοσης σύμφωνα με την διάταξη Φ.16/6631 (ΕΦ.ΚΥΒ. 1989), στον Πίνακα 5.9:

Πίνακας 5.9 Συντελεστές Απόδοσης Καλλιέργειας

Αποδοτικότητα Μέθοδου Άρδευσης E_f (Στάγδην)	0,90
Αποδοτικότητα Δικτύου Διανομής E_d	0,80
Συνολική Αποδοτικότητα Αρδευτικού Δικτύου	0,72

Οι αρδευτικές ανάγκες που προκύπτουν από τους άνω υπολογισμούς παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.13.



Σχήμα 5.13 Αρδευτικές ανάγκες μηνιαίας βάσης.

Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία στο νησί περιλαμβάνει την αιγοπροβατοτροφία, τα βοοειδή και τη Μελισσοκομία, προσαρμοσμένες στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τον Κυπριακό Οργανισμό Αγροτικών Πληρωμών (ΜΟΑ 2014) υπολογίστηκαν οι ετήσιες ανάγκες ύδρευσης για τα ζώα παραγωγής που αναφέρθηκαν και παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 5.10:

Πίνακας 5.10 Υδρευτικές Ανάγκες Κτηνοτροφίας

Είδος	Ύδρευση ανά ζώο ($m^3/year$)	Ύδρευση ανα είδος ($m^3/year$)
Πρόβατα	4,38	40515
Αίγες	4,38	16040
Χοίροι	29,20	5840
Κουνέλια	0,18	55
Κότες	0,06	159
Βοοειδή	9,15	1263
Ίπποι-Όνοι	14,60	2774

Οι συνολικές ανάγκες σε ετήσια βάση διαμορφωμένες ανά μήνα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.14:



Σχήμα 5.14 Υδρευτικές Ανάγκες Κτηνοτροφίας

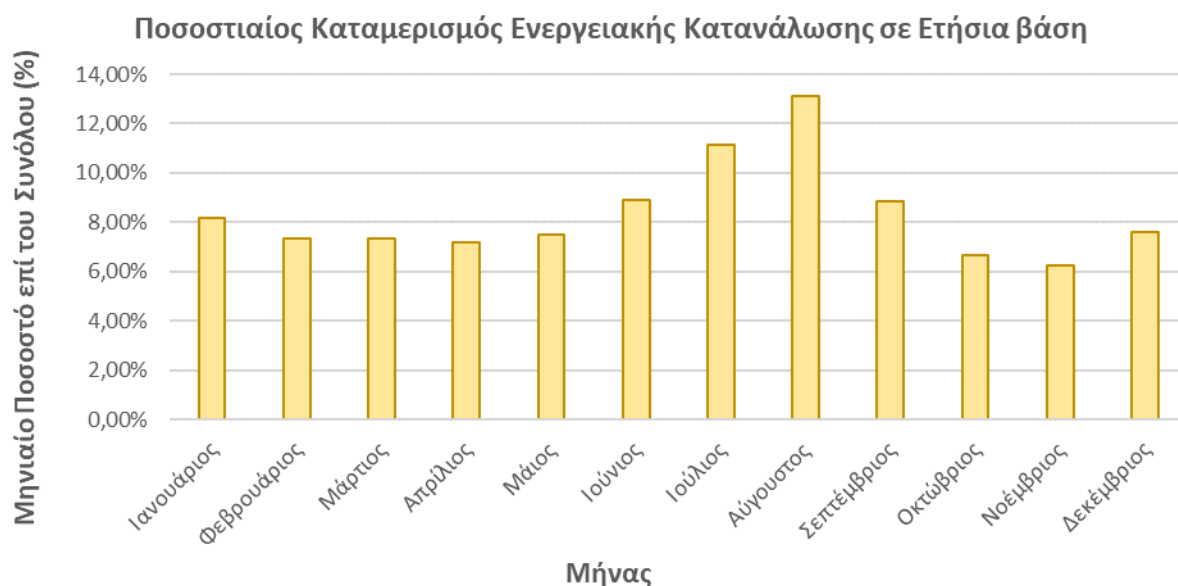
Ενεργειακές Ανάγκες Κατοίκων

Οι ενεργειακές ανάγκες των κατοίκων υπολογίστηκαν ποιοτικά, καθώς δεν διατίθεται λεπτομερής βάση δεδομένων για τις καταναλώσεις. Ειδικότερα, όπως προαναφέρθηκε, αποκτήθηκαν τα ετήσια στοιχεία κατανάλωσης για το νησί για τα έτη 2012 έως και 2019 απευθείας από την ΔΕΔΔΗΕ, έπειτα από επικοινωνία. Μαζί με τις καταναλώσεις των νησιών Πάτμου, Λειψών και Δονούσας μπόρεσε να γίνει μια εκτίμηση για την κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο. Παρακάτω στο Σχήμα 5.15 παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποκτήθηκαν από την ΔΕΔΔΗΕ.



Σχήμα 5.15 Ενεργειακές Καταναλώσεις (ΔΕΔΔΗΕ)

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία και μπορεί να εκτιμηθεί ο ποσοστιαίος καταμερισμός της ενεργειακής κατανάλωσης σε ετήσια βάση, η οποία και παρουσιάζεται και Σχήμα 5.16:



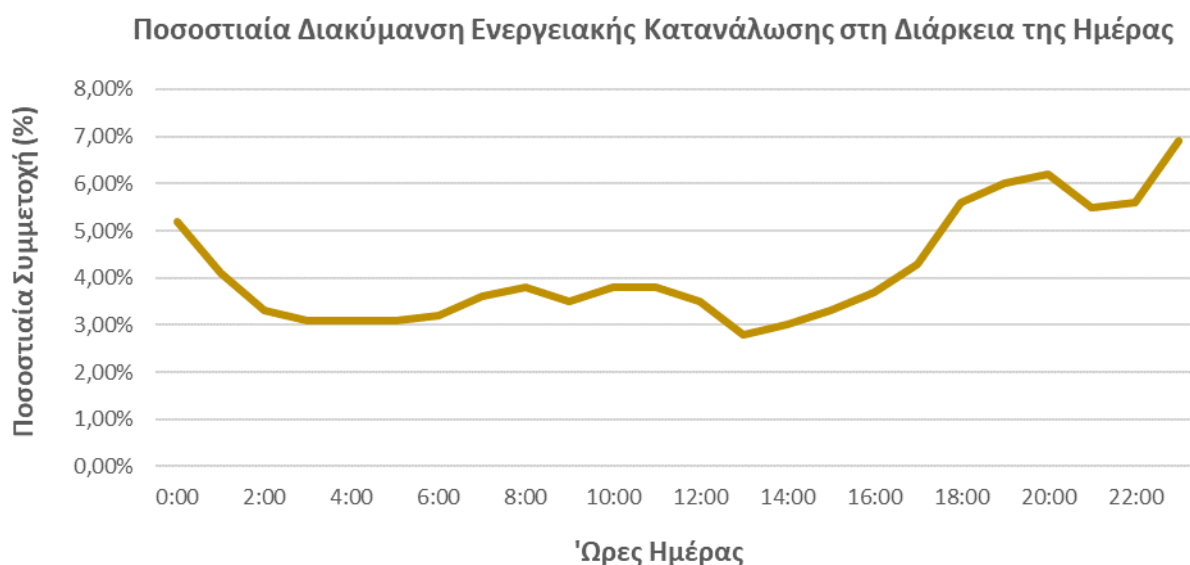
Σχήμα 5.16 Ποσοστιαίος Καταμερισμός Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Ετήσια βάση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να εκτιμηθούν οι ενεργειακές καταναλώσεις ανά κάτοικο και ανά μήνα. Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν για όλα τα μελλοντικά χρόνια ώστε να εκτιμηθούν οι ενεργειακές ανάγκες με την συνεχή αύξηση πληθυσμού. Παρακάτω στο Σχήμα 5.17 παρουσιάζονται οι μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες ανά κάτοικο:



Σχήμα 5.17 Εκτίμηση Μηνιαίων Ενεργειακών Αναγκών ανά Κάτοικο.

Τέλος, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.18 η διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης στη διάρκεια της ημέρας, σύμφωνα με τους (Mihailov; Evstatiev; Kadirova 2018).



Σχήμα 5.18 Διακύμανση ενεργειακής κατανάλωσης στη διάρκεια της ημέρας (Mihailov; Evstatiev; Kadirova 2018).

5.4 Αρχικά Χαρακτηριστικά των Μονάδων

Ανεμογεννήτριες

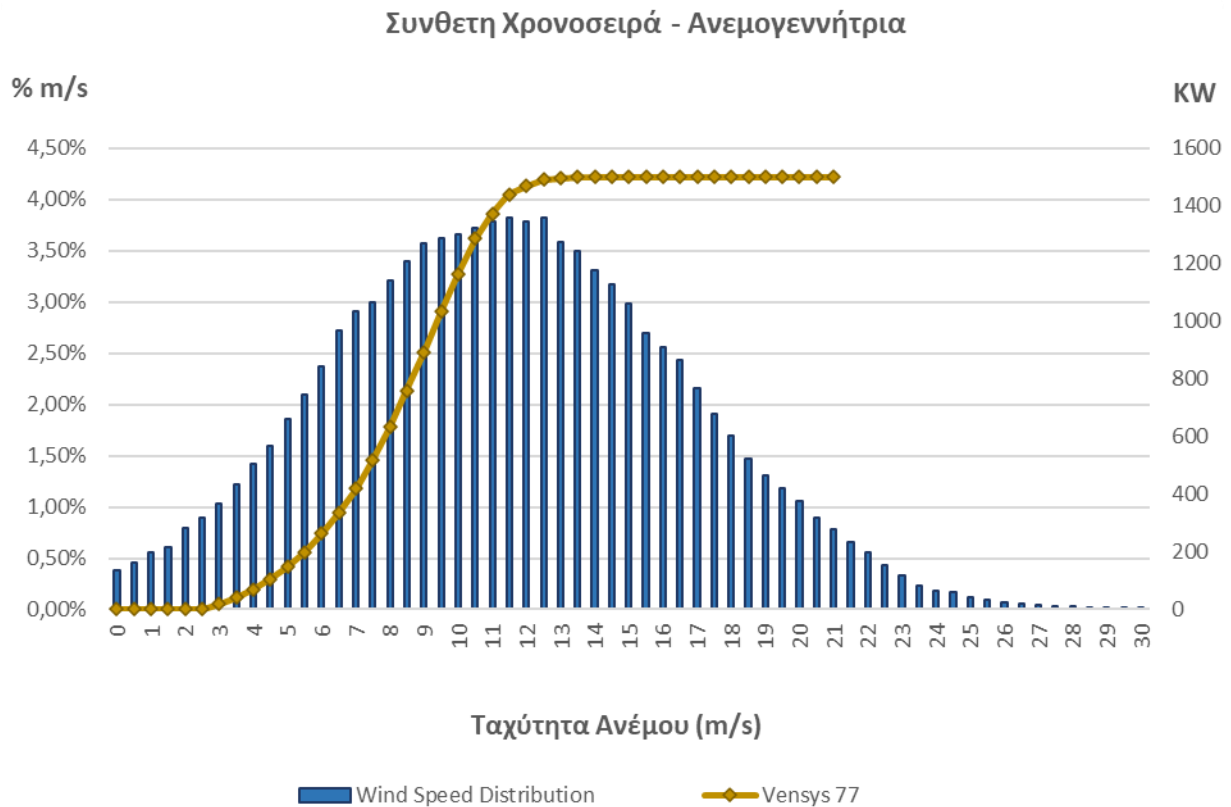
Η επιλογή της ανεμογεννήτριας έγινε με κριτήριο το κόστος, το μέγεθος της ανεμογεννήτριας, και τον συντελεστή απασχόλησης c_f . Έγινε σύγκριση πολλαπλών μοντέλων ανεμογεννητριών μέσα από την ιστοσελίδα των Bauer & Matysik (Matysik; Bauer 2021) μεταξύ ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύος 500kW-2.000kW. Οι τρεις κυριότερες που επιλέχθηκαν για να δοκιμαστούν στο σύστημα αναφέρονται στο παρακάτω Πίνακα 5.11 με τα χαρακτηριστικά τους:

Πίνακας 5.11 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών

	Ονομαστική Ισχύος (KW)	Συντελεστής απασχόλησης c_f	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh/year)	Διάμετρος δρομέα (m)	Συνολικό κόστος (€)
<i>Enercon - 44</i>	910	0,596	4700	44	1.031.205,73
<i>Vensys 77</i>	1500	0,710	9334	76,8	1.583.898,91
<i>Gamesca G80</i>	2000	0,693	12147	80	2.028.171,49

Με γνώμονα τον συντελεστή απασχόλησης, επιλέγουμε την ανεμογεννήτρια Vensys-77 για το υβριδικό μας σύστημα.

Σύμφωνα και με την κατανομή της συνθετικής χρονοσειράς που δημιουργήθηκε, παρουσιάζεται η καμπύλη ενέργειας της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της χρονοσειράς στο παρακάτω Σχήμα 5.19:



Σχήμα 5.19 Κατανομή ταχυτήτων σύνθετης χρονοσειράς – Ανεμογεννήτριας.

Από την καμπύλη ενέργειας της Α/Γ μπορούμε για κάθε ταχύτητα ανέμου να υπολογίσουμε και την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας σε ωριαίο βήμα.

Μονάδες Diesel

Οι μονάδες diesel αποτελούν μία γρήγορη και σε γενικές γραμμές οικονομική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αν και επιβλαβής για το περιβάλλον, δεν είναι εφικτή η αποκοπή τους από τα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Κάποια βασικά στοιχεία που οδηγούν αυτών είναι:

- Παρουσιάζουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης από όλες τις βασικές θερμοηλεκτρικές γεννήτριες. Ο βαθμός αυτός διαμορφώνεται σε τιμές άνω του 40% σε περιπτώσεις λειτουργίας κοντά στο ονομαστικό φορτίο.
- Έχουν τη δυνατότητα να καταναλώσουν όλα τα υγρά και αέρια καύσιμα (πετρέλαιο κίνησης, φυσικό αέριο) και με ειδική προθέρμανση δύνανται να καταναλώσουν και μαζούτ.

- Η δυνατότητα κατανάλωσης μαζούτ σε συνδυασμό με την υψηλή απόδοση συνεπάγονται τη διαμόρφωση χαμηλού ειδικού κόστους παραγωγής, που κυμαίνεται κάτω από 0,10€/kWh. Το κόστος αυτό υπερδιπλασιάζεται σε περιπτώσεις μικρών μονάδων με κατανάλωση ελαφρύ καυσίμου (πετρέλαιο κίνησης).
- Σε μικρά μεγέθη έχουν μεγάλη ευελιξία αναφορικά με την ικανότητά τους να παρακολουθήσουν τις μεταβολές του φορτίου. Η ικανότητα αυτή περιορίζεται σχετικά, όσο το μέγεθος της ντιζελογεννήτριας αυξάνει.
- Έχουν άμεση και ταχεία διαδικασία εκκίνησης, της οποίας η διάρκεια ελαχιστοποιείται για ντιζελογεννήτριες μικρού μεγέθους.
- Λόγω της παλινδρομικής κίνησης των τμημάτων τους παρουσιάζουν περισσότερες φθορές και χρήζουν συχνότερης συντήρησης, εμφανίζοντας έτσι σχετικά υψηλότερο κόστος συντήρησης σε σχέση με τις υπόλοιπες θερμικές μονάδες.

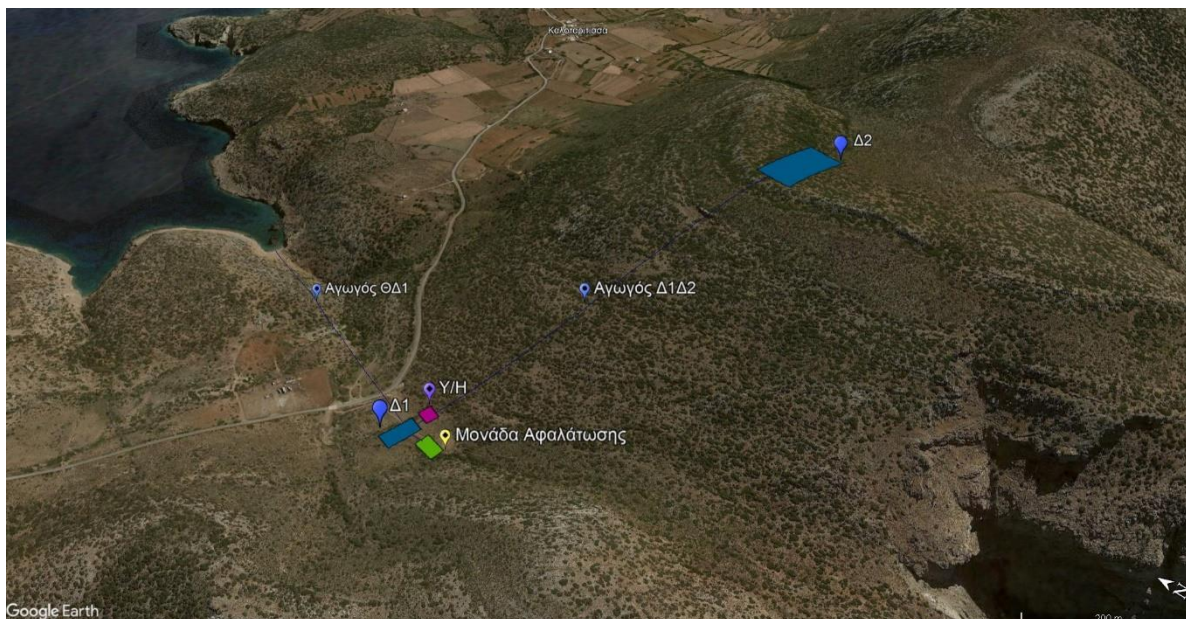
Για τη υπολογισμό και τον έλεγχο του συστήματος στη παρούσα εργασία, απαραίτητο είναι να γνωρίζουμε τα όρια χρήσης της ντιζελογεννήτριας. Το κατώτερο όριο, το οποίο λέγεται και τεχνικό ελάχιστο (Κατσαπρακάκης 2015), σύμφωνα με την παρούσα μονάδα παραγωγής ενέργειας στο νησί, είναι της τάξης των 2,99MW, και το μέγιστο 5,28MW. Συνεπώς εφόσον γνωρίζουμε τα όρια μας, μπορεί η μονάδα να εισέλθει και στον αλγόριθμό μας. Τα χαρακτηριστικά του υγρού καυσίμου diesel παρατίθενται στο παρακάτω Πίνακα 5.12 :

Πίνακας 5.12 Χαρακτηριστικά καυσίμου Diesel (Κατσαπρακάκης 2015).

Καύσιμο	Ποσότητα	CO2 που αποβάλλεται	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας
Diesel	1 Litre	2.5 kg	9,77 kWh

Μονάδα Αντλησοταμίευσης

Το υδροηλεκτρικό έργο αποτελείται από τις δύο δεξαμενές, τις αντλίες και τους υδροστρόβιλους. Η πρώτη δεξαμενή θα τοποθετηθεί σε υψόμετρο 72m και σε απόσταση 650m από την θάλασσα, ενώ η δεύτερη δεξαμενή θα τοποθετηθεί σε υψόμετρο 280m και σε απόσταση 580m από την πρώτη δεξαμενή. Οι τοποθεσίες αυτών φαίνονται στο Σχήμα 5.20.



Σχήμα 5.20 Απεικόνιση θέσεων δεξαμενών, μονάδας αφαλάτωσης, Υ/Η σταθμού και αγωγών

Θα χρησιμοποιηθούν αντλίες για την άντληση νερού από την θάλασσα προς την Δεξαμενή 1 (Δ1). Η Δ1 θα τροφοδοτεί την μονάδα αφαλάτωσης με το απαιτούμενο νερό και την Δεξαμενή 2 (Δ2) για λόγους αντλησοταμίευσης. Οι δύο παραπάνω αγωγοί που θα συνδέσουν θάλασσα- Δ1-Δ2 θα είναι διπλοί.

- Ο διπλός αγωγός από την Δ1 στην θάλασσα θα χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση την άλμης από την μονάδα αφαλάτωσης, και ταυτόχρονα θα χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που απαιτείται πτώση ενέργειας από την Δ2 στην Δ1, και η Δ1 είναι σε πληρότητα.
- Ο διπλός αγωγός από την Δ2 προς την Δ1 θα χρησιμοποιηθεί για λόγους αντλησοταμίευσης, εφόσον χρειάζεται η πτώση νερού για παραγωγή ενέργειας.

Οι αντλίες θα απαιτούν ενέργεια για την μεταφορά νερού σύμφωνα με τον τύπο:

$$E_{αντλιας} = \rho * g * Q * H_{m1} / \eta_{\alpha} \quad 5.2$$

$E_{αντλιας}$: Ενέργεια που καταναλώνεται για μεταφορά νερού παροχής $Q(m^3/s)$ (Watt)

ρ : Πυκνότητα νερού (=1000 kg/m³) (kg/m³)

g : Επιτάχυνση της βαρύτητας (=9,81 m/s²) (m/s²)

Q : Παροχή νερού (m³/s)

H_{m1} : Μανομετρικό ύψος αντλίας (m)

η_α : Συντελεστής απόδοσης αντλίας

Αντιστρόφως, όσο αφορά τους υδροστρόβιλους, η ενέργεια που θα αποδίδεται από την πτώση νερού θα ισούται:

$$P_{υδρ} = \rho * g * Q * H_{υδρ} * \eta_{υ} \quad 5.3$$

P_{υδρ} : Ενέργεια που παράγεται από την πτώση νερού όγκου V(m³) (Watt)

ρ : Πυκνότητα νερού (=1000 kg/m³) (kg/m³)

g : Επιτάχυνση της βαρύτητας (=9,81 m/s²) (m/s²)

Q : Παροχή νερού (m³/s)

H_{υδρ} : Μανομετρικό ύψος υδροστρόβιλου (m)

η_α : Συντελεστής απόδοσης υδροστρόβιλου

Υδραυλικοί Υπολογισμοί

Είναι απαραίτητο για την διαστασιολόγηση του αντλιοστασίου, ο υπολογισμός των υδραυλικών μεγεθών, όπως οι γραμμικές απώλειες. Για να επιλεγθούν τα χαρακτηριστικά των αγωγών, οι δύο τύποι που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής:

Συντελεστής τριβής f
(Swamee & Jain)

$$f = 0.25 / \left(\log \left(\frac{k_s}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2 \quad 5.4$$

Γραμμικές Απώλειες h_f
(Darcy-Weisbach)

$$h_f = f * L * \frac{V^2}{D * 2 * g} \quad 5.5$$

Με αρχική τυχαία επιλογή διάμετρο αγωγού D(mm), υπολογίζεται ο συντελεστής τριβής f. Έπειτα υπολογίζονται οι γραμμικές απώλειες h_f και το συνολικό μανομετρικό ύψος της αντλίας προκύπτει:

$$H_{\text{αντλιας}} = H_{\text{υψομετρικό}} + h_f \quad 5.6$$

Αντίστοιχα, το μανομετρικό ύψος για την παραγωγή ενέργειας από τον υδροστρόβιλο προκύπτει από το τύπο:

$$H_{\text{υδρ}} = H_{\text{υψομετρικό}} - h_f \quad 5.7$$

Εάν οι απώλειες είναι μεγάλες ή η διάμετρος έχει υπερδιαστασιοποιηθεί, τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται ώστε να επιλεγθεί ικανοποιητική διάμετρος αγωγού.

Μονάδα Αφαλάτωσης

Σε συνδυασμό και με το συνολικό έργο, τα κριτήρια επιλογής του χώρου της μονάδας αφαλάτωσης ήταν τα εξής:

- Να είναι εκτός και σχετικά μακριά από οικιστικές, τουριστικές και παραθεριστικές περιοχές.
- Να είναι περιοχές κοντά στην θάλασσα, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μόλυνσης σε περίπτωση ατυχήματος από την διέλευση αγωγών άλμης διαμέσου γης.
- Ο χώρος να είναι κοντά σε άλλα υδραυλικά έργα ώστε να υπάρχει εύκολη και γρήγορη σύνδεση των μονάδων για την μεταφορά του αφαλατωμένου νερού.
- Το θαλάσσιο περιβάλλον να προσφέρει καλής ποιότητας νερό, ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος μόλυνσης ή ρύπανσης ή επηρεασμού της ποιότητάς του
- Η περιοχή να μην έχει χαρακτηριστεί ως χώρος με ειδική περιβαλλοντική σημασία.

Μία τυπική Μονάδα Αφαλάτωσης απαρτίζεται από τα κάτωθι:

- Υποθαλάσσιοι αγωγοί μεταφοράς θαλάσσιου νερού και απόρριψης άλμης
- Αντλιοστάσιο θαλάσσιου νερού
- Χερσαίοι αγωγοί μεταφοράς νερού και απόρριψης άλμης
- Εργοστάσιο Αφαλάτωσης
- Προεπεξεργασία

- Αντίστροφη Ώσμωση
- Τελική επεξεργασία
- Δεξαμενή και αντλιοστάσιο αφαλατωμένου νερού
- Αγωγός μεταφοράς αφαλατωμένου νερού

Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι αυτή της αντίστροφής ώσμωσης. Η αντίστροφη ώσμωση αποτελεί μία ώριμη τεχνολογικά μέθοδο και οικονομικά προσιτή τεχνολογία αφαλάτωσης. Ταυτόχρονα, σύμφωνα με (Tzen; Morris 2003), η αντίστροφη ώσμωση υποστηρίζεται από τις μονάδες Α.Π.Ε. του συστήματος για παροχή ενέργειας, όπως αναφέρεται στον παρακάτω Πίνακα 5.13 :

Πίνακας 5.13 Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης με Α.Π.Ε. (Tzen; Morris 2003)

RES technology	Feed water salinity	Desalination technology
<i>Solar energy</i> Solar thermal	Seawater Seawater	Multi-effect distillation (MED) Multi-stage flashing (MSF)
Photovoltaics	Seawater Brackish Brackish	Reverse osmosis (RO) Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater Brackish Seawater	Reverse osmosis (RO) Mechanical vapor compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multi-effect distillation (MED)

Για την επιλογή των μονάδων αφαλάτωσης χρησιμοποιήσαμε τις υδρευτικές ανάγκες των μελλοντικών ετών. Ειδικότερα, η μέγιστη υδρευτική ζήτηση σε διάρκεια 24ώρου θα είναι της τάξης των 1720m³ και σε άρδευση 148.135m³. Οι αριθμοί αναφέρονται σε μήνα Ιούλιο, και προφανώς η αρδευτική ζήτηση δε θα μπορεί να καλυφθεί από τις μονάδες αφαλάτωσης και θα υπάρξει έλλειμμα στην άρδευση. Κύρια ζήτημα μας θα είναι η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών και για αυτό τον λόγο θα επιλέξουμε την εγκατάσταση δύο μονάδων αφαλάτωσης. Οι μονάδες έχουν και συστήματα ανάκτησης ενέργειας γεγονός που μειώνει την κατανάλωση ενέργειας. Οι μονάδες που θα επιλεχθούν είναι του μοντέλου (TSW 364PX) που προέρχεται από την εταιρεία TEMAK, και τα χαρακτηριστικά του αναφέρονται στο παρακάτω Σχήμα 5.19:

Τύπος	Μέγιστη Παραγωγή (m ³ /24ώρες)	Εγκατεστημένη Ισχύς (kw)	Ενέργεια (kWh/m ³)	Ανάκτηση %
TSW 324HP	381	75.0	4,4	42
TSW 332HP	509	90.0	4,2	42
TSW 340HP	636	110.0	4,1	44
TSW 348HP	763	132.0	3,5	42
TSW 356HP	890	160.0	3,5	42
TSW 364HP	1021	200.0	3,6	42
TSW 38PX	127	20,6	3,0	42
TSW 310PX	153	24,1	3,1	42
TSW 314PX	211	25,8	2,8	42
TSW 316PX	262	38,5	2,8	42
TSW 324PX	381	59,5	2,8	42
TSW 332PX	509	76,5	2,8	42
TSW 340PX	636	97,0	2,8	42
TSW 348PX	763	117,0	2,8	42
TSW 356PX	890	132,0	2,8	42
TSW 364PX	1021	172,0	2,8	44

Σχήμα 5.21 Μοντέλα μονάδων αφαλάτωσης της εταιρείας **TEMAK**

Μονάδα Επεξεργασίας Άλμης

Η διαχείριση της άλμης που παράγεται από μονάδες αφαλάτωσης, σήμερα πραγματοποιείται συμβατικά με τη χρήση των ακόλουθων πέντε τεχνικών:

- Διάθεση σε επιφανειακά ύδατα
- Διάθεση σε δίκτυο αποχέτευσης
- Έγχυση άλμης σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς
- Άρδευση
- Λίμνες εξάτμισης.

Η διάθεση της άλμης σε επιφανειακά ύδατα είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται σχεδόν κατά κανόνα, ειδικά στη Μεσόγειο Θάλασσα και την Ελλάδα. Η τεχνική αυτή είναι μία ώριμη τεχνικά λύση, η οποία όμως προκαλεί σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Είδη τα οποία προστατεύονται από το δίκτυο Natura 2000 (όπως τα Λιβάδια Ποσειδωνίας) διατρέχουν σημαντικό κίνδυνο, δεδομένου ότι δεν αντέχουν έστω και μικρές αλλαγές στην αλατότητα. Ταυτόχρονα, καμία από τις τεχνικές αυτές δεν οδηγεί σε ανάκτηση προϊόντων.

Για την ανάκτηση νερού έχουν εφαρμοστεί τα λεγόμενα συστήματα Zero Liquid Discharge (ZLD). Τα συστήματα ZLD εξαλείφουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την απόρριψη των υγρών αποβλήτων και επιτρέπουν την παραγωγή νερού υψηλών προδιαγραφών. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά έχουν τρία σημαντικά μειονεκτήματα: (α) παράγουν ένα στερεό παραπροϊόν που χρήζει τελικής διάθεσης σε Χ.Υ.Τ.Α. (β) έχουν υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και (γ) υψηλό κόστος επένδυσης. Σημειώνεται πως αν και υπάρχουν σήμερα 258 εφαρμογές συστημάτων ZLD, καμία δεν αφορά επεξεργασία της άλμης από μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

Το πιλοτικό πρόγραμμα SOL-BRINE (Ξεύγενος Δ. 2016) το οποίο και θα συμπεριληφθεί σαν μια καινοτόμα μέθοδος επεξεργασίας άλμης αποτελείται επιγραμματικά από τις παρακάτω συνιστώσες:

- Εξατμιστήρας
- Κρυσταλλωτήρας
- Ξηραντήρας
- Συμπιεστής
- Ηλιακοί Συλλέκτες

Για την εισαγωγή του προγράμματος στον υβριδικό σταθμό, πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένες τροποποιήσεις. Ειδικότερα, το σύστημα επεξεργασίας άλμης υποστηρίζεται από Φ/Β πάνελ για την ενεργειακή υποστήριξη της μονάδας και από ηλιακούς συλλέκτες για τις θερμικές ανάγκες, που απαιτούν ενέργεια της τάξης των 45 kWh/m³. Καθώς το σύστημα θα έχει μεγαλύτερη κλίμακα από το πιλοτικό θεωρήθηκε εύλογο να αφαιρεθούν τ Φ/Β πάνελ, μειώνοντας και την έκταση του έργου σε μεγάλο βαθμό. Όπως και προαναφέρθηκε στα υβριδικά συστήματα, η έκταση των Φ/Β είναι πολλαπλάσια από την έκταση που απαιτούν οι ανεμογεννήτριες, λόγω χαμηλού συντελεστή απασχόλησης στα υβριδικά συστήματα μεγάλου μεγέθους. Εν συνεχεία των παραπάνω, στον παρακάτω Πίνακα 5.14 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας επεξεργασίας άλμης:

Πίνακας 5.14 Χαρακτηριστικά συστήματος επεξεργασίας άλμης

Σύστημα επεξεργασίας άλμης	
Διάρκεια ζωής	25 χρόνια
Μοναδιαίο συνολικό κόστος	2.7 - 3.7 €/m ³
Ανάκτηση νερού από άλμη	73%
Ενεργειακό κόστος	45 kWh/m ³
Ποιότητα παραγόμενου νερού	50 ppm

5.5 Υπολογιστική Διαδικασία Μεγέθους Μονάδων

Ο διαδικασία του υπολογισμού ξεκινάει με τις υδρευτικές ανάγκες του νησιού. Από τις υδρευτικές ανάγκες προκύπτει και η δυναμικότητα και ο αριθμός των μονάδων αφαλάτωσης.

Μονάδες Αφαλάτωσης

Ειδικότερα, θεωρούμε ότι οι μονάδες αφαλάτωσης είναι σε λειτουργία 20 ώρες την ημέρα. Δεδομένου ότι η μονάδα αφαλάτωσης που επιλέξαμε έχει δυναμικότητα 1021 m³/ημέρα, αυτό ισούται με 42,50 m³/h. Έπειτα, οι υδρευτικές ανάγκες ενός 24ώρου ανάγονται σε βάση 20 ωρών, όσες και οι ώρες λειτουργίας της μονάδας. Υπολογίζοντας τη μέγιστη ωριαία υδρευτική ζήτηση 20ωρης βάσης σε διάστημα 25ετίας, μπορούμε να υπολογίσουμε των απαιτούμενο αριθμό μονάδων αφαλάτωσης, ώστε να ικανοποιούν αυτή την ζήτηση.

Αντλίες Τροφοδοσίας Μονάδων Αφαλάτωσης

Με τις μονάδες αφαλάτωσης υπολογισμένες, επόμενο βήμα είναι οι αντλίες που τροφοδοτούν την αφαλάτωση με θαλασσινό νερό. Εφόσον γνωρίζουμε την ζήτηση του υδρευτικού νερού, η ποσότητα νερού που πρέπει να τροφοδοτήσουμε την μονάδα αφαλάτωσης προκύπτει από την δυνατότητα ανάκτησης της αφαλάτωσης, στη περίπτωση αυτή είναι 44%. Συνεπώς, οι αντλίες πρέπει να τροφοδοτούν την μονάδα με ποσότητα νερού, ώστε το 44% αυτής να ισούται με τις υδρευτικές ανάγκες. Η μέγιστη παροχή των αντλιών θα προκύπτει και από την μέγιστη δυναμικότητα των μονάδων που υπολογίστηκαν, ειδικότερα με το 100/44 της συνολικής δυναμικότητας.

Γνωρίζοντας την παροχή, το μήκος αγωγού και την υψομετρική διαφορά μεταξύ θάλασσας και Δεξαμενής 1, από την οποία τροφοδοτείται η μονάδα αφαλάτωσης, μπορούμε να υπολογίσουμε τη διάμετρο του αγωγού, σύμφωνα με τους τύπους 5.9 και 5.10, και την ονομαστική δυναμικότητα αντλίας. Οι απώλειες είναι εύλογο να κυμαίνονται κάτω της τάξης των 10 μέτρων. Να σημειωθεί, ότι δεν θεωρούμε ότι η Δεξαμενή 1 αποθηκεύει το νερό για ώστε να τροφοδοτήσει την μονάδα αφαλάτωσης, αλλά ότι αυτό γίνεται σε άμεσο χρόνο. Επίσης, το αφαλατωμένο νερό θα οδηγείται κατευθείαν σε δεξαμενές υδρευτικού νερού τις οποίες ήδη έχει στη διάθεση του ο δήμος.

Αρδευτικές Ανάγκες

Οι αρδευτικές ανάγκες δεν είναι προτεραιότητα στο παρόν έργο, ενώ ταυτόχρονα ο όγκος του αρδευτικού νερού που ζητείται είναι αρκετά μεγάλος ώστε να ικανοποιηθεί σε ποσοστό 100%. Το σκεπτικό λοιπόν είναι, να γίνεται αφαλάτωση νερού για άρδευση όταν αυτό είναι

δυνατόν. Αρχικά, επειδή η διακύμανση της ζήτησης χαρακτηρίζεται από ακραίες τιμές στη διάρκεια του έτους, καθώς η άρδευση γίνεται κυρίως τους θερινούς μήνες, εύλογο είναι να αποθηκεύεται το αρδευτικό νερό σε μία δεξαμενή. Εν συνεχεία, καταθέτουμε την συνολική ετήσια αρδευτική ζήτηση, σε ισοκατανομημένη ωριαία ζήτηση. Έπειτα, όπως και με την υδρευτική ζήτηση, ανάγουμε την παραπάνω κατανομημένη ζήτηση σε βάση 20 ωρών. Συνεπώς γνωρίζουμε την ωριαία αρδευτική ζήτηση που θα πρέπει να δώσουν οι μονάδες. Η δυνατότητα όμως της μονάδας αφαλάτωσης να αφαλατώσει νερό για αρδευτικές ανάγκες, προκύπτει:

- Από την παρούσα ωριαία δυναμικότητα της μονάδας, που την ίδια στιγμή ικανοποιεί τις υδρευτικές ανάγκες.
- Από την δεξαμενή αποθήκευσης του αρδευτικού νερού, εάν αυτή είναι εφικτό να τροφοδοτηθεί με επιπλέον νερό, εάν δεν έχει φτάσει στη μέγιστη χωρητικότητα της.
- Από το πλεόνασμα ενέργειας, εάν έχουμε, ώστε να μην μειωθεί η ενεργειακή κάλυψη των κατοίκων.

Συνεπώς, ρόλο στην αξιοπιστία ικανοποίησης της αρδευτικής ζήτησης θα παίξει ρόλο και ο όγκος δεξαμενής αποθήκευσης αυτού.

Τελικά, από τα παραπάνω, προκύπτει μία συνολική ζήτηση νερού προς αφαλάτωση, όπου η ηλεκτρική κατανάλωση είναι της τάξης των 2.80 kWh/m³.

Λειτουργία Ανεμογεννητριών

Έχοντας επιλέξει το μοντέλο της ανεμογεννήτριας, και γνωρίζοντας τις ταχύτητες ανέμου από τις συνθετικές χρονοσειρές, υπολογίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις Α/Γ. Η ενέργεια που προκύπτει από τις Α/Γ, τροφοδοτεί απευθείας τις ενεργειακές ανάγκες των μονάδων αφαλάτωσης. Η ενέργεια που απομένει, εάν απομένει, τροφοδοτεί το υπόλοιπο δίκτυο, αλλά με όριο τον συντελεστή στιγμιαίας διείσδυσης (30%). Το σύνολο των ανεμογεννητριών θα αποφασιστεί και από τον τελικό συντελεστή διείσδυσης και από το κόστος αυτών.

Λειτουργία Μονάδας Diesel

Οι μονάδες Diesel λειτουργούν σε συνεχή βάση με το ελάχιστο δυνατό δυναμικό (2.99 MW). Εάν προκύψει ζήτηση παραπάνω ενέργειας από το σύστημα, εφόσον δεν ικανοποιείται από τις Α/Γ, τον υδροστρόβιλο, και την ελάχιστη δυναμικότητα της μονάδας Diesel, τότε αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας σε βαθμό που ικανοποιεί την ζήτηση.

Αντλίες Τροφοδοσίας άνω Δεξαμενής

Οι αντλίες τροφοδοσίας της άνω δεξαμενής θα θεωρήσουμε ότι είναι σχεδόν ίδιας ή παραπάνω παροχής με αυτών των αντλιών της κάτω δεξαμενής, ώστε σε περίσσεια ενέργεια να τροφοδοτείται η άνω δεξαμενή με τον ίδιο σχετικό ρυθμό, και να μην ανακόπτεται η τροφοδοσία από την έλλειψη της κάτω δεξαμενής.

Υδροστρόβιλος

Ο υδροστρόβιλος που θα επιλεγεί θα είναι τύπου [Pelton](#), καθώς αυτός ο τύπος ικανοποιεί το ύψος πτώσης (280m). Η ενεργειακή ζήτηση σε ώρες αιχμής καλοκαιριού ειδικότερα, είναι αρκετά υψηλή ώστε να καλύπτεται πλήρως από τον υδροστρόβιλο, καθώς δε θα ήταν οικονομικά εύλογο να τοποθετηθεί υδροστρόβιλος μεγάλης δυναμικότητας για λίγες ώρες αιχμής. Ταυτόχρονα, η διάμετρος του αγωγού πτώσης θα ήταν αρκετά μεγάλη. Υπολογίστηκε ότι για διάμετρο αγωγού $D=600\text{mm}$ μπορεί να παραχθεί ενέργεια τάξεως 1358kWh με πτώση όγκου νερού 2000m^3 . Κανόνας στον υπολογισμό είναι να μην έχουμε απώλειες άνω του 5% του συνολικού ύψους πτώσης και η ταχύτητα του νερού στον αγωγό να μην ξεπερνάει τα 2 m/s .

Όγκος άνω Δεξαμενής

Για τον όγκο της άνω δεξαμενής δοκιμάστηκαν αρκετά μεγέθη. Πέραν από το οικονομικό σκέλος, παρατηρήθηκε ότι για άπειρο όγκο δεξαμενής, η διείσδυση του Y/H δεν ξεπερνάει το 2%, γεγονός που οφείλεται πιθανότατα και στην δυναμικότητα των αντλιών να τροφοδοτούν με νερό την άνω δεξαμενή, αλλά και με την δυναμικότητα του υδροστρόβιλου. Θεωρήθηκε αρχικά όγκος της τάξης των 20.000 m^3 , που αποδίδει και διείσδυση 1,2%. Η αύξηση του όγκο πέραν από αυτό το μέγεθος δεν αυξάνει ικανοποιητικά το ποσοστό διείσδυσης ώστε να την επιλέξουμε.

Λειτουργία Y/H

Η λειτουργία του υδροηλεκτρικού εξαρτάται από το έλλειμα ή την περίσσεια ενέργειας. Σε περίπτωση που έχουμε περίσσεια ενέργειας οι αντλίες της κάτω και άνω δεξαμενής μπαίνουν σε λειτουργία, εκτός αν οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι πλήρεις. Σε περίπτωση ελλείματος ενέργειας, μπαίνει σε λειτουργία ο υδροστρόβιλος, παράγεται ενέργεια, και αποβάλλεται νερό, σύμφωνα με τον τύπο 5.8. Το νερό που πέφτει οδηγείται στην κάτω δεξαμενή, εάν δεν είναι γεμάτη, ειδάλλως οδηγείται στην θάλασσα μέσα των αγωγών Δ1-Δ2 και Θ-Δ1.

Μονάδα Επεξεργασίας Άλμης

Στο σενάριο που γίνεται επεξεργασία της άλμης, έχουμε παραπάνω ζήτηση ενέργειας, αλλά και μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης νερού. Με την προσθήκη της μονάδας επεξεργασίας άλμης, έχουμε συνολική ανάκτηση νερού από θαλασσινό 84,88%. Συνεπώς, θα χρειαστούν λιγότερες μονάδες αφαλάτωσης. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αναφέρθηκαν και στις μονάδες αφαλάτωσης παραπάνω, τελικώς για μέγιστη δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης ώστε να ικανοποιείται η μέγιστη υδρευτική ζήτηση, επιλέχθηκαν 2 μονάδες αφαλάτωσης. Το ποσοστό αξιοπιστίας στην άρδευση σχεδόν δεν αλλάζει. Από το αφαλατωμένο νερό που παράγεται, το ποσοστό που παράγεται από την μονάδα αφαλάτωσης, έχει ενεργειακή απαίτηση 2.8kWh/m^3 , ενώ το ποσοστό που παράγεται από την επεξεργασία της άλμης, 45kWh/m^3 .

6. Οικονομική Ανάλυση

6.1 Κόστη μονάδων

Ανεμογεννήτριες

Σύμφωνα με (Μαρνέλλος 2013) το κόστος των Α/Γ είναι συνάρτηση της ισχύος τους και υπολογίζεται κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$\kappa_{AG} = \frac{870000}{621 + P_n^{2.05}} + 740 \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{kW}} \right] \quad 6.1$$

Όπου κ_{AG} το ειδικό κόστος Α/Γ [€/kW] και P_n η ονομαστική δυναμικότητα της ΑΓ [kW].
Συνεπώς, το κόστος μίας Α/Γ είναι:

$$K_{AG} = \kappa_{AG} * P_n \quad [\text{€}] \quad 6.2$$

Λαμβάνοντας υπόψη και τα κόστη των περιφερειακών συστημάτων και τα κόστη εγκατάστασης, το ολικό ειδικό κόστος μίας Α/Γ υπολογίζεται:

$$\kappa_{AG,ολ} = \kappa_{AG} * 3,974 * P_n^{-0.14} \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{kW}} \right] \quad 6.3$$

Και το ολικό κόστος μίας Α/Γ ισούται:

$$K_{AG,ολ} = \kappa_{AG,ολ} * P_n \quad [\text{€}] \quad 6.4$$

Η ποσοστιαία συμμετοχή στο συνολικό κόστος των στοιχείων κατασκευής ενός αιολικού πάρκου παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.1:

Πίνακας 6.1 Ποσοστιαία συμμετοχή στοιχείων κόστους ανεμογεννήτριας (Πελέκης 2018).

Στοιχεία κατασκευής κόστους	% Συνολικού κόστους
Ανεμογεννήτρια	65
Έργα Πολιτικού Μηχανικού	13
Υποδομή Ηλεκτρικών Έργων	8
Σύνδεση στο δίκτυο	6
Κόστος διαχείρισης	8

Τέλος, ως κόστος συντήρησης των Α/Γ λαμβάνεται ένα ποσοστό της τάξης του 2% , από το κόστος προμήθειας του εξοπλισμού των μονάδων (Κατσαπρακάκης 2015).

Μονάδα Αφαλάτωσης

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής πόσιμου νερού είναι η αντίστροφη ώσμωση, ιδιαίτερα στη χώρα μας, που οι αναγκαίες ποσότητες ποικίλουν, αλλά δεν είναι πολύ μεγάλες. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει γενικά επικρατήσει στην αφαλάτωση του υφάλμυρου, αλλά και του θαλασσινού νερού, λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους της. Επίσης η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης παρέχει αξιοπιστία σε όλο το εύρος μεγεθών παραγωγής (από λίγα λίτρα έως εκατοντάδες κυβικά μέτρα ανά ημέρα), λόγω και της συμπαγούς και εύκολης, σχετικά με τις άλλες μεθόδους, κατασκευής της.

Τα κόστη διεργασιών της αφαλάτωσης παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 6.2 σύμφωνα με (Κακουτσάκης 2007):

Πίνακας 6.2 Κόστη διεργασιών αφαλάτωσης (Κακουτσάκης 2007).

Μέθοδος	Αρχικό κόστος επένδυση (€/m ³ -day)	Αναλώσιμα (€/m ³)	Εργατικά (€/m ³)	Συντήρηση (€/m ³)	Συνολικό ειδικό κόστος (€/m ³)
Αντίστροφη Ώσμωση	800-1600	0,09-0,25	0,03-0,20	0,02-0,05	0,46-1,78

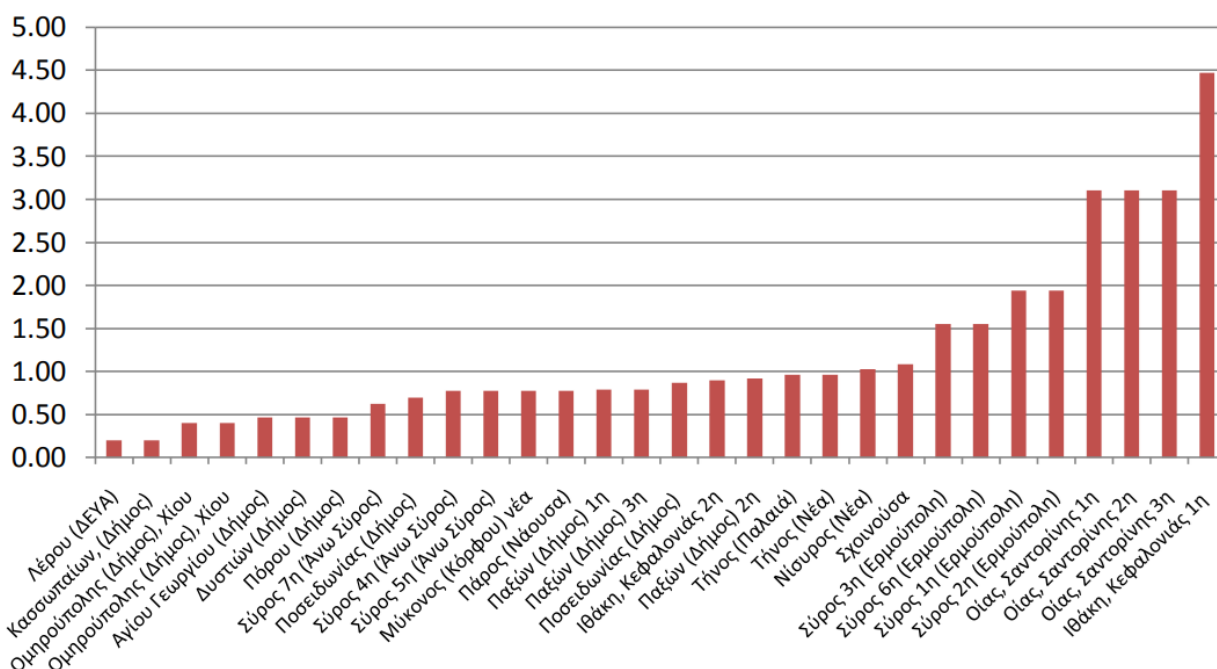
Το συνολικό ειδικό κόστος επιβεβαιώνεται και από (Τουπος 2005) με μικρές αποκλίσεις, με συνολικό ειδικό κόστος 0,45 – 1,62 €/m³. Ταυτόχρονα, επιπλέον πληροφορίες αντλούνται και από (Zotalis 2014), ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης και παρουσιάζονται στο Πίνακα 6.3:

Πίνακας 6.3 Κόστος μονάδων αφαλάτωσης συναρτήσει του μεγέθους μονάδας (Zotalis 2014)

Μέθοδος	Νερό τροφοδοσίας	Μέγεθος Μονάδας (m ³ /d)	Κόστος (€/m ³)
Αντίστροφη Ώμωση	Θαλασσινό	<100	1.20-15.00
		250-1,000	1.00-3.14
		1,000-4,800	0.56-1.38
		15,000-60,000	0.38-1.30
		100,00-320,000	0.36-0.53

Τέλος, παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.1 και κάποιες από τις παρούσες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα και το κόστος αυτών σύμφωνα με (Zotalis 2014).

Κόστος Μονάδων Αφαλάτωσης με μέθοδο Αντίστροφης Ώσμωσης (€/m³)



Σχήμα 6.1 Κόστος μονάδων αφαλάτωσης με μέθοδο Αντίστροφης Ώσμωσης (Zotalis 2014)

Μονάδα Επεξεργασίας Άλμης

Τα κόστη του συστήματος επεξεργασίας άλμης σύμφωνα με (Ξεύγενος Δ. 2016) παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 6.4:

Πίνακας 6.4 Κόστη συστήματος μονάδας επεξεργασίας άλμης (Ξεύγενος Δ. 2016)

Συνιστώσες Κόστους Μονάδας Επεξεργασίας Άλμης	Μοναδιαίο Κόστος (€/m ³)
Αρχικό Κόστος Εξοπλισμού και Εγκατάστασης	900 €/m ³ /day
Λειτουργικά Κόστη και Κόστη Συντήρησης	1,97 €/m ³

Τέλος, στην περίπτωση που είναι εφικτή η οικονομική αξιοποίηση της παραγόμενης άλμης, θα υπάρχουν έσοδα της τάξης των 5,85€/m³, όπως αναφέρεται και στο υποκεφάλαιο 3.3.2.

Μονάδα Αντλησοταμίευσης

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (International Renewable Energy Agency) (IRENA 2020) το συνολικό κόστος εγκατάστασης και το λειτουργικό κόστος των υδροηλεκτρικών έργων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 6.5:

Πίνακας 6.5 Κόστος Υδροηλεκτρικού Έργου (IRENA 2020)

Κόστος Υδροηλεκτρικού Έργου	
Αρχικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης	1870 €/kW
Λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης	2% του αρχικού κόστους

Η διάρθρωση του κόστους προμήθειας και εγκατάστασης παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.6 ενώ του λειτουργικού κόστους μαζί με το κόστος συντήρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.7:

Πίνακας 6.6 Διάρθρωση κόστους προμήθειας και εγκατάστασης (IRENA 2020)

Διάρθρωση κόστους προμήθειας και εγκατάστασης	
Έργα Πολιτικού Μηχανικού	45%
Μηχανικός Εξοπλισμός	33%
Κόστος Σχεδίασης και λοιπά έργα	16%
Σύνδεση στο Δίκτυο	6%
Κόστος γής	3%

Πίνακας 6.7 Διάρθρωση Λειτουργικού κόστους και κόστους Συντήρησης (IRENA 2020)

Διάρθρωση Λειτουργικό κόστους και κόστους Συντήρησης	
Λειτουργικό κόστος	51%
Μισθολογικό κόστος	39%
Κόστος Υλικών	4%
Λοιπά κόστη	16%

Τέλος, το κόστος το δεξαμενών του υδροηλεκτρικού κυμαίνεται στα 4.10 €/m³, τιμή που αποκτήθηκε από μια ποιοτική μέση τιμή από υπάρχοντα υδροηλεκτρικά έργα.

Μονάδες Diesel

Τα κόστη που προκύπτουν από τις υπάρχουσες συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, προέρχονται κυρίως από το κόστος κατανάλωσης καυσίμου. Σύμφωνα με (Κατσαπρακάκης 2015) το συνολικό κόστος κατανάλωσης καυσίμου C για όλη τη διάρκεια του έργου, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = V * c * \sum_{t=1}^N \frac{(1 + FPIR)^t}{(1 + i)^t} \quad 6.5$$

Όπου:

V: ο ετήσιος όγκος κατανάλωσης καυσίμου σε λίτρα.

c: η τιμή πώλησης του καυσίμου κατά την έναρξη λειτουργίας του υβριδικού σταθμού €/λ.

FPIR: ετήσιος συντελεστής αύξησης ή, γενικότερα, μεταβολής, της τιμής του καυσίμου

N: η διάρκεια ζωής της μονάδας

6.2 Δείκτες Οικονομικής Ανάλυσης

Σύμφωνα με (Κατσαπρακάκης 2015), ο υπολογισμός των οικονομικών δεικτών του έργου εκτελείται πάντα ως προς τη χρηματοροή των ετήσιων καθαρών κερδών. Η διαδικασία υπολογισμού έχει, συνοπτικά, ως εξής:

1. Αρχικά υπολογίζονται τα ετήσια ακαθάριστα έσοδα της επένδυσης, τα οποία, συνήθως, προκύπτουν από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάποιες περιπτώσεις έσοδα προκύπτουν και από τη διαθεσιμότητα της εγγυημένης ισχύος του υβριδικού σταθμού. Οι τιμές πώλησης της εγγυημένης ενέργειας και διαθεσιμότητας εγγυημένης ισχύος καθορίζονται με βάση την τιμολογιακή πολιτική του κάθε κράτους για την παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε.
2. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα ετήσια λειτουργικά έξοδα του έργου, τα οποία, συνήθως, συνίστανται από:
 - ανταποδοτικά τέλη προς τους οικείους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, τα οποία καθορίζονται ως ένα ποσοστό επί των ακαθάριστων εσόδων του έργου (στην Ελλάδα είναι 3%),
 - έξοδα συντήρησης εξοπλισμού,
 - ετήσιες δόσεις αποπληρωμής δανείων που πιθανώς ελήφθησαν για την κατασκευή του έργου,
 - ασφάλεια εξοπλισμού,
 - μισθοδοσία προσωπικού,
 - ενοίκια γης και χώρων,
 - λοιπά λειτουργικά έξοδα,
 - φόροι.
1. Αφαιρώντας από τα αρχικά ακαθάριστα έσοδα το σύνολο των λειτουργικών εξόδων, προκύπτουν τελικά τα ετήσια καθαρά κέρδη του έργου.
2. Ο υπολογισμός των καθαρών κερδών εκτελείται για το σύνολο της διάρκειας ζωής του έργου.

3. Οι οικονομικοί δείκτες της επένδυσης υπολογίζονται επί της χρηματοροής των καθαρών κερδών και για το σύνολο της χρονικής περιόδου επί της οποίας εκτελείται η επενδυτική αξιολόγηση του έργου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σχέσεις υπολογισμού χαρακτηριστικών οικονομικών δεικτών:

- Η Καθαρή παρούσα αξία (net present value – N.P.V.):

$$NPV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{K_t}{(1+i)^t} \right) - A.K. \quad 6.6$$

όπου K_t τα καθαρά κέρδη του έργου κατά το έτος t , i το επιτόκιο αναγωγής, N το σύνολο των ετών επί των οποίων εκτελείται η οικονομική αξιολόγηση και $A.K.$ το ύψος της επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία εκφράζει τα αθροιστικά καθαρά κέρδη που θα αφήσει το έργο σε ένα σύνολο ετών λειτουργίας, ανοιγμένων στην παρούσα αξία.

- Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (internal rate of return – I.R.R.):

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (I.R.R.) είναι το επιτόκιο αναγωγής το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \left(\frac{K_t}{(1+i)^t} \right) - A.K = 0 \quad 6.7$$

Καθώς το επιτόκιο αναγωγής διαμορφώνεται κυρίως από τα επιτόκια καταθέσεων, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης ουσιαστικά περιγράφει ένα θεωρητικό επιτόκιο καταθέσεων για το οποίο το απαιτούμενο κεφάλαιο επένδυσης θα είχε την ίδια απόδοση με την εξεταζόμενη επένδυση. Είναι ευνόητο ότι ο I.R.R. αποτελεί ένα χαρακτηριστικό δείκτη επενδυτικής αξιολόγησης ενός έργου, ο οποίος είναι αρκετός για να δώσει συμπεράσματα σχετικά με την επενδυτική απόδοση του έργου, χωρίς να απαιτείται η γνώση κάποιου άλλου μεγέθους.

- Περίοδος αποπληρωμής (payback period) και έντοκη περίοδος αποπληρωμής (discounted payback period):

Η περίοδος αποπληρωμής προκύπτει κατά τη χρονική στιγμή t_p που το άθροισμα των καθαρών κερδών της επένδυσης ισούται με το αρχικό

κεφάλαιο της επένδυσης. Συνεπώς η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται, επιλύοντας την ακόλουθη εξίσωση ως προς t_p :

$$\sum_{t=1}^{t_p} K_t - A.K. = 0 \quad 6.8$$

Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής προκύπτει κατά τη χρονική στιγμή t_p που το άθροισμα των καθαρών κερδών της επένδυσης των ανοιγμένων στην παρούσα αξία ισούται με το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης. Συνεπώς η έντοκη περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται επιλύοντας την ακόλουθη εξίσωση ως προς t_p :

$$\sum_{t=1}^{t_p} \left(\frac{K_t}{(1+i)^t} \right) - A.K = 0 \quad 6.9$$

Οι περίοδοι αποπληρωμής αποτελούν χαρακτηριστικούς δείκτες επενδυτικής αξιολόγησης ενός έργου, από τους οποίους συνάγονται ολοκληρωμένα συμπεράσματα σχετικά με την επενδυτική απόδοση του έργου, χωρίς να απαιτείται η γνώση κάποιου άλλου μεγέθους.

- Απόδοση επένδυσης (return on investment – R.O.I.):

Η απόδοση της επένδυσης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R.O.I. = \frac{\sum_{t=1}^N \left(\frac{K_t}{(1+i)^t} \right)}{A.K.} \quad 6.10$$

Η απόδοση της επένδυσης ουσιαστικά εκφράζει τα ποσοστιαία κέρδη της επένδυσης ανά μονάδα κεφαλαίου επένδυσης.

- Απόδοση ιδίων κεφαλαίων επένδυσης (return on equities – R.O.E.):

Η απόδοση της επένδυσης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R.O.E. = \frac{\sum_{t=1}^N \left(\frac{K_t}{(1+i)^t} \right)}{I.K.} \quad 6.11$$

Η απόδοση των ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης ουσιαστικά εκφράζει τα ποσοστιαία κέρδη της επένδυσης ανά μονάδα ιδίων κεφαλαίων επένδυσης.

6.3 Χρηματοδότηση

Ανεμογεννήτριες – Υδροηλεκτρικό

Σύμφωνα με τον Αναπτυξιακό Νόμο 3299/04 (ΚΑΠΕ 2006), οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να έχουν τις εξής χρηματοδοτήσεις και επιδοτήσεις:

- Κάλυψη δαπάνης του επενδυτικού σχεδίου
- Φορολογική απαλλαγή
- Επιδότηση μισθολογικού κόστους

Τα ποσοστά των επιδοτήσεων εξαρτώνται από την περιοχή ζώνης του κάθε έργου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για την νήσο Αμοργό έχουμε:

Πίνακας 6.7 Ποσοστά Χρηματοδότησης Α.Π.Ε.

Ποσοστά χρηματοδότησης ΑΠΕ	
Κάλυψη δαπάνης του επενδυτικού σχεδίου	30%
Φορολογική απαλλαγή	100%
Επιδότηση μισθολογικού κόστους	30%

Συνεπώς τόσο για τις ανεμογεννήτριες όσο και για το υδροηλεκτρικό έργο θα υπάρχει χρηματοδότηση 30% του αρχικού κόστους, 100% φορολογική απαλλαγή και 30% επιδότηση μισθολογικού κόστους.

Μονάδες Αφαλάτωσης και Επεξεργασία Άλμης

Η χρηματοδότηση της αρχικής επένδυσης για την εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης μπορεί να είναι σε ποσοστό 100%. Αυτό συμβαίνει διότι η Αμοργό θεωρείται από τα άνυδρα νησιά της Ελλάδας (MinDevGR 2019) και προβλέπεται ολοκληρωτική χρηματοδότηση για ένα τέτοιο έργο. Ταυτόχρονα, σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 24663/2020, που περιέχει το πρόγραμμα με τίτλο <<Διαχείριση Υδάτων>> (Υ.Π.ΕΝ. 2020),, (ΥΠ.ΕΝ 2014),

μονάδες αφαλάτωσης σε συνεργασία με μονάδες Α.Π.Ε. μπορούν να χρηματοδοτηθούν πλήρως. Καινοτόμες νέες τεχνολογίες για την επεξεργασία άλμης μπορούν επίσης να χρηματοδοτηθούν σύμφωνα με το παραπάνω πρόγραμμα. Η χρηματοδότηση ωστόσο είναι μέχρι της τάξεως των 1.500.00 €.

7. Αποτελέσματα

7.1 Εκτιμήσεις μεγέθους Μονάδων και Δεξαμενών

7.1.1. Σενάριο 1^ο

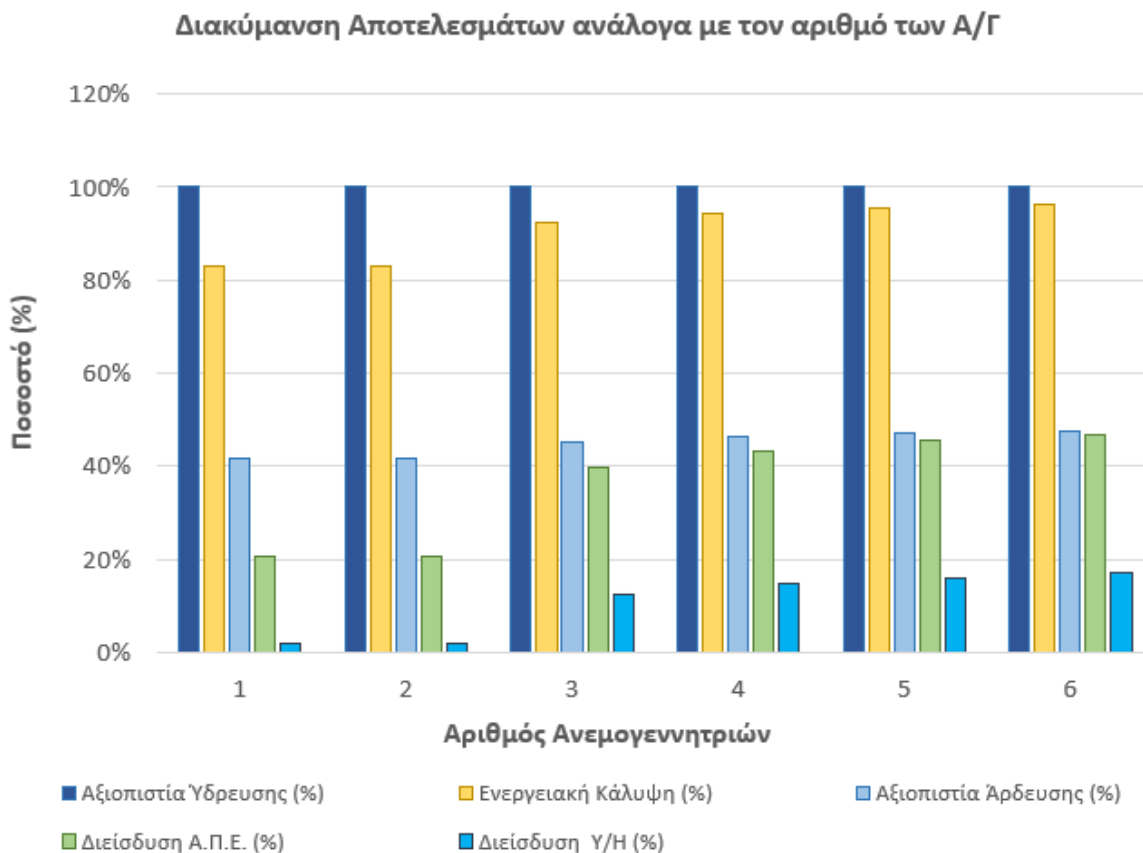
Όπως αναφέρθηκε, το 1^ο σενάριο περιέχει ανεμογεννήτριες, μονάδα αφαλάτωσης, και μονάδα αντλησοταμίευσης. Προτεραιότητα θα γίνεται στις υδρευτικές ανάγκες του νησιού, και στη συνέχεια οι ενεργειακές και τελευταίες οι αρδευτικές. Ταυτόχρονα, θα αφαιρεθούν ορισμένες μονάδες Diesel για μείωση χρήσης του συμβατικού καυσίμου και περαιτέρω διείσδυση των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό ισοζύγιο. Σύμφωνα με την μέθοδο σχεδιασμού που εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 5.5, υπολογίστηκαν τα βασικά στοιχεία λειτουργίας του συστήματος και παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1:

Πίνακας 7.1 Βασικά στοιχεία συστήματος για το 1^ο σενάριο.

Μέγιστη Ισχύς Μονάδων Diesel (kW)	2440
Δυναμικότητα κάθε μονάδας (m ³ /24h)	5100
Ισχύς Αντλίας ΘΔ1 (kW)	580
Ισχύς Αντλίας Δ1Δ2 (kW)	2175
Ισχύς Υδροστροβίλου (kW)	3 X 1500
Όγκος Δεξαμενής 1 (m ³)	10.000
Όγκος Δεξαμενής 2 (m ³)	100.000

Για να δούμε την διακύμανση της ενεργειακής διείσδυσης των μονάδων Α.Π.Ε., υπολογίστηκαν σενάρια με διαφορετικό αριθμό ανεμογεννητριών. Ο αριθμός των ανεμογεννητριών επηρεάζει την διείσδυση των Α.Π.Ε., την λειτουργία την αντλησοταμίευσης, και την λειτουργία της μονάδας Diesel. Μεταξύ της επιλογής μίας (1) και έξι (6) ανεμογεννητριών παρατηρήθηκαν αισθητές διαφορές στην λειτουργία του συστήματος. Παρακάτω στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζεται η επίδραση του μεγέθους του αιολικού πάρκου, στην διείσδυση των Α.Π.Ε., στην Υδρευτική, Ενεργειακή, Αρδευτική

αξιοπιστία, καθώς και στην δυνατότητα της μονάδας Diesel να δουλεύει στο ελάχιστο δυνατό δυναμικό.



Σχήμα 7.1 Διακύμανση Αποτελεσμάτων ανάλογα με τον αριθμό των Α/Γ.

Από τα παραπάνω, γίνεται η επιλογή των 4 ανεμογεννητριών για τη λειτουργία του συστήματος, καθώς αγγίζει έναν αρκετά ικανοποιητικό στόχο διείσδυσης της τάξης του 40%, και ενεργειακή κάλυψη άνω του 90%. Ταυτόχρονα, η διείσδυση του Υ/Η είναι ικανοποιητική σε ποσοστό κοντά στο 15%. Στα παραπάνω αποτελέσματα έχουν αφαιρεθεί οι 4 από τις 6 μονάδες Diesel, με τελική μέγιστη ισχύ 2.44MW και ελάχιστη 1.20MW. Συνεπώς, τα αποτελέσματα θεωρούνται αρκετά ικανοποιητικά για μία τόσο μεγάλη μείωση της δυναμικότητας των μονάδων Diesel.

Εν συνεχεία, για την ετήσια παρατήρηση της λειτουργίας του συστήματος υπολογίστηκε η αξιοπιστία ύδρευσης, άρδευσης και ενέργειας σε ετήσια βήμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

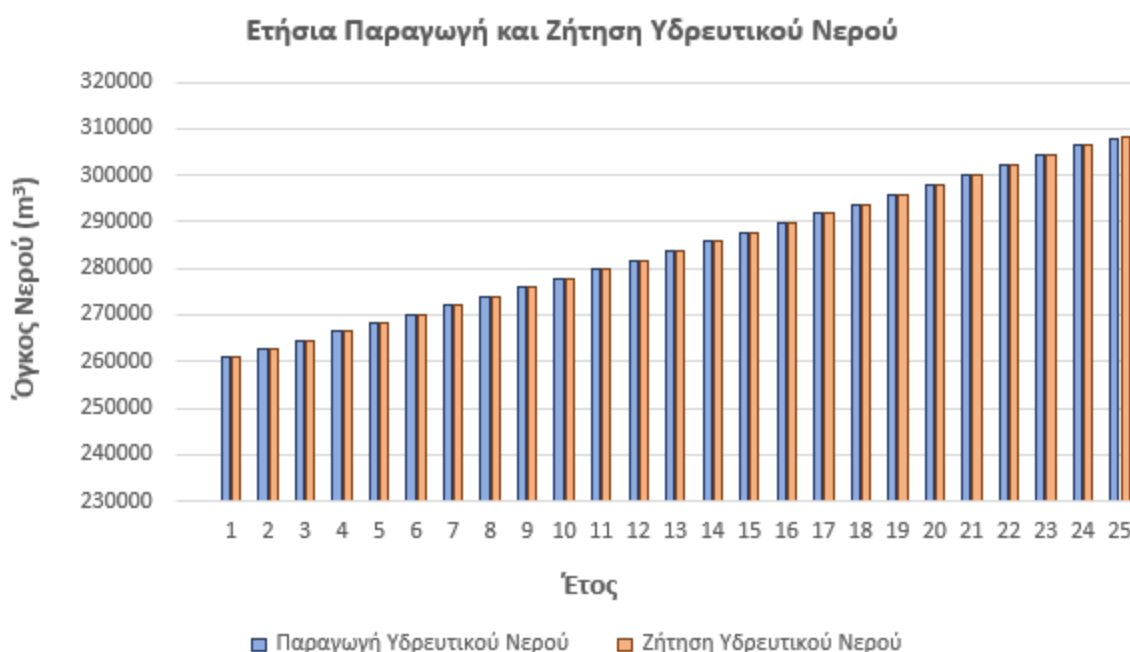
Πίνακας 7.2 Αξιοπιστία Ύδρευσης, Άρδευσης και Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών.
(1^ο Σενάριο)

Έτος	Αξιοπιστία Ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία Άρδευσης (%)	Κάλυψη Ενέργειας (%)
1	99,99%	47,93%	98,19%
2	99,99%	46,64%	95,88%
3	99,99%	47,78%	98,19%
4	99,99%	47,59%	98,26%
5	99,99%	46,80%	96,12%
6	99,99%	46,42%	95,04%
7	99,99%	48,67%	99,10%
8	99,99%	45,35%	95,41%
9	99,99%	46,14%	93,62%
10	99,99%	47,46%	96,67%
11	99,99%	47,06%	96,31%
12	99,99%	47,23%	96,20%
13	99,99%	45,06%	90,98%
14	99,99%	46,55%	93,15%
15	99,99%	45,21%	89,77%
16	99,99%	45,39%	91,64%
17	99,99%	45,37%	91,67%
18	99,99%	46,22%	92,25%
19	99,99%	45,98%	93,75%
20	99,99%	45,49%	91,84%
21	99,99%	44,52%	91,36%
22	99,99%	46,17%	91,46%
23	99,99%	46,47%	94,30%
24	99,99%	45,07%	89,26%
25	99,99%	46,83%	93,42%

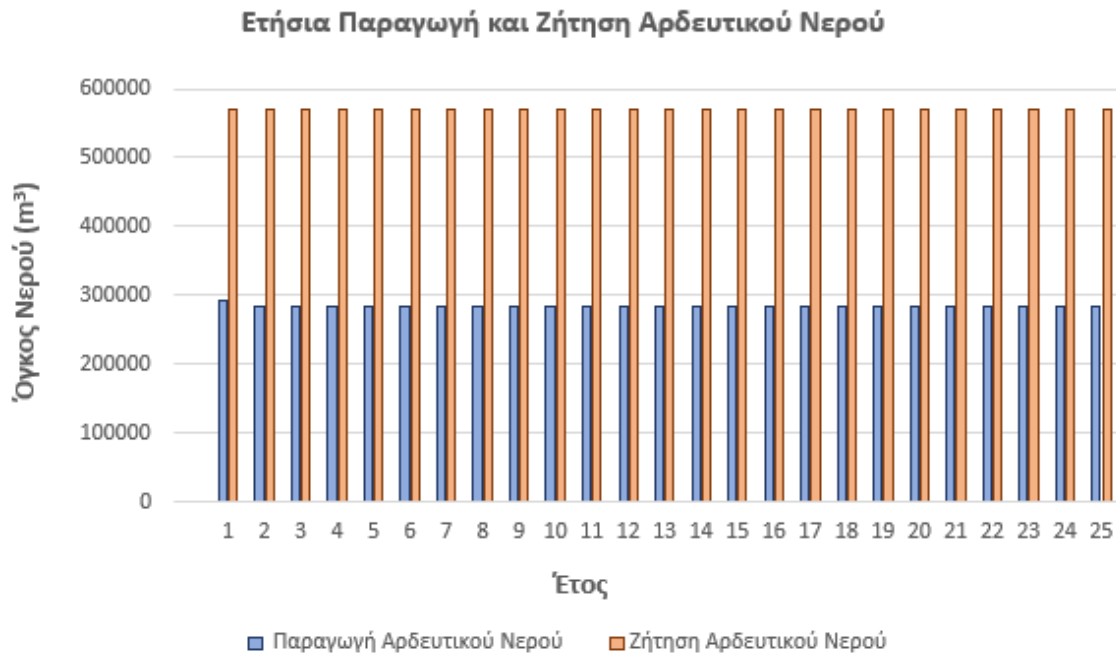
Όπως παρατηρείται, η κάλυψη των υδρευτικών και ενεργειακών αναγκών δεν πέφτει κάτω από 99%, ενώ η αξιοπιστία άρδευσης είναι μόνιμα κοντά στο 45%. Αυτό εξηγείται, καθώς η ύδρευση είναι σε προτεραιότητα, και με την εναπομένουσα δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης ικανοποιείται μια ετήσια ισοκατανομημένη ζήτηση άρδευσης. Ταυτόχρονα, η αξιοπιστία άρδευσης εξαρτάται από τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης του αρδευτικού

νερού, τον οποίο μπορούμε να καθορίσουμε αυθαίρετα ανάλογα με τις προτιμήσεις και τα αποτελέσματα του συστήματος. Θεωρήθηκε, ότι η αξιοπιστία άρδευσης της τάξης του 45% είναι ικανοποιητική, καθώς υπάρχει περίπτωση να υπερεκτιμήθηκαν οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών. Τέλος, παρατηρείται ότι η ενεργειακή κάλυψη μειώνεται στα επόμενα έτη, γεγονός που οφείλεται πιθανότατα στην αύξηση του πληθυσμού.

Ο παραπάνω Πίνακας 7.2 επιβεβαιώνεται από τα παρακάτω Σχήματα 7.2 και 7.3 καθώς η παραγωγή και ζήτηση υδρευτικού νερού σε κάθε έτος είναι στα ίδια επίπεδα, ενώ η παραγωγή αρδευτικού νερού είναι στο μισό επίπεδο της ετήσιας ζήτησης αυτού. Η ζήτηση αρδευτικού νερού όπως παρατηρείται είναι σταθερή, καθώς δεν μπορεί να εκτιμηθεί η περαιτέρω ανάπτυξη του γεωργικού τομέα.

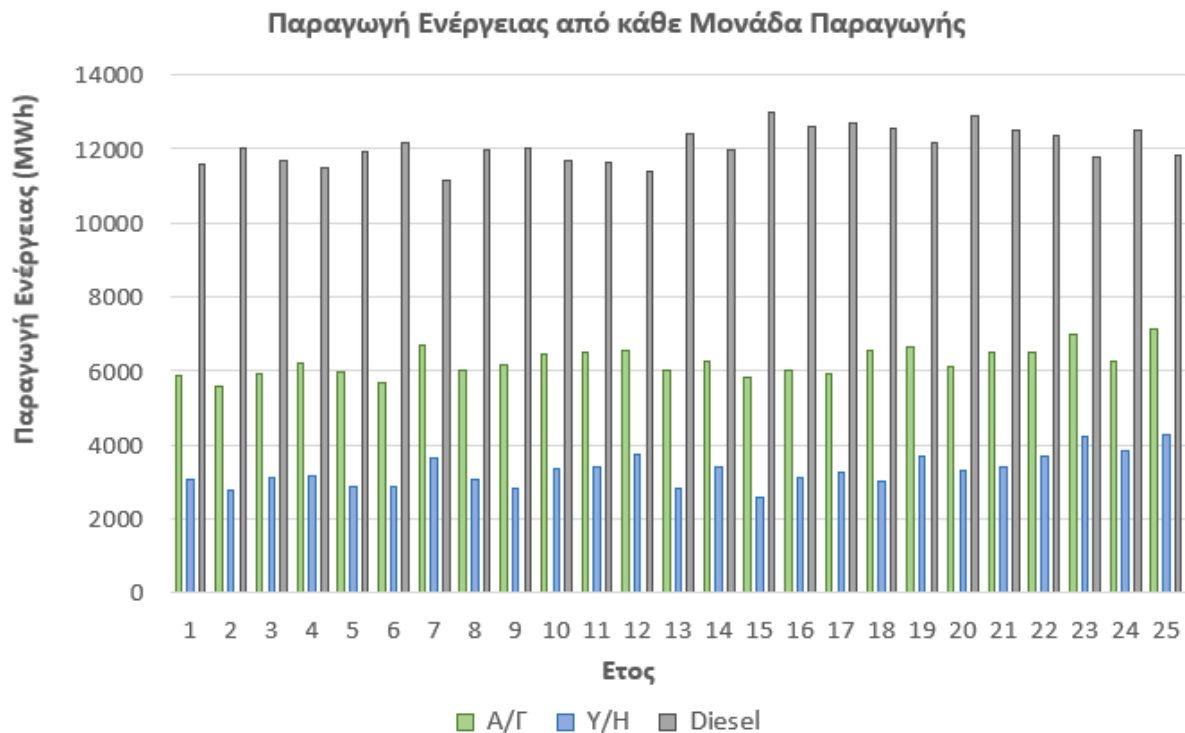


Σχήμα 7.2 Ετήσια Παραγωγή και Ζήτηση Υδρευτικού Νερού.



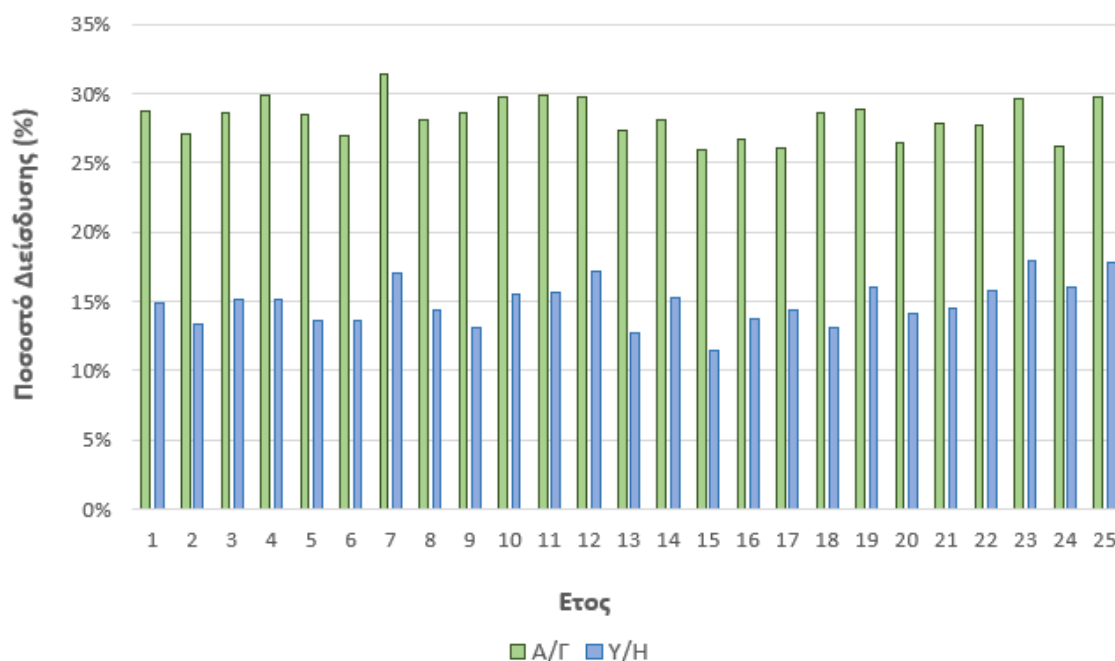
Σχήμα 7.3 Ετήσια Παραγωγή και Ζήτηση Αρδευτικού Νερού.

Στο παρακάτω Σχήμα 7.4 διακρίνεται η συμβολή όλων μονάδων παραγωγής ενέργειας σε ετήσια βάση, ενώ στο Σχήμα 7.5 ειδικότερα, η ενεργειακή διείσδυση των μονάδων Α.Π.Ε. Η ενεργειακή υποστήριξη των Α.Π.Ε. στο σύστημα είναι σχεδόν σταθερή στα έτη λειτουργίας, με μία μικρή αύξηση τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 7.4 Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από κάθε Μονάδα Παραγωγής.

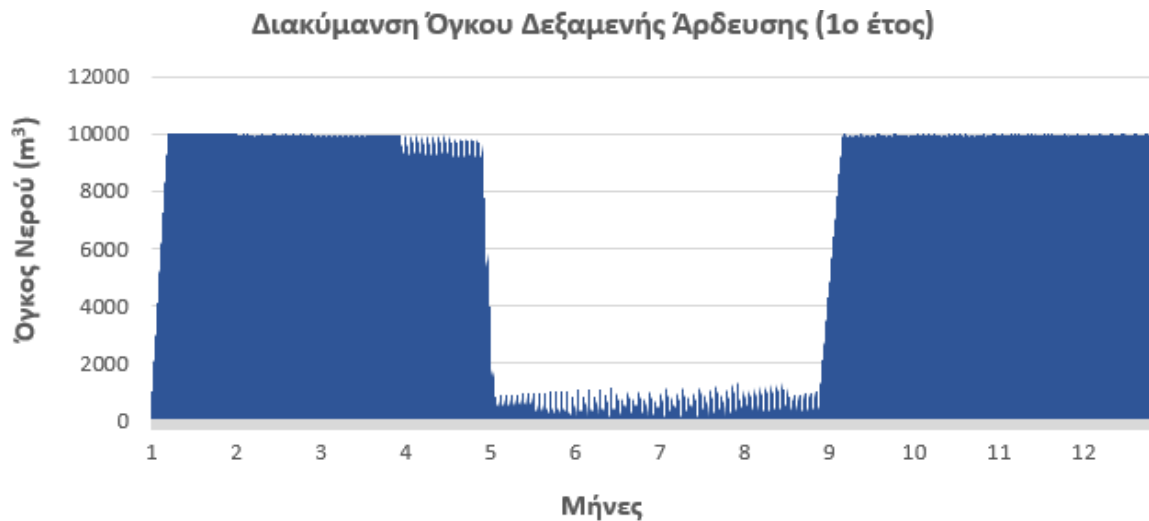
Ετήσια Ενεργειακή Διείδυση Μονάδων Α.Π.Ε.



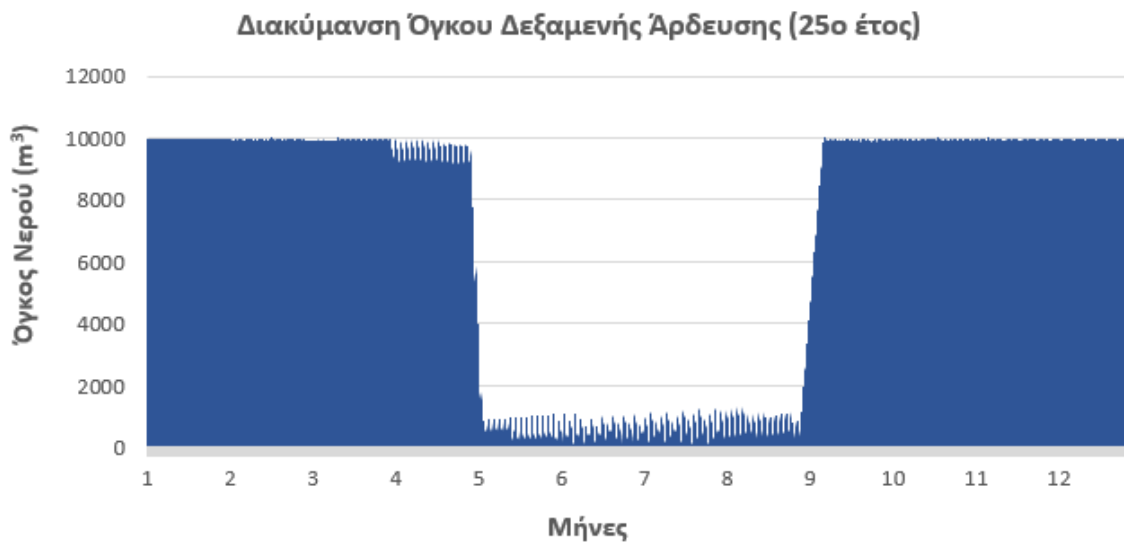
Σχήμα 7.5 Ετήσια Ενεργειακή Διείδυση των Μονάδων Α.Π.Ε.

Όπως παρατηρείται, η ενεργειακή διείδυση των μονάδων Α.Π.Ε. είναι σε ένα σταθερό ποσοστό της συνολικής τάξης περίπου 45%. Η διείδυση του Υ/Η κυμαίνεται κοντά στο 14% και σε ορισμένα έτη αγγίζει και το 18%. Παρατηρήθηκε ότι περαιτέρω αύξηση του όγκου της άνω δεξαμενής, ή του αντλιοστασίου και του υδροστροβίλου δεν αυξάνουν σημαντικά το ποσοστό διείδυσης. Από την άλλη, η ικανοποιητική διείδυση των Α/Γ οφείλεται στο γεγονός της άμεσης διείδυσης σε ποσοστό 30% της συνολικής ζήτησης, καθώς και του μεγάλου συντελεστή απασχόλησης των Α/Γ ($c_f=0.71$). Ταυτόχρονα, για την υποστήριξη της μονάδας αφαλάτωσης, δεν είναι απαγορευτική η άμεση υποστήριξη της από τις Α/Γ χωρίς συντελεστή άμεσης διείδυσης.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι διακυμάνσεις των όγκων των δεξαμενών του συστήματος. Αρχικά, παρατηρείται από τα Σχήματα 7.6 και 7.7 ότι ο όγκος δεξαμενής του αρδευτικού νερού στο 1^ο και 25^ο έτος αντίστοιχα, παρουσιάζει ίδιες διακυμάνσεις. Αυτό διότι, τους θερινούς μήνες που αρχίζει η κύρια άρδευση ο όγκος της δεξαμενής αδειάζει, και από τους χειμερινούς μήνες ξαναγεμίζει. Ταυτόχρονα, οι αρδευτικές ανάγκες δεν αλλάζουν από το 1^ο στο 25^ο έτος, καθώς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα, και συνεπώς η διακύμανση θα παραμένει ίδια.

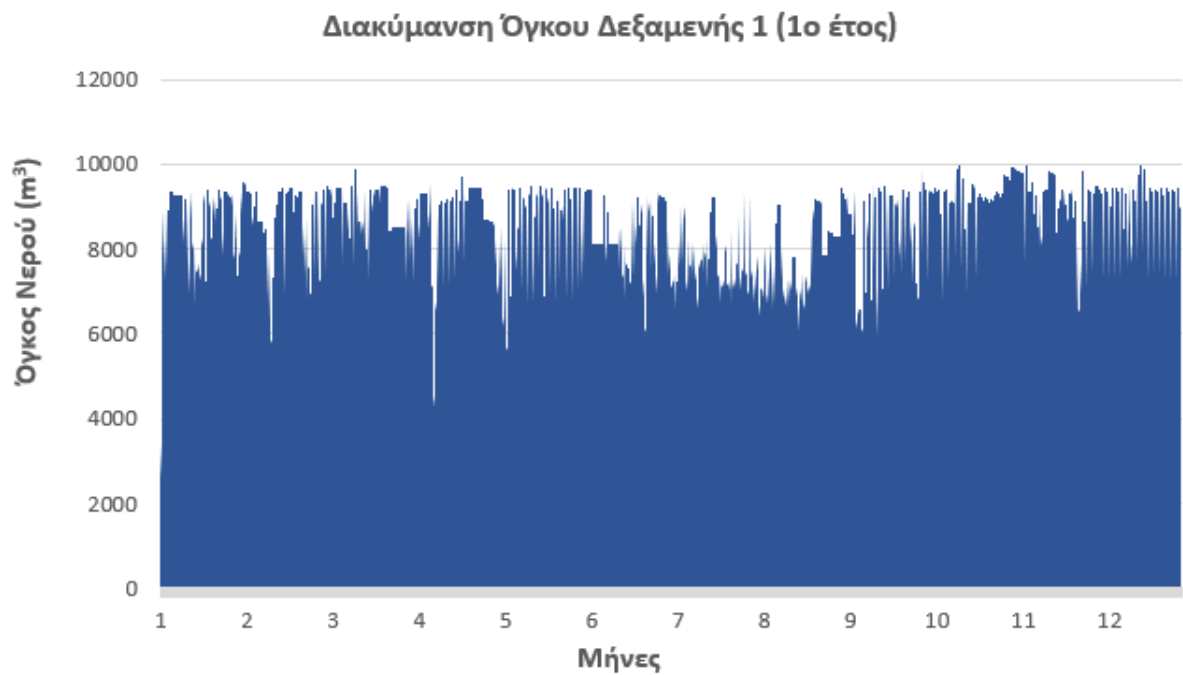


Σχήμα 7.6 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής Άρδευσης στο 1^ο έτος.

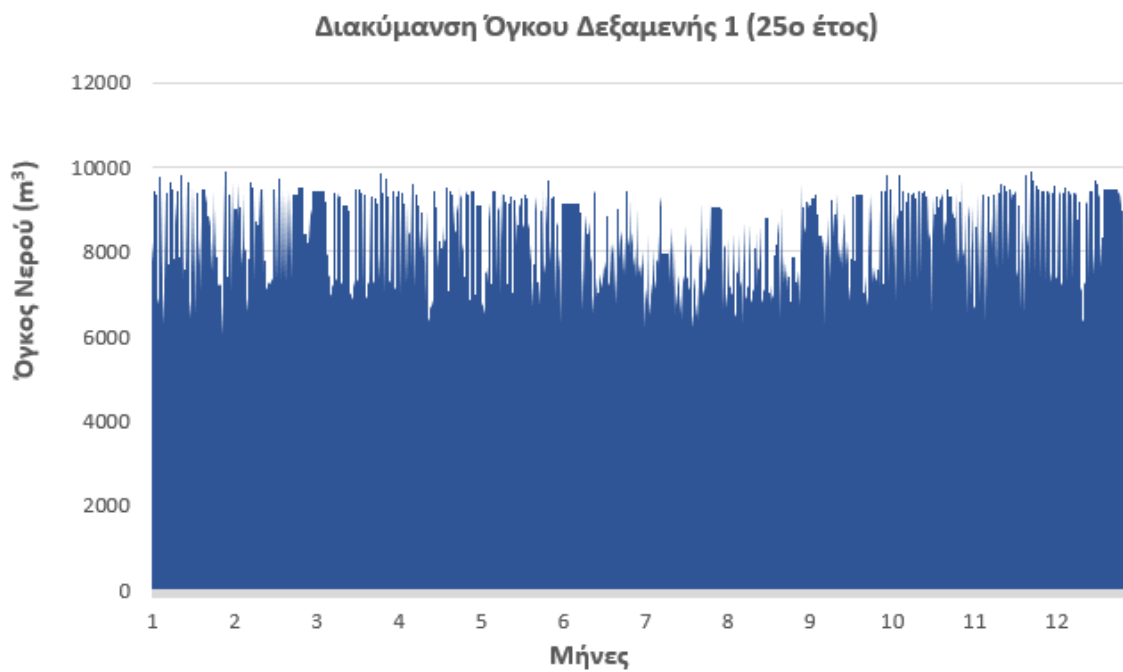


Σχήμα 7.7 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής Άρδευσης στο 25^ο έτος.

Η διακύμανση του όγκου της Δεξαμενής 1 στο 1^ο και 25^ο έτος λειτουργίας του συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.8 και 7.9 αντίστοιχα. Η Δεξαμενή 1 λειτουργεί κυρίως σαν δίοδος αποθήκευσης για την Δεξαμενή 2, και γεμίζει όποτε υπάρχει περίσσεια ενέργειας. Η Δεξαμενή 1 δεν αδειάζει παρά μόνο όταν ζητείται όγκος νερού από την Δεξαμενή 2, κυρίως δηλαδή τους θερινούς μήνες, γεγονός που δικαιολογεί την σχεδόν συνεχή πληρότητά της. Παρατηρήθηκε ότι για όγκο Δεξαμενής κάτω των 10.000m³ επηρεάζεται η διείδυση του Υ/Η στο ενεργειακό σύστημα.

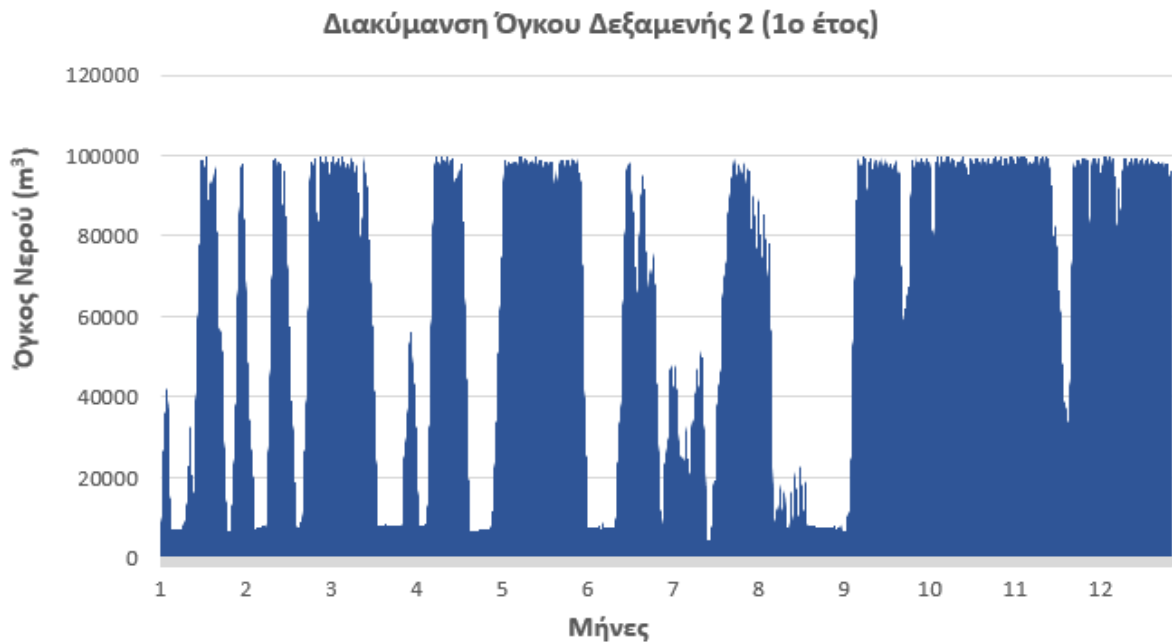


Σχήμα 7.8 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 1 στο 1^ο έτος.

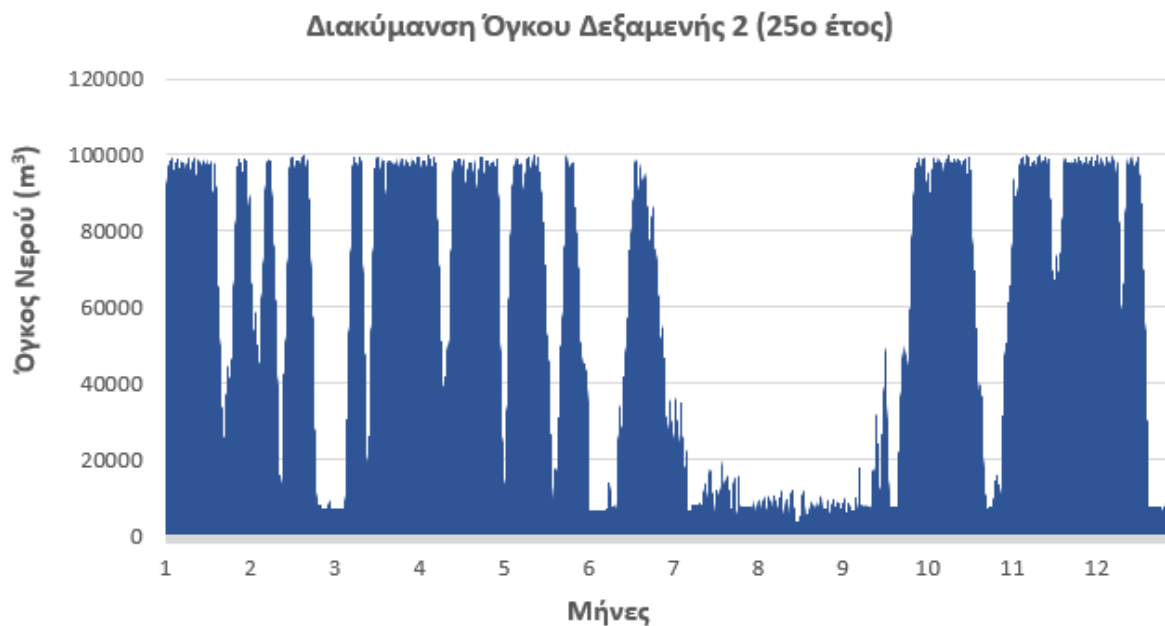


Σχήμα 7.9 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 1 στο 25^ο έτος.

Η διακύμανση του όγκου της Δεξαμενής 2 παρουσιάζεται στα Σχήματα 7.10 και 7.11 για το 1^ο και 25^ο έτος λειτουργίας αντίστοιχα.



Σχήμα 7.10 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 2 στο 1^ο έτος.



Σχήμα 7.11 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 2 στο 25^ο έτος.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω Σχήματα 7.10 και 7.11, η Δεξαμενή 2 αδειάζει τους θερινούς μήνες κυρίως, και γεμίζει κατά τους χειμερινούς. Καθώς τους θερινούς μήνες υπάρχει περαιτέρω υδρευτική και ενεργειακή ζήτηση από την αύξηση πληθυσμού αυτό είναι λογικό, και το Υ/Η καλείται να καλύψει τις όποιες ενεργειακές ανάγκες μπορεί. Ταυτόχρονα, οι συνεχείς διακυμάνσεις σε όλο το έτος υποδεικνύουν την λειτουργία και της ταυτόχρονης αντλησοταμίευσης, όπως φαίνεται και στον Παρακάτω Πίνακα 7.3

Τέλος, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα των υπολογισμών για τις μονάδες του συστήματος. Στον Πίνακα 7.3 για το αντλιοστάσιο και το υδροηλεκτρικό έργο ενώ στον Πίνακα 7.4 για τις ανεμογεννήτριες, την μονάδα αφαλάτωσης και την μονάδα Diesel.

Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα Υπολογισμού Αντλιοστασίου και Υδροηλεκτρικού Έργου – Σενάριο 1^ο.

Αντλιοστάσιο - Υδροηλεκτρικό Έργο	
<i>Αγωγός ΘΔ1</i>	
Ονομαστική Ισχύς Αντλίας (kW)	580
Ολικό Μανομετρικό Ύψος $H_{αντλίας1}(m)$	80
Μέγιστη Παροχή $Q(m^3/h)$	2030
Μήκος Αγωγού $L(m)$	650
Διάμετρος Αγωγού $D(mm)$	600
Μέγιστη Ταχύτητα Νερού $V(m/s^2)$	1,994
Ισοδύναμη Τραχύτητα $k_s (mm)$	0,2
Γραμμικές Απώλειες $h_{f1}(m)$	3,51
<i>Αγωγός Δ1Δ2</i>	
Ονομαστική Ισχύς Αντλίας (kW)	2175
Ολικό Μανομετρικό Ύψος $H_{αντλίας2}(m)$	283,2
Μέγιστη Παροχή $Q(m^3/h)$	2030
Μήκος Αγωγού $L(m)$	580
Διάμετρος Αγωγού $D(mm)$	600
Μέγιστη Ταχύτητα Νερού $V(m/s^2)$	1,994
Ισοδύναμη Τραχύτητα $k_s (mm)$	0,2
Γραμμικές Απώλειες $h_{f2}(m)$	3,16
<i>Υδροστροβίλος</i>	
Ισχύς Υδροστροβίλου (kW)	3 X 1500
Ολικό Μανομετρικό Ύψος $H_{υδρ}(m)$	276
Μέγιστη Παροχή $Q(m^3/h)$	2000
Μήκος Αγωγού $L(m)$	580
Διάμετρος Αγωγού $D(mm)$	600
Μέγιστη Ταχύτητα Νερού $V(m/s^2)$	1,965
Ισοδύναμη Τραχύτητα $k_s (mm)$	0,2
Γραμμικές Απώλειες $h_{fυδρ}(m)$	3,04
Ποσοστό Λειτουργίας Ταυτόχρονης Αντλησοταμίευσης (%)	32,91%
Μέση Ετήσια Ενεργειακή Διείσδυση (%)	14,84%
Χρόνος Λειτουργίας Υδροστροβίλου	59,44%
<i>Δεξαμενές</i>	
Όγκος Δεξαμενής Δ1 (m^3)	10.000
Όγκος Δεξαμενής Δ2 (m^3)	100.000

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα Υπολογισμού Ανεμογεννητριών, Μονάδας Αφαλάτωσης, και Μονάδας Diesel – Σενάριο 1^ο.

Ανεμογεννήτριες	
Αριθμός Ανεμογεννητριών	4
Ονομαστική Ισχύος κάθε Α/Γ (kW)	1500
Μοντέλο Α/Γ	Vensys 77
Συντελεστής Απασχόλησης c_f	0,71
Ενεργειακή Διείσδυση (%)	28,27%
Μονάδα Αφαλάτωσης	
Σύνολο Μονάδων	5
Δυναμικότητα κάθε μονάδας (m ³ /24h)	1020
Ποσοστό Ανάκτησης Νερού (%)	44%
Ημερήσιες Ώρες Λειτουργίας (h)	20
Ζήτηση Ενέργειας (kWh/m ³)	2,8
Δεξαμενή Αρδευτικού Νερού	10.000
Μονάδα Καύσης Diesel	
Ελάχιστη Δυναμικότητα (kW)	1200
Μέγιστη Δυναμικότητα (kW)	2444
Απόδοση Ενέργειας Καυσίμου (kWh/λίτρο)	9,77
Σταθερό Κόστος Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0,20

7.1.2 Σενάριο 2^ο

Όπως αναφέρθηκε, το 2^ο σενάριο αποτελείται από ανεμογεννήτριες, μονάδα αφαλάτωσης, μονάδα αντλιοσταμείωσης και μονάδα επεξεργασίας άλμης. Όπως και στο 1^ο σενάριο, θα αφαιρεθούν ορισμένες μονάδες Diesel για μείωση της χρήσης του συμβατικού καυσίμου και περαιτέρω διεύθυνση των Α.Π.Ε.. Προτεραιότητα θα γίνεται στις υδρευτικές ανάγκες του νησιού, και στη συνέχεια οι ενεργειακές και τελευταίες οι αρδευτικές. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η ενεργειακή ζήτηση της μονάδας επεξεργασίας άλμης είναι πολύ υψηλή και συνεπώς κρίθηκε εύλογο να επεξεργάζεται ένα ποσοστό της παραγόμενης άλμης. Σύμφωνα με την μέθοδο σχεδιασμού που εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 5.5, υπολογίστηκαν τα βασικά στοιχεία λειτουργίας του συστήματος και παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.5:

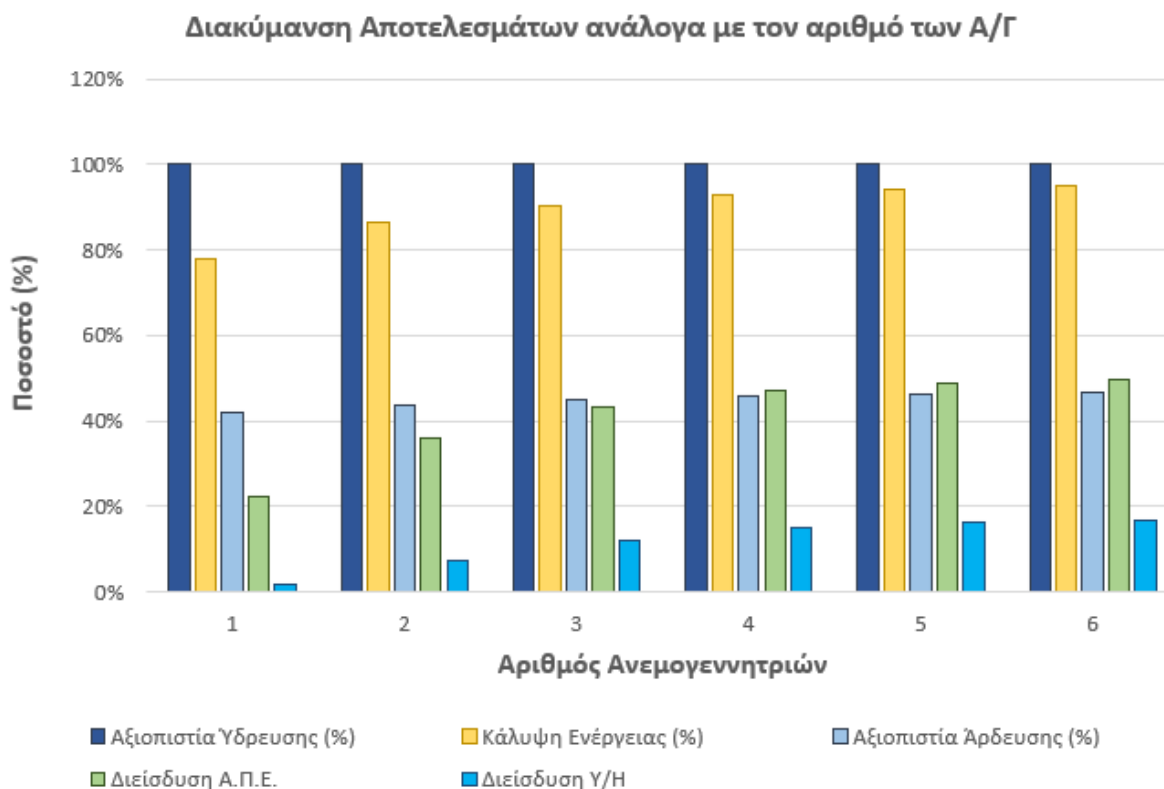
Πίνακας 7.5 Βασικά στοιχεία συστήματος για το 2^ο σενάριο.

Μέγιστη Ισχύς Μονάδων Diesel (kW)	2440
Δυναμικότητα Μονάδων Αφαλάτωσης (m ³ /24h)	5100
Ισχύς Αντλίας ΘΔ1 (kW)	580
Ισχύς Αντλίας Δ1Δ2 (kW)	2175
Ισχύς Υδροστροβίλου (kW)	3 X 1500
Όγκος Δεξαμενής 1 (m ³)	10.000
Όγκος Δεξαμενής 2 (m ³)	150.000
Δυναμικότητα Μονάδας Επεξεργασίας Άλμης (m ³ /24h)	2400

Η παραπάνω μέγιστη ισχύς των μονάδων Diesel αναφέρεται τις 2 από τις 6 μονάδες Diesel καθώς οι υπόλοιπες αφαιρέθηκαν, ενώ η δυναμικότητα της μονάδας επεξεργασίας άλμης αναφέρεται σε ποσοστό επεξεργασίας 20% της συνολικής παραγόμενης.

Για να δούμε την διακύμανση της ενεργειακής διεύθυνσης των μονάδων Α.Π.Ε., υπολογίστηκαν σενάρια με διαφορετικό αριθμό ανεμογεννητριών. Ο αριθμός των ανεμογεννητριών επηρεάζει την διεύθυνση των Α.Π.Ε., την λειτουργία την αντλιοσταμείωσης, και την λειτουργία της μονάδας Diesel. Μεταξύ της επιλογής μίας (1) και εννέα (9) ανεμογεννητριών παρατηρήθηκαν αισθητές διαφορές στην λειτουργία του συστήματος. Παρακάτω στο Σχήμα 7.12 παρουσιάζεται η επίδραση του μεγέθους του αερολογίου, στην διεύθυνση των Α.Π.Ε., στην Υδρευτική, Ενεργειακή, Αρδευτική

αξιοπιστία, καθώς και στην δυνατότητα της μονάδας Diesel να δουλεύει στο ελάχιστο δυνατό δυναμικό.



Σχήμα 7.12 Διακύμανση Αποτελεσμάτων ανάλογα με τον αριθμό των Α/Γ.

Από τον παραπάνω πίνακα θα γίνει η επιλογή 5 ανεμογεννητριών για τη λειτουργία του συστήματος, καθώς αγγίζει έναν στόχο ενεργειακής κάλυψης άνω του 90%, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η διείσδυση τόσο των Α/Γ όσο και του Υ/Η σε έναν ικανοποιητικό βαθμό.

Σε σύγκριση με το 1^ο σενάριο, η διείσδυση των Α.Π.Ε. αγγίζει το 48% καθώς η ζήτηση ενέργειας από την επεξεργασία άλμης είναι αρκετά υψηλή, γεγονός που αυξάνει την συνολική ζήτηση ενέργειας. Ταυτόχρονα όπως αναφέρθηκε, οι Α/Γ έχουν απευθείας διείσδυση στην μονάδα αφαλάτωσης και στη μονάδα επεξεργασίας άλμης, και συνεπώς αυξάνεται και το ποσοστό διείσδυσης τους. Η διείσδυση και του Υ/Η αυξάνεται ταυτόχρονα, σε ποσοστό 16%, καθώς όπως αναφέρθηκε αυξήθηκε τόσο ο όγκος της άνω δεξαμενής από 100.000m³ σε 150.000m³ και η γενικότερη ενεργειακή ζήτηση είναι παραπάνω. Περαιτέρω αύξηση του όγκου των δεξαμενών ή της ισχύος του αντλιοστασίου και του υδροτροβίλου δεν αυξάνει ικανοποιητικά την ενεργειακή διείσδυση του Υ/Η.

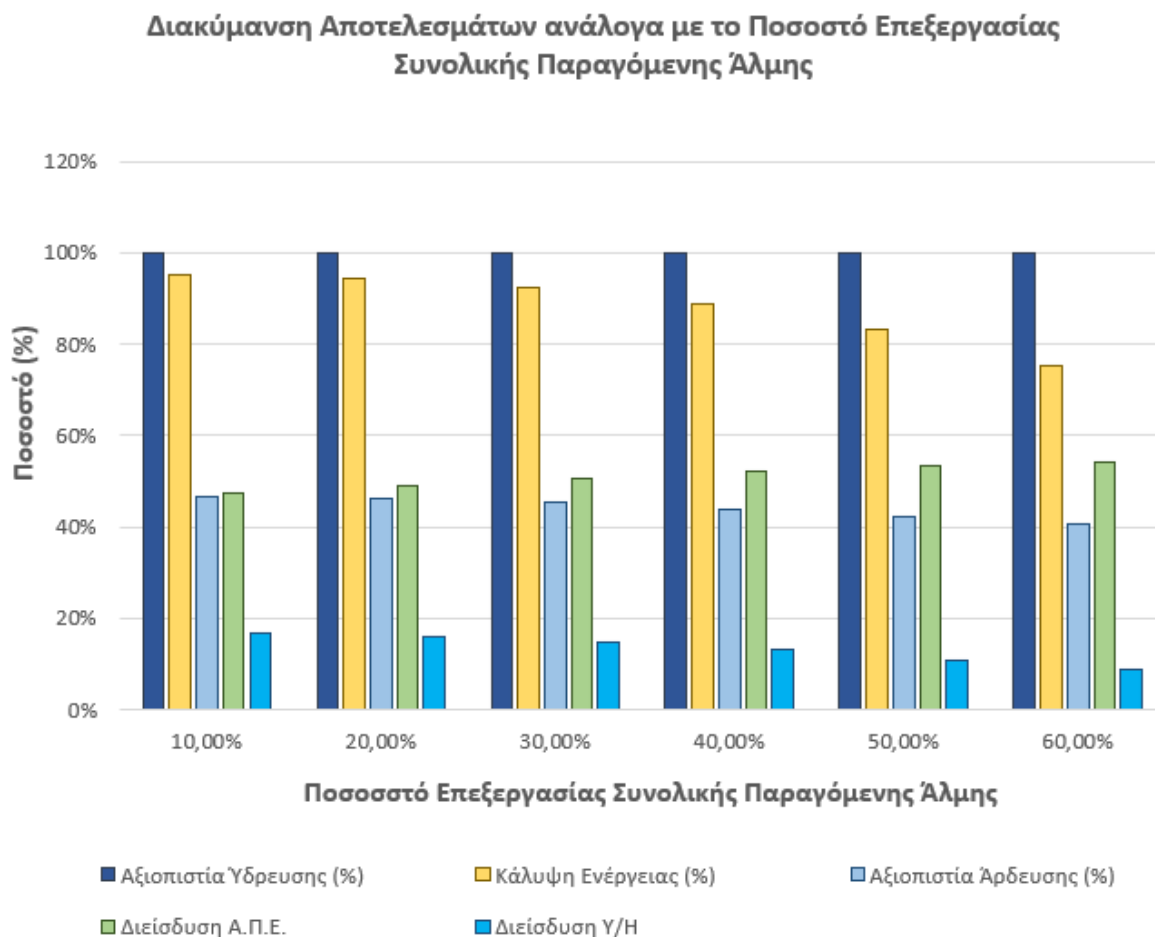
Παρακάτω, όπως και για το 1^ο σενάριο, για την ετήσια παρατήρηση της λειτουργίας του συστήματος υπολογίστηκε η αξιοπιστία ύδρευσης, άρδευσης και ενέργειας σε ετήσια βήμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.6 :

Πίνακας 7.6 Αξιοπιστία Ύδρευσης, Άρδευσης και Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών.
(2^ο Σενάριο)

Έτος	Αξιοπιστία Ύδρευσης (%)	Αξιοπιστία Άρδευσης (%)	Κάλυψη Ενέργειας (%)
1	99,99%	47,55%	98,53%
2	99,99%	46,27%	95,15%
3	99,99%	47,70%	98,22%
4	99,99%	47,38%	98,53%
5	99,99%	46,53%	95,38%
6	99,99%	46,31%	94,90%
7	99,99%	48,03%	99,59%
8	99,99%	46,04%	95,26%
9	99,99%	46,04%	93,45%
10	99,99%	47,16%	96,52%
11	99,99%	46,78%	96,44%
12	99,99%	47,05%	96,34%
13	99,99%	44,69%	90,50%
14	99,99%	45,93%	93,06%
15	99,99%	44,61%	89,14%
16	99,99%	45,34%	91,84%
17	99,99%	45,44%	91,55%
18	99,99%	46,14%	92,68%
19	99,99%	46,32%	94,90%
20	99,99%	45,94%	91,93%
21	99,99%	44,64%	91,45%
22	99,99%	45,57%	91,61%
23	99,99%	46,52%	95,07%
24	99,99%	44,88%	89,14%
25	99,99%	46,63%	94,44%

Όπως και στο 1^ο σενάριο, η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών δεν πέφτει κάτω από 99%, ενώ η αξιοπιστία άρδευσης είναι κοντά στο 45%. Αυτό εξηγείται, καθώς η ύδρευση είναι σε προτεραιότητα, και με την εναπομένουσα δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης ικανοποιείται μια ετήσια ισοκατανομημένη ζήτηση άρδευσης, και κυρίως διότι η αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση οδηγεί στη μειωμένη παραγωγή αρδευτικού νερού σε περιόδους ενεργειακού ελλείματος. Τα ενεργειακά ελλείματα επίσης, είναι λίγο πιο αισθητά σε σχέση με το πρώτο σενάριο, καθώς το ποσοστό ενεργειακής κάλυψης είναι κοντά στο 94%.

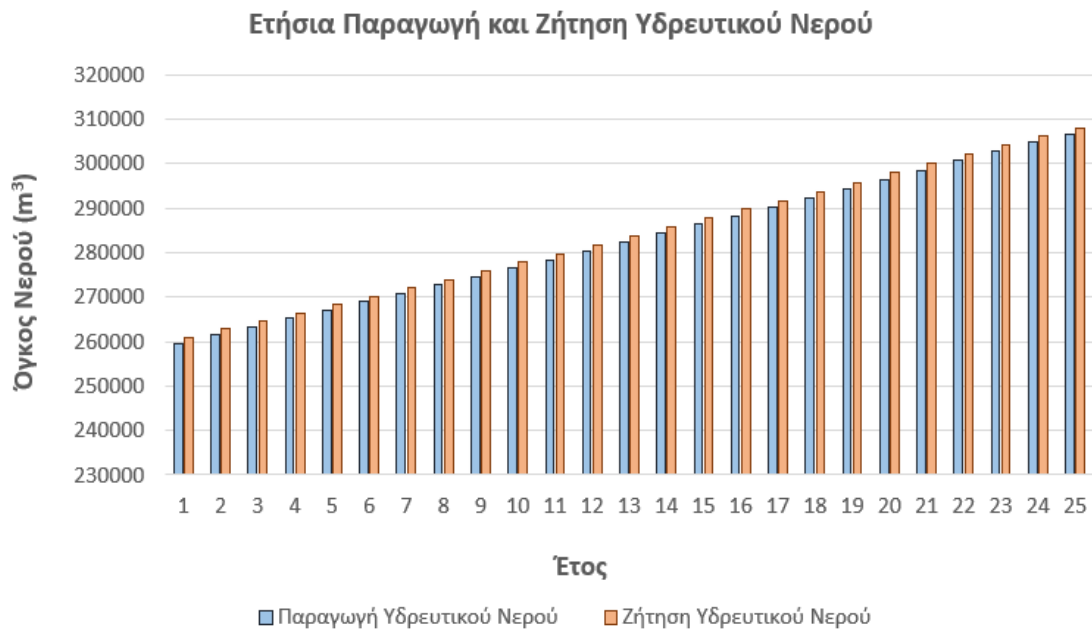
Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η διακύμανση των αποτελεσμάτων στην ενέργεια και στις υδατικές ανάγκες ανάλογα με το ποσοστό επεξεργασίας της παραγόμενης άλμης στο παρακάτω Σχήμα 7.13. Τα αποτελέσματα αφορούν το σενάριο με τοποθέτηση 5 ανεμογεννητριών.



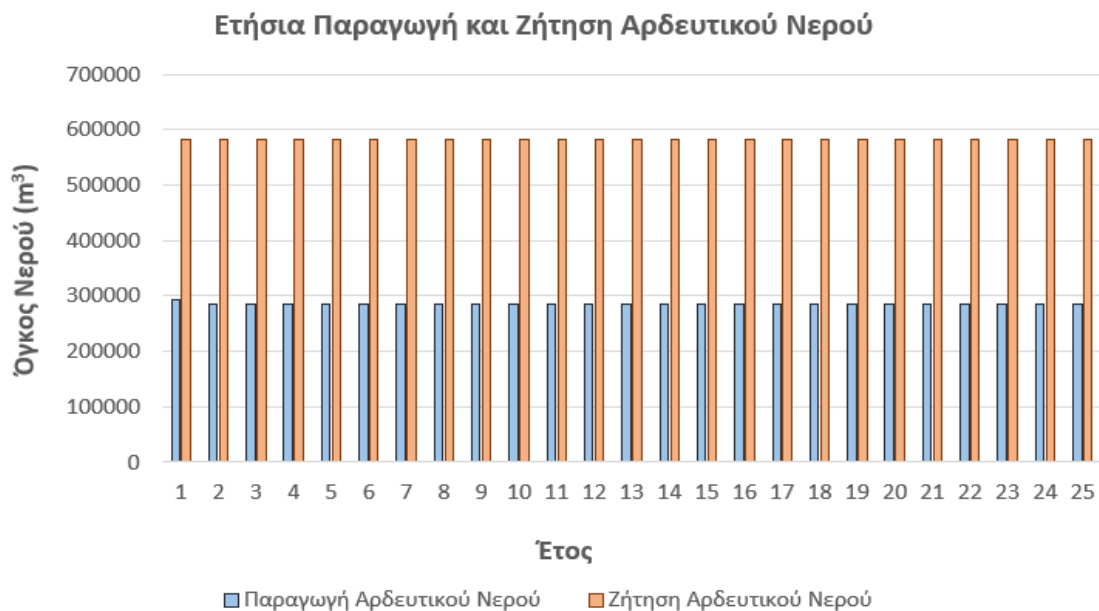
Σχήμα 7.13 Διακύμανση Αποτελεσμάτων ανάλογα με το Ποσοστό Επεξεργασίας Συνολικής Παραγόμενης Άλμης

Όπως είναι αναμενόμενο, η αύξηση του ποσοστού επεξεργασίας μειώνει την ενεργειακή κάλυψη, και την διείσδυση του Υ/Η, καθώς δεν μπορεί να ανταποκριθεί, εφόσον οι Α/Γ υποστηρίζουν όλο και παραπάνω της ενεργειακές ανάγκες της μονάδας επεξεργασίας άλμης. Δεν θεωρούμε εύλογο να τοποθετήσουμε τις μονάδες Diesel που αφαιρέθηκαν ώστε να γίνεται επεξεργασία της άλμης, διότι αυτό θα ερχόταν σε αντίφαση με τον σκοπό της μονάδας επεξεργασίας όσον αφορά την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ενώ ένας μεγαλύτερος αριθμός Α/Γ θα απαιτούσε και ταυτόχρονα μεγαλύτερο μέγεθος Υ/Η, γεγονός που θα ανέβασε το συνολικό κόστος του έργου. Συνεπώς επιλέχθηκε ένα ποσοστό της τάξης του 20% για την επεξεργασία της άλμης.

Στη συνέχεια, ο Πίνακας 7.6 επιβεβαιώνεται από τα παρακάτω Σχήματα 7.14 και 7.15 καθώς η παραγωγή και ζήτηση υδρευτικού νερού σε κάθε έτος είναι στα ίδια επίπεδα, ενώ η παραγωγή αρδευτικού νερού είναι στο μισό επίπεδο της ετήσιας ζήτησης αυτού. Η ζήτηση αρδευτικού νερού όπως παρατηρείται είναι σταθερή, καθώς δεν μπορεί να εκτιμηθεί η περαιτέρω ανάπτυξη του γεωργικού τομέα.

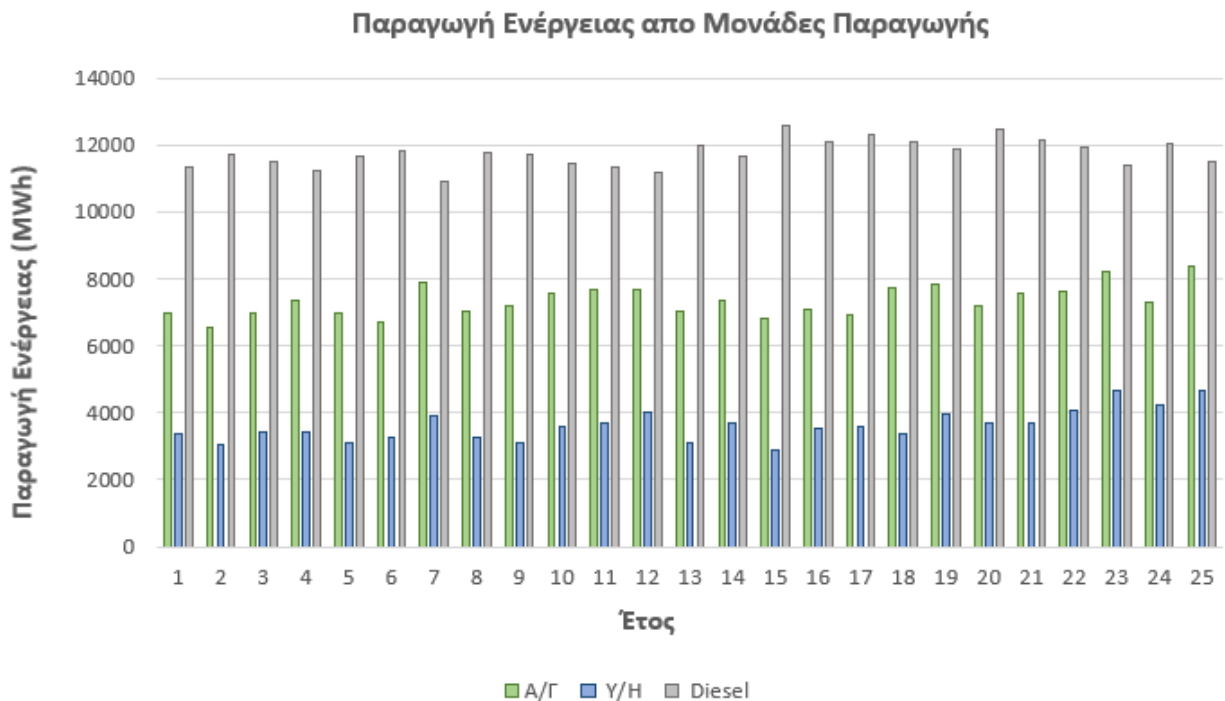


Σχήμα 7.14 Ετήσια Παραγωγή και Ζήτηση Υδρευτικού Νερού.

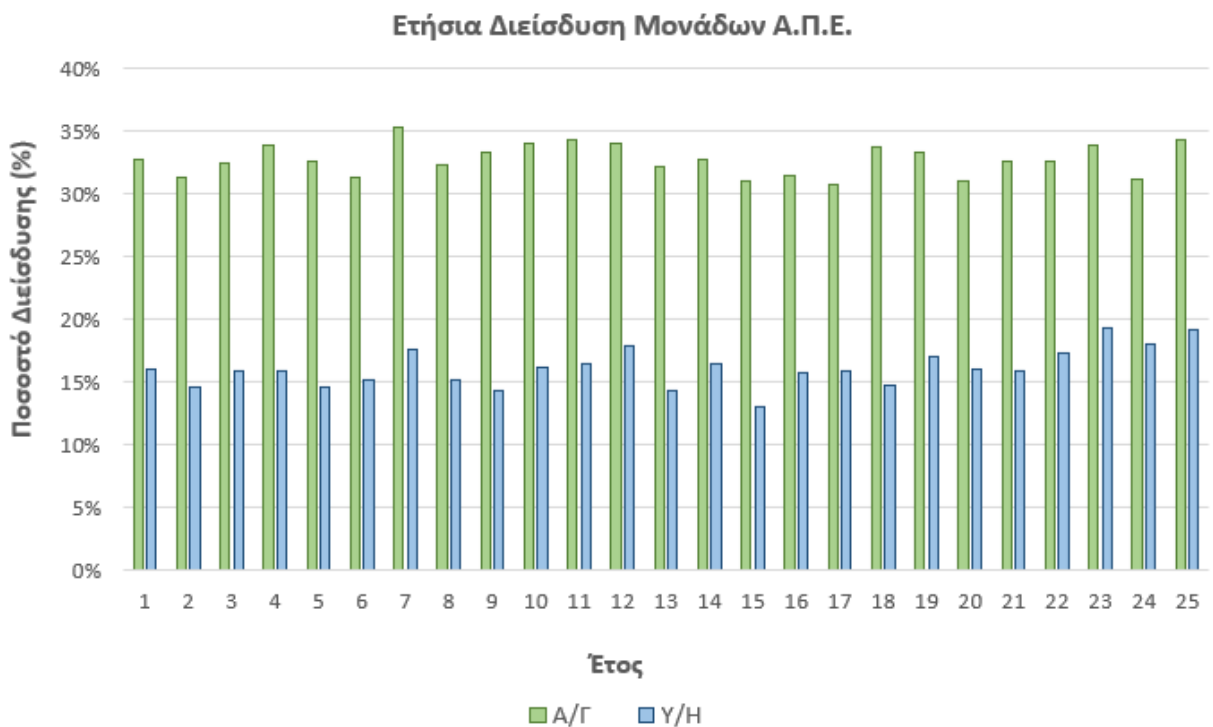


Σχήμα 7.15 Ετήσια Παραγωγή και Ζήτηση Αρδευτικού Νερού.

Στο παρακάτω Σχήμα 7.16 διακρίνεται η συμβολή όλων μονάδων παραγωγής ενέργειας σε ετήσια βάση. Η ενεργειακή υποστήριξη των Α.Π.Ε. στο σύστημα παρουσιάζει συνεχή διακύμανση στα έτη λειτουργίας, ενώ ειδικότερα στο Σχήμα 7.17 φαίνεται και η ενεργειακή διείσδυση αυτών



Σχήμα 7.16 Παραγωγή Ενέργειας από Μονάδες Παραγωγής.

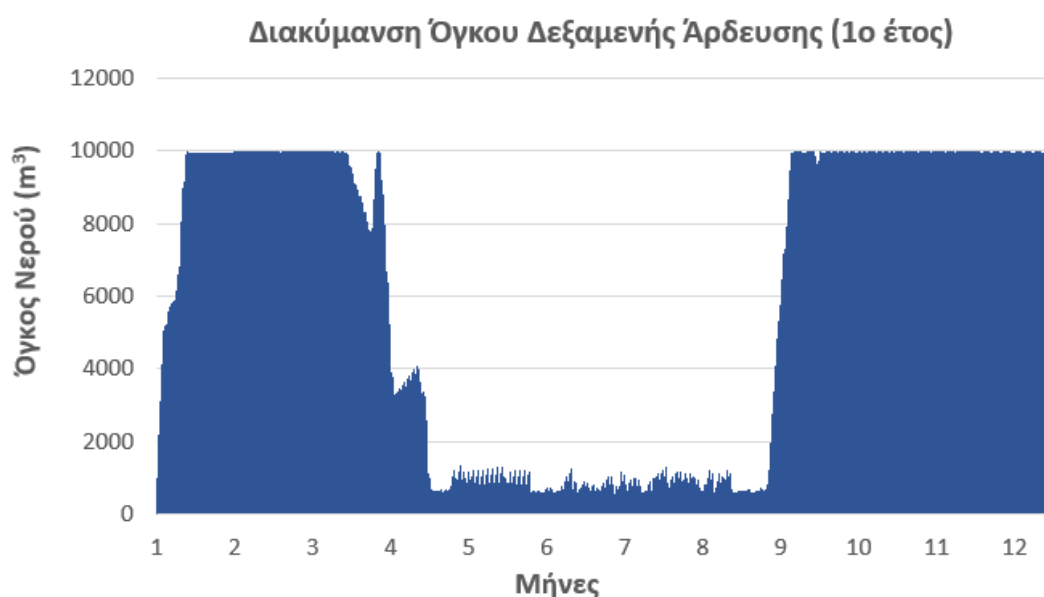


Σχήμα 7.17 Ετήσια Διείσδυση Μονάδων Α.Π.Ε.

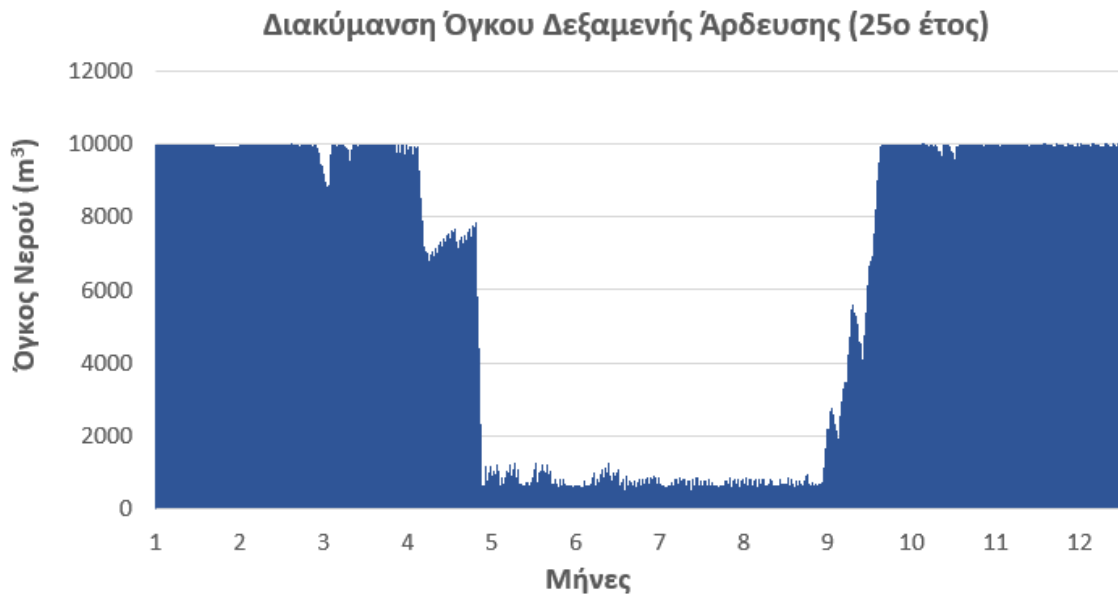
Η συνολική διείσδυση κυμαίνεται σε ετήσια βάση σε ένα ποσοστό του 48%, το οποίο είναι αρκετά ικανοποιητικό. Ειδικότερα οι Α/Γ συμβάλλουν σε ποσοστό περίπου 32% ενώ το Υ/Η σε ποσοστό 16%. Το ποσοστό του Υ/Η δεν αλλάζει ικανοποιητικά αν αυξηθεί ο όγκος των δεξαμενών του Υ/Η ή η ισχύς του αντλιοστασίου και του υδροστροβίλου.

Όσον αφορά τις Α/Γ, η ικανοποιητική διείσδυση τους οφείλεται στο γεγονός της άμεσης διείσδυσης σε ποσοστό 30% της συνολικής ζήτησης, καθώς και του μεγάλου συντελεστή απασχόλησης των Α/Γ ($c_f=0.71$). Ταυτόχρονα, για την υποστήριξη της μονάδας αφαλάτωσης και της μονάδας επεξεργασίας άλμης, δεν είναι απαγορευτική η άμεση υποστήριξη της από τις Α/Γ χωρίς συντελεστή άμεσης διείσδυσης.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι διακυμάνσεις των όγκων των δεξαμενών του συστήματος. Αρχικά, παρατηρείται από τα Σχήματα 7.18 και 7.19 ότι ο όγκος δεξαμενής του αρδευτικού νερού στο 1^ο και 25^ο έτος αντίστοιχα, παρουσιάζει ίδιες διακυμάνσεις. Αυτό διότι, όπως και στο 1^ο σενάριο, τους θερινούς μήνες που αρχίζει η κύρια άρδευση ο όγκος της δεξαμενής αδειάζει, και από τους χειμερινούς μήνες ξαναγεμίζει. Ταυτόχρονα, οι αρδευτικές ανάγκες δεν αλλάζουν από το 1^ο στο 25^ο έτος, καθώς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την ανάπτυξη του αγροτικού τομέα, και συνεπώς η διακύμανση θα παραμένει ίδια.

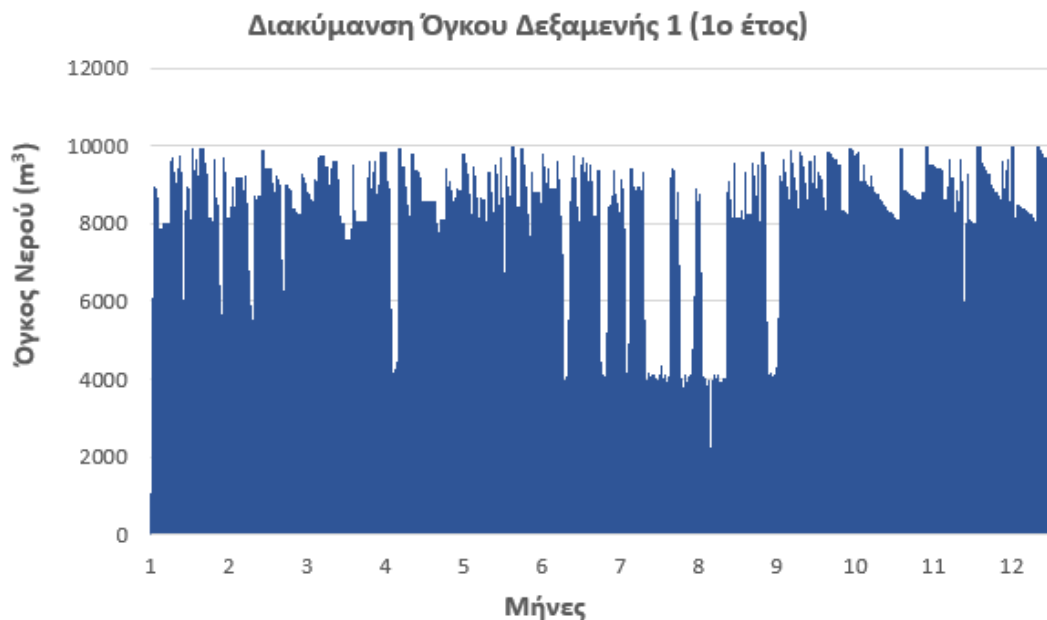


Σχήμα 7.18 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής Άρδευσης (1^ο έτος).

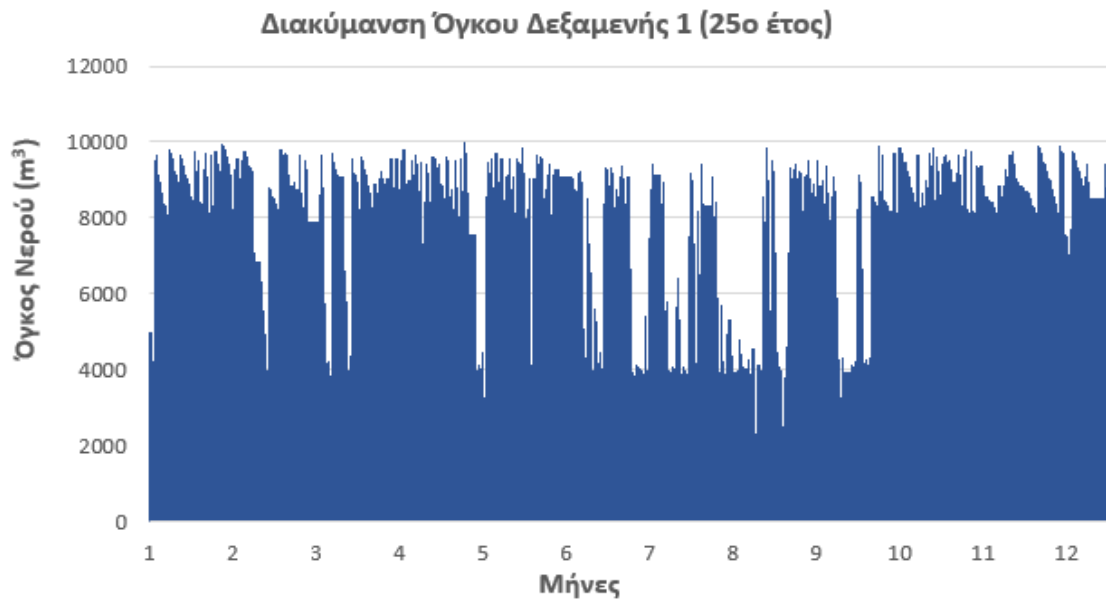


Σχήμα 7.19 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής Άρδευσης (25^ο έτος).

Η διακύμανση του όγκου της Δεξαμενής 1 στο 1^ο και 25^ο έτος λειτουργίας του συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.20 και 7.21 αντίστοιχα. Η Δεξαμενή 1 λειτουργεί κυρίως σαν δίοδος αποθήκευσης για την Δεξαμενή 2, και γεμίζει όποτε υπάρχει περίσσεια ενέργειας. Η Δεξαμενή 1 δεν αδειάζει παρά μόνο όταν ζητείται όγκος νερού από την Δεξαμενή 2, κυρίως δηλαδή τους θερινούς μήνες, γεγονός που δικαιολογεί την σχεδόν συνεχή πληρότητα της.

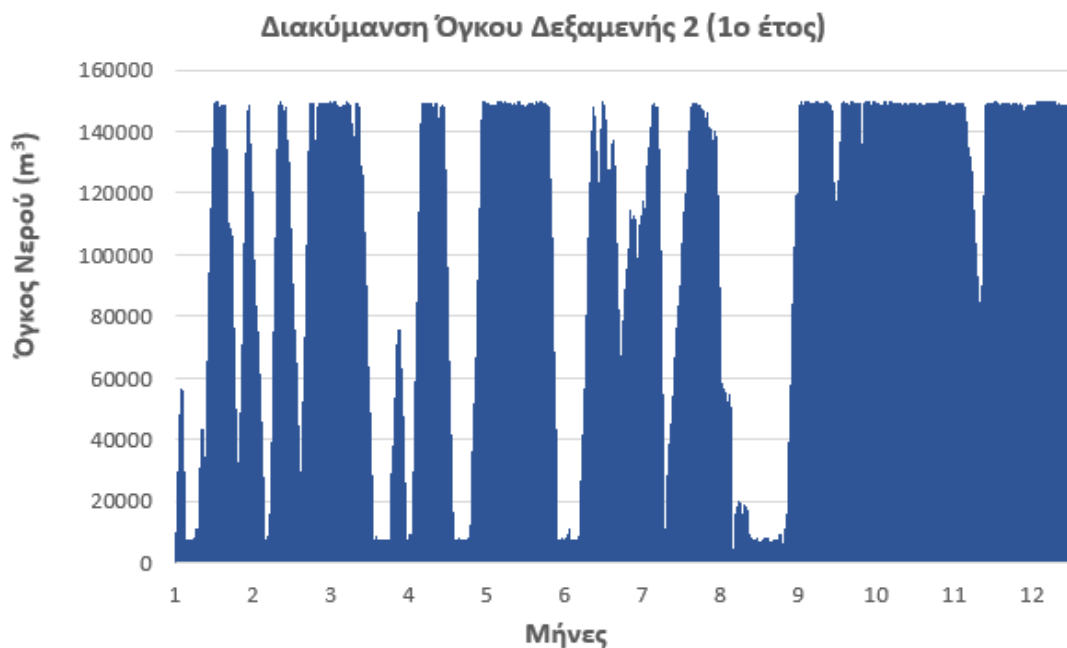


Σχήμα 7.20 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 1 (1^ο έτος).

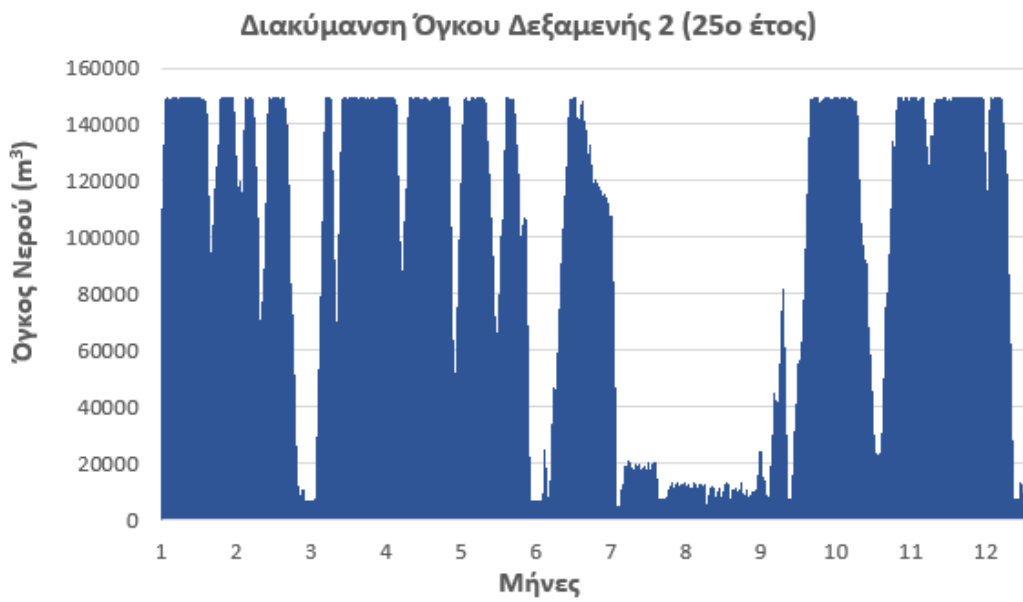


Σχήμα 7.21 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 1 (25^ο έτος).

Η Δεξαμενή 2 όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 7.22 και 7.23 για το 1^ο και 25^ο έτος λειτουργίας αντίστοιχα, τον περισσότερο χρόνο του έτους είναι γεμάτη, καθώς αποθηκεύει ενέργεια τους χειμερινούς μήνες που δεν έχουμε υψηλές καταναλώσεις ενέργειας. Τους καλοκαιρινούς μήνες αδειάζει για να καλύψει κάποιο μέρος της ζήτησης ενέργειας σε περιόδους αιχμής. Υπολογίστηκε ότι για μεγαλύτερη διείσδυση στις ενεργειακές ανάγκες αιχμής, θα χρειαζόταν όχι μόνο πολλαπλάσιο μέγεθος δεξαμενής αλλά και ισχύς υδροστροβίλου.



Σχήμα 7.6 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 2 (1^ο έτος).



Σχήμα 7.23 Διακύμανση Όγκου Δεξαμενής 2 (25^ο έτος).

Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι και σε ορισμένους χειμερινούς μήνες η δεξαμενή τείνει να αδειάζει. Αυτό διότι έχουν αφαιρεθεί αρκετές μονάδες Diesel, πάνω από το μισό της αρχικής συνολικής δυναμικότητας, και συνεπώς το Υ/Η καλείται να καλύψει ενεργειακές ανάγκες σε σχεδόν καθημερινή βάση.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα των υπολογισμών για τις μονάδες του συστήματος. Στον Πίνακα 7.7 για το αντλιοστάσιο και το υδροηλεκτρικό έργο ενώ στον Πίνακα 7.8 για τις ανεμογεννήτριες, την μονάδα αφαλάτωσης και την μονάδα Diesel.

Πίνακας 7.7 Αποτελέσματα Υπολογισμού Αντλιοστασίου και Υδροηλεκτρικού Έργου – Σενάριο 2ο.

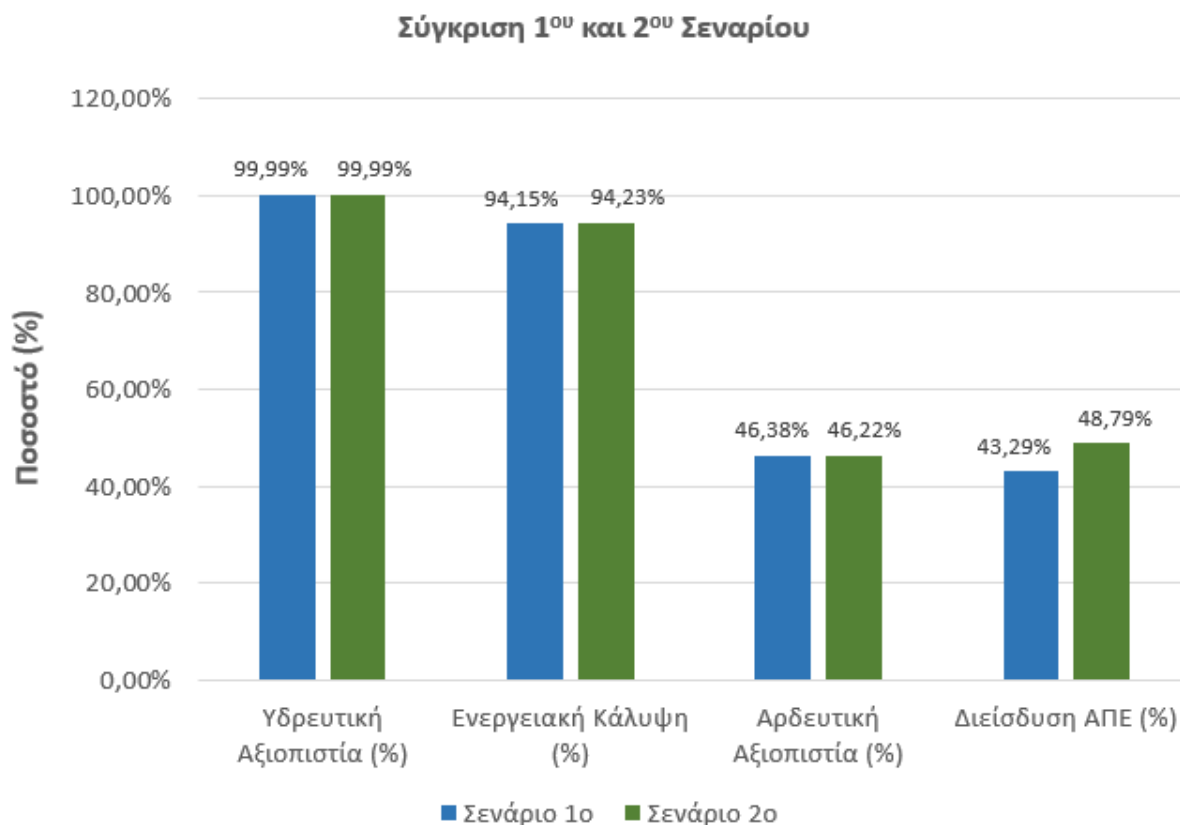
Αντλιοστάσιο - Υδροηλεκτρικό Έργο	
<i>Αγωγός ΘΔ1</i>	
Ισχύς Αντλίας (kW)	580
Ολικό Μανομετρικό Ύψος $H_{αντλίας1}(m)$	80
Μέγιστη Παροχή $Q(m^3/h)$	2030
Μήκος Αγωγού $L(m)$	650
Διάμετρος Αγωγού $D(mm)$	600
Μέγιστη Ταχύτητα Νερού $V(m/s^2)$	1,994
Ισοδύναμη Τραχύτητα $k_s (mm)$	0,20
Γραμμικές Απώλειες $h_{f1}(m)$	3,51
<i>Αγωγός Δ1Δ2</i>	
Ισχύς Αντλίας (kW)	2175
Ολικό Μανομετρικό Ύψος $H_{αντλίας2}(m)$	283,2
Μέγιστη Παροχή $Q(m^3/h)$	2030
Μήκος Αγωγού $L(m)$	580
Διάμετρος Αγωγού $D(mm)$	600
Μέγιστη Ταχύτητα Νερού $V(m/s^2)$	1,994
Ισοδύναμη Τραχύτητα $k_s (mm)$	0,20
Γραμμικές Απώλειες $h_{f2}(m)$	3,16
<i>Υδροστροβίλος</i>	
Ισχύς Υδροστροβίλου (kW)	3 X 1500
Ολικό Μανομετρικό Ύψος $H_{υδρ}(m)$	276
Μέγιστη Παροχή $Q(m^3/h)$	2000
Μήκος Αγωγού $L(m)$	580
Διάμετρος Αγωγού $D(mm)$	600,00
Μέγιστη Ταχύτητα Νερού $V(m/s^2)$	1,965
Ισοδύναμη Τραχύτητα $k_s (mm)$	0,2
Γραμμικές Απώλειες $h_{fυδρ}(m)$	3,04
Ποσοστό Λειτουργίας Ταυτόχρονης Αντλιοσταμείωσης (%)	52,64%
Μέση Ετήσια Ενεργειακή Διείσδυση (%)	16,80%
Ποσοστό Λειτουργίας Υδροστροβίλου	62,31%
<i>Δεξαμενές</i>	
Όγκος Δεξαμενής Δ1 (m^3)	10.000
Όγκος Δεξαμενής Δ2 (m^3)	150.000

Πίνακας 7.8 Αποτελέσματα Υπολογισμού Ανεμογεννητριών, Μονάδας Αφαλάτωσης, και Μονάδας Diesel – Σενάριο 2ο.

Ανεμογεννήτριες	
Αριθμός Ανεμογεννητριών	5
Ονομαστική Ισχύος κάθε Α/Γ (kW)	1500
Μοντέλο Α/Γ	Vensys 77
Συντελεστής Απασχόλησης c_f	0,71
Μέση Ετήσια Ενεργειακή Διείσδυση (%)	32,72%
Μονάδα Αφαλάτωσης	
Σύνολο Μονάδων	5
Δυναμικότητα κάθε μονάδας ($m^3/24h$)	5100
Ποσοστό Ανάκτησης Νερού (%)	44%
Ημερήσιες Ώρες Λειτουργίας (h)	20
Ζήτηση Ενέργειας (kWh/m^3)	2,8
Δεξαμενή Αρδευτικού Νερού	10.000
Μονάδα Επεξεργασίας Άλμης	
Δυναμικότητα Μονάδας Επεξεργασίας (m^3 άλμης /24h)	2400
Ποσοστό Επεξεργασίας Παραγόμενου Νερού από Αφαλάτωση (%)	20%
Ποσοστό Ανάκτησης Νερού (%)	73%
Ημερήσιες Ώρες Λειτουργίας (h)	20
Ζήτηση Ενέργειας (kWh/m^3)	45
Μονάδα Καύσης Diesel	
Ελάχιστη Δυναμικότητα (kW)	1200
Μέγιστη Δυναμικότητα (kW)	2244
Απόδοση Ενέργειας Καυσίμου ($kWh/λίτρο$)	9,77
Σταθερό Κόστος Πώλησης Ενέργειας ($€/kWh$)	0,20

7.1.3. Σύγκριση Σεναρίων

Παρακάτω στο Σχήμα 7.24 παρατίθενται συνοπτικά τα συγκριτικά αποτελέσματα της λειτουργίας του συστήματος για τα δύο σενάρια για την αξιοπιστία σε ύδρευση, άρδευση και ενεργειακή αξιοπιστία, καθώς και για την ενεργειακή διείδυση των Α.Π.Ε.



Σχήμα 7.24 Σύγκριση 1^{ου} και 2^{ου} Σεναρίου.

Η διαφορά στις μονάδες μεταξύ των δύο σεναρίων είναι πρακτικά η προσθήκη μίας ακόμη ανεμογεννήτριας και η αύξηση της άνω δεξαμενής κατά 50.000m³ στο 2^ο σενάριο, στο οποίο ταυτόχρονα υπάρχει η επεξεργασία άλμης σε ποσοστό 20%.

Όπως παρατηρείται, η υδρευτική ζήτηση που είναι και σε προτεραιότητα καλύπτεται και στα δύο σενάρια που εξετάστηκαν. Ταυτόχρονα, και τα δύο σενάρια παρουσιάζουν ικανοποιητικούς δείκτες διείδυσης Α.Π.Ε. στο σύστημα, σε ποσοστό από 40% και άνω, ενώ η άρδευτική αξιοπιστία κυμαίνεται και στα δύο σενάρια στο 46%. Η ενεργειακή κάλυψη μπορεί να θεωρηθεί ολίγον ανεπαρκής καθώς δεν αγγίζει το 95%, γεγονός όπως μπορεί να αυξηθεί είτε με την προσθήκη μίας ακόμη ανεμογεννήτριας, είτε με την προσθήκη μίας από την υπάρχουσες μονάδες Diesel.

7.2 Οικονομική Ανάλυση

Τα βήματα για την Οικονομική Ανάλυση, και ειδικότερα για την χρηματοροή των Καθαρών Κερδών για κάθε σενάριο είναι η εξής:

1. Από την παραγωγή του αφαλατωμένου νερού, τα έσοδα προκύπτουν από την πώληση της συνολικής ποσότητας παραγωγής επί κάποια αρχική τιμή πώλησης, αφαιρώντας τα λειτουργικά έξοδα, τα οποία είναι 0.33€/m^3 . Εν συνεχεία, εφόσον έχει υπολογιστεί η ενέργεια που προσφέρεται από την μονάδα Diesel, προς την μονάδα αφαλάτωσης σε περίπτωση που δεν επαρκούν οι Α.Π.Ε., αφαιρείται και το κόστος καυσίμου για την αντίστοιχη ενέργεια που απαιτήθηκε. Η ενέργεια που προσφέρεται από τις Α.Π.Ε. δεν κοστολογείται προς την μονάδα αφαλάτωσης καθώς είναι μέρος του συστήματος.
2. Αντίστοιχα θα υπολογιστούν και τα έσοδα λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας άλμης για το 2^ο σενάριο, η οποία έχει λειτουργικά έξοδα 1.97€/m^3 . Στη περίπτωση που δεν γίνεται πώληση της άλμης, η μονάδα επεξεργασία δεν προσδίδει καθόλου έσοδα, ενώ στην περίπτωση που εκμεταλλεύεται οικονομικά προσδίδει κέρδος 5.85€/m^3 .
3. Η ενέργεια που παράγεται από τις Α.Π.Ε. και δεν κατευθύνεται προς την μονάδα αφαλάτωσης, πωλείται με μία αρχική τιμή πώλησης. Αφαιρώντας τα λειτουργικά κόστη των Α.Π.Ε. προκύπτουν τα αντίστοιχα έσοδα.
4. Όσον αφορά της μονάδα Diesel, η τιμή πώλησης της είναι σταθερή και κυμαίνεται στα 0.20€/kWh . Ανάλογα με την ενέργεια που παράγεται από την μονάδα υπάρχουν και τα αντίστοιχα έσοδα, αφαιρώντας το κόστος του καυσίμου, το οποίο αυξάνεται με τα χρόνια σταδιακά, με αρχική τιμή 0.80€/λίτρο . Να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις περίσσειας ενέργειας, δεν υπάρχουν έσοδα καθώς η ενέργεια δεν πωλείται, αλλά υπάρχει κόστος καυσίμου για την ελάχιστη δυνατή λειτουργία της μονάδας.
5. Από τα παραπάνω έσοδα και έξοδα, προκύπτουν τα κέρδη, τα οποία όμως φορολογούνται σε ποσοστό 35%, και προκύπτουν τα Καθαρά Ετήσια Κέρδη.

7.2.1. Σενάριο 1^ο

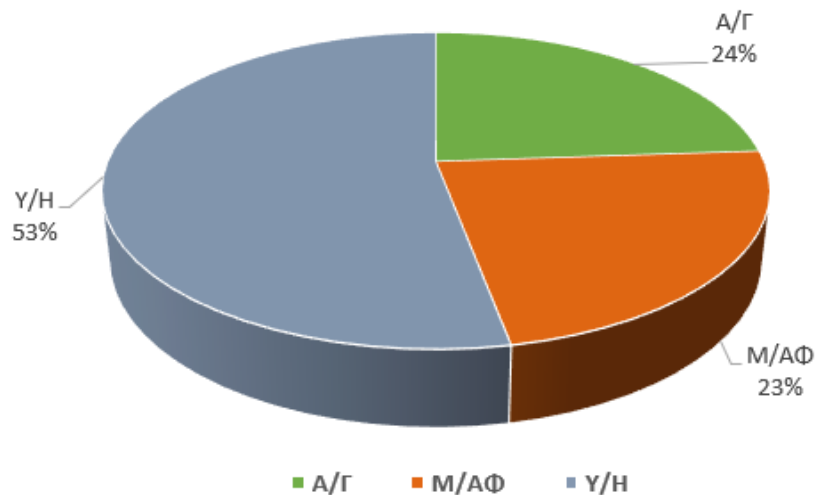
Σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 6.1 υπολογίστηκαν τα κόστη των μονάδων του συστήματος. Τα αρχικά ,τα λειτουργικά και τα κόστη συντήρησης κάθε μονάδας παρουσιάζονται στον Παρακάτω Πίνακα 7.12:

Πίνακας 7.9 Κόστη Μονάδων Έργου – Σενάριο 1^ο.

Εκτιμώμενο Κόστος Αιολικού Πάρκου	
Σύνολο Ανεμογεννητριών	4
Συνολικό Αρχικό Κόστος	6.340.382 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	126.808 €
Εκτιμώμενο Κόστος Μονάδων Αφαλάτωσης	
Συνολικές Μονάδες Αφαλάτωσης	5
Συνολικό Αρχικό Κόστος	6.126.000 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	185.151 €
Κόστος Δεξαμενών	41.000 €
Εκτιμώμενο Κόστος Αντλιοστασίου	
Συνολική Ισχύς Αντλιών (kW)	2755
Κόστος Αντλιών	5.151.850 €
Κόστος Δεξαμενών	451.000 €
Συνολικό Αρχικό Κόστος	5.602.850 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	112.057 €
Εκτιμώμενο Κόστος Υδροηλεκτρικού	
Συνολική Ισχύς Υδροστροβίλου (kW)	3 X 1500
Συνολικό Αρχικό Κόστος	8.415.000 €
Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	168.300 €
Εκτιμώμενο Κόστος Μονάδας Diesel	
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	125.896 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Καυσίμου	1.289.125 €

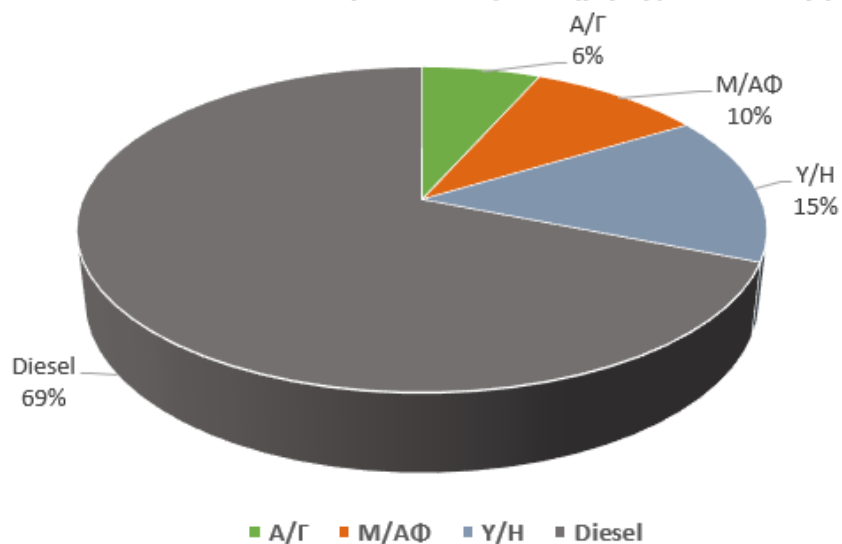
Η ποσοστιαία συμμετοχή του αρχικού κόστους των μονάδων φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 7.25, ενώ τα Κόστη Συντήρησης και Λειτουργίας στο Σχήμα 7.26.

Ποσοστιαία Συμμετοχή Κόστους Μονάδων στο Αρχικό Κόστος



Σχήμα 7.25 Ποσοστιαία Συμμετοχή Κόστους Μονάδων στο Αρχικό Κόστος.

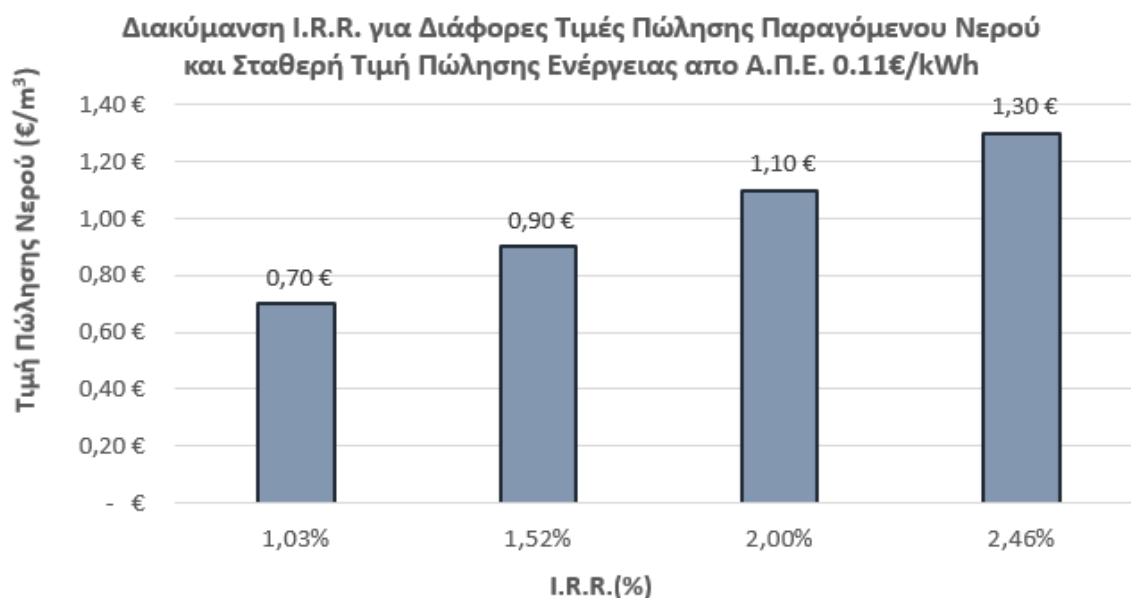
Ποσοστιαία Συμμετοχή Μέσου Κόστους Συντήρησης και Λειτουργίας Μονάδων στο Συνολικό Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας



Σχήμα 7.26 Ποσοστιαία Συμμετοχή Κόστους Μονάδων Συντήρησης και Λειτουργίας.

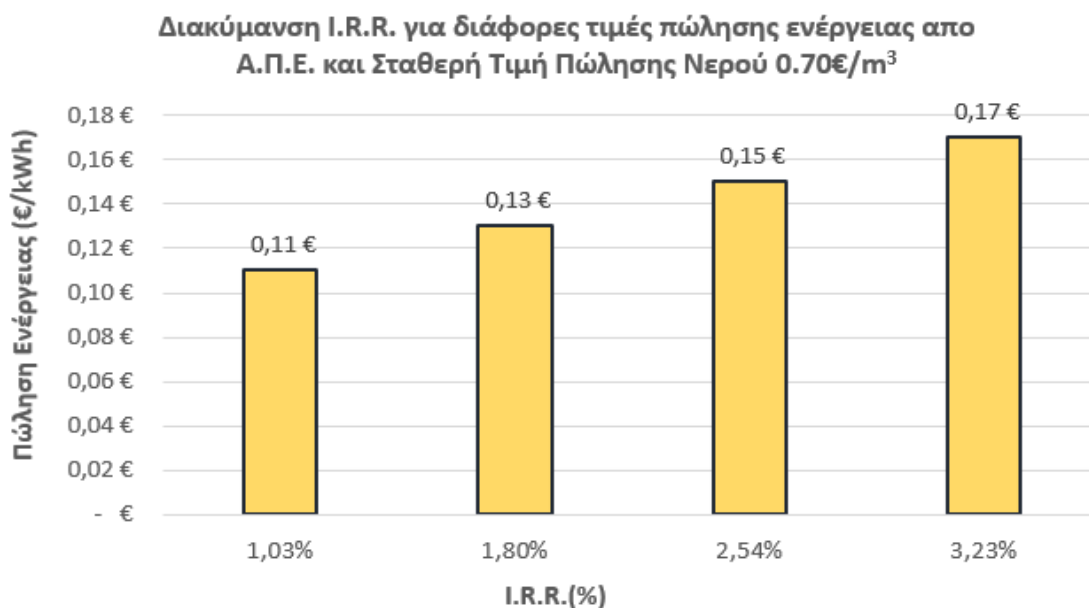
Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος είναι αυτό της μονάδας Diesel, καθώς εμπεριέχει και το κόστος καυσίμου το οποίο είναι και το βασικό κόστος της μονάδας.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι οικονομικοί δείκτες που προέκυψαν από την οικονομική ανάλυση του 1^{ου} σεναρίου. Αρχικά στο Σχήμα 7.27 παρουσιάζεται η διακύμανση του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (I.R.R.) για διάφορες τιμές πώλησης του παραγόμενου νερού, ενώ στο Σχήμα 7.28 για διάφορες τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. Ο I.R.R. εκφράζει το επιτόκιο αναγωγής το οποίο μηδενίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης του έργου. Συνεπώς οποιαδήποτε αύξηση των τιμών ενέργειας και νερού πέραν των τιμών που ισούνται με το αντίστοιχο I.R.R. θα παρουσιάζει καθαρό κέρδος και κάνει την επένδυση βιώσιμη.



Σχήμα 7.7 Διακύμανση I.R.R. για διάφορες τιμές πώλησης παραγόμενου νερού.

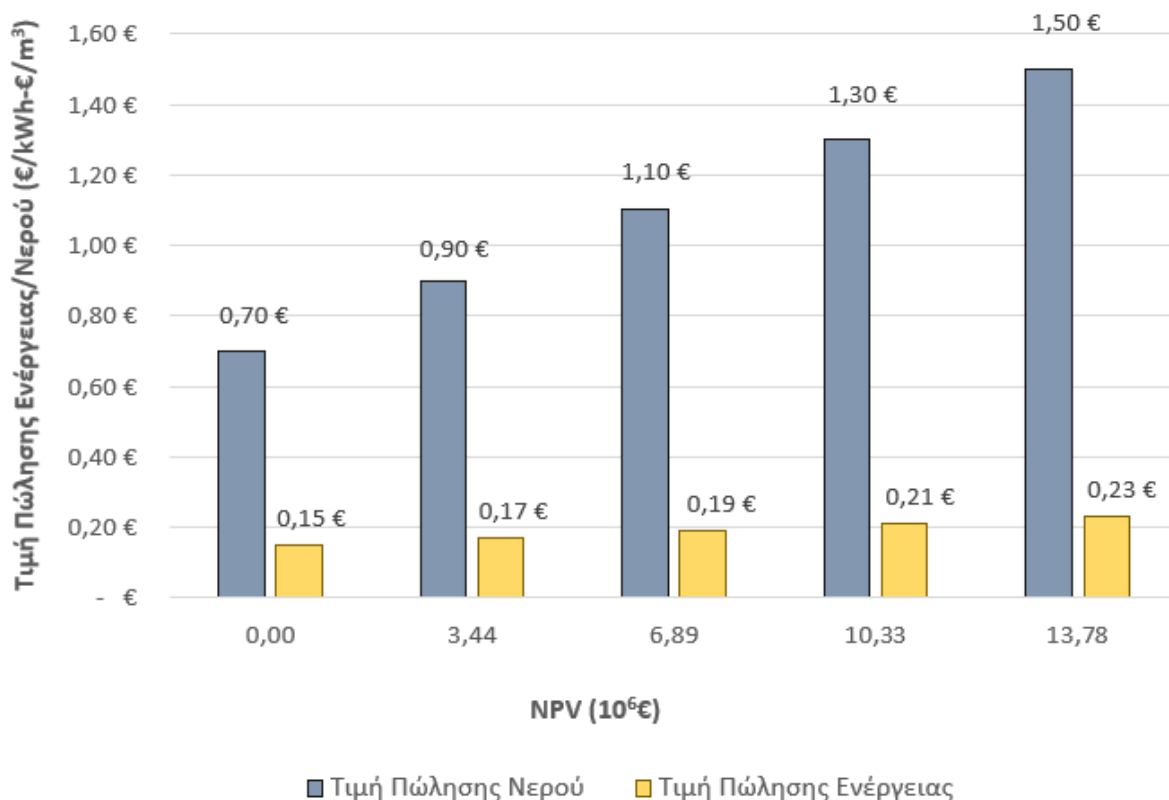
Οι τιμές I.R.R. κάτω του 4% θεωρούνται ικανοποιητικές σύμφωνα και με τις συνήθειες επενδύσεις σε αυτά τα έργα. Επίσης ικανοποιητικές είναι οι τιμές νερού κάτω της μονάδας για τα παραπάνω αποτελέσματα I.R.R. αν αναλογιστούμε ότι το κόστος νερού μεταφοράς στο νησί είναι άνω των 8€/m³. Οι παραπάνω τιμές προκύπτουν από σταθερή τιμή πώλησης ενέργειας από Α.Π.Ε. της τάξης των 0.11 €/kWh.



Σχήμα 7.8 Διακύμανση I.R.R. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας από Α.Π.Ε.

Η παραπάνω διακύμανση του I.R.R. είναι σχετικά ικανοποιητική, με τιμές πώλησης ενέργειας των Α.Π.Ε. κάτω των 0.20€/kWh και σταθερή τιμή πώλησης παραγόμενου νερού 0.70€/m³. Να σημειωθεί πως και στην δύο περιπτώσεις η πώληση ενέργειας από την μονάδα καύσης Diesel είναι ίδια και κρατάει σταθερή τιμή στα 0.20€/kWh. Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέχθηκε επιτόκιο αναγωγής $i=2.54\%$ για να υπολογιστεί η διακύμανση του N.P.V. για τις διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού, η οποία και παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.29.

**Διακύμανση N.P.V. για διάφορες τιμές πώλησης Ενέργειας και Νερού
(i=2.54%)**



Σχήμα 7.29 Διακύμανση N.P.V. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού με σταθερό επιτόκιο αναγωγής (i=2.54%).

Σύμφωνα με την παραπάνω διακύμανση των τιμών και με σταθερό επιτόκιο αναγωγής προέκυψαν και οι υπόλοιποι οικονομικοί δείκτες όπως φαίνονται στο Πίνακα 7.10:

Πίνακας 7.10 Οικονομικοί Δείκτες Επένδυσης για διακύμανση τιμών πώλησης νερού και ενέργειας και σταθερό επιτόκιο αναγωγής (i=2.54%).

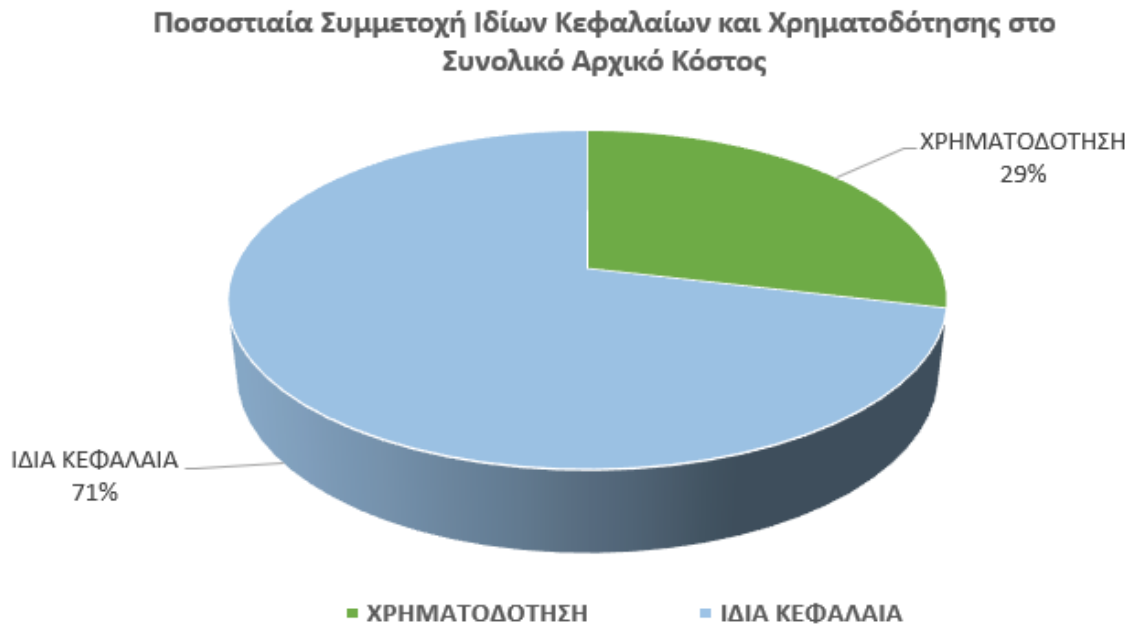
Τιμή Πώλησης Νερού (€/m ³)	0,70	0,90	1,10	1,30	1,50
Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23
R.O.I. (%)	100%	113%	126%	139%	152%
R.O.E. (%)	140%	159%	177%	195%	213%
Περίοδος Αποπληρωμής (γ)	19	17	15	14	12
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (γ)	25	22	19	17	15
N.P.V. (10 ⁶ €)	0,00	3,44	6,89	10,33	13,78
Για επιτόκιο αναγωγής i=2.54%					

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η ετήσια χρηματοροή των καθαρών κερδών στον Πίνακα 7.11, για I.R.R.=2.54% (N.P.V.=0) και συγκεκριμένες τιμές πώλησης νερού και ενέργειας.

Πίνακας 7.11 Ετήσια Χρηματοροή Καθαρών Κερδών-1^ο Σενάριο.

I.R.R. (%)	2.54%
Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0.15
Τιμή Πώλησης Νερού (€/m ³)	0.70
Έτος	Ετήσια Χρηματοροή Καθαρών Κερδών
1	1.537.580 €
2	1.491.023 €
3	1.521.342 €
4	1.524.008 €
5	1.487.053 €
6	1.464.058 €
7	1.542.379 €
8	1.466.828 €
9	1.447.256 €
10	1.484.242 €
11	1.479.932 €
12	1.483.201 €
13	1.389.715 €
14	1.426.128 €
15	1.347.421 €
16	1.378.142 €
17	1.371.900 €
18	1.385.618 €
19	1.422.022 €
20	1.354.696 €
21	1.364.289 €
22	1.368.409 €
23	1.425.023 €
24	1.326.478 €
25	1.408.540 €

Τέλος, σύμφωνα με τις χρηματοδοτήσεις που υπολογίστηκαν στο υποκεφάλαιο 6.3 παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.21 η ποσοστιαία συμμετοχή τόσο των ιδίων κεφαλαίων όσο και της χρηματοδότησης στο αρχικό ολικό κόστος της επένδυσης.



Σχήμα 7.30 Ποσοστιαία Συμμετοχή Ιδίων Κεφαλαίων και Χρηματοδότησης στο Συνολικό Αρχικό Κόστος.

7.2.2. Σενάριο 2.1 – Χωρίς Πώληση Παραγόμενης Άλμης

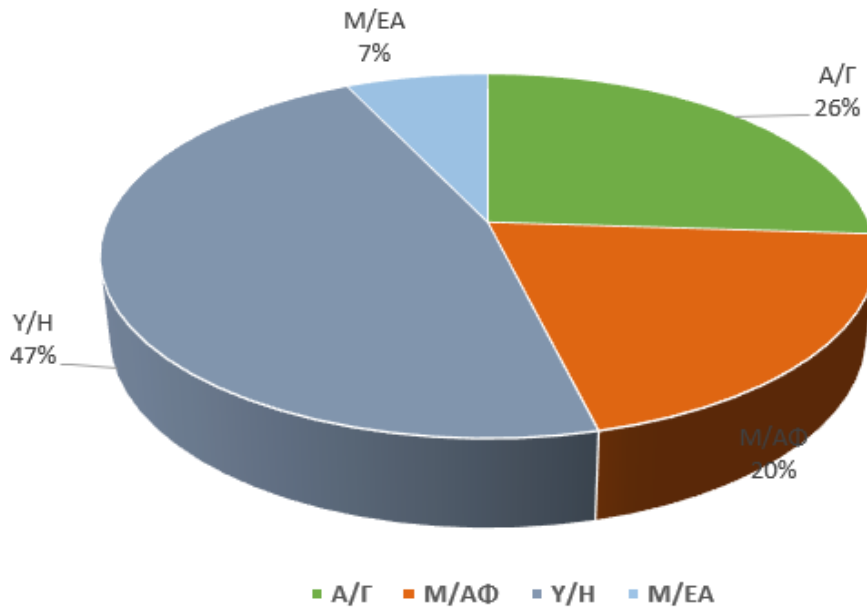
Σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 6.1 υπολογίστηκαν τα κόστη των μονάδων του συστήματος. Τα αρχικά ,τα λειτουργικά και τα κόστη συντήρησης κάθε μονάδας παρουσιάζονται στον Παρακάτω Πίνακα 7.15:

Πίνακας 7.12 Κόστη Μονάδων Έργου – Σενάριο 2^ο.

Εκτιμώμενο Κόστος Αιολικού Πάρκου	
Σύνολο Ανεμογεννητριών	5
Συνολικό Αρχικό Κόστος	7.925.477,55 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	158.510 €
Εκτιμώμενο Κόστος Μονάδων Αφαλάτωσης	
Συνολικές Μονάδες Αφαλάτωσης	5
Συνολικό Αρχικό Κόστος	6.126.000 €
Κόστος Δεξαμενών	41.000 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	182.696 €
Εκτιμώμενο Κόστος Αντλιοστασίου	
Συνολική Ισχύς Αντλιών (kW)	2755
Κόστος Αντλιών	13.566.850 €
Κόστος Δεξαμενών	656.000 €
Συνολικό Αρχικό Κόστος	14.222.850 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	284.457 €
Εκτιμώμενο Κόστος Υδροηλεκτρικού	
Συνολική Ισχύς Υδροστροβίλου (kW)	3 X 1500
Συνολικό Αρχικό Κόστος	8.415.000 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	168.300 €
Εκτιμώμενο Κόστος Μ. Επεξεργασίας Άλμης	
Δυναμικότητα Μ. Επεξεργασίας Άλμης	2400
Συνολικό Αρχικό Κόστος	2.160.000 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	208.959 €
Εκτιμώμενο Κόστος Μονάδας Diesel	
Μέσο Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	125.896 €
Μέσο Ετήσιο Κόστος Καυσίμου	1.252.743 €

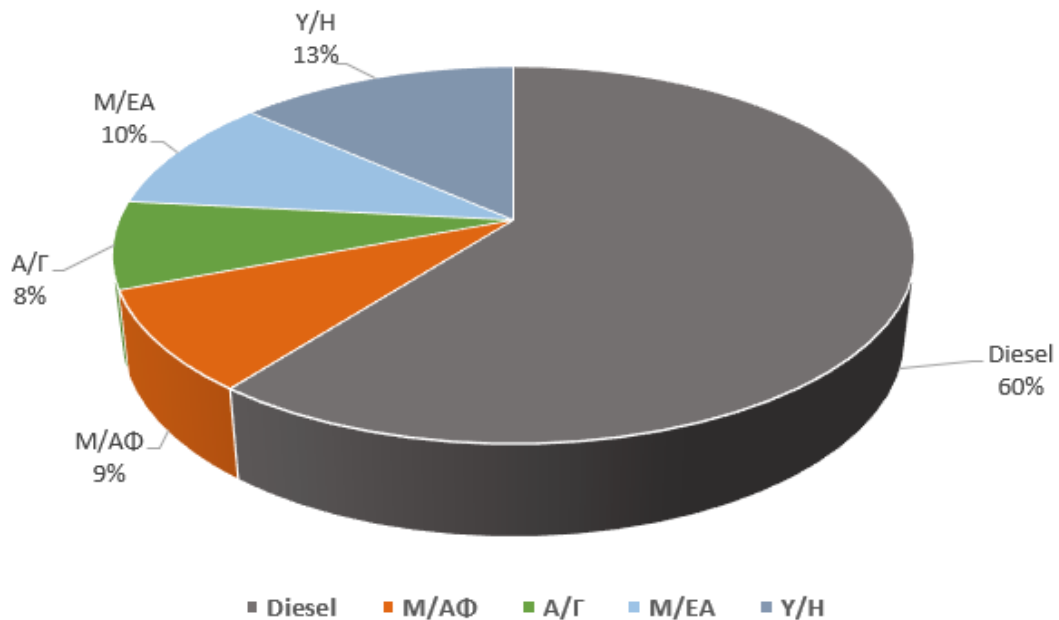
Η ποσοστιαία συμμετοχή του αρχικού κόστους των μονάδων φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 7.31, ενώ τα Κόστη Συντήρησης και Λειτουργίας στο Σχήμα 7.32.

Ποσοστιαία Συμμετοχή Κόστους Μονάδων στο Αρχικό Κόστος



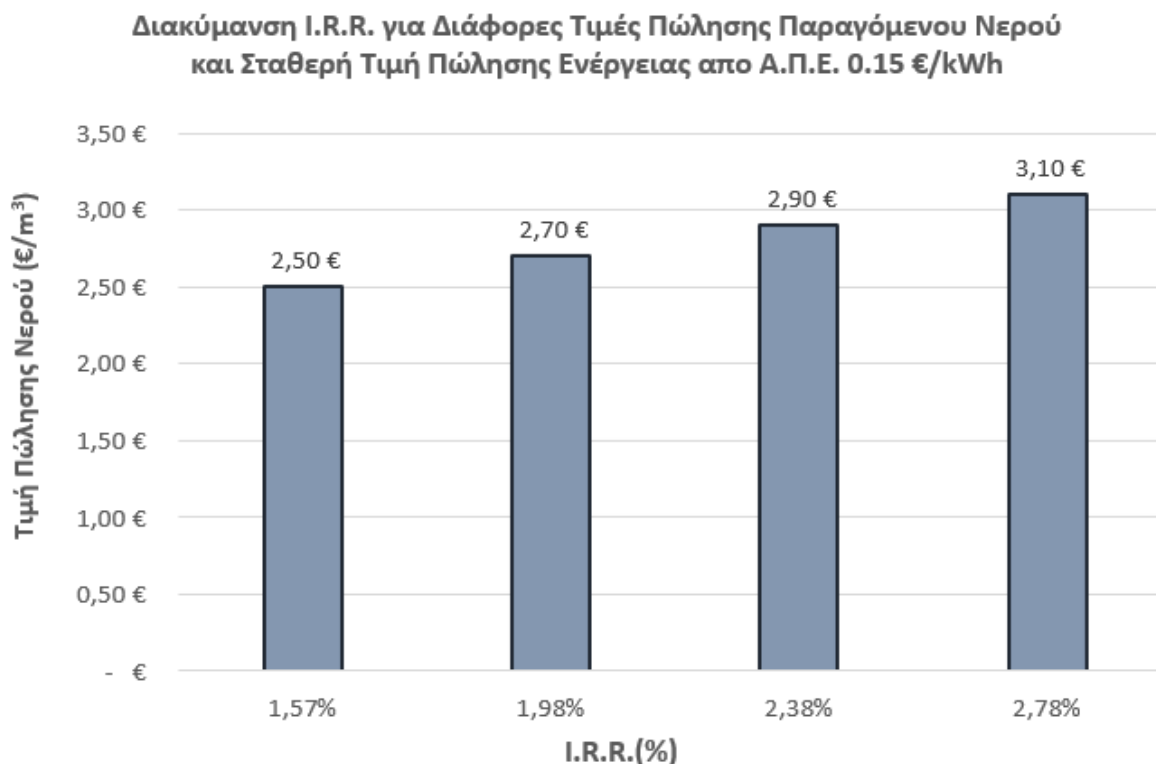
Σχήμα 7.31 Ποσοστιαία Συμμετοχή Κόστους Μονάδων στο Αρχικό Κόστος.

Ποσοστιαία Συμμετοχή Μέσου Κόστους Συντήρησης και Λειτουργίας Μονάδων στο Συνολικό Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας



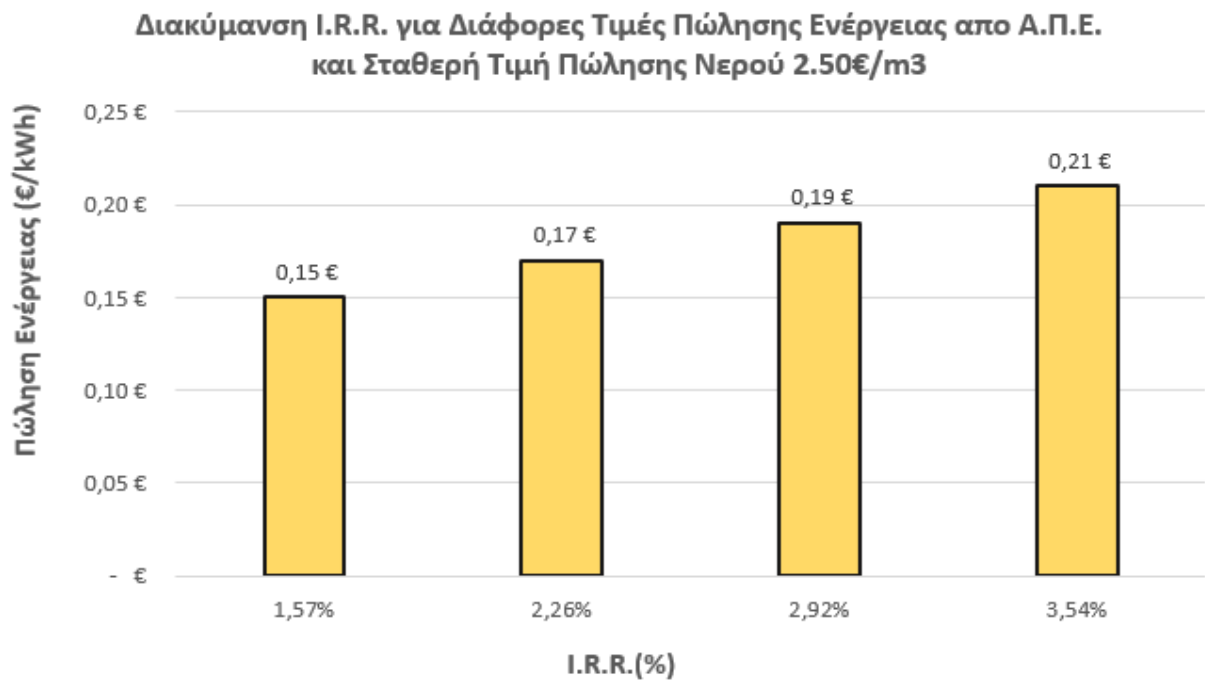
Σχήμα 7.32 Ποσοστιαίο Συμμετοχή Μέσου Ετήσιου Κόστους Συντήρησης και Λειτουργίας.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι οικονομικοί δείκτες που προέκυψαν από την οικονομική ανάλυση του 1^{ου} σεναρίου. Αρχικά στο Σχήμα 7.33 παρουσιάζεται η διακύμανση του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (I.R.R.) για διάφορες τιμές πώλησης του παραγόμενου νερού, ενώ στο Σχήμα 7.34 για διάφορες τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. Ο I.R.R. εκφράζει το επιτόκιο αναγωγής το οποίο μηδενίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης του έργου. Συνεπώς οποιαδήποτε αύξηση των τιμών ενέργειας και νερού πέραν των τιμών που ισούνται με το αντίστοιχο I.R.R. θα παρουσιάζει καθαρό κέρδος και κάνει την επένδυση βιώσιμη.



Σχήμα 7.33 Διακύμανση I.R.R. για διάφορες τιμές πώλησης παραγόμενου νερού.

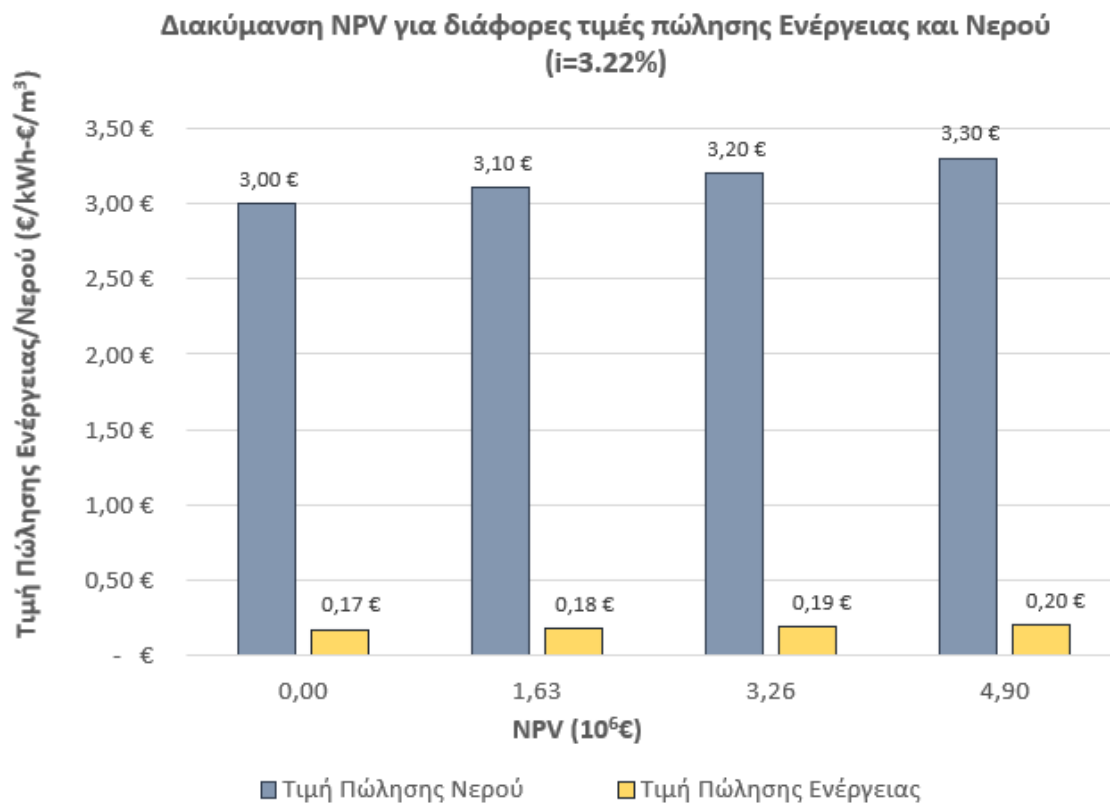
Οι τιμές I.R.R. κάτω του 4% θεωρούνται ικανοποιητικές σύμφωνα και με τις συνήθειες επενδύσεις σε αυτά τα έργα. Επίσης σχετικά ακριβές είναι οι τιμές νερού άνω των 2€/m³ για τα παραπάνω αποτελέσματα I.R.R., αλλά αποδεκτές αν αναλογιστούμε ότι το κόστος νερού μεταφοράς στο νησί είναι άνω των 8€/m³. Οι παραπάνω τιμές προκύπτουν από σταθερή τιμή πώλησης ενέργειας από Α.Π.Ε. της τάξης των 0.15€/kWh.



Σχήμα 7.34 Διακύμανση I.R.R. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας από Α.Π.Ε.

Η παραπάνω διακύμανση του I.R.R. δεν είναι αρκετά ικανοποιητική, με τιμές πώλησης ενέργειας των Α.Π.Ε. μέχρι και άνω των 0.21€/kWh, η οποία είναι σχετικά υψηλή και σταθερή τιμή πώλησης παραγόμενου νερού 2.50€/m³. Να σημειωθεί πως και στις δύο περιπτώσεις η πώληση ενέργειας από την μονάδα καύσης Diesel είναι διαφορετική από αυτή των Α.Π.Ε. και κρατάει σταθερή τιμή στα 0.20€/kWh. Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέχθηκε επιτόκιο αναγωγής $i=3.22\%$ για να υπολογιστεί η διακύμανση του N.P.V. για τις διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού.

Στο παρακάτω Σχήμα 7.35 παρουσιάζεται η διακύμανση του N.P.V. με το σταθερό επιτόκιο αναγωγής και τις διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού.



Σχήμα 7.35 Διακύμανση N.P.V. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού με σταθερό επιτόκιο αναγωγής ($i=3.22\%$).

Σύμφωνα με την παραπάνω διακύμανση των τιμών και με σταθερό επιτόκιο αναγωγής προέκυψαν και οι υπόλοιποι οικονομικοί δείκτες. Ειδικότερα στον Πίνακα 7.13 παρουσιάζεται η έντοκη περίοδος αποπληρωμής, η περίοδος αποπληρωμής, η απόδοση της επένδυσης (R.O.I.) και η απόδοση των ιδίων κεφαλαίων επένδυσης (R.O.E.).

Τιμή Πώλησης Νερού (€/m ³)	3,00	3,10	3,20	3,30
Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0,17	0,18	0,19	0,20
R.O.I. (%)	100%	105%	111%	116%
R.O.E. (%)	225%	238%	250%	262%
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (γ)	25	24	22	21
Περίοδος Αποπληρωμής (γ)	17	17	16	15
NPV (10 ⁶ €)	0	1,63	3,26	4,90
Για επιτόκιο αναγωγής $i=3.22\%$				

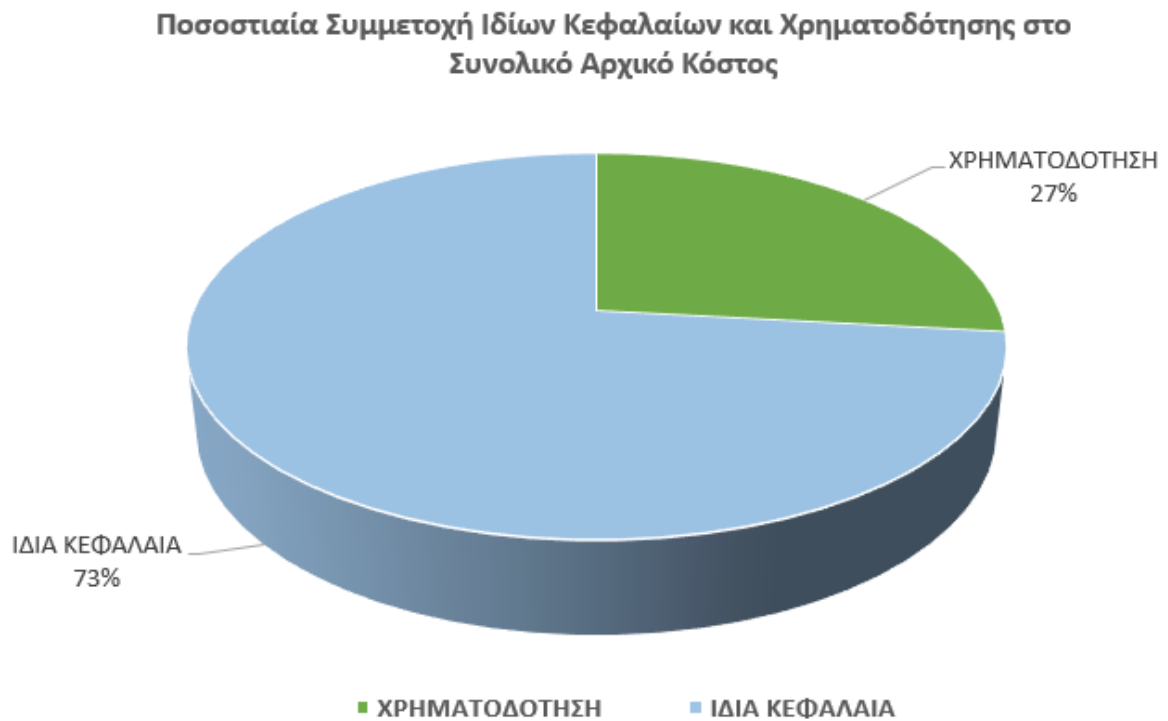
Πίνακας 7.13 Οικονομικοί Δείκτες Επένδυσης για διακύμανση τιμών πώλησης νερού και ενέργειας και σταθερό επιτόκιο αναγωγής ($i=3.22\%$).

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η ετήσια χρηματοροή των καθαρών κερδών στον Πίνακα 7.14, για I.R.R.=3.22%(N.P.V.=0) και συγκεκριμένες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού.

Πίνακας 7.14 Ετήσια Χρηματοροή Καθαρών Κερδών-Σενάριο 2°.

I.R.R. (%)	3.22%
Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0.17
Τιμή Πώλησης Νερού (€/m ³)	3.00
Έτος	Ετήσια Χρηματοροή Καθαρών Κερδών
1	1.838.537 €
2	1.772.096 €
3	1.822.995 €
4	1.837.175 €
5	1.778.584 €
6	1.758.146 €
7	1.881.430 €
8	1.760.946 €
9	1.744.685 €
10	1.805.093 €
11	1.805.021 €
12	1.814.572 €
13	1.681.114 €
14	1.740.460 €
15	1.632.075 €
16	1.692.013 €
17	1.676.831 €
18	1.716.372 €
19	1.758.613 €
20	1.677.889 €
21	1.683.909 €
22	1.704.621 €
23	1.791.988 €
24	1.656.161 €
25	1.783.241 €

Τέλος, σύμφωνα με τις χρηματοδοτήσεις που υπολογίστηκαν στο υποκεφάλαιο 6.3 παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.36 η ποσοστιαία συμμετοχή τόσο των ιδίων κεφαλαίων όσο και της χρηματοδότησης στο αρχικό ολικό κόστος της επένδυσης.

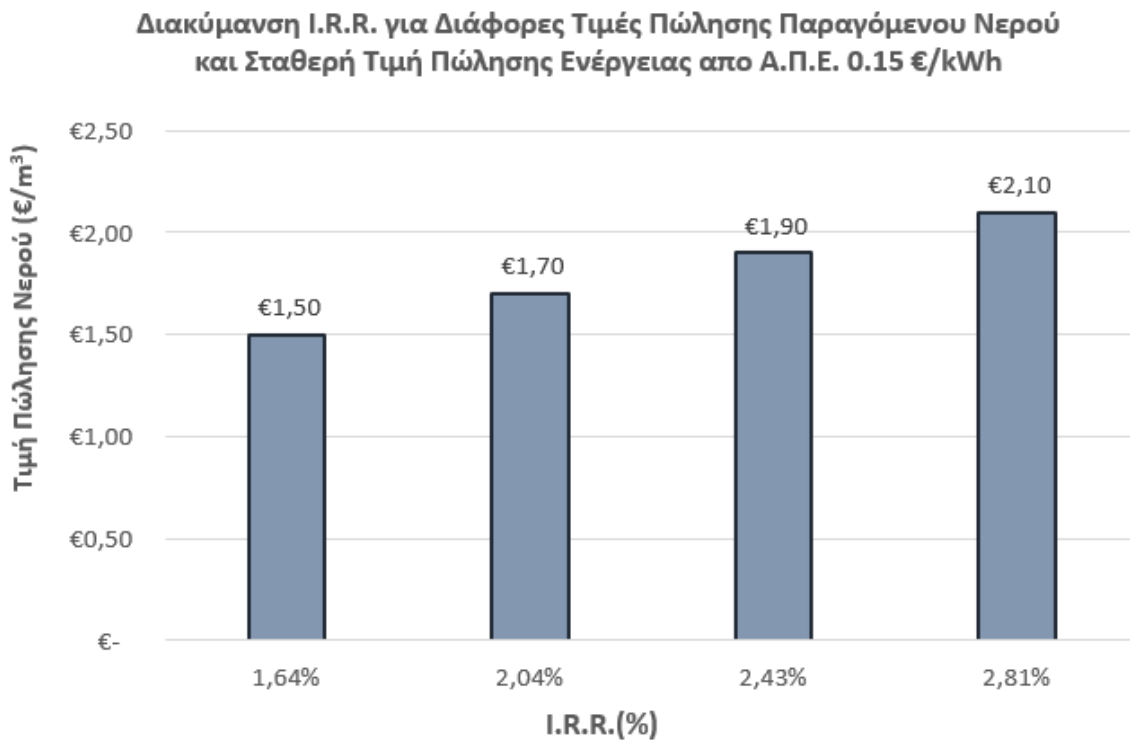


Σχήμα 7.9 Ποσοστιαία Συμμετοχή Ιδίων Κεφαλαίων και Χρηματοδότησης στο Συνολικό Αρχικό Κόστος.

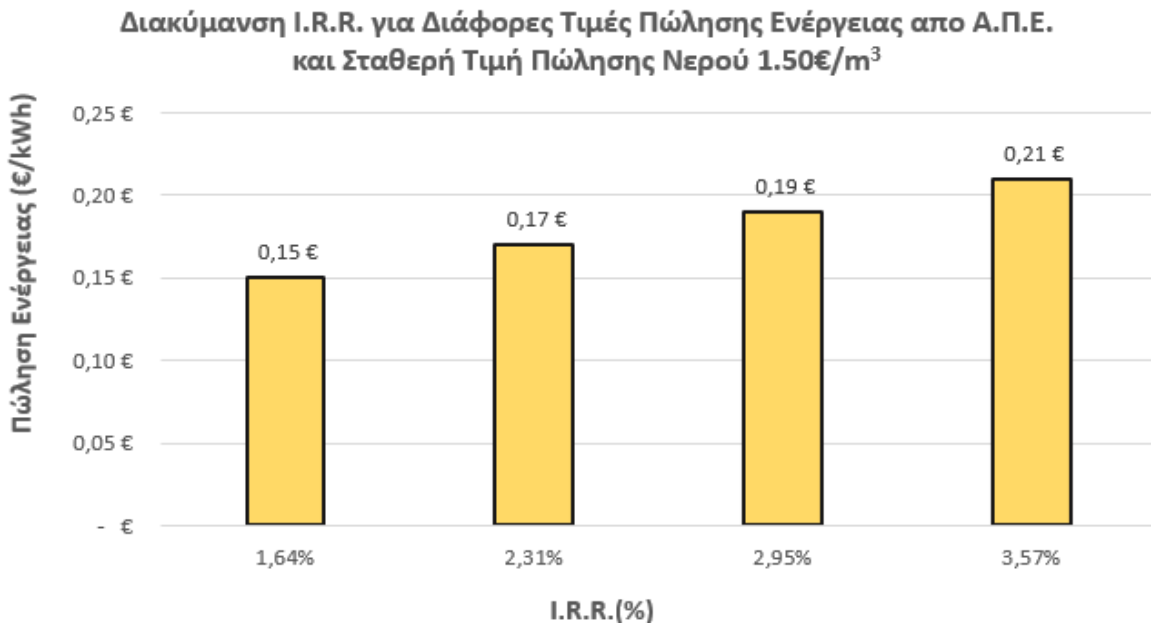
7.2.3. Σενάριο 2.2 – Πώληση Παραγόμενης Άλμης

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και οι υπολογισμοί και τα κόστη των μονάδων δεν αλλάζουν από το σενάριο 2^ο που δεν γίνεται πώληση της παραγόμενης άλμης. Η διαφορά επίκειται στους οικονομικούς δέκτες του σεναρίου καθώς τα έσοδα του έργου αυξάνονται από την πώληση της άλμης από την μονάδα επεξεργασίας. Η τιμή πώλησης όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 3.3.2. είναι της τάξης των 5.85€/m³.

Σύμφωνα λοιπόν με την αξιοποίηση της άλμης προκύπτουν καινούργιοι οικονομικοί δείκτες. Στο Σχήμα 7.37 παρουσιάζεται η διαμορφοποίηση του I.R.R. για διακύμανση της τιμής πώλησης του νερού, ενώ στο Σχήμα 7.38 για την διακύμανση της τιμής πώλησης της ενέργειας.

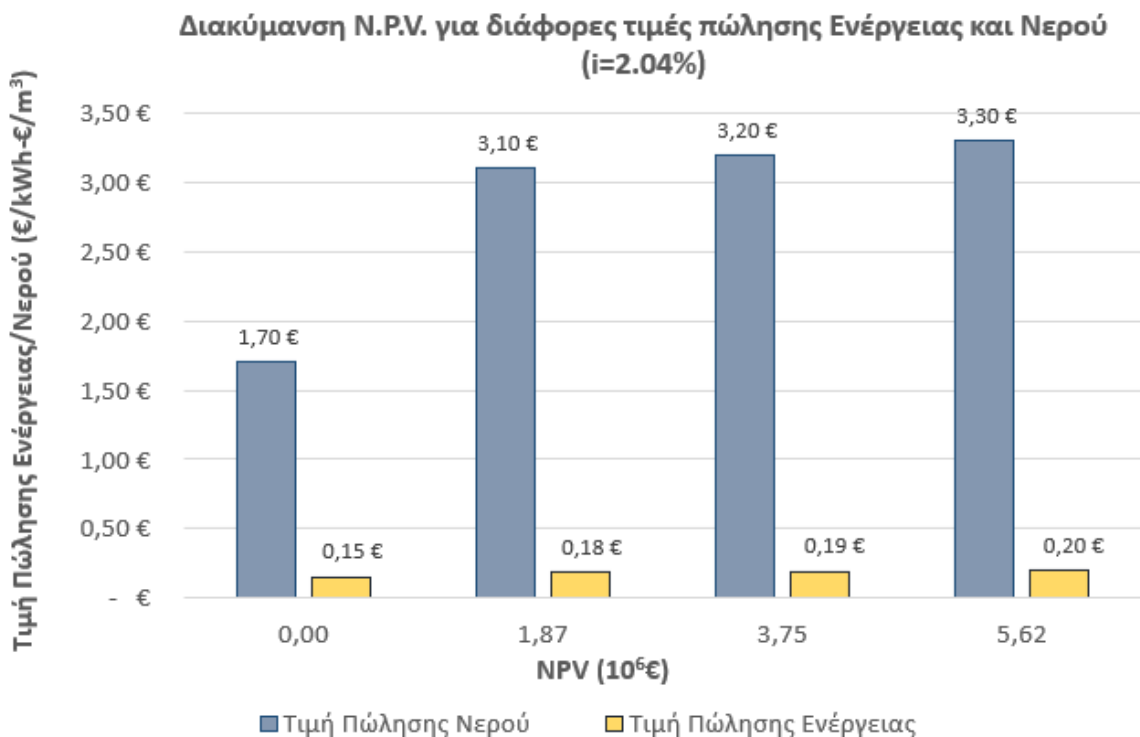


Σχήμα 7.37 Διακύμανση I.R.R. για διάφορες τιμές πώλησης παραγόμενου νερού.



Σχήμα 7.38 Διακύμανση I.R.R. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας από Α.Π.Ε.

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 7.39 παρουσιάζεται η διακύμανση του N.P.V. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού με σταθερό επιτόκιο αναγωγής $i=2.04\%$.



Σχήμα 7.39 Διακύμανση N.P.V. για διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού με σταθερό επιτόκιο αναγωγής ($i=2.04\%$).

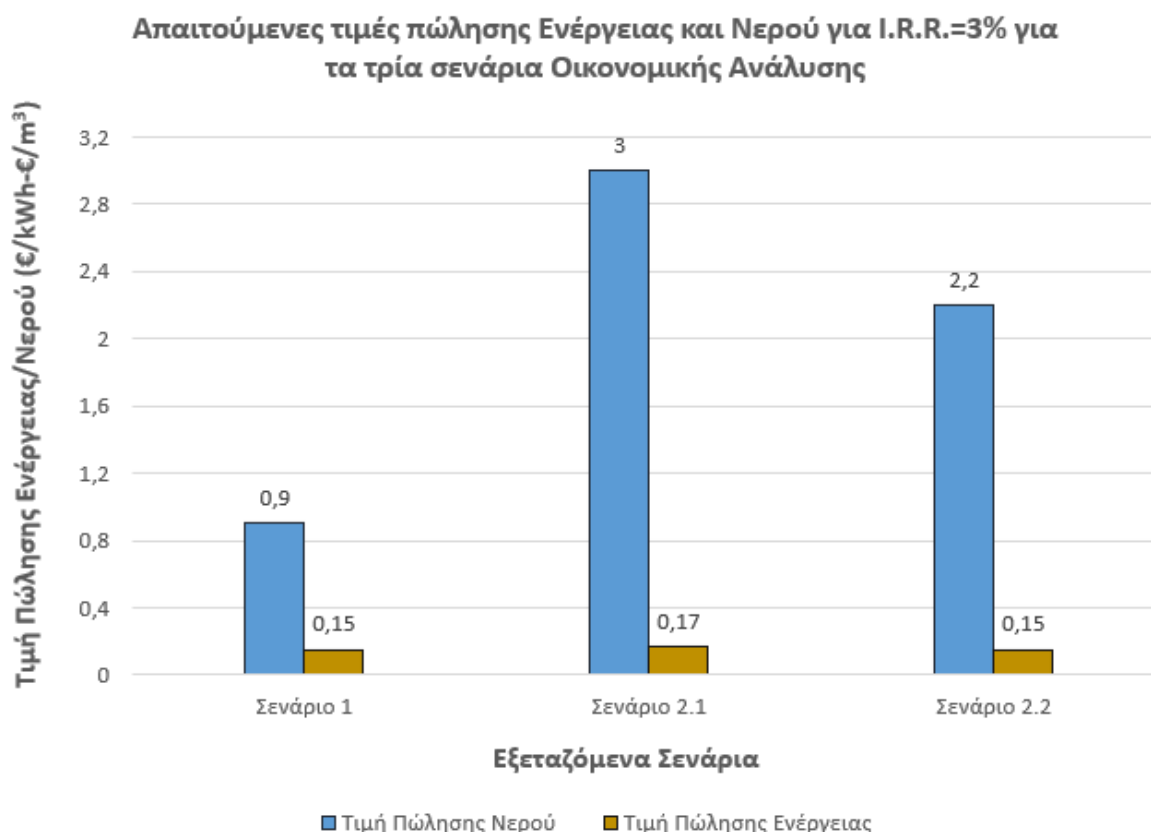
Τέλος, για τις παραπάνω τιμές πώλησης ενέργειας και νερού και με σταθερό επιτόκιο αναγωγής 2.04%, παρουσιάζονται οι υπόλοιποι οικονομικοί δείκτες στον Πίνακα 7.15.

Πίνακας 7.15 Οικονομικοί Δείκτες για σταθερό επιτόκιο αναγωγής και διάφορες τιμές πώλησης ενέργειας και νερού.

Τιμή Πώλησης Νερού (€/m ³)	1,70	1,80	1,90	2,00
Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0,15	0,16	0,17	0,18
R.O.I. (%)	100%	106%	112%	118%
R.O.E. (%)	229%	243%	258%	272%
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (γ)	25	24	22	21
Περίοδος Αποπληρωμής (γ)	20	19	18	17
NPV (10 ⁶ €)	0	1,87	3,75	5,62
Για επιτόκιο αναγωγής i=2.04%				

7.2.4. Σύγκριση Σεναρίων

Παρακάτω παρατίθενται συγκριτικά τα αποτελέσματα μεταξύ των 3 σεναρίων οικονομικής ανάλυσης. Ειδικότερα, στο Σχήμα 7.40 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών πώλησης ενέργειας και νερού για περίπου $I.R.R.=3.00\%$, για τα τρία διαφορετικά σενάρια οικονομικής ανάλυσης.



Σχήμα 7.10 Απαιτούμενες τιμές πώλησης Ενέργειας και Νερού για $I.R.R.=3\%$ για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια οικονομικής ανάλυσης,

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω σχήμα, το Σενάρια 1 χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικές τιμές πώλησης ενέργειας και νερού, που κάνει την επένδυση βιώσιμη. Τα Σενάρια 2.1 και 2.2 χαρακτηρίζονται λιγότερο επικερδής σε σχέση με το Σενάριο 1. Μικρή μείωση στη τιμή του νερού παρουσιάζεται στο Σενάριο 2.2 σε σχέση με το 2.1 καθώς υπάρχει και η πώληση της παραγόμενης άλμης. Από τα παραπάνω δείχνεται, ότι οποιαδήποτε αύξηση των τιμών ενέργειας και νερού αποφέρει καθαρά κέρδη στην επένδυση.

8. Συμπεράσματα

Γενικότερα τα αποτελέσματα σε επίπεδο ενεργειακής, υδρευτικής, και αρδευτικής κάλυψης είναι ικανοποιητικά σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν. Δεδομένου ότι αφαιρέθηκαν μονάδες Diesel συνολικής ισχύος 2.22MW, και η διείσδυση των Α.Π.Ε. είναι άνω του 40% και στα δύο σενάρια, τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά.

Το πρώτο σενάριο αν και ικανοποιητικό, καλύπτοντας της υδρευτικές και ενεργειακές ανάγκες σε ποσοστό άνω του 99% και 93% αντίστοιχα, ενώ οι αρδευτικές ανάγκες σε ποσοστό κοντά στο 45% . Για τιμή πώλησης νερού άνω των 0.70€/m³ και ενέργειας 0.15€/kWh η επένδυση θεωρείται βιώσιμη. Η τιμή πώλησης του νερού είναι πολύ ικανοποιητική, ενώ της ενέργειας, αν και αποδεκτή, θα αναμενόταν να ήταν χαμηλότερη, δεδομένου ότι σήμερα η τιμή πώληση ενέργειας από Α.Π.Ε. είναι 0.0875€/kWh. Όμως ταυτόχρονα αν θεωρηθεί ότι η τιμή πώλησης του ρεύματος από συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας ξεπερνάει τα 0.30€/kWh τον τελευταίο χρόνο, η επένδυση είναι βιώσιμη. Επίσης, οι χρηματοδοτήσεις και οι χορηγήσεις πιθανόν να είναι πολύ περισσότερες από αυτές που υπολογίστηκαν, γεγονός που θα έκανε το έργο ακόμα πιο επικερδές και βιώσιμο.

Το 2^ο Σενάριο αν και καλύπτει τις υδρευτικές και της ενεργειακές ζητήσεις σε ικανοποιητικό βαθμό, χαρακτηρίζεται από αυξημένη ενεργειακή ζήτηση. Αυτό επηρεάζει την οικονομική ανάλυση, καθώς η μονάδα επεξεργασίας άλμης απαιτεί ενέργεια που πολλές φορές καλείται να καλύψει η μονάδα Diesel, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του κόστους λόγω καυσίμου στο συνολικό σύστημα. Αυτό φαίνεται και από την υψηλή απαιτούμενη τιμή πώλησης ειδικά στο παραγόμενο νερού, που αγγίζει τα 3.00€/m³. Στην περίπτωση της πώλησης της παραγόμενης άλμης τα οικονομικά στοιχεία είναι καλύτερα, αλλά δεν είναι βέβαιο ότι μπορεί να γίνει σωστή οικονομική αξιοποίηση της, καθώς το έργο είναι πιλοτικό. Ταυτόχρονα, για επεξεργασίας της άλμης σε ποσοστό 100% υπολογίστηκε ότι θα πρέπει να δουλέψουν όλες οι μονάδες Diesel και συνολικά 9 ανεμογεννήτριες ώστε να καλυφθεί η ενεργειακή ζήτηση. Συνεπώς είναι εύλογο, να δοκιμαστεί η επεξεργασία της άλμης σε ένα ποσοστό, έτσι ώστε να μην γίνει χρήση των μονάδων Diesel, και να υπάρξει μία αρχική εικόνα λειτουργίας του συστήματος. Να επιβεβαιωθεί ότι το σύστημα είναι λειτουργικό, και να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις και η απόδοση της μονάδας καθώς το έργο δεν έχει δοκιμαστεί σε μεγάλη κλίμακα, και πιθανόν να υπάρχουν διαφοροποιήσεις.

Περαιτέρω ανάλυση θα μπορούσε να γίνει σε διάφορα τμήματα του έργου. Ειδικότερα:

- Ολοκληρωμένη μελέτη του αγωγού απόρριψης της άλμης, υπολογίζοντας τόσο το κόστος, όσο και την βελτίωση αυτού για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η εισαγωγή περαιτέρω μονάδων Α.Π.Ε. για υποστήριξη του παρόν συστήματος ή βελτίωσης αυτού, όπως μπαταρίες αποθήκευσης ή φωτοβολταϊκού πάρκου.
- Η διερεύνηση της βέλτιστης χωροθέτησης του υβριδικού έργου με βάση και το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο.

9. Βιβλιογραφία

- ANDRITZ. Ανάκτηση από <https://www.andritz.com/products-en/hydro/products/pumped-storage>
- Bashitialshaaer; Persson; Aljaradin. (2011). *Estimated Future Salinity in the Arabian Gulf, the Mediterranean Sea and the Red Sea consequences of brine discharge disposal from desalination*. Retrieved from <http://tvrl.se/ma/Documents/ESTIMATED%20FUTURE%20SALINITY%20IN%20THE%20ARABIAN%20GULF,.pdf>
- European Environment Agency. (n.d.). *Natura 2000 Network Viewer*. Retrieved from European Commission: https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/data/index_en.htm
- FAO. (2021). *FAO*. Ανάκτηση από <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0c.htm#TopOfPage>
- FAO. (2021). <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0c.htm#TopOfPage>. Ανάκτηση από <http://www.fao.org/home/en/>: <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0c.htm#TopOfPage>
- Gacia; Invers; Manzanera. (2007). *Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (Posidonia oceanica) meadow*. Retrieved from Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771406005221>
- IRENA. (2020). *International Renewable Energy Agency*. Ανάκτηση από https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf
- Jones. (2019). *The state of desalination and brine production: A global outlook*. Ανάκτηση από <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/The-state-of-desalination-2019.pdf>
- Katsoulakos. (2019). Retrieved from https://www.scirp.org/pdf/SGRE_2019041616061207.pdf
- L.S. Pereira, I. (2005). *Crop Coefficient*. Retrieved from ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/crop-coefficient>
- Laffoley; Grimsditch. (2009). *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks*. Retrieved from Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/252896445_The_Management_of_Natural_Coastal_Carbon_Sinks
- Matysik; Bauer. (2021). <https://en.wind-turbine-models.com/powercurves>. Ανάκτηση από <https://en.wind-turbine-models.com/powercurves>
- meteo. (2021). *meteosearch*. Ανάκτηση από meteo: <http://meteosearch.meteo.gr>
- Mihailov; Evstatiev; Kadirova. (2018, June). *Load Profile of Typical Residential Buildings in Bulgaria*. Ανάκτηση από Research Gate:

https://www.researchgate.net/publication/326358349_Load_Profile_of_Typical_Residential_Buildings_in_Bulgaria

- MinDevGR. (2019). *Αφαλάτωση και συνοδά έργα*. Ανάκτηση από Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων: https://www.mou.gr/elibrary/AFALATOSI_08_08_2019.pdf
- ΜΟΑ. (2014). *ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΖΩΩΝ*. Ανάκτηση από ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: [http://www.capo.gov.cy/capo/capo.nsf/0/df44403af5c62df9c22579ff003008ea/\\$FILE/Υδατικές%20ανάγκες%20καλλιιεργειών%20και%20ζώων.pdf](http://www.capo.gov.cy/capo/capo.nsf/0/df44403af5c62df9c22579ff003008ea/$FILE/Υδατικές%20ανάγκες%20καλλιιεργειών%20και%20ζώων.pdf)
- ΜΟΑ. (2014). *ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΖΩΩΝ*. Ανάκτηση από ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: [http://www.capo.gov.cy/capo/capo.nsf/0/df44403af5c62df9c22579ff003008ea/\\$FILE/Υδατικές%20ανάγκες%20καλλιιεργειών%20και%20ζώων.pdf](http://www.capo.gov.cy/capo/capo.nsf/0/df44403af5c62df9c22579ff003008ea/$FILE/Υδατικές%20ανάγκες%20καλλιιεργειών%20και%20ζώων.pdf)
- PJIS. (2022). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. Retrieved from https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- SOL-BRINE. (2013). Retrieved from <http://solbrine.uest.gr/index.php/en/>
- Telesca; Belluscio; Criscoli. (2015). *Seagrass meadows (posidonia oceanica) distribution and trajectories of change*. Retrieved from www.nature.com: <https://www.nature.com/articles/srep12505>
- THALIS E.S. S.A. (n.d.). *ΧΥΤΑ Διαχειριστικής Ενότητας Ν.Αμοργού*. Retrieved from Thalys Environmental Services S.A.: <https://www.thalis-es.gr/index.php/el/programs/item/59>
- Tounos. (2005). *onlinelibrary.com*. Ανάκτηση από The economics of Desalination: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1936-704X.2005.mp132001006.x>
- Tzen; Morris. (2003). *Renewable Energy Sources for Desalination*. Ανάκτηση από Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/223421017_Renewable_Energy_Sources_for_Desalination
- Unsworth; Mtwana; Cullen-Unsworth. (2018). *Seagrass meadows support global fisheries production*. Retrieved from Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/325264076_Seagrass_meadows_support_global_fisheries_production
- USGS. (1993). *Water on Earth*. Retrieved from United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth#:~:text=and%20Adam%20Nieman,-,The%20Earth%20is%20a%20watery%20place.,percent%20of%20all%20Earth's%20water.>

- WHO. (2017). *Guidelines for Drinking- Water Quality*. Ανάκτηση από World Health Organization:
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- Zotalis. (2014). *Desalination Technologies*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4441/6/5/1134/html#:~:text=Ever%20since%20desalination%20was%20originally,finally%20condensed%20into%20potable%20liquid.>
- ΑΔΜΗΕ. (2022). *Δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης συστήματος μεταφοράς*. Ανάκτηση από ΑΔΜΗΕ:
<https://www.admie.gr/sites/default/files/nea-anakoinoseis/12-01-2022/%CE%94%CE%A0%CE%91%202023-2032%20%CE%9A%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%BF%20%CE%A4%CE%B5%CF%8D%CF%87%CE%BF%CF%82.pdf>
- Δήμος Αμοργού. (2017). Ανάκτηση από https://dimos.amorgos.gr/wp-content/uploads/2019/12/%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%92%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%99-%CE%9F%CE%A1%CE%9F%CE%99_signed.pdf
- ΕΦ.ΚΥΒ. (1989). Ανάκτηση από
http://axiosdelta.web.auth.gr/attachments/article/71/%CE%9A%CE%A5%CE%91_%CE%A616_6631_1989.pdf
- Κακουτσάκης. (2007). *Επίδραση Φορτίου Αφαλάτωσης σε Νησιωτικό Σύστημα Ενέργειας*. Ανάκτηση από <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jsrui/bitstream/123456789/14889/1/DT2007-0131.pdf>
- ΚΑΠΕ. (2006). *Πηγές Χρηματοδότησης & Οικονομικά Κίνητρα*. Ανάκτηση από
http://www.cres.gr/kape/epixeiriseis_ependites.htm
- Κατσαπρακάκης, Δ. Α. (2015). *Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων*. Ανάκτηση από
<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM166/%CE%A3%CF%8D%CE%BD%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7%20%CE%95%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8E%CE%BD%20%CE%A3%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD.pdf>
- Κονδύλης. (2013). <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/38455>. Ανάκτηση από
 Διπλωματική Εργασία: Πλήρης αντικατάσταση των πετρελαϊκών μονάδων :
https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/38455/kondylis_amorgos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Κουτσογιάννης; Ξανθόπουλος. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*. Ανάκτηση από Kallipos:
<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5888>
- Μαρνέλλος. (2013). *Ειδικά Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας*. Ανάκτηση από
<https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE>

%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/2_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%
CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1_oc.pdf

Ξεύγενοσ Δ. . (2016). *Αξιοποίηση υγρού υπολείμματος από μονάδες αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την ανάκτηση νερού και την παραγωγή άλατος*. Ανάκτηση από Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών:

<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/37648>

Πελέκης. (2018). *Μελέτη για εγκατάσταση αιολικού σταθμού*. Ανάκτηση από

<http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/6852>

ΠΝΑ. (2017). *Εγκαίνια νέου σφαγείου Αμοργού*. Ανάκτηση από Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου:

<http://www.nad.gr/arthro.aspx?a=9028>

ΠΝΑΙ. (2014). *ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ*. Ανάκτηση από

<https://ecoanemos.files.wordpress.com/2014/01/amorgos.pdf>

ΠΝΑΙ, Π. Ν. (2014). <https://ecoanemos.files.wordpress.com/2014/01/amorgos.pdf>. Ανάκτηση από

<https://ecoanemos.wordpress.com>:

<https://ecoanemos.files.wordpress.com/2014/01/amorgos.pdf>

ΡΑΕ. (2022). *Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά*. Ανάκτηση από Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.

Τσακίρης, Γ. (2010). *ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ, Σχεδιασμός & Διαχείριση, ΤΟΜΟΣ Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα*. Athens.

Υ.Π.ΕΝ. (2020). Ανάκτηση από

https://www.kodiko.gr/nomologia/download_fek?f=fek/2020/b/fek_b_975_2020.pdf&t=e474447edee8dbff60496d589fcb21e8

ΥΠΕΚΑ. (2017, September). *1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών Νήσων Αιγαίου/Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*. Ανάκτηση από Υπουργείο

Περιβάλλοντος και Ενέργειας: [http://wfdver.ypeka.gr/wp-](http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/09/EL14_1REV_P18_SMPE_v02.pdf)

[content/uploads/2017/09/EL14_1REV_P18_SMPE_v02.pdf](http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/09/EL14_1REV_P18_SMPE_v02.pdf)

ΥΠΕΚΑ. (2017). *Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος νήσων Αιγαίου* .

Ανάκτηση από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας: [http://wfdver.ypeka.gr/wp-](http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2020/06/EL14_1REV_P07_Taxinomisi_YY5.pdf)

[content/uploads/2020/06/EL14_1REV_P07_Taxinomisi_YY5.pdf](http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2020/06/EL14_1REV_P07_Taxinomisi_YY5.pdf)

ΥΠΕΚΑ. (2017). *Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα*

υπόγεια υδατικά συστήματα. Ανάκτηση από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας:

http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2021/02/EL14_1REV_P05_Pieseis.pdf

ΥΠΕΚΑ. (2017, Μάιος). *Καθορισμός και καταγραφή αρμόδιων αρχών και προσδιορισμός της περιοχής*

άσκησης των αρμοδιοτήτων τους. Ανάκτηση από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας:

http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/05/EL14_1REV_P01_Armodies_Arxes_v02.pdf

ΥΠΕΚΑ. (2017). *Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών*. Ανάκτηση από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας: http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/10/EL14_1REV_P13_Proxedia_LAP_v03.pdf

ΥΠΕΚΑ. (2017, Ιούνης). *Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*. Ανάκτηση από Σχέδιο Αναθεώρησης Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου: http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/07/EL14_1REV_P13_Proxedia_LAP_v01.pdf

ΥΠΕΚΑ. (2017, Σεπτέμβριος). *Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*. Ανάκτηση από Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων : http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/09/EL14_1REV_P18_SMPE_v02.pdf

ΥΠΕΚΑ. (2017). *Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των υπογείων υδατικών συστημάτων/ Νήσων Αιγαίου*. Ανάκτηση από Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας: http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2020/06/EL14_1REV_P07_Taxinomisi YYS.pdf

ΥΠΕΝ. (2017). *Οικονομική Ανάλυση των Χρήσεων Ύδατος και Προσδιορισμός του Υφιστάμενου Βαθμού Ανάκτησης Κόστους για τις Υπηρεσίες Ύδατος*. Ανάκτηση από http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2020/05/EL14_1REV_P11_Oikonomiki_Analysi.pdf