



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

## **Αξιοποίηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για κάλυψη υδατικών αναγκών στη νήσο Σύμη**

Διπλωματική Εργασία



**Ντούσκα Ελένη Ιωάννα**  
**Επιβλέπων Καθηγητής : Ευάγγελος Μπαλτάς**

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020



## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς το θέμα των υβριδικών συστημάτων ήταν και είναι πραγματικά ενδιαφέρον για εμένα. Ταυτόχρονα, τον ευχαριστώ για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, όπως και την κ. Μαρίτα Μπέρτσιου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του αρμόδιους φορείς που αναφέρονται στην εργασία και υπήρξαν βασικός παράγοντας στη συλλογή δεδομένων και κατ' επέκταση στην περάτωση αυτού του συγγράμματος.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συνεχή στήριξη που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Οι αναπτυξιακές ικανότητες των άνυδρων νησιών του Αιγαίου εξαρτώνται πλήρως από την κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της παροχής ενέργειας και της υδροδότησης. Η έλλειψη υδατικών πόρων των απομακρυσμένων αυτών νησιών οδηγεί στη σπατάλη υπέρογκων ποσών για τη μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια, ενώ παράλληλα η τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τους τοπικούς συμβατικούς σταθμούς, είναι αρκετά υψηλή. Τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με μονάδες αφαλάτωσης, υπόσχονται βιώσιμες λύσεις στο ζήτημα της κάλυψης τόσο των υδρευτικών, όσο και των αρδευτικών αναγκών του εκάστοτε νησιού.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της περίπτωσης της Σύμης, ενός νησιού που ανήκει στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων. Ειδικότερα, γίνεται εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης του νησιού, των κλιματολογικών δεδομένων και των υδατικών αναγκών. Με βάση τα παραπάνω και αρκετά ακόμη κριτήρια, διαμορφώνεται η πρόταση υλοποίησης του υβριδικού συστήματος, σε θέματα διαστασιολόγησης, χωροθέτησης και γενικότερης διαχείρισης. Το σύστημα αποτελείται από μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης, οι οποίες τροφοδοτούνται από τρεις ανεμογεννήτριες και ένα υδροηλεκτρικό έργο με δυνατότητες αντλησιοταμίευσης.

Με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης του παραπάνω υβριδικού συστήματος, μορφώθηκε μέσω του προγράμματος Microsoft Office Excel ένα μοντέλο προσομοίωσης. Στη συνέχεια, έγινε μια ανάλυση ευαισθησίας με βάση την εξέλιξη του πληθυσμού και την αστάθεια των ανεμολογικών στοιχείων.

Εν κατακλείδι, έγινε η αποτίμηση των κύριων συμπερασμάτων σχετικά με τη διαχείριση, τις προοπτικές βελτιστοποίησης και την αποδοτικότητα του υβριδικού συστήματος ως προς την κάλυψη των υδατικών αναγκών.

## Extended Abstract

### **Introduction**

The growth potential of the arid Aegean islands depends entirely on the situation in the field of energy and water supply. The lack of water resources of these remote islands leads to the waste of huge sums for the transport of water by tankers, while at the same time the price of electricity produced by local conventional stations is quite high. Hybrid renewable energy systems, in combination with desalination plants, promise sustainable solutions to the issue of meeting both the water and irrigation needs of each island.

The present work focuses on the study of the case of Symi, an island that belongs to the Dodecanese complex. In particular, an assessment is made of the current condition of the island, the climatic data and the water needs. Based on the above and several more criteria, the proposal for the implementation of the hybrid system is formulated, in terms of sizing, location and general management. The system consists of reverse osmosis desalination units, which are powered by three wind turbines and a hydroelectric project with pump storage capabilities.

In order to evaluate the performance of the above hybrid system, a simulation model was developed through Microsoft Office Excel. Then, a sensitivity analysis was performed based on the evolution of the population and the instability of the wind data.

Finally, the main conclusions regarding the management, optimization prospects and efficiency of the hybrid system, in terms of meeting water needs, are evaluated.

## **Study area**

The island of Symi is located in the Aegean Sea and specifically belongs to the Dodecanese complex. It is the eighth largest in size with its total area reaching 65.3 km<sup>2</sup> while its coastline extends to a length of 86 km.

Symi is about 12 miles from Rhodes and just 4 miles from the coast of Turkey. Apart from these, Symi is surrounded by a number of islands, mainly Nimos in the north and Seskli in the south, as well as several rocky islets such as Chondros, Plati and Oxia. The island is designed to form many bays and natural harbors such as those of Gialos and Panormitis. The southeastern part of the island is considered a protected area Natura 2000.

The relief is mainly mountainous with the highest peak Vigla which is located in the central part of the island and has an altitude of 617 m. The mountain of Vigla essentially divides the island into two parts, the north and the south, with the first being more flat.

The climate of the island is characterized by Mediterranean with mild temperatures. During winter there is a lot of rainfall and no significant snowfall has occurred. In the summer months, sunshine and drought describe a regular situation. The prevailing winds on the island are the northwest, the intensity and frequency of which is remarkable. The nearest meteorological station on the island is the one of Rhodes.

Based on the census of the permanent population of the year 2011, in the Municipality of Symi were counted 2590 permanent residents. It is estimated that about 5% of these inhabitants have different nationalities, mainly English. In addition, most of the population seems to be concentrated in the settlement of Gialos.

Symi consists of five settlements, the capital of whom is Chora, in the north of the island. This is the oldest settlement that over the years began to expand to the coast and the natural port of the area, Gialos. At the present time it is the largest tourist center of the island. It is also worth mentioning that thanks to its special and manorial architecture, Chora has been declared a protected traditional settlement. On the west side Emporios is located, the second port

of the island that is constantly developing and becoming a tourist attraction. The settlement of Pedi and Marathounta have a similar development. Finally, the fifth settlement is the bay of Panormitis at the southern end of the island, where the Holy Monastery of the Archangel Michael is located.

Most of the island is covered by natural areas (42%) and specifically wooded, shrubby as well as areas with sparse or no vegetation. Next are the agricultural areas, first the cultivated and set-aside areas (34%) and then the municipal pastures (18%). A small percentage is occupied by artificial areas (1%) such as urban construction and transport networks as well as other types of land (5%).

The road network of the island consists of one main road and a few others that connect all the settlements. The available transportation includes done cars, taxi but also an intercity bus.

Symi has two ports, the main port is the one of Gialos where passenger ferries and commercial watercrafts are moored. The second port of the island is located in Pedi and is considered as a shelter for tourist yachts.

The island has its own local power station consisting of nine diesel generators with a maximum capacity of 6 MW in total. This station is located in the NE part of the island, next to the settlement of Pedi and about 2 km from the village, in an area of about 8000 m<sup>2</sup>. In addition, there are 3 PV stations on the island with a total power of 200 kW. In the last five years, the average annual energy demand fluctuates around 16 GWh.

A desalination plant was installed on the island of Symi in 2009, which has remained inactive, after a fire in 2013. The water supply is basically done by transporting water by tankers from Rhodes. Other sources of water are considered to be rainwater collection tanks or private wells, which are in fact quite limited mainly due to the brackish underground.

The largest percentage of the active population of the island is engaged in businesses and activities that are basically directly related to tourism. Agriculture, livestock and fisheries are less common, while professions such as shipbuilding that flourished in the past are now limited.

The monthly variation of water and irrigation needs as calculated, is shown in Figure1.

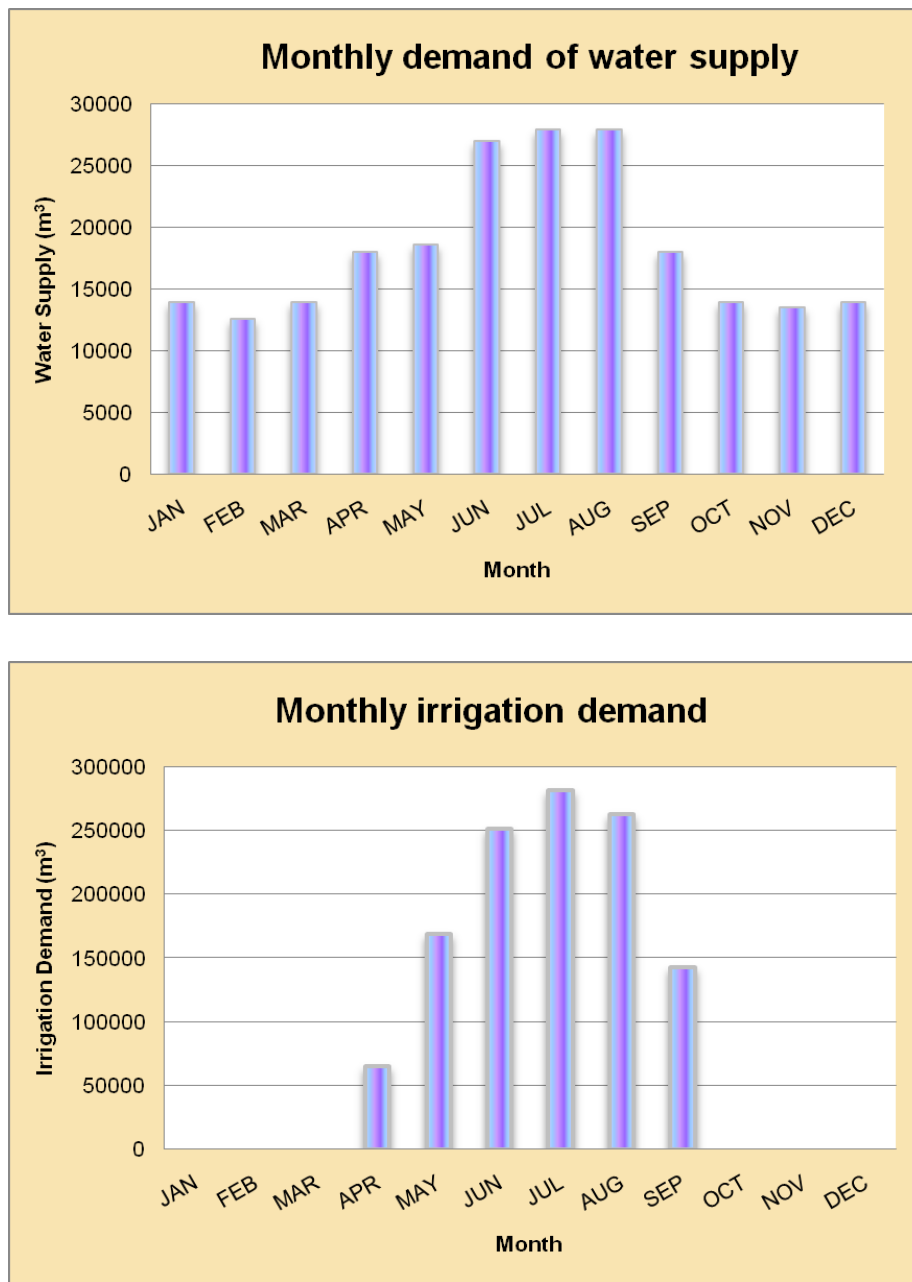


Figure 1 - The monthly variation of water and irrigation needs



## Methodology

The hybrid system under study consists of three wind turbines of 900 kW each, two tanks, pumping stations, a hydroelectric power station and desalination plants. The first tank, which has a capacity of 150000 m<sup>3</sup>, is located at a low altitude and contains desalinated water. On the other hand, the second tank, which has a capacity of 50000 m<sup>3</sup>, is placed at a high altitude and contains seawater. For the pumping of seawater from the sea level in the upper tank, a pump of 400 kW is used, while during the fall there are two available turbines of 80 kW and 300 kW for operation. At the same time, the required energy consumption of the pumping station for the pumping of seawater at the height of the desalination unit has been taken into account.. Regarding desalination, it was considered that the consumption of desalination energy equals to 7 kWh/m<sup>3</sup> and there are units with a total capacity of up to 9000 m<sup>3</sup>/d.



**Figure 2 - The hybrid system location**

Regarding the operation of the hybrid system mentioned above, the following management was performed. On days when the energy needs of the desalination plant, and therefore the needs for water supply and irrigation, are completely covered by the energy provided by the wind turbines, but still there

is excess energy, this surplus is used to pump water from sea level to the upper tank. If the upper tank is full, no seawater is pumped and the excess energy is used for additional desalination. This desalinated water is stored in the lower tank which also acts as an intermediate storage station for the daily required desalinated water, before it is channeled to the water supply network. On days when there is a shortage of energy, the drop of water from the upper tank into the sea through the turbine is used, in order to produce the necessary energy for the required desalinated water. When there is still no possibility of energy coverage of the unit, probably because there is not enough water in the upper tank, the already desalinated water stored in the lower tank is used for disposal. In all the above, the main priority is to cover the water demand and after that the irrigation demand. Finally, regarding the days when the hybrid system is unable to meet the demand, in terms of water supply, the necessary volume of water will be desalinated with energy coverage of the unit from the PPC network. Then, the local private wells or rain tanks will be used to meet the irrigation demand.

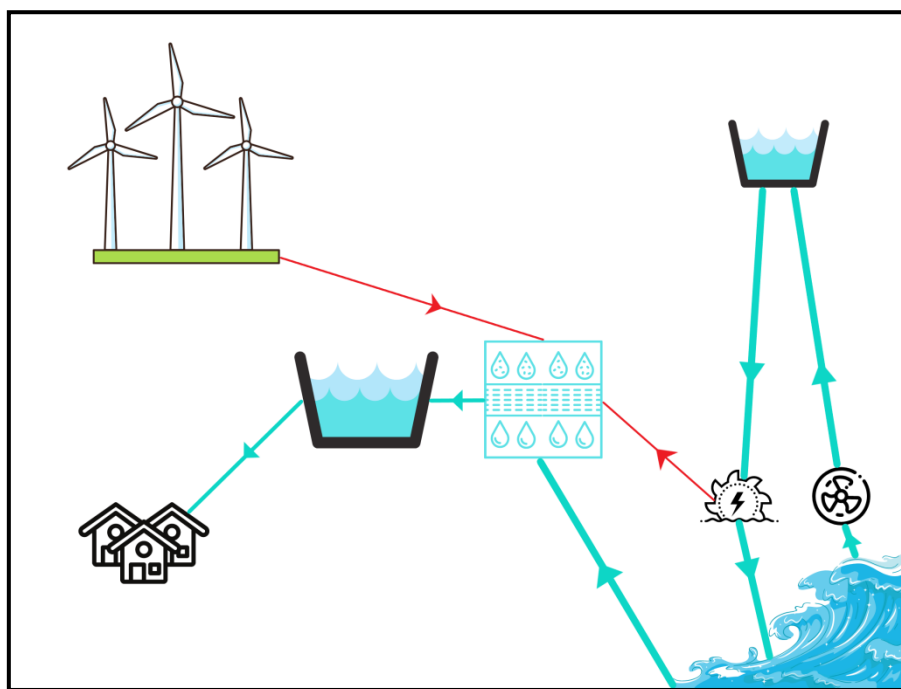
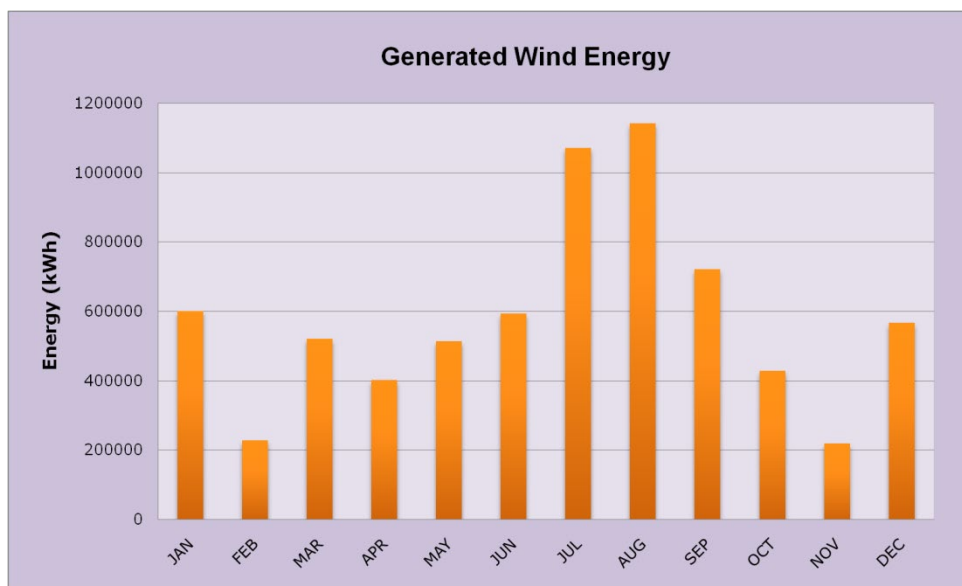


Figure 3 - The hybrid system operation

## Results

Figure 4 shows the generated wind energy of the three wind turbines, per month. Not even a small amount of this energy gets discarded. In fact, it is consumed entirely for the operation of the desalination plants and the existing pumping stations, both the upper and the lower tank. As the results show, the summer months are the ones with the highest wind speeds and consequently higher energy production, which is considered as benefit of the system as the summer months are also the ones with the greatest demand.



**Figure 4 - Generated wind energy**

Figure 5 shows the way that the drinking water and irrigation demand are covered.

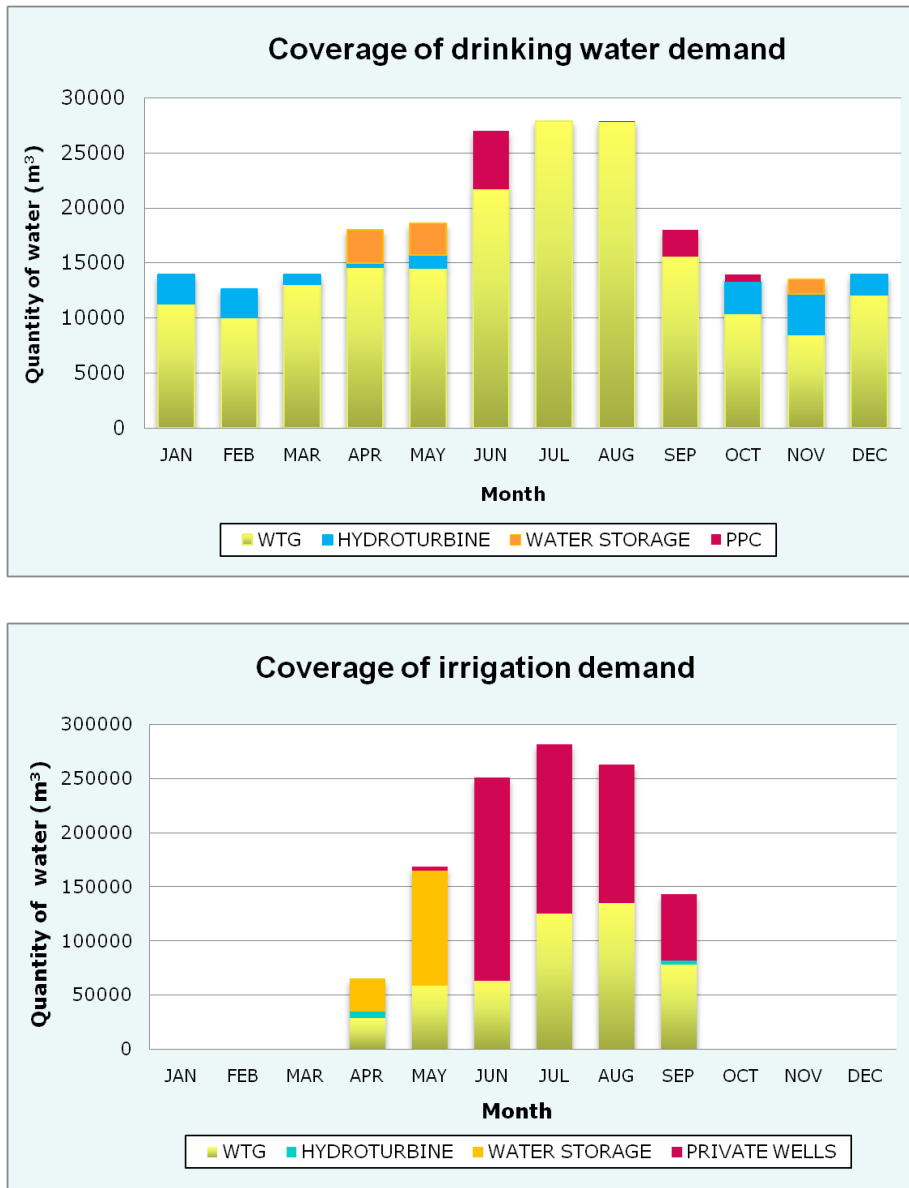
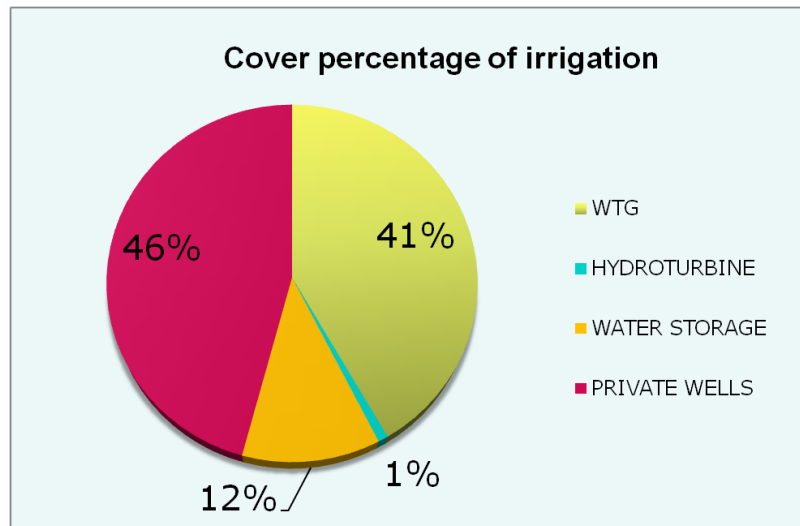
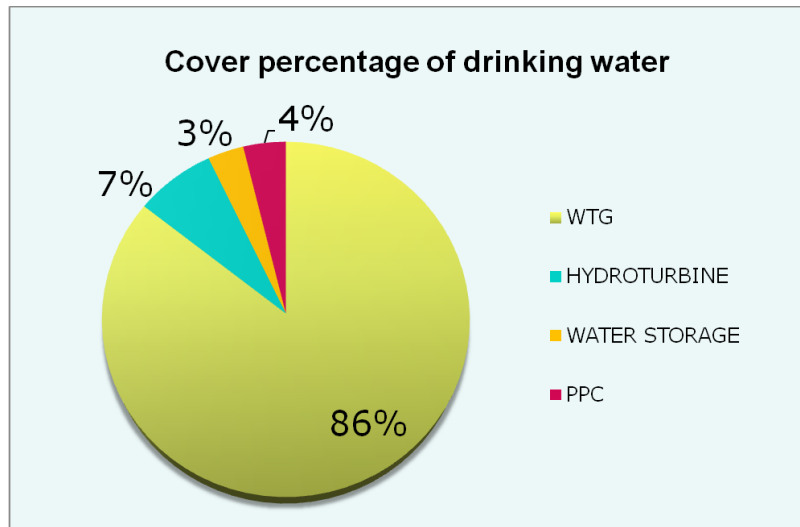


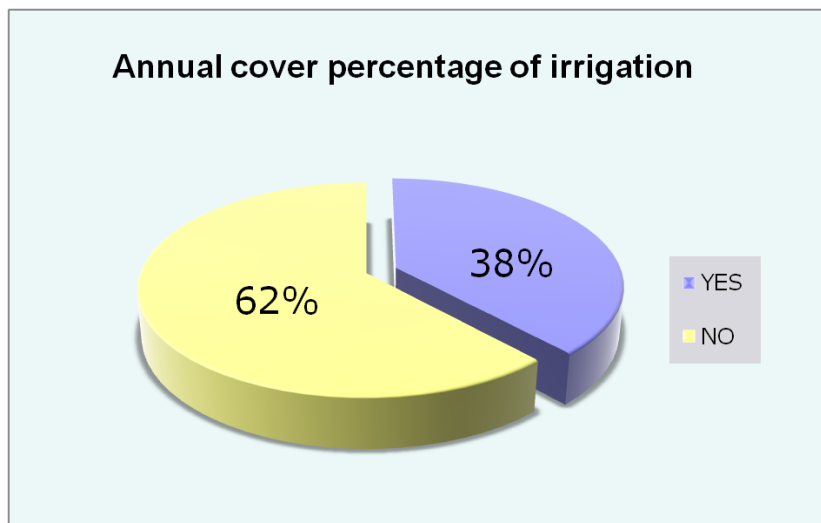
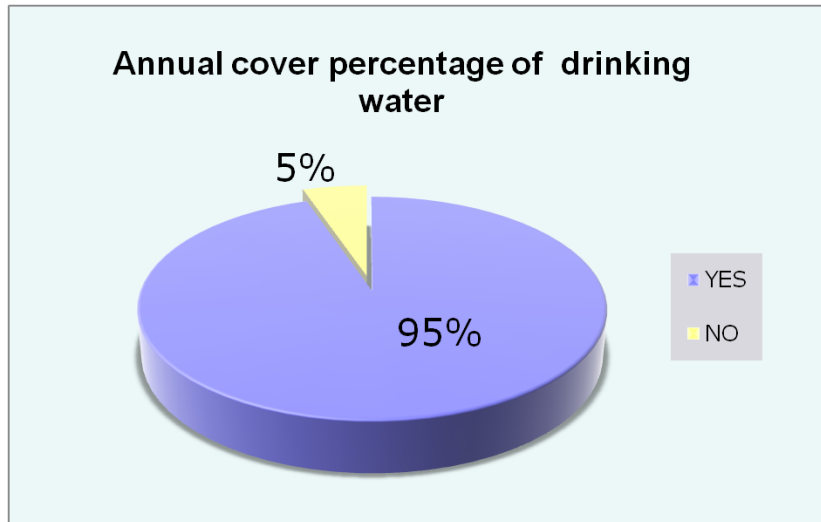
Figure 5 – Coverage of water demand

Figure 6 shows the corresponding percentage of all the above quantities.



**Figure 6 – Cover percentage of water demand**

Figure 7 shows the percentage of days during the year that the island manages to meet the water demand due to the hybrid project. In the same way, this figure shows the reliability percentage of irrigation coverage on days of the irrigation year, as it has been considered from April to September.



**Figure 7 – Annual cover percentage of water demands**

A sensitivity analysis of the hybrid system was performed according to its response to different wind data. Specifically, the wind data of the years 2010 to 2019, of the meteorological station of Rhodes were used, while at the same time, stable demand was considered. The demand coverage rates through the hybrid system are presented below, for both drinking water supply and irrigation.

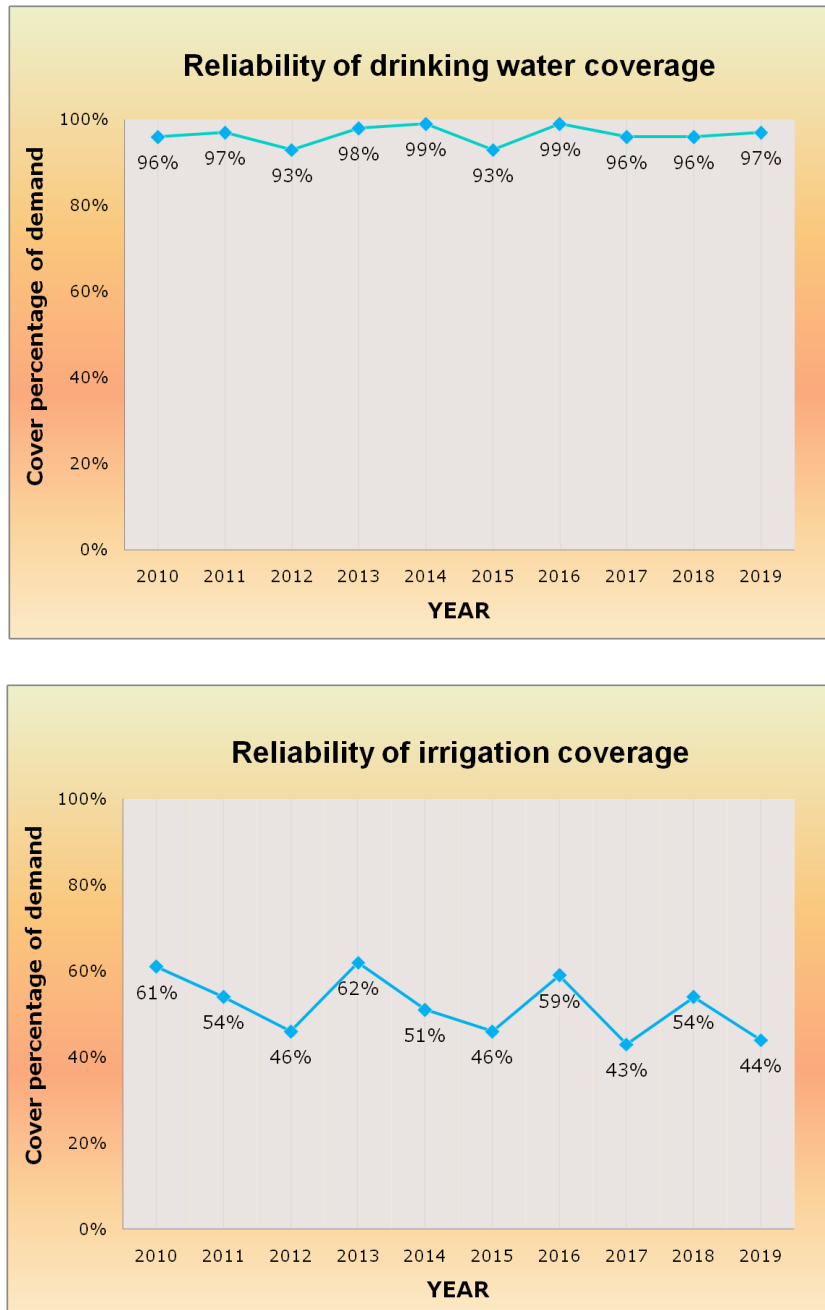


Figure 8 – Reliability of the hybrid system

Another sensitivity analysis was performed based on population change. Figure 9 shows the variation of the system reliability according to possible changes of 5, 10 and 30% due to the refugee and immigration issue.

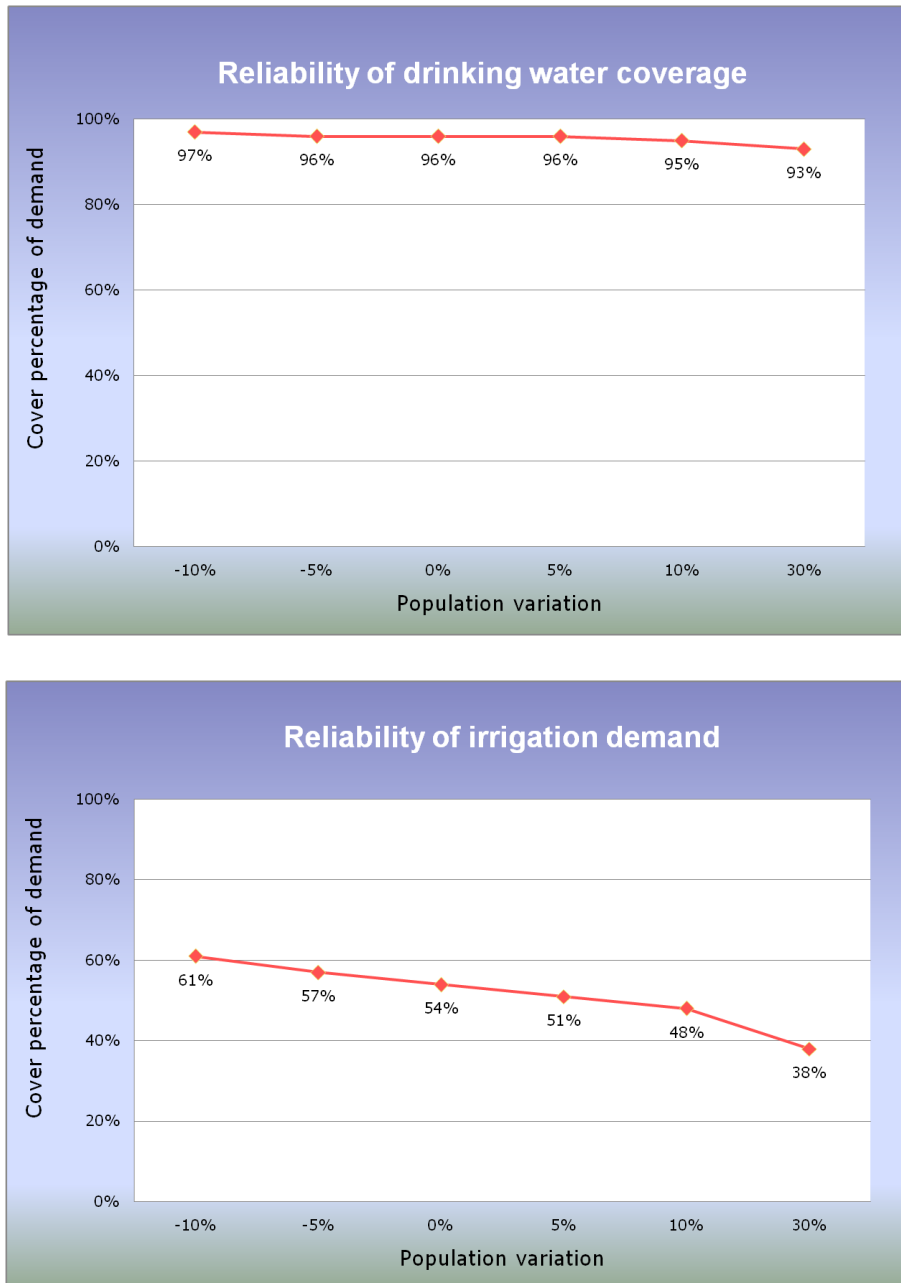


Figure 9 - Reliability of the hybrid system



## **Conclusions – Future Research**

The research was based on the review of the study area and its special characteristics, in order to identify the water supply problems and the current situation of the island. So the main conclusions that emerged from the first step of this complex process are the following:

- Especially in the Aegean islands, the installation of hybrid projects appears to be demanding, as the cost of energy production as well as the cost of transported water are a clear loss.
- The particularly high wind potential of the Aegean islands, make them a good enough base to pave the way for the utilization of renewable energy sources and the development of hybrid systems.
- The low rainfall rates as well as the brackish groundwater intensify the problem of meeting the demand of irrigation.
- The intense variation of the population of Symi through the year, can lead to the installation of oversized units in terms of capacity, which do not fully utilize their potential, except in the summer peak months of demand.
- The relief of Symi was quite beneficial for the location of the system facilities. To be precise, the high altitudes of the island lead to better utilization of the winds. Furthermore, high altitudes contribute positively at the installation of the reversible hydroelectric power station. However, the presence of several protected areas has restricts the available potential sites.

The following is a commentary on the results regarding the efficiency of the hybrid system:

- The inability of the system to respond occurs in the summer months when the population escalates cause of the tourism and the irrigation needs are increased due to low rainfall.
- The island manages to be autonomous in terms of water transport by tankers. This way Symi is relieved of an extremely serious financial burden. Regarding the energy required by the desalination plant for its operation, the

island also manages to be independent from the PPC network 95% of the days of the year.

- Irrigation on the other hand requires huge amounts of water compared to water supply. As a result, 62% of the days of the irrigation year will have to be met by other means to meet the needs, such as drilling or local rain tanks.
- The contribution of the hydroturbine is higher in percentage for the coverage of drinking water supply (7%) in relation to irrigation (1%), because of the large quantities of water required for irrigation.
- The sensitivity analysis of the hybrid system, both in terms of wind data and in terms of population, showed almost stable performance as far as concerns the drinking water supply. On the other hand, the cover percentage of irrigation needs is comparatively much more volatile, a fact expected due to the large difference in the required amounts of water.

According to the results and conclusions that emerged from the completion of this study, reasonable issues arise that need future research. Initially, the collection of data on population, weather, water / irrigation consumption, etc., should be based on on-site records of the island itself in order to be able to extract more accurate results. At the same time, issues of location, sizing of tanks and pumping stations need further research in order to optimize the system. An interesting proposal for a future research would be the penetration of other forms of RES to the hybrid system, such as PV. Finally, the evaluation of such a hybrid system, would be more accurate in combination with financial conditions.

## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	1
1.1	Αντικείμενο – Σκοπός της Εργασίας .....	1
1.2	Διάρθρωση της Εργασίας .....	2
2.	Περιοχή Μελέτης.....	4
2.1	Μορφολογία .....	4
2.2	Ιστορία .....	5
2.3	Αρχαιολογικοί χώροι .....	5
2.4	Πληθυσμός και οικισμοί .....	6
2.5	Χρήσεις Γής .....	8
2.6	Τοπίο και Οικοσύστημα .....	8
2.7	Υποδομές .....	16
2.8	Ηλεκτρική ενέργεια.....	17
2.9	Ύδρευση – Άρδευση.....	18
2.10	Κλίμα .....	18
2.11	Οικονομικές Δραστηριότητες .....	20
3.	Υβριδικά Συστήματα .....	22
3.1	Περιγραφή και Πλεονεκτήματα.....	22
3.2	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	23
3.2.1	Κυριότερες Μορφές.....	23
3.2.2	Αιολική ενέργεια .....	25
3.2.3	Υδραυλική ενέργεια .....	29
3.3	Αποθήκευση Ενέργειας και Υδροηλεκτρικά Έργα.....	31
3.3.1	Αντλησιοταμίευση.....	31
3.3.2	Υδροστρόβιλοι.....	32
3.4	Αφαλάτωση.....	35
3.4.1	Ορισμός.....	35

3.4.2	Υφιστάμενη Κατάσταση.....	35
3.4.3	Τεχνολογίες Αφαλάτωσης .....	37
3.5	Εφαρμογές Υβριδικών Συστημάτων στην Ελλάδα .....	41
4.	Δεδομένα – Μεθοδολογία .....	46
4.1	Τεχνική Περιγραφή Έργου.....	46
4.2	Πρόταση Θέσης Εγκαταστάσεων.....	49
4.3	Εκτίμηση Ζήτησης Όγκου Νερού .....	52
4.3.1	Ύδρευση .....	52
4.3.2	Άρδευση .....	55
4.4	Αιολικό Δυναμικό .....	58
4.5	Στοιχεία Υδροηλεκτρικού Έργου .....	61
5.	Αποτελέσματα.....	64
6.	Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα .....	75
7.	Βιβλιογραφία.....	80

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Αντικείμενο – Σκοπός της Εργασίας

Το βασικότερο ζήτημα που επιχειρεί να θίξει η παρούσα διπλωματική εργασία είναι το πρόβλημα της λειψυδρίας και πως τα υβριδικά συστήματα θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια βιώσιμη λύση. Ειδικότερα, εξετάζοντας το νησί της Σύμης, διερευνάται το καθεστώς υδροδότησης υπό το οποίο λειτουργούν και αναπτύσσονται, όχι μόνο αυτό, αλλά τα περισσότερα άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Η Σύμη εντάσσεται στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων και αδιαμφισβήτητα αποτελεί κομμάτι των ευαίσθητων νησιωτικών περιοχών.

Πρόκειται για μικρά, μη διασυνδεδεμένα και απομακρυσμένα νησιά, που καλούνται να ξεπεράσουν πολλές προκλήσεις για την επιβίωση και την ανάπτυξή τους. Από τη μία οι τοπικοί συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας και από την άλλη οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού με δεξαμενόπλοια, αποτελούν πέρα από περιβαλλοντικό, και οικονομικό αδιέξοδο για την εξέλιξη του νησιωτικού χώρου.

Συνεπώς, η παρακάτω μελέτη προσανατολίζεται στην αξιοποίηση των φυσικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, με στόχο την ενεργειακή κάλυψη μονάδων αφαλάτωσης, έτσι ώστε να βρεθεί ικανοποιητική απάντηση απέναντι στο πρόβλημα της έλλειψης υδατικών πόρων.

Συγκεκριμένα, διερευνάται μία πρόταση εγκατάστασης, αλλά και ο ορθότερος τρόπος διαχείρισης ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με σκοπό τη μέγιστη αποδοτικότητα σχετικά με την κάλυψη των υδατικών αναγκών στο νησί της Σύμης.

Με στόχο λοιπόν την αξιολόγηση των δυνατοτήτων που αφορούν την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών, πραγματοποιήθηκε σε μοντέλο προσομοίωσης μια αναπαράσταση της λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος, αποτελούμενο από ένα αιολικό πάρκο, ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο και μονάδες αφαλάτωσης με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης.

## 1.2 Διάρθρωση της Εργασίας

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν αρκετές προεκτάσεις της εφαρμογής και λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Σύμη. Παρακάτω ακολουθεί μια περιγραφή των κεφαλαίων στα οποία διαχωρίστηκε το τεύχος.

Αρχικά, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα αναφέρονται στοιχεία μορφολογίας, διοίκησης, ιστορίας και αρχαιολογίας, χρήσεων γης, υποδομών, όπως και οικονομικά, δημογραφικά και κλιματολογικά στοιχεία.

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι κυρίως βιβλιογραφικό και ξεκινώντας αποσαφηνίζει την έννοια ενός υβριδικού συστήματος και αναφέρει τα πλεονεκτήματά του. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις κύριες μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ιδιαίτερη σημείωση στην αιολική και την υδραυλική ενέργεια, καθώς αυτές χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο έργο. Παράλληλα, εξηγείται η έννοια της μεθόδου της αντλησιοτεμείωσης που βρίσκει εφαρμογή στα υδροηλεκτρικά έργα, με σκοπό την αποθήκευση ενέργειας. Έπειτα, γίνεται κατηγοριοποίηση των μεθόδων αφαλάτωσης, ενώ μεγαλύτερη βάση δίνεται στην τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης. Τέλος, παρουσιάζονται συνοπτικά εγχειρήματα υβριδικών συστημάτων που έχουν εφαρμοστεί στο χώρο της Ελλάδας.

Στη συνέχεια, στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παραθέτονται στοιχεία που αποτελούν προτάσεις για την τεχνική υποδομή του υβριδικού συστήματος, τη χωροθέτηση και τον τρόπο λειτουργίας και διαχείρισής του. Επιπλέον, προσδιορίζεται η ζήτηση όγκου νερού τόσο για την ύδρευση, όσο και για την άρδευση. Τέλος, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης, σχετικά με τα ανεμολογικά δεδομένα, αλλά και στοιχεία που αφορούν το υδροηλεκτρικό έργο.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από την προσομοίωση του μοντέλου, σχετικά με την αποδοτικότητα του υβριδικού συστήματος, για το έτος αναφοράς 2018. Ύστερα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας του συστήματος ως προς τα ανεμολογικά και ως προς τα πληθυσμιακά δεδομένα.

Τέλος, το 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποτελείται από τα κύρια συμπεράσματα που εκτιμήθηκαν με βάση τόσο τα δεδομένα όσο και τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακόμα, παραθέτονται προτάσεις για ζητήματα που χρήζουν μελλοντικής έρευνας με στόχο τη βελτιστοποίηση ή ακόμη και την επέκταση του υβριδικού συστήματος.

## 2. Περιοχή Μελέτης

### 2.1 Μορφολογία



Σχήμα 2.1 - Αεροφωτογραφία της Σύμης (Πηγή : [http://www.osymi.gr/proti\\_selida.htm](http://www.osymi.gr/proti_selida.htm))

Το νησί της Σύμης βρίσκεται στο Αιγαίο πέλαγος και συγκεκριμένα ανήκει στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων. Είναι το όγδοο μεγαλύτερο σε μέγεθος αυτών με τη συνολική του έκταση φτάνει τα 65,3 km<sup>2</sup> ενώ η ακτογραμμή του εκτείνεται σε μήκος 86 km.

Η Σύμη απέχει περίπου 12 μίλια από τη Ρόδο και μόλις 4 μίλια από τα παράλια της Τουρκίας. Πέραν αυτών, η Σύμη περιβάλλεται από πλήθος νησίδων με κυριότερες τη Νίμο στα βόρεια και το Σεσκλί στα νότια, καθώς επίσης και από αρκετές βραχονησίδες όπως ο Χονδρός, η Πλάτη και η Οξειά. Το νησί είναι έτσι διαμορφωμένο ώστε να σχηματίζονται πολλοί όρμοι και φυσικά λιμάνια όπως αυτά του Γιαλού και του Πανορμίτη.

Το ανάγλυφο είναι κατά κύριο λόγο ορεινό με υψηλότερη κορυφή τη Βίγλα η οποία τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα του νησιού και έχει υψόμετρο 617 m.



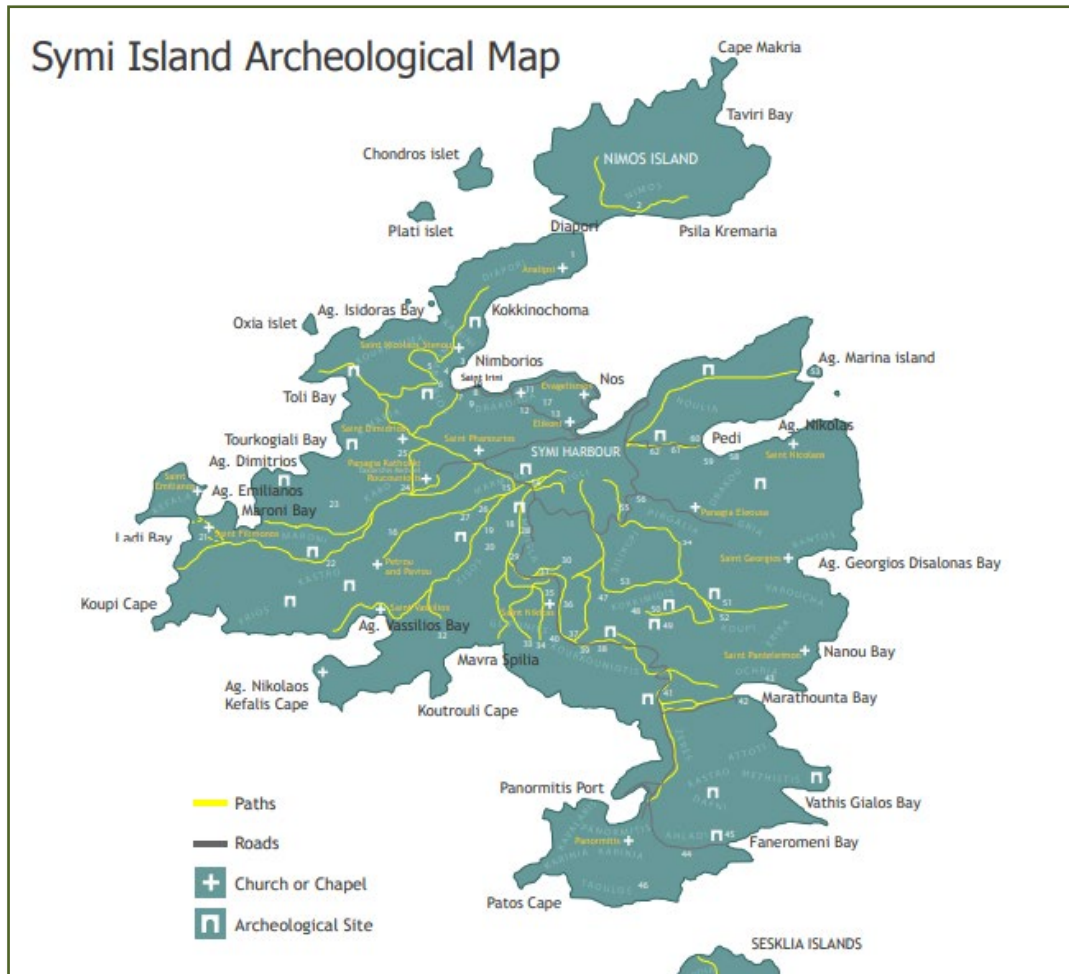
Το βουνό της Βίγλας ουσιαστικά χωρίζει το νησί σε δύο μέρη, το βόρειο και το νότιο, με το πρώτο να είναι πιο πεδινό (Google Earth).

## 2.2 Ιστορία

Η ιστορία της Σύμης ξεκινά από τα αρχαία κίονα χρόνια όπου σύμφωνα με τη μυθολογία στο νησί αυτό γεννήθηκαν οι Τρεις Χάριτες. Λέγεται πως το όνομα της το οφείλει στην ομώνυμη Νύμφη Σύμη η οποία ζευγάρωσε εκεί με το θεό Ποσειδώνα και γέννησε τον Χθόνιο που φημολογείται πως ήταν ο πρώτος κάτοικος του νησιού. Μετέπειτα κατά πάσα πιθανότητα οι λαοί που πρωτοκατοίκησαν στην περιοχή προέρχονταν από τη Μικρά Ασία (Δήμος Σύμης).

## 2.3 Αρχαιολογικοί χώροι

Ολόκληρη η Σύμη αλλά και τα νησάκια που βρίσκονται γύρω από αυτήν κηρύχθηκαν αρχαιολογικοί χώροι από το Κεντρικό Αρχαιολογικό Συμβούλιο, καθώς περιλαμβάνουν 159 θέσεις —χώρους και μνημεία— που καταγράφουν την ιστορία της περιοχής από την Προϊστορική εποχή ως τα νεότερα χρόνια. Να σημειωθεί ότι οι οικισμοί του νησιού έχουν χαρακτηριστεί εδώ και χρόνια διατηρητέοι λόγω της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής τους, παραδοσιακής και νεοκλασικής. Η νέα κήρυξη όμως περιλαμβάνει όλο το νησί, καθώς κατάλοιπα διαφορετικών εποχών εντοπίζονται σχεδόν παντού. Επιπλέον, αρχαιολογικοί χώροι κηρύχθηκαν και οι νησίδες Νίμος, Αγία Μαρίνα, Σεσκλί, Κουλουντρός, Αρτικονήσι, Τρούμπετο, Πήδημα και Μαρμαράς (Περιοδικό «Αρχαιολογία και Τέχνες»).



Σχήμα 2.2 - Αρχαιολογικός χάρτης Σύμης ( Πηγή : <https://www.kalodoukas.gr/el/diakopes-sym/xartes-tis-symis/>)

## 2.4 Πληθυσμός και οικισμοί

Σύμφωνα με το Σχέδιο Καλλικράτης (2011) η Σύμη ανήκει στο Δήμο Σύμης, της Περιφερειακής Ενότητας Ρόδου, του Νομού Δωδεκανήσου, της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου. Με βάση την απογραφή του μόνιμου πληθυσμού του έτους 2011, στο Δήμο Σύμης καταμετρήθηκαν 2590 μόνιμοι κάτοικοι (ΕΛ.ΣΤΑΤ, 2011). Υπολογίζεται μάλιστα ότι περίπου το 5% των κατοίκων αυτών είναι άλλης εθνικότητας και κατά κύριο λόγο Άγγλοι. Επιπλέον, το μεγαλύτερο κομμάτι του πληθυσμού φαίνεται να είναι συγκεντρωμένο στον οικισμό του Γιαλού.



Σχήμα 2.3 - Οικισμοί της Σύμης (Πηγή : <http://www.symimap.com/>)

Η Σύμη αποτελείται από πέντε οικισμούς, με πρωτεύουσα της να θεωρείται η Χώρα στα βόρεια του νησιού, η οποία περιλαμβάνει δύο από τους οικισμούς αυτούς. Συγκεκριμένα, ένας από τους δύο παραπάνω είναι το Χωριό ή αλλιώς Άνω Σύμη, ο οποίος είναι χτισμένος επάνω σε λόφους, περιμετρικά του κάστρου. Αυτός είναι ο παλαιότερος οικισμός, κάτι που φανερώνεται και από την τοποθεσία του, καθώς χτίστηκε εκεί για αμυντικούς κυρίως λόγους. Αργότερα, το Χωριό άρχισε να επεκτείνεται προς την ακτή και το φυσικό λιμάνι της περιοχής. Αυτό δεν είναι άλλο παρά ο Γιαλός που αποτελεί μέχρι και σήμερα το κύριο λιμάνι του νησιού. Με την πάροδο των χρόνων ο Γιαλός άκμαζε λόγω των εμπορών και των ναυτικών που αποφάσιζαν να εγκατασταθούν εκεί. Στην παρούσα χρονική περίοδο είναι το μεγαλύτερο τουριστικό κέντρο του νησιού. Τους δύο αυτούς οικισμούς συνδέουν 500

πέτρινα σκαλιά, ο κάποτε εμπορικός δρόμος της περιοχής. Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως χάρη στην ιδιαίτερη και αρχοντική αρχιτεκτονική της, η οποία αποτελεί σύνθεση διαφόρων στοιχείων, η Χώρα έχει κηρυχθεί διατηρητέος παραδοσιακός οικισμός.

Δυτικά της Χώρας βρίσκεται ο Εμπορείος, το δεύτερο λιμάνι του νησιού που συνεχώς αναπτύσσεται και μετατρέπεται σε πόλο έλξης τουριστών. Παρόμοια ανάπτυξη έχει και ο οικισμός Πέδι, 2 km ανατολικά της Χώρας. Τέλος, ο πέμπτος οικισμός είναι ο κόλπος του Πανορμίτη στο νοτιότερο δυτικό άκρο του νησιού, εκεί όπου βρίσκεται η Ιερά Μονή του Αρχαγγέλου Μιχαήλ (Δήμος Σύμης).

## 2.5 Χρήσεις Γής

Το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού καλύπτεται από φυσικές εκτάσεις (42%) και συγκεκριμένα δασώδεις, θαμνώδεις καθώς και εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση. Ακολουθούν οι γεωργικές περιοχές με πρώτες τις καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγραναπαύσεις (34%) και ύστερα τους δημοτικούς βοσκότοπους (18%). Μικρό ποσοστό καταλαμβάνουν οι τεχνητές περιοχές (1%) όπως η αστική οικοδόμηση και τα δίκτυα συγκοινωνιών όπως επίσης και άλλου είδους εκτάσεις (5%). Τέλος, στον παρακάτω πίνακα απεικονίζεται η κατανομή της συνολικής έκτασης του νησιού σε χιλιάδες στρέμματα.

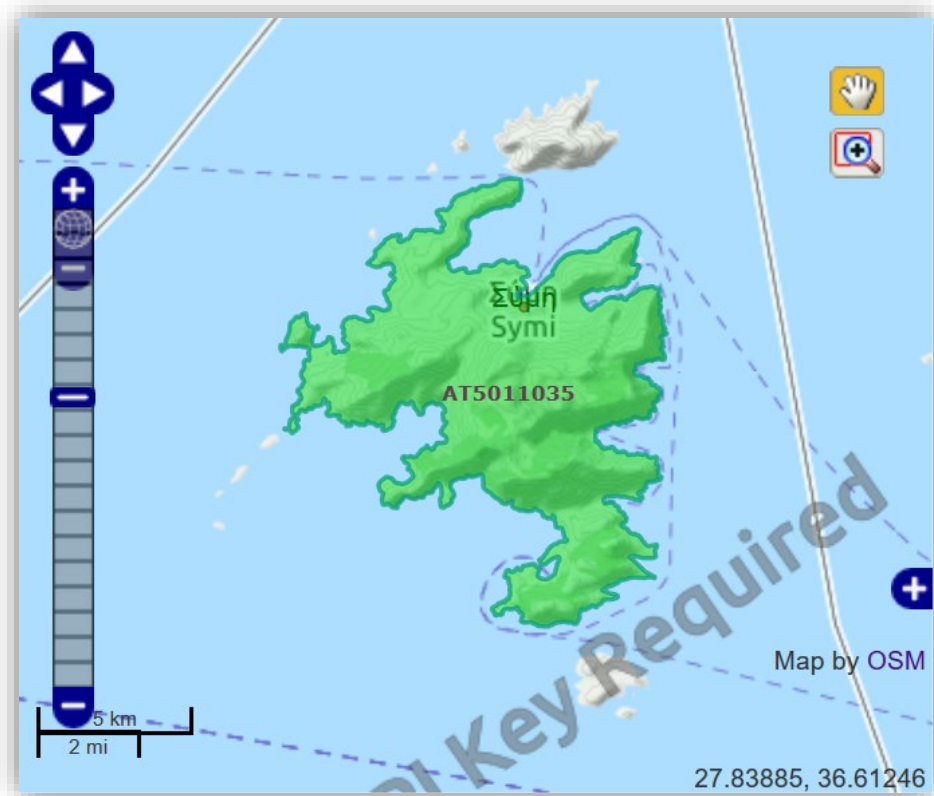
**Πίνακας 2.1 - Κατανομή εκτάσεων σε χιλιάδες στρέμματα (GEODATA, 2000)**

Δήμος	Σύνολο Εκτάσεων (km <sup>2</sup> )	Καλλιέργειες & Αγραναπαύσεις (km <sup>2</sup> )	Βοσκότοποι (km <sup>2</sup> )	Δάση (km <sup>2</sup> )	Τεχνητή Δόμηση (km <sup>2</sup> )	Άλλες Εκτάσεις (km <sup>2</sup> )
ΣΥΜΗΣ	65,3	22	11,8	27,6	0,6	3,3

## 2.6 Τοπίο και Οικοσύστημα

Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων ΦΙΛΟΤΙΣ σχετικά με τη φύση στον ελλαδικό χώρο, το νησί της Σύμης έχει χαρακτηριστεί ως Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ). Πιο συγκεκριμένα έτσι ονομάζεται ένας τόπος που διακρίνεται για την αισθητική του αξία και παραμένει σε αξιόλογο βαθμό

φυσικός, αν και συχνά είναι δομημένος. Κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν παραδοσιακούς οικισμούς, αρχαιολογικούς και ιστορικούς χώρους. Τα κριτήρια επιλογής και αξιολόγησης των ΤΙΦΚ συνδέονται με φυσικά και οικολογικά χαρακτηριστικά, όπως το ανάγλυφο, η χλωρίδα, η παρουσία πανίδας, τα νερά, οι μετεωρολογικές συνθήκες, η πανοραμική θέα και με ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, όπως η ύπαρξη μνημείων, η ιστορική αναφορά, ο παραδοσιακός χαρακτήρας, οι χρήσεις γης. Κριτήρια για την επιλογή ενός ΤΙΦΚ αποτελούν η δυνατότητα αναψυχής όπως για παράδειγμα ημερήσιες πεζοπορίες, η εκπαίδευση, αλλά και στοιχεία όπως η διαχρονικότητα, η αίσθηση φυγής ή απομόνωσης και η δημιουργία συναισθημάτων, η επαφή με την φύση και η δυνατότητα κατανόησης των διεργασιών αυτής. Θα πρέπει να αναφερθεί πως μεγάλο μέρος των ΤΙΦΚ απειλείται με υποβάθμιση, εξ αιτίας έντονων ανθρωπογενών πιέσεων, όπως η αυθαίρετη, αλόγιστη και ακαλαίσθητη δόμηση, η διάνοιξη δρόμων, ο ανεξέλεγκτος τουρισμός και άλλες καταστροφικές δραστηριότητες για τη φύση. Σε ένα έργο υβριδικού συστήματος είναι απαραίτητη η εκτενής μελέτη των περιοχών υπό προστασία με στόχο την ορθότερη επιλογή της τοποθεσίας των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, καθώς αυτές παρουσιάζονται ιδιαίτερα παρεμβατικές, ιδιαίτερα με την παρουσία ενός υδροηλεκτρικού έργου (ΦΙΛΟΤΗΣ).



Σχήμα 2.4 - Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους Σύμης (Πηγή : <https://filotis.itia.ntua.gr>)

#### Γενικά στοιχεία

Όνομα: Νήσος Σύμη

Κατηγορία Τόπου: Τοπίο (ΤΙΦΚ)

Κωδικός Τόπου: AT5011035

Κύριος Χαρακτήρας: Φυσικό Τοπίο, Δομημένο Τοπίο

Διοικητική Υποδιαίρεση: Νομός Δωδεκανήσου

Δήμος-Κοινότητα: Σύμης

Συνολική Έκταση (ha): 5799.87

Χερσαία Έκταση (ha): 5799.0

Συνολική Περίμετρος (km): 86.0

Μέγιστο Υψόμετρο (m): 617.0

Ένταξη στο Υπάρχον Θεσμικό Πλαίσιο: Διατηρητέος Οικισμός / Διατηρητέα Κτίσματα, Ιστορικός Τόπος, Παραδοσιακός Οικισμός

### Χαρακτηριστικά

Τύπος Τοπίου: Αμφιθεατρικός οικισμός πάνω από κόλπο, Εκκλησίες/Μοναστήρια, Ημιορεινό Τοπίο/Λόφοι, Κτίσματα Τουρκοκρατίας, Νεώτερα κτίσματα, Οικισμός κατά μήκος ακτής, Οικισμός σε αντίθεση με φυσικό τοπίο (π.χ. ασβέστης, κεραμίδι), Οικισμός σε πλαγιά λόφου, Οικισμός σε πρόποδες λόφου, Όρμος, Παραθαλάσσιο Τοπίο, Χωριό/Οικισμός

Κλίμα: Αραιές βροχοπτώσεις, Θερμό και ξηρό καλοκαίρι, Μεγάλη ηλιοφάνεια

Κατάσταση Τόπου: Καλή

Τάση Κατάστασης Τόπου: Σταθερότητα / Συντήρηση

Σημεία με καλή Θέα: Από το κάστρο

Μονοπάτια Περίπατοι: Μέσα στα δρομάκια της πόλης

Κοινωνικοοικονομική / πολιτιστική Αξία: Ιστορικό Ενδιαφέρον, Ιστορικός / Πολιτισμικός Τουρισμός, Λαογραφικό Ενδιαφέρον, Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική, Σύνδεση με Λαϊκή Παράδοση, Τουριστικό ενδιαφέρον

Αισθητική Αξία: Ενδιαφέροντα Φυσικά, Οικολογικά, Γεωμορφολογικά Στοιχεία, Καλαίσθητα Ανθρωπογενή Στοιχεία, Πανοραμική θέα

Σχόλιο για τις αξίες: Είναι πρωτεύουσα του νησιού. Οι περισσότεροι κάτοικοι ασχολούνται με τα ναυτικά επαγγέλματα και τον τουρισμό. Υπάρχει γυναικείος χειροτεχνικός συνεταιρισμός.

### Κίνδυνοι

Απειλές / διαταραχές: Τουρισμός

Σχόλιο για τις απειλές-διαταραχές: Τρωτότητα

Προτεραιότητα προστασίας: Πρωτεύουσα

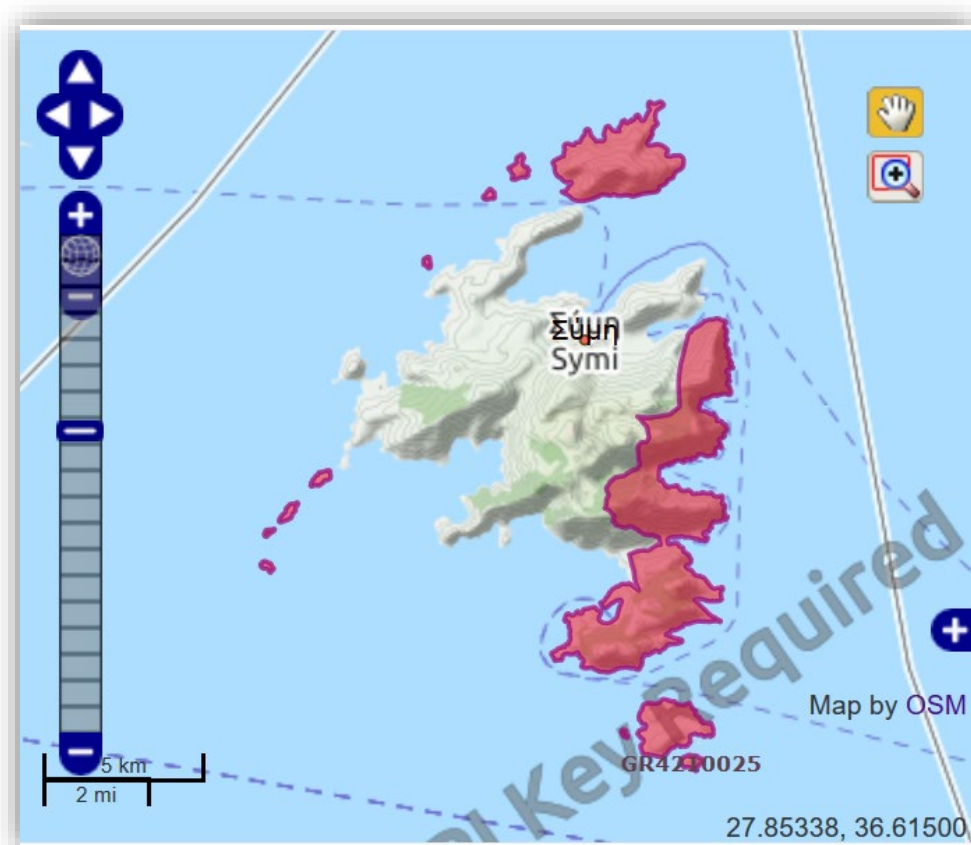
### Πανίδα και Χλωρίδα

Αξιόλογα Φυτά: *Biarum davisii davisii*, *Colchicum macrophyllum*, *Cyclamen persicum*, *Origanum symes*

Αξιόλογα Αμφίβια / Ερπετά: *Ablepharus kitaibelii kitaibelii* (Αβλέφαρος), *Agama stellio stellio* (Κροκοδειλάκι), *Coluber jugularis jugularis* (Μαύρος ζαμενής), *Coluber nummifer* (Ζαμενής της Ρόδου), *Cyrtodactylus kotschy beutleri* (Κυρτοδάκτυλος του Μπέτλερ), *Eirenis modestus modestus* (Θαμνόφιδο), *Lacerta oertzeni pelasgiana* (Σαύρα της Ρόδου), *Mabuya aurata fellowsii* (Χρυσόσαυρα), *Ophisops elegans macrodactylus* (Οφίσωψ), *Vipera xanthina* (Οθωμανική οχιά)

Η ιεραρχία των βιότοπων σχετικά με τη σημαντικότητά τους εξαρτάται από την παρουσία σε αυτούς απειλούμενων ειδών της χλωρίδας και πανίδας. Απειλούμενα ονομάζονται τα είδη που κινδυνεύουν άμεσα προς εξαφάνιση (κινδυνεύοντα), αυτά που μπορεί να βρεθούν σε κατάσταση κινδύνου (τρωτά) και αυτά που είναι ευάλωτα διότι έχουν μικρούς πληθυσμούς (σπάνια). Η κατάσταση του οικολογικού πλούτου της ελληνικής φύσης παραμένει ακόμα σε καλά επίπεδα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, ωστόσο όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση των ΤΙΦΚ, η κατάσταση αυτή τείνει προς ραγδαία υποβάθμιση λόγω έγγειων βελτιώσεων, διάνοιξης ορεινών ή παράκτιων δρόμων, εκτεταμένης δόμησης, κατασκευής τεχνικών έργων με ανεπαρκείς περιβαλλοντικές προδιαγραφές, δασικών πυρκαγιών, υπερβόσκησης, παράνομης θήρας και αλιείας, ανεξέλεγκτης ανθρώπινης δραστηριότητας και ρύπανσης. Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά δίκτυα οι βιότοποι διακρίνονται σε CORINE και NATURA 2000. Το νησί της Σύμης διαθέτει τη δεύτερη κατηγορία καθώς και κάποιους άλλους βιότοπους που δεν αναφέρονται σε κάποιο από τα δύο παραπάνω προγράμματα (ΦΙΛΟΤΗΣ).





Σχήμα 2.5 - Βιότοπος NATURA2000 Σύμης (Πηγή : <https://filotis.itia.ntua.gr>)

### Γενικά Στοιχεία

Όνομα: Ανατολικό τμήμα νήσου Σύμης και νησίδες Κούλουνδρος, Σεσκλί, Τρουμπέτο, Μαρμαράς, Καραβαλονήσι, Μεγαλονήσι, Γαλεσινο, Οξειά, Χονδρός, Πλατύ, Νίμος

Κατηγορία Τόπου: Βιότοπος NATURA2000

Κωδικός Τόπου: GR4210025

Κύριος Χαρακτήρας: Βιότοπος

Διοικητική Υποδιάρρηση: Νομός Δωδεκανήσου

Συνολική Έκταση (ha): 2303.10

Χερσαία Έκταση (ha): 2303.1

Συνολική Περίμετρος (km): 70.7

Μέγιστο Υψόμετρο (m): 508.0

### Χαρακτηριστικά

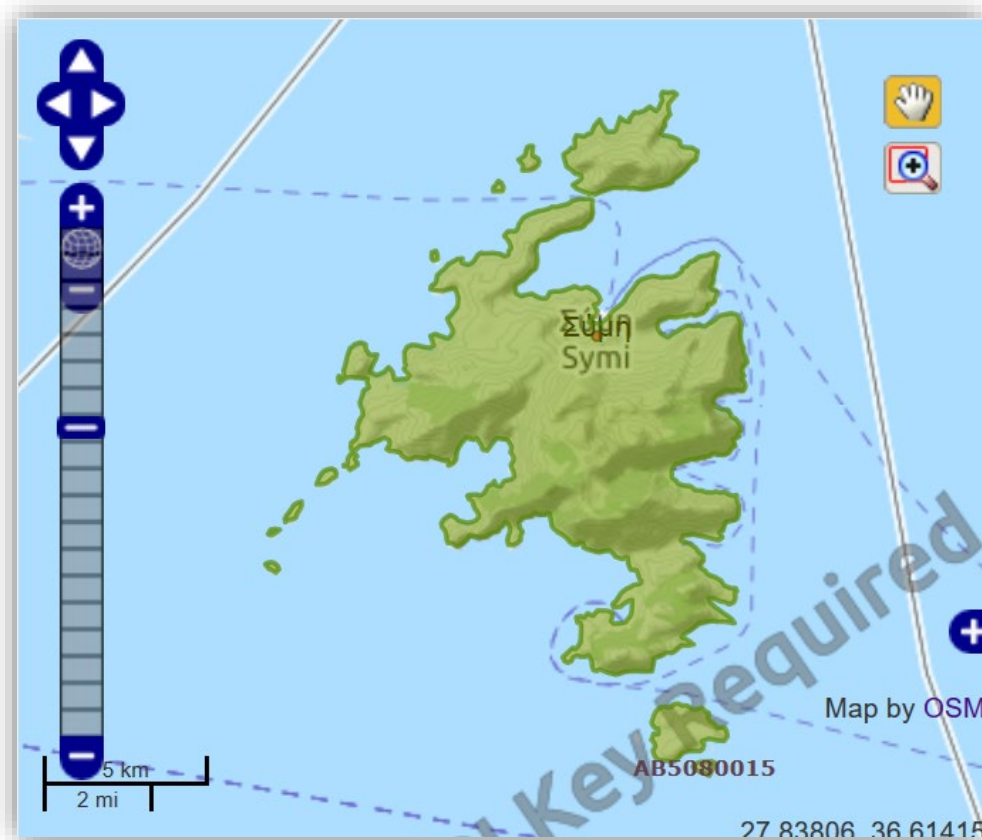
Περιγραφή Τόπου: Η περιοχή του βιοτόπου περιλαμβάνει μέρος από το νησί της Σύμης και κάποιες από τις νησίδες που το περιβάλλουν. Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται πετρώδες και το μεγαλύτερο μέρος καλύπτεται από δάσος κωνοφόρων.

### Κίνδυνοι

Τρωτότητα: Η αυξημένη αλιεία στην περιοχή και συγκεκριμένα με χρήση δυναμίτη αποτελεί σοβαρή διαταραχή.

### Πανίδα και Χλωρίδα

Αξιόλογα Πτηνά: *Anthus trivialis trivialis* (Δενδροκελάδα), *Apus apus apus* (Σταχτάρα), *Apus melba melba* (Σκεπαρνάς), *Apus pallidus illyricus* (Ωχροσταχτάρα), *Buteo rufinus rufinus* (Αητογερακίνα), *Calonectris diomedea* (Αρτέμης), *Delichon urbica urbica* (Σπιτοχελίδονο), *Falco eleonora* (Μαυροπετρίτης), *Falco peregrinus brookei* (Πετρίτης), *Hieraaetus fasciatus* (Σπιζαητός), *Hippolais olivetorum* (Λιοστριτισίδα), *Hippolais pallida elaeica* (Ωχροστριτισίδα), *Hirundo rustica rustica* (Χελιδόνι), *Hydrobates pelagicus* (Υδροβάτης), *Larus audouinii* (Αιγαιόγλαρος), *Motacilla alba alba* (Λευκοσουσουράδα), *Motacilla flava beema* (Κιτρινοσουσουράδα), *Muscicapa striata neumanni* (Σταχτομυγοχάφτης), *Oenanthe hispanica* (Ασπροκώλα), *Oenanthe oenanthe oenanthe* (Σταχτοπετρόκλης), *Otus scops* (Γκιώνης), *Phalacrocorax aristotelis* (Θαλασσοκόρακας), *Puffinus puffinus puffinus* (Μύχος), *Streptopelia turtur* (Τριγώνι), *Uruba erops erops* (Τσαλαπετεινός).



Σχήμα 2.6 - Άλλοι Βιότοποι Σύμης (Πηγή : <https://filotis.itia.ntua.gr>)

### Γενικά Στοιχεία

Όνομα: Νήσος Σύμη

Κατηγορία Τόπου: Άλλος Βιότοπος

Κωδικός Τόπου: AB5080015

Κύριος Χαρακτήρας: Βιότοπος, Φυσικό Τοπίο, Δομημένο Τοπίο

Διοικητική Υποδιαίρεση: Νομός Δωδεκανήσου

Συνολική Έκταση (ha): 6515.69

Συνολική Περίμετρος (km): 105.8

Μέγιστο Υψόμετρο (m): 627.0

## Χαρακτηριστικά

Κατάσταση Τόπου: Υποβαθμισμένη

Τάση Κατάστασης Τόπου: Σταθερότητα/Συντήρηση

## Αξίες

Οικολογική Αξία: Ενδημικά Είδη, Ερπετά, Κινδυνεύοντα Είδη Πανίδας, Σπάνια Είδη Πανίδας, Τρωτά Είδη Πανίδας, Τρωτά Είδη Χλωρίδας

## Κίνδυνοι

Προτεραιότητα προστασίας: Χωρίς Προτεραιότητα

## Πανίδα και Χλωρίδα

Αξιόλογα Φυτά: *Origanum symes*

Αξιόλογα Αμφίβια / Ερπετά: *Ablepharus kitaibelii kitaibelii* (Αβλέφαρος), *Agama stellio stellio* (Κροκοδειλάκι), *Coluber jugularis jugularis* (Μαύρος ζαμενής), *Coluber nummifer* (Ζαμενής της Ρόδου), *Cyrtodactylus kotschy beutleri* (Κυρτοδάκτυλος του Μπέτλερ), *Eirenis modestus modestus* (Θαμνόφιδο), *Lacerta oertzeni pelasgiana* (Σαύρα της Ρόδου), *Mabuya aurata fellowsii* (Χρυσόσαυρα), *Ophisops elegans macrodactylus* (Οφίσωψ), *Vipera xanthina* (Οθωμανική οχιά).

## **2.7 Υποδομές**

Το οδικό δίκτυο του νησιού αποτελείται από έναν κύριο δρόμο που αποτελεί τον βασικό οδικό άξονα και με παρακλάδια συνενώνει όλους τους οικισμούς. Η μετακίνηση στο νησί γίνεται μέσω Ι.Χ., ταξί αλλά και μέσω λεωφορείων όπως ορίζει η αστική (Γιαλός – Χωριό – Πέδι) και υπεραστική συγκοινωνία (Σύμη – Πανορμίτης).



**Σχήμα 2.7 - Το λιμάνι της Σύμης (Πηγή : <https://syymi.gr/>)**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η Σύμη διαθέτει δύο λιμάνια. Το κύριο λιμάνι είναι αυτό του Γιαλού στο οποίο ελλιμενίζονται επιβατικά πλοία των ακτοπλοϊκών γραμμών, εμπορικά και υδροφόρα πλοία. Τα πλοία που αναχωρούν από Πειραιά και οδηγούν στη Σύμη, ακολουθούν διαδρομή με στάσεις και σε άλλα νησιά, η οποία συνολικά διαρκεί 12 με 14 ώρες. Το δεύτερο λιμάνι του νησιού βρίσκεται στο Πέδι και αποτελεί καταφύγιο τουριστικών σκαφών αναψυχής (ΔΕΥΑΣ).

## **2.8 Ηλεκτρική ενέργεια**

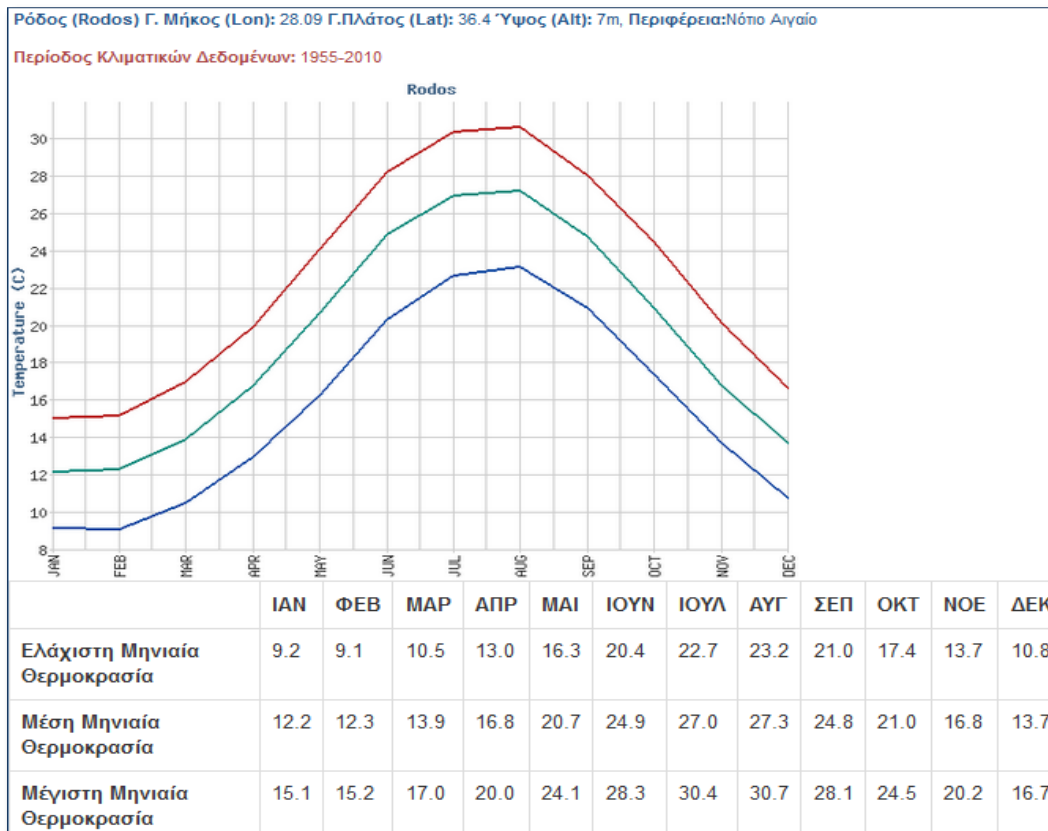
Το νησί της Σύμης διαθέτει Τοπικό Σταθμό Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που απαρτίζεται από εννέα γεννήτριες diesel με μέγιστη δυναμικότητα 6 MW συνολικά. Ο σταθμός αυτός είναι εγκατεστημένος σε έκταση περίπου 8000 m<sup>2</sup> και βρίσκεται στο ΒΑ κομμάτι του νησιού δίπλα από τον οικισμό Πέδι και περίπου 2 χλμ από το Χωριό. Επιπλέον, στο νησί λειτουργούν 3 Φ/Β σταθμοί συνολικής ισχύος 200 kW. Την τελευταία πενταετία κατά μέσο όρο η ζήτηση ενέργειας ενός έτους κυμαίνεται περίπου στις 16 GWh (ΔΕΥΑΣ).

## 2.9 Ύδρευση – Άρδευση

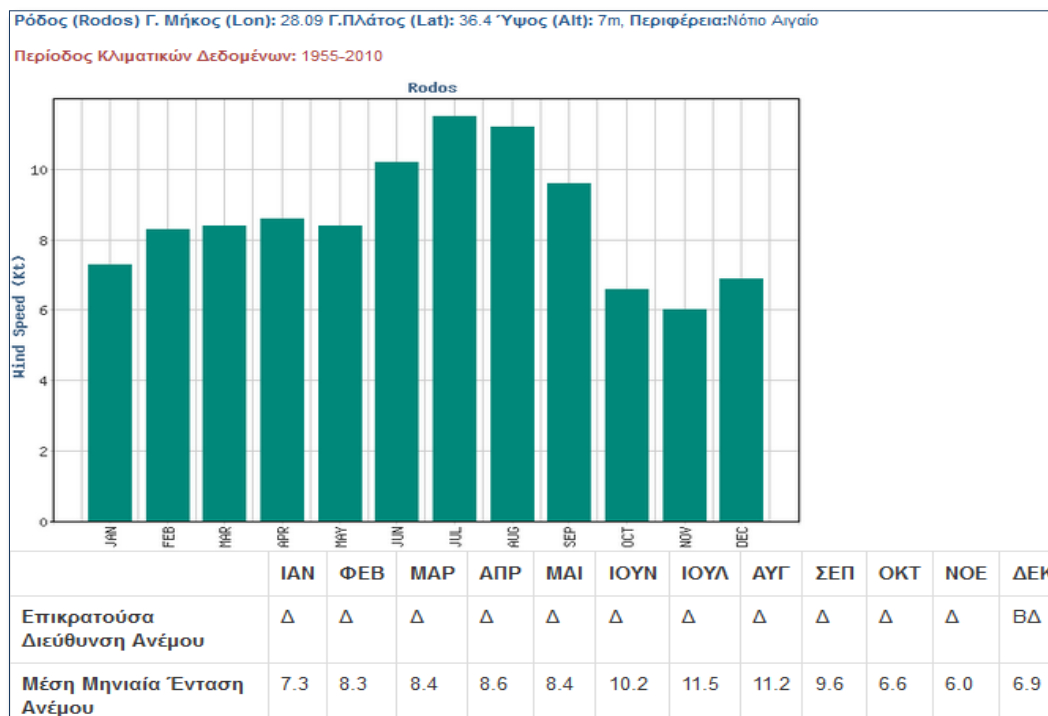
Στο νησί της Σύμης το 2009 εγκαταστάθηκε μονάδα αφαλάτωσης η οποία ύστερα από μια πυρκαγιά το 2013 έχει μείνει ανενεργή έως και σήμερα. Η υδροδότηση γίνεται κατά βάση με μεταφορά νερού μέσω δεξαμενόπλοιων από τη Ρόδο (ΔΕΥΑΣ). Δευτερεύοντα ρόλο παίζουν δεξαμενές συλλογής βρόχινου νερού ή τυχόν γεωτρήσεις, οι οποίες μάλιστα είναι αρκετά περιορισμένες κυρίως λόγω του υφάλμυρου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Περισσότερα στοιχεία για τη ζήτηση νερού του νησιού θα δοθούν παρακάτω.

## 2.10 Κλίμα

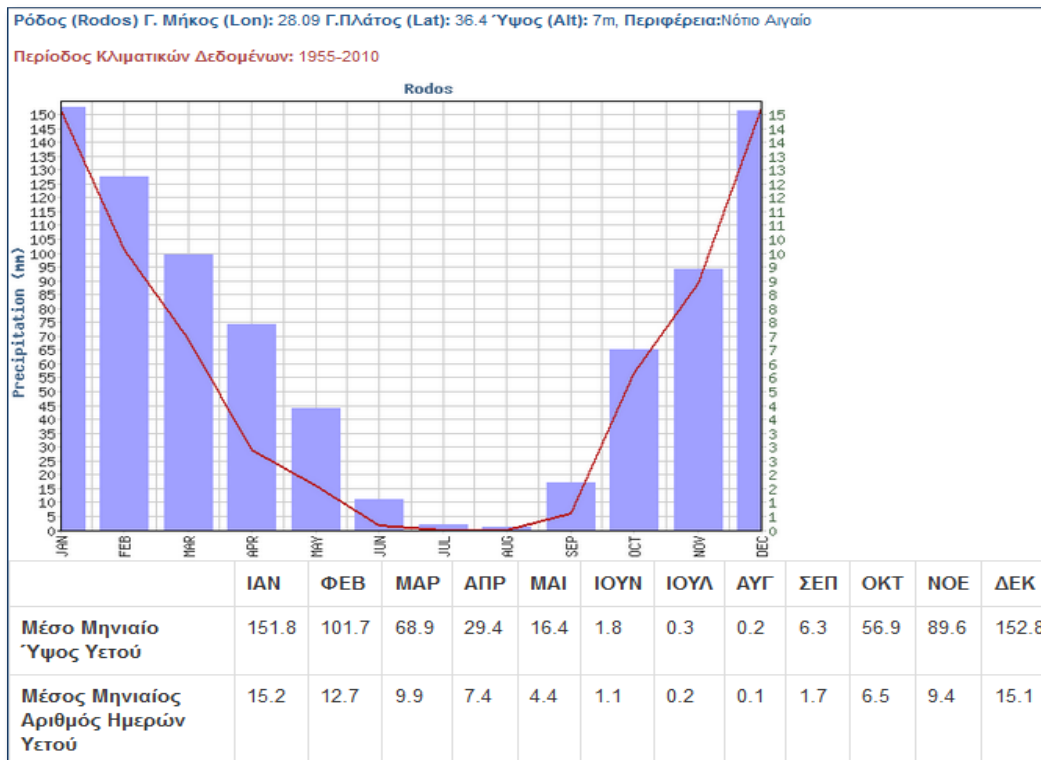
Το κλίμα του νησιού χαρακτηρίζεται μεσογειακό με θερμοκρασίες ήπιες. Κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρούνται αρκετές βροχοπτώσεις ενώ δεν έχουν σημειωθεί αξιόλογες χιονοπτώσεις. Τους θερινούς μήνες επικρατεί κυρίως ηλιοφάνεια και ξηρασία με τις βροχοπτώσεις να είναι μηδενικές ή σε κάθε περίπτωση ελάχιστες. Οι άνεμοι που επικρατούν στο νησί είναι οι βορειοδυτικοί, η ένταση και συχνότητα των οποίων θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Ο πλησιέστερος μετεωρολογικός σταθμός στο νησί της Σύμης, είναι αυτός της Ρόδου από όπου και πάρθηκαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας (ΕΜΥ).



Σχήμα 2.8 - Κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας (C) του μετεωρολογικού σταθμού της Ρόδου (Πηγή : Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία <http://www.hnms.grv>)



Σχήμα 2.9 - Κλιματικά δεδομένα ανέμου (knots) του μετεωρολογικού σταθμού της Ρόδου (Πηγή : Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία <http://www.hnms.grv>)



Σχήμα 2.10 - Κλιματικά δεδομένα υετού (mm) του μετεωρολογικού σταθμού της Ρόδου (Πηγή : Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία <http://www.hnms.gr>)

## 2.11 Οικονομικές Δραστηριότητες

Το μεγαλύτερο ποσοστό του ενεργού πληθυσμού του νησιού απασχολείται σε επιχειρήσεις και δραστηριότητες που συνδέονται κατά βάση άμεσα με τον τουρισμό. Η Σύμη αποτελεί τουριστικό πόλο έλξης λόγω της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής της καθώς επίσης προσελκύει και θρησκευτικούς τουρίστες για την επίσκεψη της Ιεράς Μονής του Πανορμίτη. Για την ακρίβεια πολλοί τουρίστες πετούν στη θάλασσα σφραγισμένα μπουκαλάκια με μηνύματα ή χρήματα ως τάμα, τα οποία συχνά βρίσκουν ντόπιοι στις ακτές της Ρόδου ή και της Κρήτης.





**Σχήμα 2.11 - Ιερά Μονή Πανορμίτη**  
(Πηγή : <http://www.symiacos.gr/taxidi.php?id=354>)

Συνηθισμένες είναι οι πολυήμερες αλλά και μονοήμερες εκδρομές από τα γύρω νησιά, ακόμα και από τα παράλια της Τουρκίας. Οι επισκέπτες της Σύμης θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε κάποιες κατηγορίες, όπως για παράδειγμα επισκέπτες τουριστικού ενδιαφέροντος που έρχονται για διαμονή, Συμιακούς της διασποράς, όπως επίσης και όσους διαθέτουν εξοχικές κατοικίες στο νησί. Μάλιστα αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη μικρών οικισμών οι οποίοι κατά τους χειμερινούς μήνες δεν έχουν μόνιμους κατοίκους, σε αντίθεση με την τουριστική περίοδο (Απρίλιος – Οκτώβριος) που κατακλύζονται από παραθεριστές. Τέλος θα μπορούσε κανείς να πει πως η Σύμη αποτελεί δημοφιλή προορισμό για όσους κατέχουν σκάφη αναψυχής χάρη στους όρμους και τις παραλίες εξαιρετικής ομορφιάς που είναι προσεγγίσιμες μόνο μέσω θαλάσσης.

Μικρότερη δραστηριότητα εμφανίζει η γεωργία, η κτηνοτροφία και η αλιεία ενώ επαγγέλματα όπως η ναυπηγική που άκμαζαν στο παρελθόν, έχουν πλέον περιοριστεί (Δήμος Σύμης).

### 3. Υβριδικά Συστήματα

#### 3.1 Περιγραφή και Πλεονεκτήματα

Ένα υβριδικό σύστημα παράγει ενέργεια χρησιμοποιώντας μία σύμπραξη τεχνολογιών, αξιοποιώντας δηλαδή δύο τουλάχιστον μορφές ενέργειας. Ως πηγές θεωρούνται ο άνεμος, ο ήλιος, η γεωθερμία, τα υδροηλεκτρικά έργα, ακόμα και τα ορυκτά καύσιμα. Στην προκειμένη, το σύστημα που αφορά το νησί της Σύμης μελετάται έτσι ώστε να αξιοποιεί συνδυασμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μόνο σε περίπτωση ανάγκης τον τοπικό σταθμό, πρόκειται δηλαδή για ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα. Το ζήτημα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έγκειται στο σημαντικό βαθμό αναξιπιστίας τους, με την έννοια της αδυναμίας παροχής ενέργειας είτε την απαιτούμενη στιγμή, είτε στην απαιτούμενη ποσότητα. Με το συνδυασμό τουλάχιστον δύο πηγών και συχνά με την αξιοποίηση μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας, τα υβριδικά συστήματα προσφέρουν αυξημένη ασφάλεια από τις τυχόν διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας ενός μόνο πόρου. Οι σύνθετες αυτές δομές διαφορετικών ενεργειακών συστημάτων, το καθένα με διαφορετική πηγή ενέργειας, λειτουργούν εφεδρικά σε περίπτωση βλάβης ή ελλείμματος και φαίνεται να αποτελούν την ασφαλέστερη επιλογή κάλυψης ενεργειακών αναγκών. Οι ανάγκες αυτές μπορούν να αφορούν την απευθείας διάθεση της ενέργειας για την κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης, αλλά και την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων μιας μονάδας αφαλάτωσης, όπως στην παρούσα εργασία.

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε απομακρυσμένες ηπειρωτικές περιοχές και σε νησιά που είναι μη διασυνδεδεμένα ή αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα, τόσο με το δίκτυο ηλεκτροδότησης όσο και με εκείνο της ύδρευσης. Με αυτό τον τρόπο και με σωστή διαχείριση του συστήματος αποφεύγονται γενικές διακοπές ρεύματος ή αδυναμία υδροδότησης, ειδικά τους τουριστικούς μήνες. Επιπλέον, χάρη στα υβριδικά συστήματα το κόστος του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος είτε ύδατος, παρουσιάζεται δραστικά μειωμένο σε σχέση με σημερινά δεδομένα που επικρατούν σε αυτούς τους τόπους. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί η μείωση των ρύπων που εκπέμπει ένας συμβατικός σταθμός. Από την άλλη

πλευρά, εφόσον αναφέρθηκε το περιβάλλον, πρέπει να σημειωθεί ότι επίκειται πιθανή αισθητική αλλοίωση του φυσικού τοπίου, ειδικά όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν και μέσα αποθήκευσης όπως υδροηλεκτρικά έργα. Παρόλα αυτά είναι εμφανές πως τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου έργου υπερτερούν κατά πολύ τα μειονεκτήματα τόσο μάλλον και σε βάθος χρόνου (Παπαευθυμίου, 2012).

## 3.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 3.2.1 Κυριότερες Μορφές

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται οι πηγές που αναδημιουργούνται από την φύση με αποτέλεσμα να θεωρούνται ανεξάντλητες σε σύγκριση με την κλίμακα της ανθρώπινης εποχής. Εδώ υπεισέρχονται οι όροι της βιώσιμης ενέργειας και της αειφόρου ανάπτυξης οι οποίες αναφέρονται σε μία διαδικασία παραγωγής και χρήσης της ενέργειας με τρόπο τέτοιο ώστε οι γενιές του σήμερα να ικανοποιούν τις ανάγκες τους χωρίς όμως να διακυβεύεται η δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους. Παρακάτω θα αναλυθούν συνοπτικά οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Μαμάσης, Στεφανάκος, 2019).

Ηλιακή Ενέργεια : Πρόκειται για την ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο σε μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες που μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά μεθόδους που μετατρέπουν την ενέργεια σε θερμότητα και η δεύτερη σε εκείνες που τη μετατρέπουν κατευθείαν σε ηλεκτρισμό. Συγκεκριμένα, τα ενεργητικά όπως και τα παθητικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Μάλιστα τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές τεχνικές ώστε να μεγιστοποιείται η απ' ευθείας εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό. Τέλος, τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία και μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται για συστήματα αρκετά αναπτυσσόμενα τα τελευταία χρόνια, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη

διασυνδεδεμένων με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο συστημάτων κατανάλωσης.



Σχήμα 3.1 -Φωτοβολταϊκό πάρκο (Πηγή : <http://www.energia.gr>)

Γεωθερμία : Αναφέρεται στην ενέργεια της θερμότητας που εμπεριέχεται σε ατμούς που προέρχονται από τη φύση και σε υπόγειους θερμούς υδροφόρους ορίζοντες.

Βιομάζα : Ως βιομάζα ορίζεται οποιοδήποτε προϊόν φυτικής ή ζωικής προέλευσης το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς. Για παράδειγμα ένας τρόπος χρήσης είναι η παραγωγή νέων τύπων καυσίμων, στερεών είτε υγρών, των βιοκαυσίμων. Επιπλέον, χρησιμεύει στην παραγωγή θερμικής ενέργειας η οποία με τη σειρά της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά πρόκειται για μια διαδικασία δημιουργίας ενέργειας μέσω της καύσης αποβλήτων.

Ωκεανική ενέργεια : Ανερχόμενες είναι οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται την δυνατότητα των υγρών ώστε να αντλούν ενέργεια από τα κύματα, τις παλίρροιες και τα ρεύματα των θαλασσών και των ωκεανών. Ένας ακόμη τρόπος να συμβεί αυτό είναι μέσω της διαφοράς στη συγκέντρωση άλατος μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού.

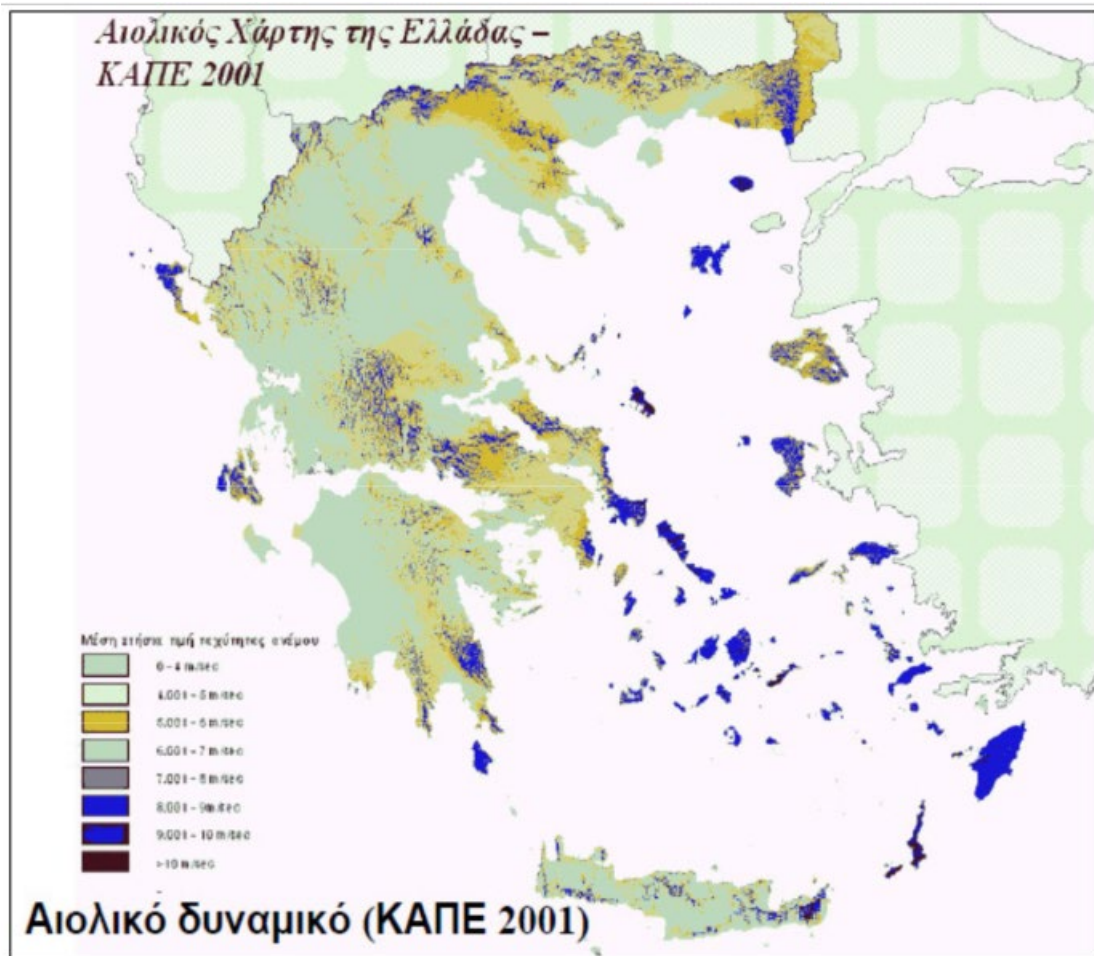
Η αιολική και η υδραυλική ενέργεια θα αναλυθούν σε ξεχωριστό κεφάλαιο καθώς αυτές είναι και οι δύο πηγές ενέργειας που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία.

### 3.2.2 Αιολική ενέργεια

Το συγκεκριμένο είδος ενέργειας χρησιμοποιείται από τους αρχαίους κιόλας χρόνους τόσο στη ναυσιπλοΐα και την κίνηση των πλοίων όσο και στη χρήση των ανεμόμυλων για άλεση σιτηρών ή για άντληση νερού. Ο πρώτος δε ανεμόμυλος με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε το 1888 στις Η.Π.Α.

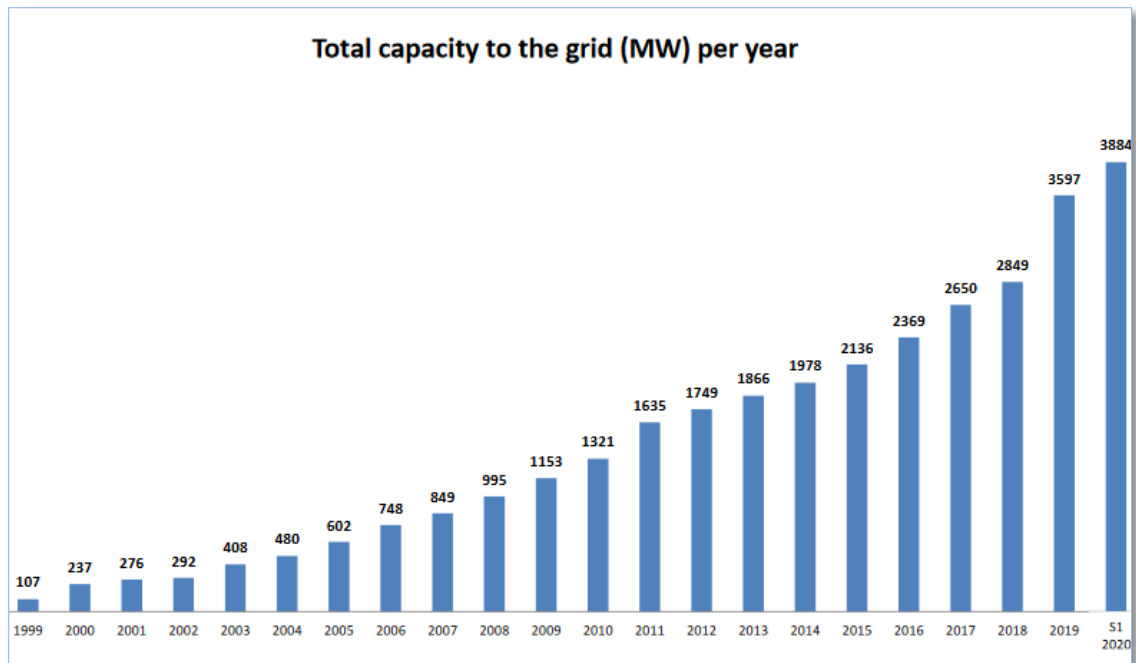
Σήμερα, οι δυνατότητες της αιολικής ενέργειας βρίσκουν άμεση εφαρμογή χάρη στο τεχνολογικό επίτευγμα που ονομάζεται ανεμογεννήτρια. Κάποια από τα βασικά μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών είναι η απότομη και έντονη μεταβλητότητα της παραγόμενης ισχύος, πράγμα που είναι δυνατό να προκαλέσει πρόβλημα στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, από περιβαλλοντική σκοπιά, ο εκπεμπόμενος θόρυβος και η πρόσκρουση πτηνών είναι σημεία που απαιτούν προσοχή, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην τοποθεσία εγκατάστασης και πολλές φορές αποτελούν τροχοπέδη στην ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Όσον αφορά στην οπτική όχληση, εν τέλει αυτό καταλήγει να αποτελεί καθαρά υποκειμενική άποψη ανάλογα με την αισθητική του εκάστοτε ανθρώπου (Παπαευθυμίου, 2012).

Παρά τα παραπάνω, η αιολική ενέργεια δεν παύει να αποτελεί μια ελεύθερη, άφθονη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, με χαμηλό λειτουργικό κόστος κατά την εκμετάλλευσή της. Ειδικότερα, η μορφολογία και η θέση της Ελλάδας προσφέρει αρκετά ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό με δυνατότητες άκρως σημαντικές για την ενεργειακή εξέλιξη του τόπου.



Σχήμα 3.2 - Αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

Έτσι, η διείσδυση της αιολικής ενέργειας παρουσιάζει αυξητική τάση τόσο παγκοσμίως όσο και σε εθνικό επίπεδο όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα σύμφωνα με την εγκατεστημένη ισχύ της Ελλάδας την τελευταία εικοσαετία.



**Σχήμα 3.3 - Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα ανά έτος (Πηγή : Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας)**

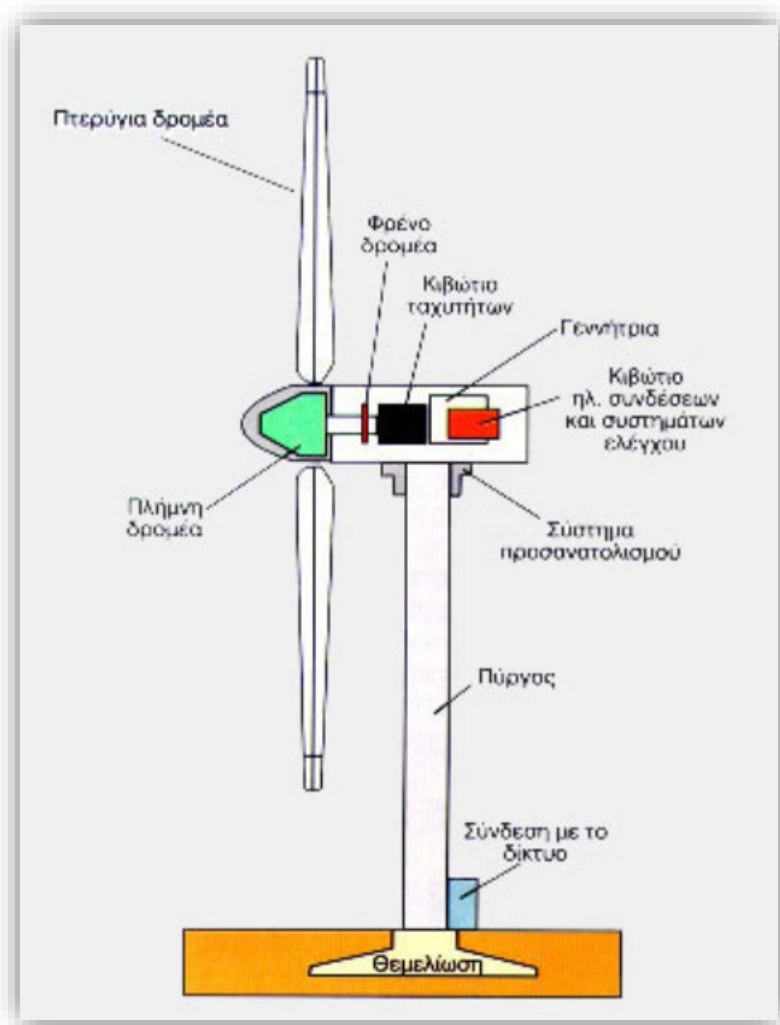
Σχετικά με τη λειτουργία των ανεμογεννητριών ενώ υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες, όλες τους κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Διαχωρίζονται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους, και σε ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους. Χωρίς κάποιον καθοριστικό λόγο πέραν της εμφάνισης, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Μια τυπική ανεμογεννήτρια αυτού του είδους αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήρη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά τους μεταβάλλοντας το βήμα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη

ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.

- Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- Το σύστημα προσανατολισμού, το οποίο αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της (ΚΑΠΕ).





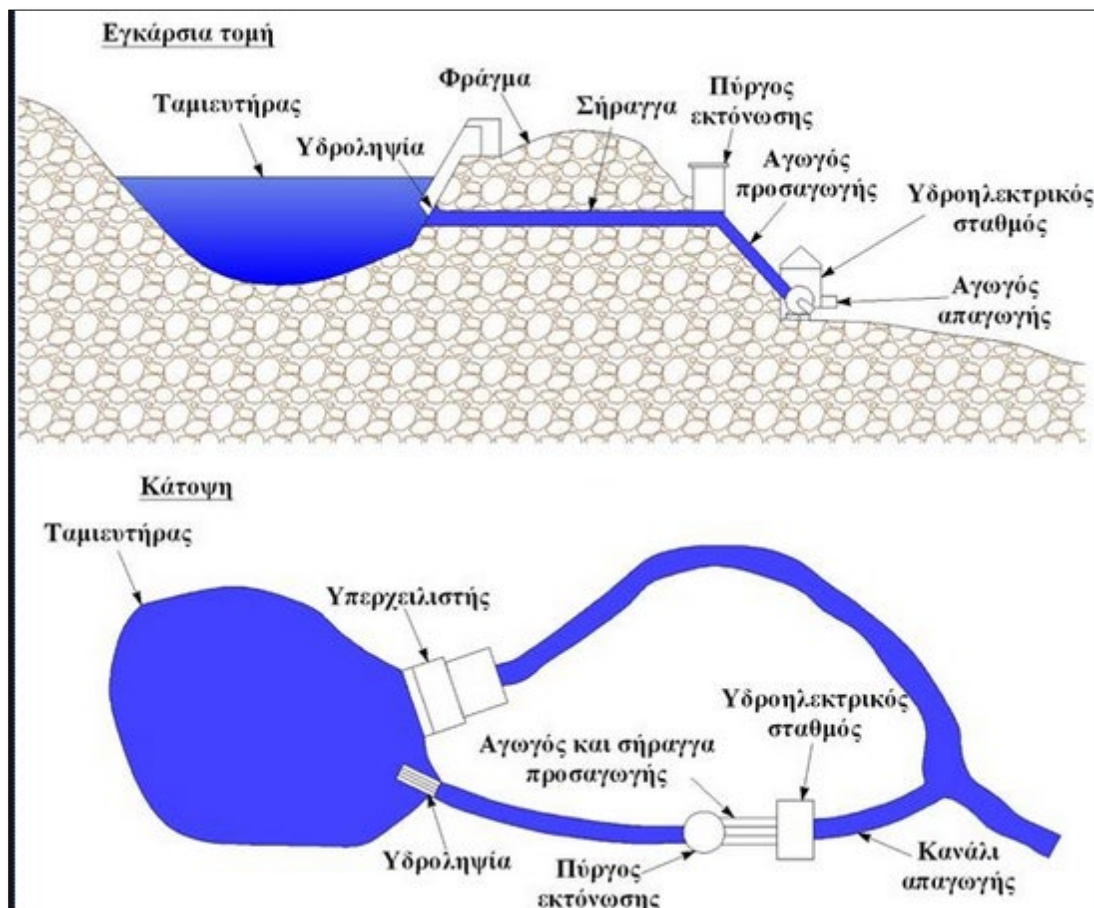
Σχήμα 3.4 - Βασική δομή ανεμογεννήτριας (Πηγή : ΚΑΠΕ)

### 3.2.3 Υδραυλική ενέργεια

Η υδραυλική ενέργεια αξιοποιεί την δυναμική των υδατοπτώσεων με στόχο την παραγωγή ηλεκτρισμού είτε μηχανικής ενέργειας. Πρακτικά εφαρμόζεται μέσω των υδροηλεκτρικών έργων από όπου η κινητική ενέργεια του ύδατος μετατρέπεται διαμέσου στροβίλων σε ηλεκτρική. Οι κυριότερες συνιστώσες ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι οι εξής :

- Το φράγμα, δηλαδή η δεξαμενή νερού που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την αύξηση του ύψους πτώσης του νερού.

- Η περιοχή υδροληψίας όπου κατά την είσοδο απομακρύνονται ογκώδη απορρίμματα με την βοήθεια εσχάρων και επιτυγχάνεται η ομαλή είσοδος του νερού.
- Ο αγωγός πτώσης που οδηγεί το νερό στους υδροτροβίλους (τουρμπίνες).
- Ο υδροηλεκτρικός σταθμός (ΥΗΣ) με όλο τον απαραίτητο εκείνο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο αγωγός φυγής που οδηγεί το εξερχόμενο νερό από τους υδροτροβίλους, πίσω στο φυσικό περιβάλλον όπου μετά την εκτροπή, συνεχίζεται η ροή του προϋπάρχοντος συνήθως ποταμού (Ρίππη, 2013).



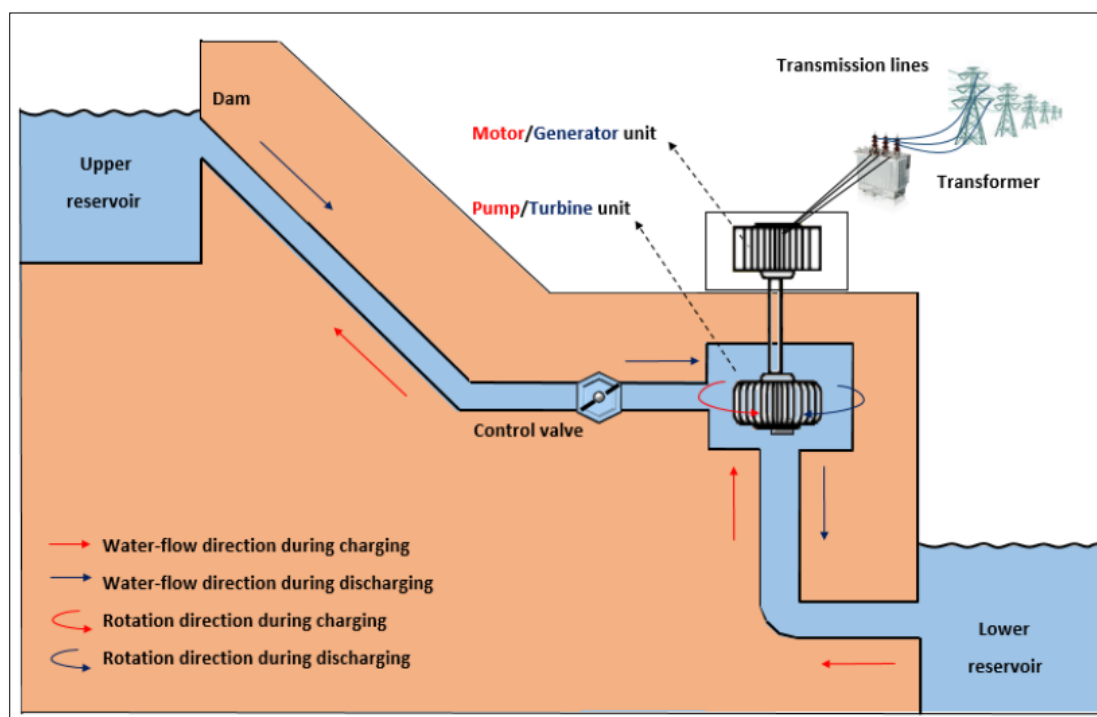
Σχήμα 3.5 - Διάταξη υδροηλεκτρικού έργου (Πηγή : Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Heal-link)

Τα φράγματα και οι τεχνητές λίμνες σε ικανοποιητικά υψόμετρα, στην πραγματικότητα ισοδυναμούν όχι μόνο με αποταμίευση νερού, αλλά πρακτικά και με αποταμίευση ενέργειας. Για αυτό το σκοπό απαιτείται συγκεκριμένη διαχείριση της λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού, η οποία θα περιγραφεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

### 3.3 Αποθήκευση Ενέργειας και Υδροηλεκτρικά Έργα

#### 3.3.1 Αντλησιοταμίευση

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν ανεξάντλητη πηγή. Ωστόσο, συχνά τίθεται θέμα αδυναμίας παραγωγής ενέργειας την χρονική στιγμή και στην ποσότητα που απαιτείται. Για αυτό το λόγο, καθίσταται αναγκαία η ανάπτυξη συστημάτων και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας και μάλιστα για περιπτώσεις ζήτησης μεγάλης κλίμακας. Η αντλησιοταμίευση λοιπόν, αποτελεί μια αρκετά διαδεδομένη μέθοδο η οποία εφαρμόζεται στα υδροηλεκτρικά έργα και είναι σημαντικά αποδοτική και βιώσιμη στο θέμα της αποθήκευσης ενέργειας.

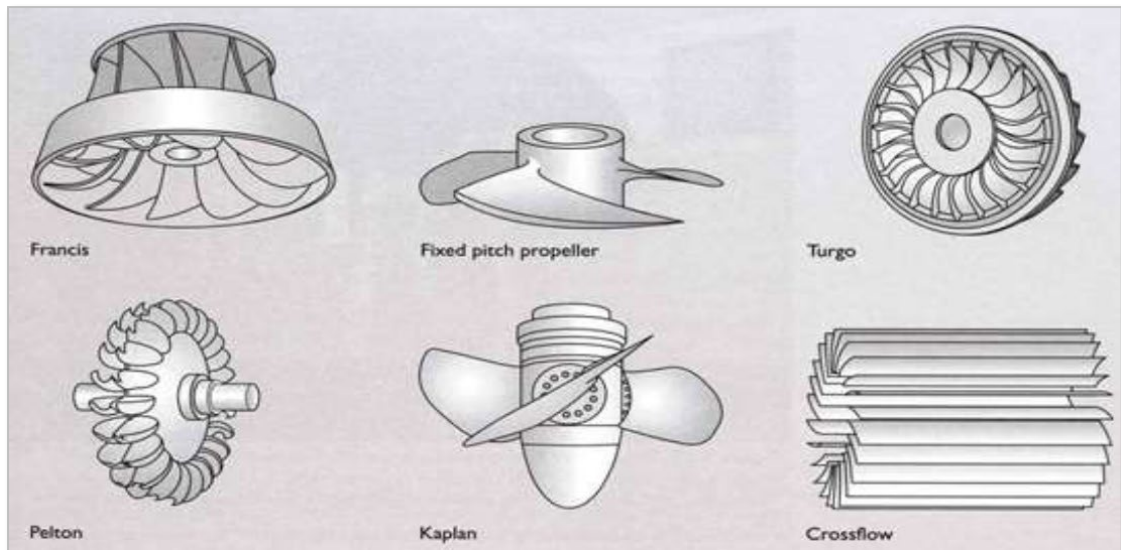


Σχήμα 3.6 - Σύστημα αντλησιοταμίευσης (Πηγή : mycourses.gr)

Συγκεκριμένα ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένα τέτοιο σύστημα περιγράφεται παρακάτω. Σε περίοδο χαμηλής ενεργειακής ζήτησης, το περίσσειμα της προκύπτουσας ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται σε σύστημα άντλησης, ώστε νερό από χαμηλότερους υψομετρικά ταμιευτήρες ή και κατευθείαν από τη στάθμη της θάλασσας, να οδηγείται σε υψηλότερους. Το νερό που έχει αποθηκευτεί στους ταμιευτήρες με υψηλό υψόμετρο χρησιμοποιείται σε περιόδους αιχμής, δηλαδή υψηλής ενεργειακής ζήτησης, όπου υπάρχει έλλειμμα ενέργειας. Τότε απελευθερώνεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού μέσω υδροστροβίλων προς τους χαμηλότερους ταμιευτήρες, παράγοντας έτσι υδροηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται για μια αξιόπιστη λύση και τεχνική με μικρό κόστος αποθήκευσης ενέργειας ανά kWh, ενώ έχει και υψηλό βαθμό απόδοσης (άνω του 80%) (Ευστρατιάδης, 2019).

### 3.3.2 Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι αποτελούν το μέσο μετατροπής της ενέργειας του νερού που πέφτει από κάποιο υψόμετρο, σε ισχύ. Διακρίνονται σε υδροστροβίλους δράσεως είτε αντιδράσεως, ανάλογα με το βαθμό αντιδράσεως της στροβιλομηχανής, πράγμα που συνδέεται με τη μεταβολή της πίεσης. Στην περίπτωση που η στατική πίεση μεταξύ εισόδου και εξόδου της πτερωτής μεταβάλλεται, τότε η πτερωτή ονομάζεται αντιδράσεως, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, ονομάζεται δράσεως. Κατά συνέπεια, στους υδροστρόβιλους αντιδράσεως ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί αξονοσυμμετρικά (ολικής προσβολής) και η στατική πίεση μειώνεται μεταξύ εισόδου και εξόδου της πτερωτής. Από την άλλη μεριά, στους υδροστρόβιλους δράσεως κάθε χρονική στιγμή μόνο ένα τμήμα της πτερωτής συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή (μερικής προσβολής). Επίσης, ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης των υδροστροβίλων μπορεί να γίνει με βάση το μέγεθος του υδραυλικού ύψους, καταλήγοντας στη διάκριση υδροστροβίλων μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους (Κατερινόπουλος, 2007).

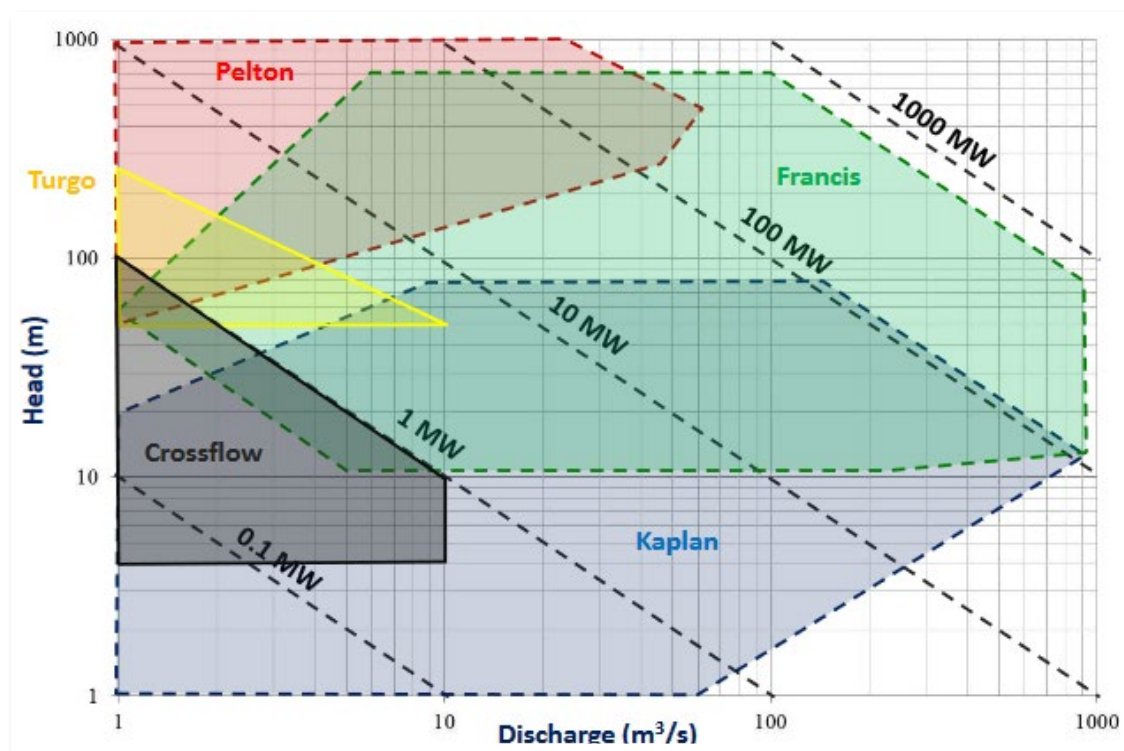


**Σχήμα 3.7 - Απεικόνιση τύπων υδροστροβίλων (Πηγή : Τζιβάρας, 2019)**

Η πρώτη κατηγορία αφορά τους υδροστροβίλους δράσεως που χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις μεγάλου υδραυλικού ύψους και μικρής τιμής παροχής νερού. Ο βασικός τύπος υδροστροβίλου δράσεως που έχει επικρατήσει είναι το μοντέλο Pelton, με πεδίο λειτουργίας μεταξύ μανομετρικών υψών από 30m έως 1500m και παροχών από 0,01 m<sup>3</sup>/sec έως 5 m<sup>3</sup>/sec. Επιπλέον η απόδοσή τους είναι της τάξης του 90%. Ένα άλλο μοντέλο αποτελεί ο υδροστροβίλος Turgo ο οποίος δεν είναι παρά μία ξεπερασμένη παραλλαγή του Pelton. Τέλος, υπάρχει και ο υδροστροβίλος CrossFlow (ή αλλιώς Banki) ο οποίος δημιουργήθηκε με στόχο τη διαχείριση μεγαλύτερων παροχών νερού και μικρότερου υδραυλικού ύψους σε σύγκριση με τον υδροστροβίλο Pelton.

Με βάση τη θεωρία, η δεύτερη κατηγορία, εκείνη των υδροστροβίλων αντιδράσεως αφορά μικρότερα υδραυλικά ύψη, σε σχέση με τους υδροστροβίλους δράσεως και μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο κατηγορίες υδροστροβίλων σε πρακτικό επίπεδο. Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι οι Francis, Kaplan, οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής, οι βολβοειδείς υδροστροβίλοι, ενώ μπορεί να γίνει και χρήση φυγόκεντρων αντλιών.

Όπως είναι φανερό, η αποδοτικότητα και αξιοπιστία ενός υδροστροβίλου, συνδέεται άμεσα με τη δεδομένη παροχή και το υδραυλικό ύψος της εκάστοτε περίπτωσης. Προκειμένου λοιπόν να γίνει η ορθότερη επιλογή τύπου υδροστροβίλου, λαμβάνονται υπόψη οι περιοχές λειτουργίας του καθενός όπως αυτές απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.8 -Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου για δεδομένη παροχή και καθαρό υδραυλικό ύψος (Πηγή : <http://mycourses.ntua.gr>)

Στην περίπτωση που οι συνθήκες παροχής και υδραυλικού ύψους οδηγούν σε σημείο του διαγράμματος στο οποίο επικαλύπτονται οι περιοχές λειτουργίας δύο ή και παραπάνω τύπων υδροστροβίλων, τότε η διαδικασία επιλογής του υδροστροβίλου καθοδηγείται με γνώμονες όπως το κόστος και η συνεκτίμηση πολλών από τους ακόλουθους παράγοντες.

- Αν το νερό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση είναι αμμώδες και όχι καθαρό, προτιμάται κάποιος υδροστροβίλος δράσεως, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες στις στεγανώσεις των υδροστροβίλων αντιδράσεως.
- Αν ο υδροστροβίλος πρέπει να τοποθετηθεί σε κάποιο ύψος πάνω από τη στάθμη του νερού του φράγματος, προτιμάται κάποιος υδροστροβίλος

αντιδράσεως με σωλήνα εκροής στην έξοδο, έτσι ώστε να γίνει εκμετάλλευση του μέγιστου διαθέσιμου υδραυλικού ύψους.

- Αν οι τιμές της παροχής και του υδραυλικού ύψους μπορούν να θεωρηθούν σχεδόν σταθερές, τότε μπορεί να εξεταστεί η περίπτωση χρήσης φυγοκεντρικής αντλίας με αντεστραμμένη ροή ως υδροστρόβιλο, λόγω του σημαντικού πλεονεκτήματος του χαμηλού αρχικού κόστους και της μεγάλης διαθεσιμότητας στην αγορά (Κατερινόπουλος, 2007).

### 3.4 Αφαλάτωση

#### 3.4.1 Ορισμός

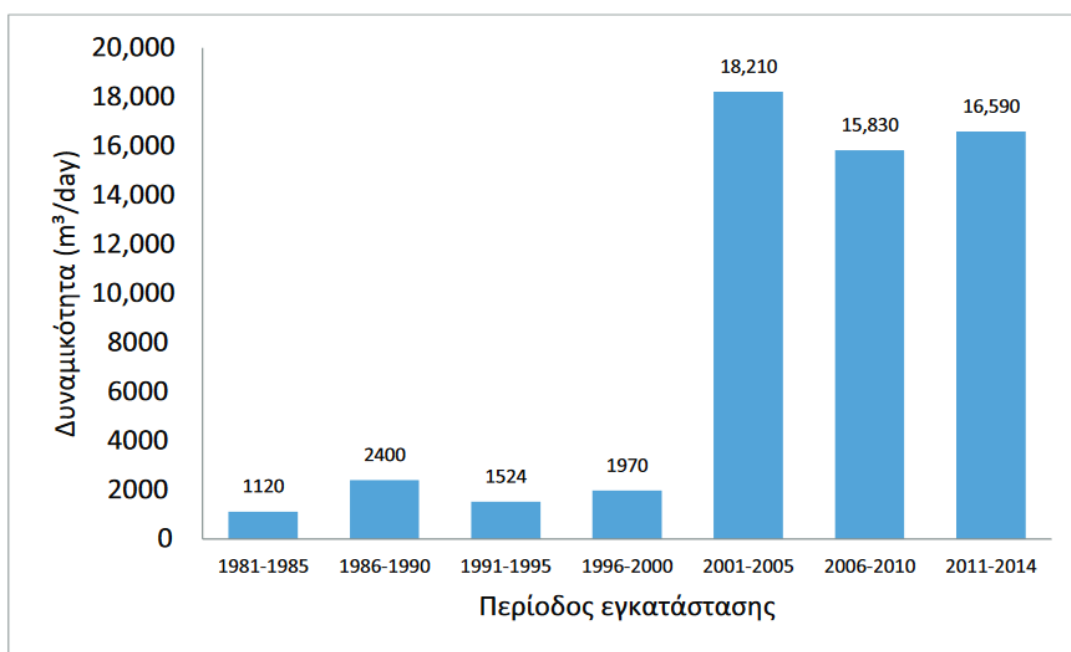
Ο όρος «αφαλάτωση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει οποιαδήποτε διεργασία η οποία καταλήγει στην αφαίρεση του άλατος από μία αλατούχα ουσία και κατά βάση αναφέρεται σε ύδατα. Ειδικότερα, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, λίμνες και ποτάμια. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι συνηθέστερη σε περιοχές με μειωμένα ποσοστά βροχόπτωσης, ξηρό δηλαδή κλίμα, στις οποίες όμως υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε θαλασσινό νερό. Επιπλέον, η αφαλάτωση θα μπορούσε να αποτελέσει αποτελεσματική μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού σε απομακρυσμένα άνυδρα νησιά (Καρταλίδης, 2017).

#### 3.4.2 Υφιστάμενη Κατάσταση

Η αφαλάτωση των υδάτων πρωτοεμφανίστηκε και ξεκίνησε να εξελίσσεται στον 20ο αιώνα, περίοδος κατά την οποία άρχισε να γίνεται εντονότερο το ζήτημα της λειψυδρίας σε διάφορα σημεία του πλανήτη. Αξίζει να σημειωθεί πως περίπου το 97,3% των παγκόσμιων αποθεμάτων σε νερό βρίσκεται στη θάλασσα αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διαλυμένα άλατα σε μορφή τέτοια ώστε να καθίσταται αδύνατη η χρήση του, είτε ως πόσιμο είτε σε βιομηχανικές διεργασίες (Μέντης, 2011).

Στα ελληνικά δεδομένα, θα μπορούσε κανείς να πει πως στη δυσμενέστερη θέση βρίσκονται τα νησιά του νοτίου Αιγαίου, δηλαδή Κυκλάδες και Δωδεκάνησα. Αυτό οφείλεται κατά βάση στα χαμηλά μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης, όπως επίσης και στη μορφολογία ορισμένων νησιών, η οποία δεν συνεισφέρει θετικά στη δημιουργία υδροφόρων οριζόντων.

Η εφαρμογή της αφαλάτωσης σε ότι αφορά τη δημόσια ύδρευση στο χώρο της Ελλάδας, ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 και συνεχίστηκε με σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μέχρι τις αρχές του 2000 όπου η τεχνολογική εξέλιξη στις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης κατέστησαν την αφαλάτωση βιώσιμη με οικονομικούς όρους.



**Σχήμα 3.9 - Ρυθμός εγκαταστάσεων των αφαλατώσεων για δημόσια ύδρευση στα ελληνικά νησιά ( Πηγή : Καρταλίδης, 2017)**

Το νησί της Σύμης αποτελεί ορόσημο στον τομέα αυτό, καθώς στις 10 Οκτωβρίου του 1964 εγκαινιάστηκε εκεί η πρώτη εγκατάσταση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα πρόκειται για μονάδα ηλιακής απόσταξης μεγάλης συλλεκτικής επιφάνειας (2600 m<sup>2</sup>). Στα νεότερα χρόνια, το 2009 εγκαταστάθηκε στη Σύμη αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης συμπίεσης ατμών (MVC) ειδικής κατανάλωσης ενέργειας 14,5 kWh / m<sup>3</sup> με τη χρήση ανεμογεννήτριας ισχύος 330kW. Η παραγωγή νερού δεν ήταν η αναμενόμενη



και εν τέλει το 2013 ύστερα από μια πυρκαγιά καταστράφηκε και έκτοτε δεν έχει επισκευαστεί και βρίσκεται εκτός λειτουργίας (Καρταλίδης, 2017).



**Σχήμα 3.10 - Μονάδα ηλιακής απόσταξης Σύμης (Πηγή : <https://www.youtube.com/>)**

### **3.4.3 Τεχνολογίες Αφαλάτωσης**

Οι διάφορες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για την αφαλάτωση του νερού θα μπορούσαν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον εκάστοτε μηχανισμό διαχωρισμού.

Η μία κατηγορία περιλαμβάνει τις διεργασίες όπου το μέσο αλλάζει τουλάχιστον δύο φάσεις χρησιμοποιώντας κάποια πηγή θερμότητας (θερμικές μέθοδοι). Αυτές είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση, με τη δεύτερη να μην χρησιμοποιείται ευρέως. Αναφορικά με την απόσταξη, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF), η Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), η Εξάτμιση με Συμπύεση Ατμών (Vapor Compression, VC) και η Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation).

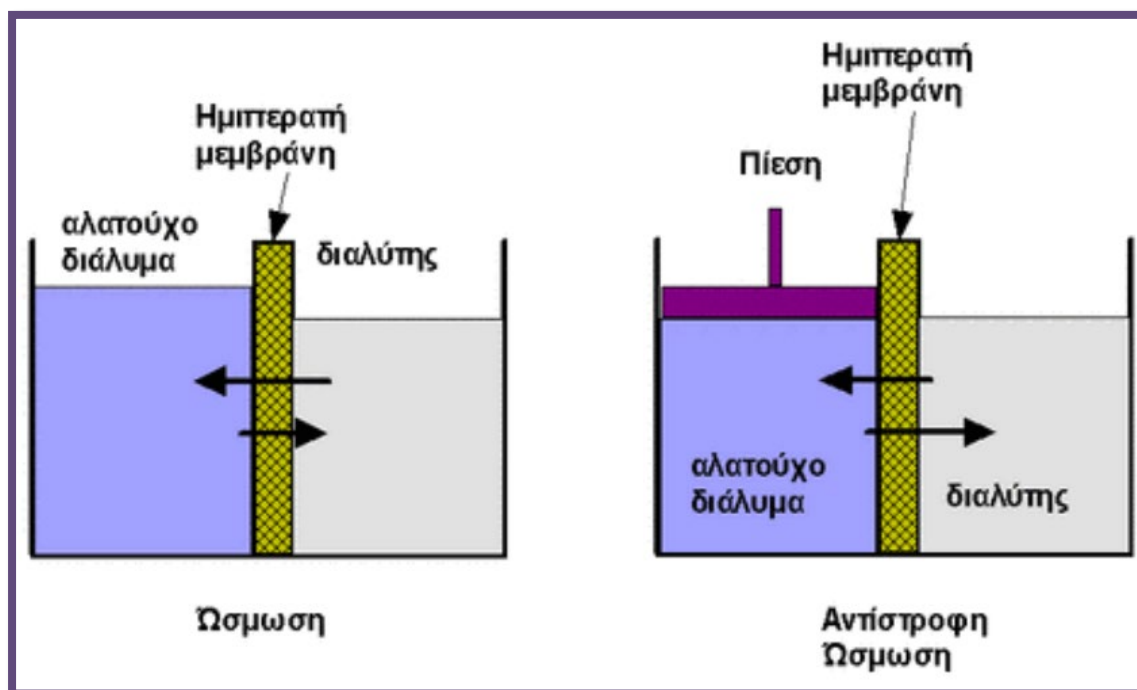
Η δεύτερη κατηγορία αφορά διεργασίες που μέσω μεμβρανών, ύστερα από επιβολή πίεσης, γίνεται η απομάκρυνση των αλάτων από το νερό σε μία μόνο φάση, την υγρή (μέθοδοι μεμβρανών). Μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι η Αντίστροφη Ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) και η Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED). Στα σημερινά δεδομένα κυρίαρχη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η Αντίστροφη Ώσμωση (RO), κατέχοντας το 73,7% της δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης που εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως μεταξύ 2004 - 2014 (Μπακογιάννη, 2016). Η αντίστροφη ώσμωση αποτελεί τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί στο συγκεκριμένο Υβριδικό Σύστημα της Σύμης, οπότε παρακάτω θα περιγραφεί αναλυτικότερα.

**Πίνακας 3.1 - Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Πηγή : Καραχάλιου, 2010)**

Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Παραγωγή Προϊόντος (m <sup>3</sup> /ημέρα)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος Εγκατάστασης €/ (m <sup>3</sup> /ημέρα)
<b>MSF</b>	Θαλασσινό	Θερμική	1.000-60.000	Θερμική/Ηλεκτρική	290kJ/kg 4-6KWh/m <sup>3</sup>	1000-2000
<b>MED</b>	Θαλασσινό	Θερμική	500-20.000	Θερμική/Ηλεκτρική	270kJ/kg 2,5-3 KWh/m <sup>3</sup>	850-1750
<b>VC</b>	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	25-2.500	Ηλεκτρική	8-15 KWh/m <sup>3</sup>	1000-2350
<b>SWRO</b>	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	0,4->70.000	Ηλεκτρική	<5KWh/ m <sup>3</sup> <3KWh/ m <sup>3</sup> με ανάκτηση ενέργειας	650-4400
<b>BWRO</b>	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	2,5->50.000	Ηλεκτρική	0,5-3 KWh/m <sup>3</sup>	300-2000
<b>ED</b>	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	15-50.000	Ηλεκτρική	1,5-4 KWh/m <sup>3</sup>	1000-5000

Η βασική ενεργειακή απαίτηση της Αντίστροφης Ώσμωσης είναι εκείνη που χρειάζεται για τη συμπίεση του νερού. Συγκεκριμένα, κατά τη διεργασία αυτή, το αλμυρό νερό διαχωρίζεται υπό πίεση από τα άλατα, μέσω ημιπερατών μεμβρανών. Πρακτικά υπάρχει ένα δοχείο το οποίο χωρίζεται σε δύο τμήματα, εκ των οποίων το ένα περιέχει ποσότητα καθαρού αποσταγμένου νερού, ενώ το άλλο ίσο όγκο νερού με διαλυμένα μόρια αλατιού αυτή τη φορά. Παρότι οι στάθμες αρχικά βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, μετά από κάποια ώρα παρατηρείται άνοδος στο τμήμα του αλατούχου υγρού. Το γεγονός αυτό έχει ως πρωταρχική βάση το φαινόμενο της διάχυσης, κατά την οποία, στην περίπτωση που δυο υγρά με διαφορετική περιεκτικότητα σε άλατα έρχονται

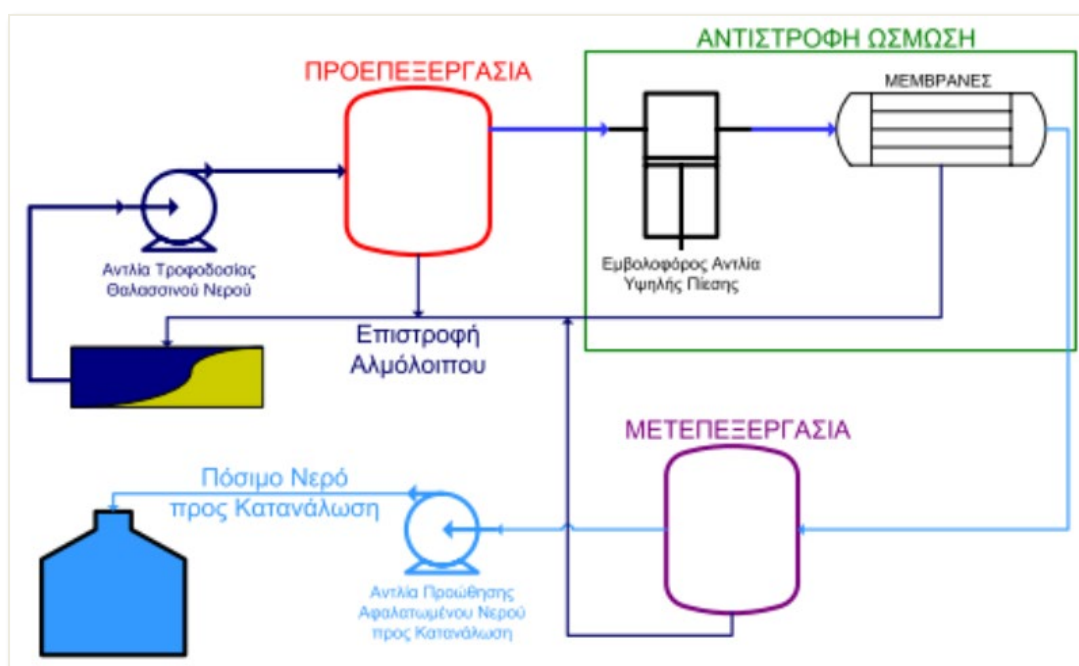
σε επαφή, τότε το υγρό με τη χαμηλότερη συγκέντρωση θα μετατοπιστεί προς το πυκνότερο υγρό, ούτως ώστε το μείγμα να ισορροπήσει, δηλαδή να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις. Όταν ανάμεσα στα δύο αυτά υγρά παρεμβάλλεται μια μεμβράνη πορώδους υλικού, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ώσμωσης, το οποίο συνοδεύεται από την υψηλότερη στάθμη του αλατούχου διαλύματος. Στην περίπτωση λοιπόν που ασκηθεί τεχνητή πίεση, η λεγόμενη ωσμωτική πίεση στο τμήμα του δοχείου με το αλμυρό νερό, αυτό θα περνά στο διαμέρισμα με το καθαρό νερό, χωρίς όμως το αλάτι το οποίο συγκρατείται από τις μεμβράνες. Η τεχνική αυτή καταλήγει να αποτελεί το αντίθετο της ώσμωσης, όπως περιγράφει και η ονομασία της μεθόδου (Καραχάλιου, 2010).



Σχήμα 3.11 - Το φαινόμενο της Αντίστροφης Ωσμωσης (Πηγή : Καραχάλιου, 2010)

Στο σήμερα, ύστερα από ένα αρχικό στάδιο προεπεξεργασίας, αντλία υψηλής πίεσης διοχετεύει το αλμυρό νερό σε σύστημα χαλύβδινων δοχείων. Τα δοχεία αυτά περιέχουν διατάξεις διαδοχικών ζευγών μεμβρανών και εκεί γίνεται η εφαρμογή της μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι το 70% περίπου του νερού που εισάγεται, καταλήγει να απορρίπτεται καθώς παραμένει υψηλό σε περιεκτικότητα άλατος. Το

υπόλοιπο 30% αποτελεί το καθαρό πλέον νερό το οποίο δέχεται μια τελική μετεπεξεργασία (Λιάτσου. 2010).



Σχήμα 3.12 - Σχηματική αναπαράσταση μονάδας αντίστροφης ώσμωσης (Πηγή : Μέντης, 2011)

Αναφορικά με την Ελληνική νησιωτική χώρα, η ανάγκη κάλυψης των αναγκών αιχμής του καλοκαιριού οδηγεί πολλές φορές στην εγκατάσταση μεγάλων μονάδων, γεγονός που αυξάνει το κόστος του νερού, καθώς ο συντελεστής χρήσης των μονάδων αυτών είναι μικρός. Παρόλα αυτά η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης παρουσιάζεται ιδιαίτερα ανταγωνιστική τα τελευταία χρόνια, αφενός λόγω των χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων και αφετέρου λόγω των νέων τεχνολογιών των μεμβρανών και της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους. Όπως έχει προκύψει για μονάδες δυναμικότητας όση στην παρούσα εργασία, σε συνδυασμό με χρήση ανεμογεννητριών, ένα μέσο κόστος παραγωγής νερού κυμαίνεται στα 2 €/m<sup>3</sup> (Καραγιάννης, 2010). Εναλλακτικά, τα τυπικά κόστη της μεθόδου συνοψίζονται παρακάτω.

Πίνακας 3.2 - Κόστος αφαλάτωσης νερού με αντίστροφη ώσμωση (Πηγή : Καραγιάννης, 2010)

Νερό τροφοδοσίας	Μέγεθος μονάδας (m <sup>3</sup> /μέρα)	Κόστος ανα m <sup>3</sup>
Υφάλμυρο	<20	4,50€-10,32€
	20-1.200	0,62€-1,06€ (0,78\$-1,33\$)
	40.000-46.000	0,21€-0,43€ (0,26\$-0,54\$)
Θαλασσινό	<100	1,20€-15,00€
	250-1.000	1,00€-3,14€
	1.000-4.800	0,56€-1,38€ (0,70\$-1,72\$)
	15.000-60.000	0,38€-1,30€ (0,48\$-1,62\$)
	100.000-	0,36€-0,53€
	320.000	(0,45\$-0,66\$)

### 3.5 Εφαρμογές Υβριδικών Συστημάτων στην Ελλάδα

Στο νησί της Κύθνου αναπτύχθηκε ένα υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από ένα συνδυασμό ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών, μπαταριών και ντιζελογεννητριών. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος ανέρχεται στα 1,7 MW. Οι ντιζελογεννήτριες είναι της τάξεως των 100-550 kW και οι δυνατότητες της μπαταρίας ανέρχονται στις 600-2400 kWh. Παράλληλα έχουν εγκατασταθεί 5 Α/Γ με ισχύ 20 kW η κάθε μία, όπως επίσης και ένα Φ/Β των 100 kW. Τις ημέρες κατά τις οποίες η ζήτηση ενέργειας είναι μικρότερη από την διαθέσιμη ενέργεια που παράχθηκε από τις Α/Γ, το πλεόνασμα ενέργειας, μαζί με αυτό που προκύπτει από τα φωτοβολταϊκά, αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Εάν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφερόμενη

ενέργεια των Α/Γ, τότε εκείνη που υπολείπεται καλύπτεται από τα φωτοβολταϊκά. Τις ημέρες όπου η ζήτηση δεν καλύπτεται από τις Α/Γ, αρχικά χρησιμοποιείται η ενέργεια από το Φ/Β και εάν ούτε εκείνη επαρκεί, τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι μπαταρίες, εφόσον φυσικά είναι επαρκώς φορτισμένες. Στις περιπτώσεις που όλα τα παραπάνω δεν καταφέρουν να καλύψουν τις απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες, η ενέργεια που χρειάζεται προσφέρεται από τις ντιζελογεννήτριες (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).

Αρκετά είναι τα υβριδικά συστήματα που αναπτύσσονται σε μονές του Αγίου Όρους, όπου λόγω της απομονωμένης θέσης της χερσονήσου καθίσταται ασύμφορη η σύνδεση της με το δίκτυο. Ένα από τα πιο αξιόλογα υβριδικά συστήματα είναι εκείνο με το οποίο καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες η Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας. Πρόκειται για σύστημα αποτελούμενο από μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό, Φ/Β και ντιζελογεννήτρια. Στην περίπτωση που η προσφερόμενη υδροηλεκτρική και ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για την κάλυψη της ζήτησης, τότε μπαίνουν σε λειτουργία οι ντιζελογεννήτριες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι με την προσθήκη του Φ/Β, δηλαδή με το συνδυασμό δύο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιτεύχθηκε η ανεξαρτητοποίηση της Μονής από τις συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε βαθμό 90% των ετήσιων αναγκών, συγκριτικά με το 60% που ίσχυε πριν (Μαμάσης, 2012).

Στην Ηρακλειά εγκαταστάθηκε το 2007 η «Υδριάδα», μια παγκόσμια πρωτότυπη ιδέα που υλοποιήθηκε χάρη στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου και σε συνεργασία με άλλους εννέα φορείς. Πρόκειται για μία οικολογική μονάδα αφαλάτωσης, μια καινοτόμα πλωτή πλατφόρμα παραγωγής πόσιμου νερού με ενεργειακή αυτονομία. Η πλατφόρμα έχει διαστάσεις 20 X 20 μέτρα, ζυγίζει 150 τόνους και έχει ύψος 8 μέτρα. Το σύστημα όπως προαναφέρθηκε είναι αυτόνομο συνδυάζοντας την αιολική και ηλιακή ενέργεια. Συγκριμένα, η Υδριάδα καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές της απαιτήσεις μέσω μιας ανεμογεννήτριας 22 μέτρων και ισχύος 30 kW, αλλά και μέσω φωτοβολταϊκών και μπαταριών αποθήκευσης σε περίπτωση ανάγκης. Η μονάδα έχει ονομαστική δυνατότητα παραγωγής 80 m<sup>3</sup> καθαρού νερού την ημέρα, μέσω συστήματος αντίστροφης όσμωσης. Παρά λοιπόν την καινοτομία που αποτέλεσε, η εν λόγω εγκατάσταση μετά από λειτουργία 2,5 ετών

εγκαταλείφθηκε μέχρι και σήμερα όπου δεν έχει ληφθεί οριστική απόφαση για μελλοντική χρήση. Βασικό επιχείρημα στάθηκε το γεγονός ότι δεν μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες του νησιού σύμφωνα με τις τοπικές αρχές και πως η συντήρησή της απαιτεί περίπλοκους χειρισμούς λόγω της θέσης της (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).



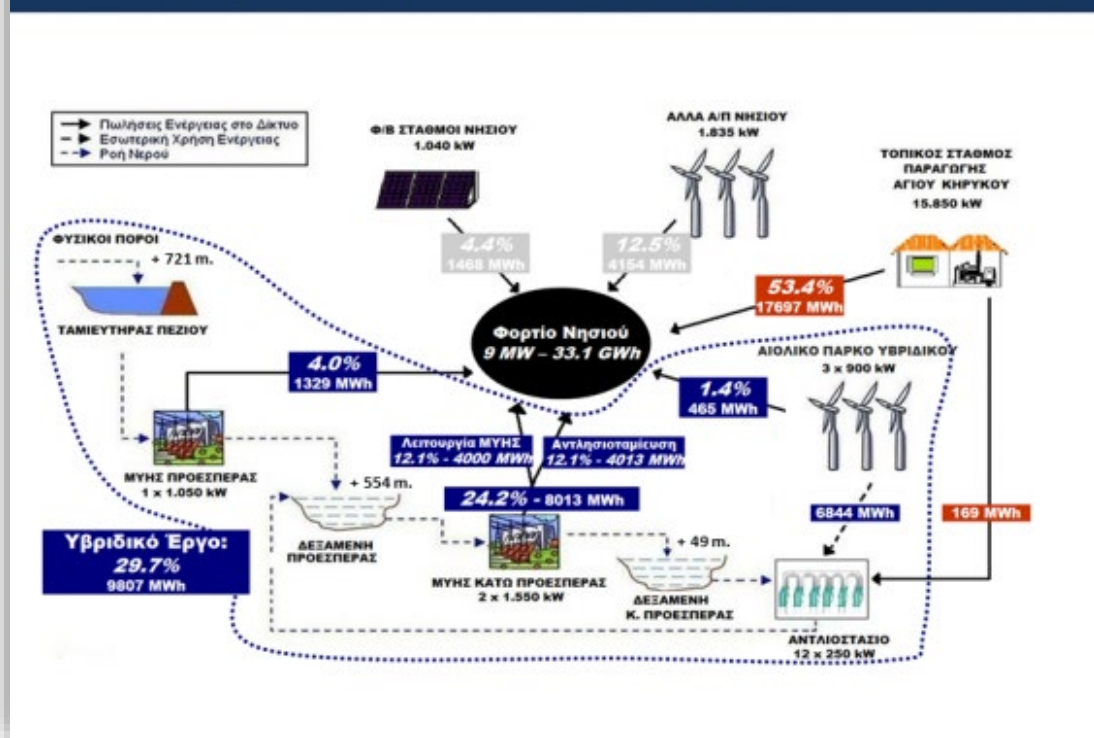
**Σχήμα 3.13 - Η πλωτή πλατφόρμα «Υδριάδα» (Πηγή : <https://www.koinignomi.gr/>)**

Σε ότι αφορά τα έργα αντλησιοταμίευσης, δύο είναι εκείνα που λειτουργούν στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή. Η πρώτη εγκατάσταση έγινε το 1979 στον ποταμό Αλιάκμονα και συγκεκριμένα στην περιοχή Σφηκιά του νομού Ημαθίας. Αποτελείται από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό δυναμικότητας 315 MW και τρεις υδροστροβίλους Francis. Το νερό αντλείται από τον κάτω στον επάνω ταμιευτήρα κατά την διάρκεια της νύχτας όπου η ζήτηση είναι χαμηλή και απελευθερώνεται την ημέρα που παρουσιάζονται οι ώρες αιχμής. Το δεύτερο σύστημα αντλησιοταμίευσης μπήκε σε εφαρμογή το 1998 στον ποταμό Νέστο, στην περιοχή Θησαυρού στο νομό Δράμας. Πρόκειται για παρόμοια λειτουργία με το υδροηλεκτρικό της Σφηκιάς, με τη διαφορά ότι εδώ η εγκατεστημένη ισχύς κυμαίνεται στα 380 MW (Μαμάσης, 2012).

Υπάρχει επίσης το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας της Ικαρίας, το οποίο μάλιστα βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης και επέκτασης. Το έργο αυτό περιλαμβάνει ένα αιολικό πάρκο αποτελούμενο από τρεις ανεμογεννήτριες Enercon E44 - 900 kW η κάθε μία ενώ προβλέπεται και η εγκατάσταση Φ/Β σταθμού συνολικής ισχύος 1040 kW. Παράλληλα, υφίσταται ταμιευτήρας στη θέση Πέζι χωρητικότητας της τάξεως των 900000 m<sup>3</sup>, ο οποίος χρησιμοποιείται για κάλυψη της ύδρευσης και άρδευσης, ενώ το πλεόνασμά του χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός αυτών, στις τοποθεσίες Προεσπέρα και Κάτω Προεσπέρα υπάρχουν ακόμα δύο δεξαμενές κατάλληλης υψομετρικής διαφοράς και χωρητικότητας 80000 m<sup>3</sup> έκαστη, οι οποίες εξυπηρετούν ανάγκες αντλησιοταμίευσης χάρη στην περίσσεια ενέργειας του αιολικού πάρκου. Με άλλα λόγια το υβριδικό σύστημα της Ικαρίας περιλαμβάνει δύο υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Τον ΥΗΣ Προεσπέρας με έναν υδροστρόβιλο τύπου Pelton και ισχύος 1.05 MW, που θα αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα Πεζίου (αφού πρώτα ικανοποιηθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή και άρδευση) και τον ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας με δύο υδροστρόβιλους ισχύος 2x1,55 MW, που θα αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα Πεζίου όσο και νερά που προέρχονται από τη λειτουργία της αντλησιοταμίευσης. Στα προαναφερόμενα πρέπει να συμπεριληφθεί ο τοπικός σταθμός παραγωγής στον Άγιο Κήρυκο (ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.).



## Λειτουργία Υβριδικού Έργου-Μελλοντικό Ενεργειακό Ισοζύγιο Ικαρίας

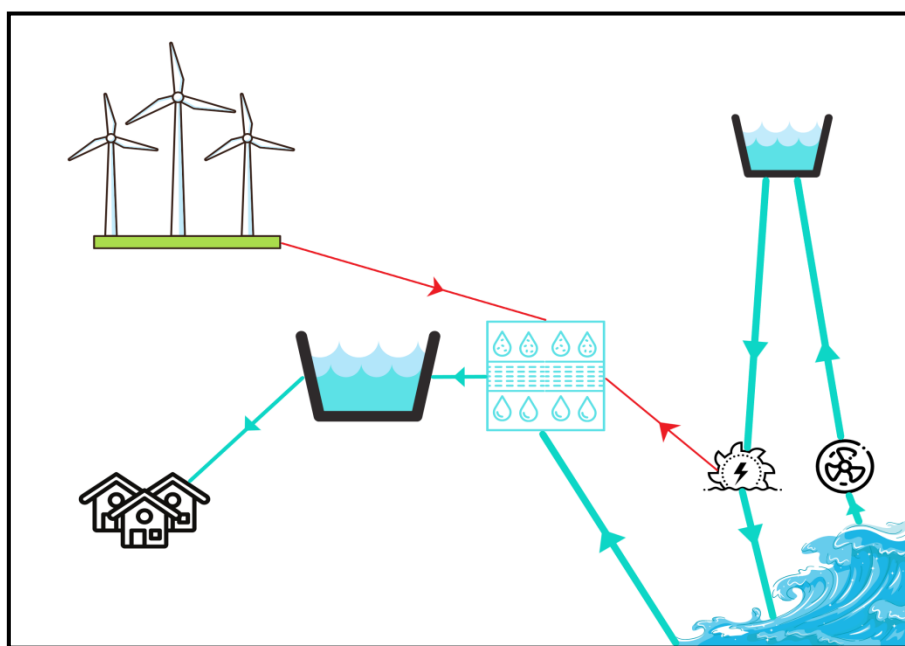


Σχήμα 3.14 - Σχηματική απεικόνιση υβριδικού συστήματος Ικαρίας (Πηγή : <https://energypress.gr/>)

## 4. Δεδομένα - Μεθοδολογία

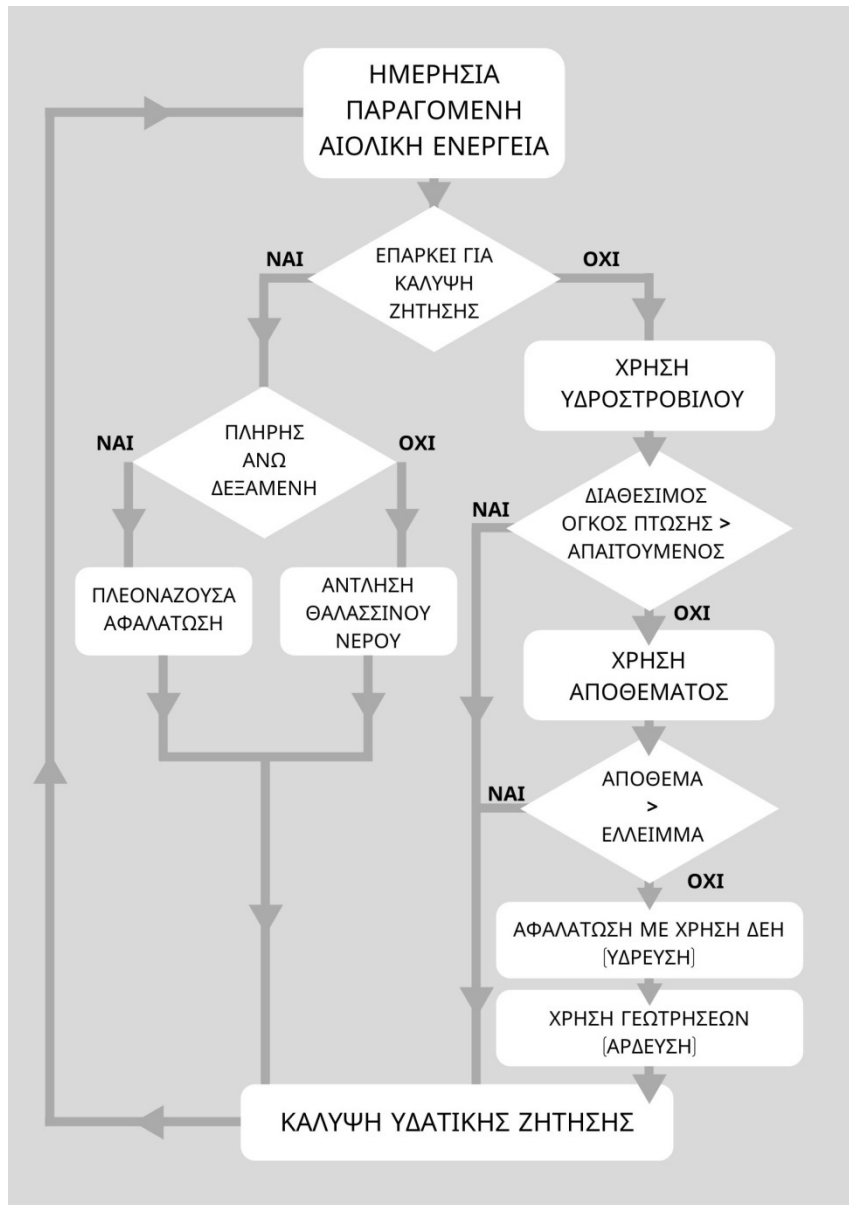
### 4.1 Τεχνική Περιγραφή Έργου

Το υβριδικό σύστημα που μελετήθηκε αποτελεί μία σύμπραξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα αιολικής και υδροηλεκτρικής, εμπεριέχοντας προφανώς τις ανάλογες εγκαταστάσεις. Ειδικότερα, το υπό μελέτη έργο αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες ισχύος 900 kW η κάθε μία, δύο δεξαμενές, αντλιοστάσια, υδροηλεκτρικό σταθμό και μονάδες αφαλάτωσης. Σε ότι αφορά τις δεξαμενές, η πρώτη είναι χωρητικότητας 150000 m<sup>3</sup>, βρίσκεται σε χαμηλό υψόμετρο και περιέχει αφαλατωμένο νερό, ενώ η δεύτερη χωρητικότητας 50000 m<sup>3</sup>, τοποθετείται σε υψηλό υψόμετρο και περιέχει θαλασσινό νερό. Για την άντληση του νερού από το επίπεδο της θάλασσας στην επάνω δεξαμενή χρησιμοποιείται αντλία ισχύος 400 kW, ενώ κατά την πτώση υπάρχουν δύο διαθέσιμοι υδροστρόβιλοι προς λειτουργία ισχύος 80 kW και 300 kW. Παράλληλα, έχει ληφθεί υπόψη η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας αντλιοστασίου για την άντληση του θαλασσινού νερού στο υψόμετρο της μονάδας αφαλάτωσης, από όπου και διοχετεύεται στο δίκτυο ύδρευσης. Σχετικά με την αφαλάτωση, θεωρήθηκε η ύπαρξη εγκαταστάσεων δυναμικότητας έως και 9000 m<sup>3</sup>/d για όλες τις μονάδες συνολικά και κατανάλωση ενέργειας αφαλάτωσης ίση με 7 kWh/m<sup>3</sup>.



Σχήμα 4.1 - Απεικόνιση του υβριδικού συστήματος ΑΠΕ

Ως προς τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος που προαναφέρθηκε, έγινε η εξής διαχείριση. Τις ημέρες που οι ενεργειακές ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης, και συνεπώς οι υδατικές ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης, καλύπτονται εξ ολοκλήρου από την ενέργεια που προσφέρουν οι ανεμογεννήτριες αλλά παρόλα αυτά έχω περίσσεια ενέργεια, το πλεόνασμα αυτό χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από τη στάθμη της θάλασσας προς την άνω δεξαμενή. Στην περίπτωση που η άνω δεξαμενή είναι πλήρης, δεν αντλείται θαλασσινό νερό και η περισσευούμενη ενέργεια χρησιμοποιείται για επιπλέον αφαλάτωση. Το παραγόμενο αφαλατωμένο αυτό νερό αποθηκεύεται στην κάτω δεξαμενή η οποία λειτουργεί και ως ενδιάμεσος σταθμός αποθήκευσης του ημερήσιου απαιτούμενου αφαλατωμένου νερού πριν τη διοχέτευσή του στο δίκτυο ύδρευσης. Τις ημέρες που υπάρχει έλλειμμα ενέργειας χρησιμοποιείται η πτώση νερού από την άνω δεξαμενή στη θάλασσα μέσω του υδροστροβίλου, με στόχο την παραγωγή την αναγκαίας ενέργειας για την αφαλάτωση των ζητούμενων κυβικών. Όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα ενεργειακής κάλυψης της μονάδας ούτε με αυτόν τον τρόπο, πιθανότατα γιατί δεν υπάρχει επαρκής όγκος νερού στην άνω δεξαμενή, τότε χρησιμοποιείται για διάθεση το ήδη αφαλατωμένο νερό που είναι αποθηκευμένο στην κάτω δεξαμενή. Σε όλα τα παραπάνω προτεραιότητα έχει η κάλυψη της υδρευτικής ζήτησης και έπειτα της αρδευτικής. Τέλος, σχετικά με τις ημέρες που το υβριδικό σύστημα αδυνατεί να καλύψει τη ζήτηση, σε ότι αφορά την ύδρευση, θα γίνεται η αφαλάτωση του απαραίτητου όγκου νερού με ενεργειακή κάλυψη της μονάδας από το δίκτυο της ΔΕΗ, δηλαδή τον τοπικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την κάλυψη της αρδευτικής ζήτησης θα χρησιμοποιούνται οι τοπικές γεωτρήσεις ή ομβροδεξαμενές και αν ούτε αυτό επαρκεί τότε θα επιστρατευτεί ο υπάρχον τρόπος υδροδότησης, δηλαδή η μεταφορά νερού στο νησί με δεξαμενόπλοια.

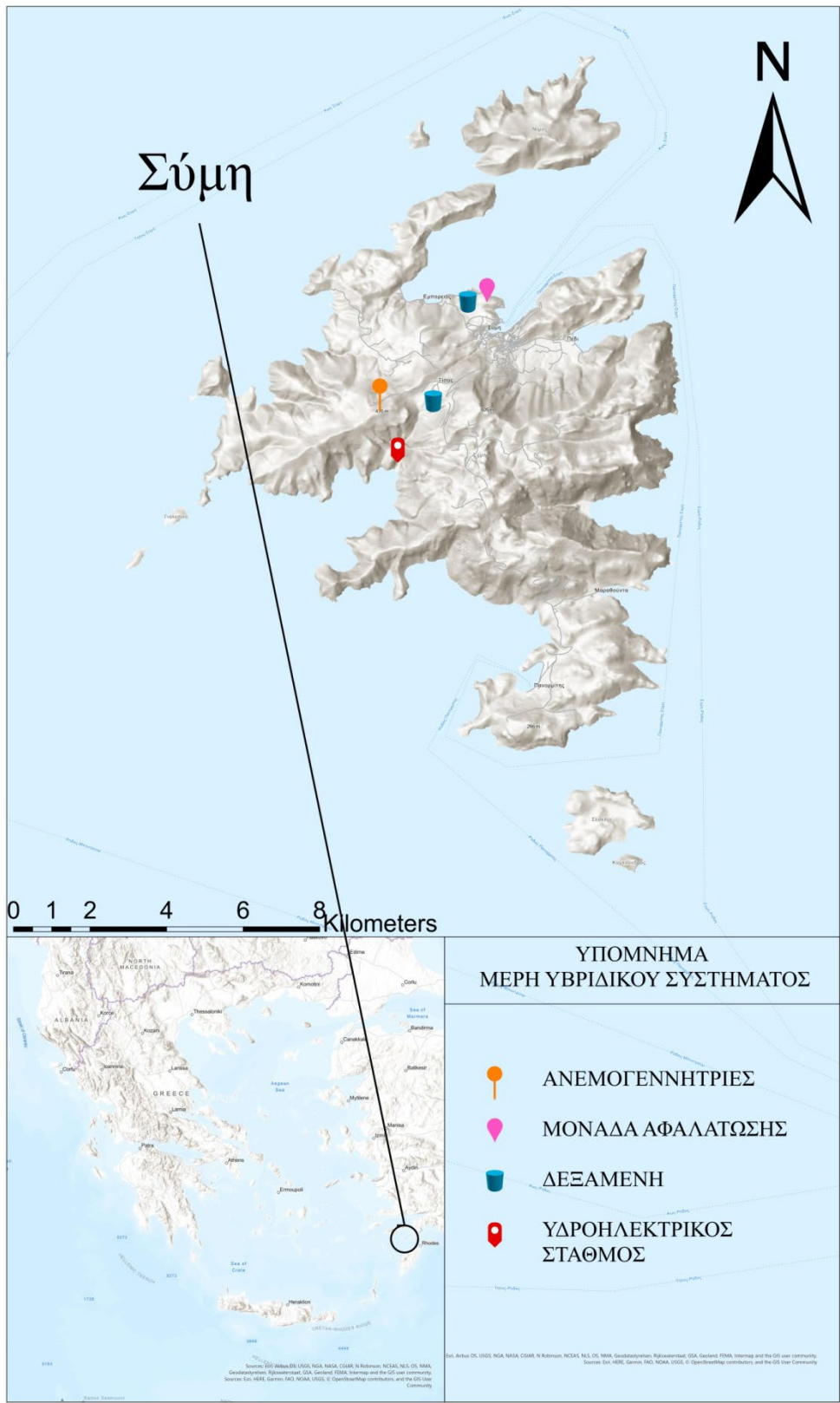


Σχήμα 4.2 - Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του μοντέλου προσομοίωσης

## 4.2 Πρόταση Θέσης Εγκαταστάσεων

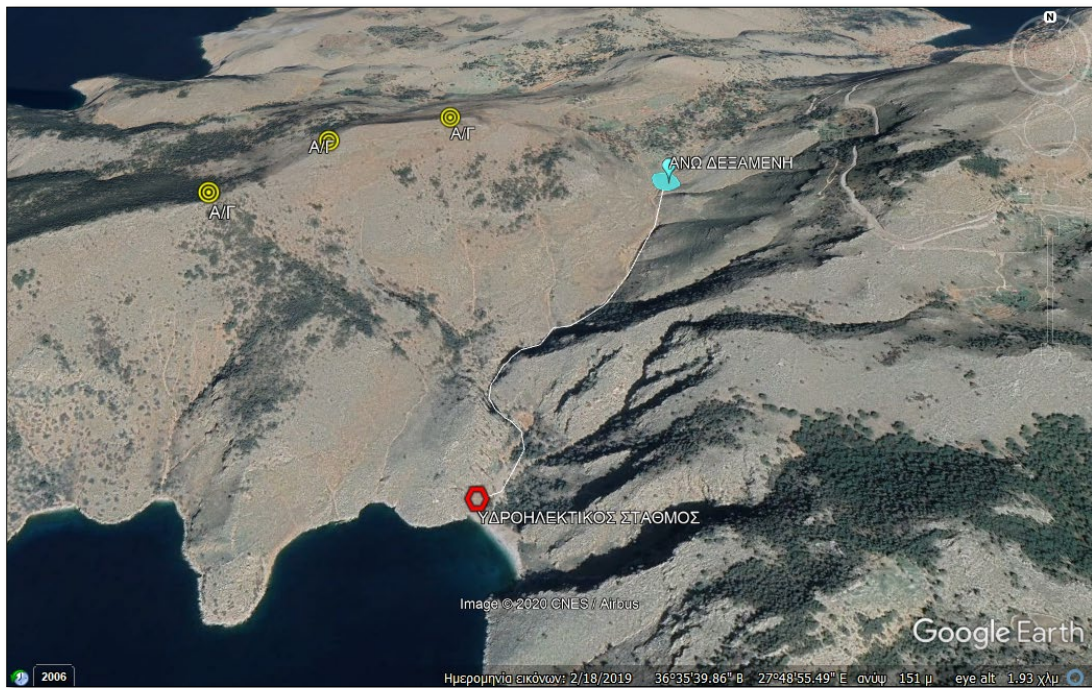
Η επιλογή των προτεινόμενων θέσεων έγινε με στόχο τις όσο το δυνατό λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ειδικότερα, απαραίτητη είναι η αποφυγή των εγκαταστάσεων σε μέρη με ευαίσθησιες καθώς μάλιστα ορισμένες περιοχές είναι απαγορευτικές σύμφωνα και με τη νομοθεσία. Για παράδειγμα στις περιοχές Natura2000 η αλλαγή του τοπίου και η ακουστική όχληση ενδέχεται να προκαλέσουν καταστροφικές και μόνιμες επιπτώσεις. Παράλληλα, οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να τοποθετηθούν μακριά από αρχαιολογικούς χώρους, τουριστικά θέρετρα και παραλίες έτσι ώστε να μην τίθενται ζητήματα οπτικών αλλοιώσεων.

Τελικά, προτείνονται οι παρακάτω θέσεις με κύριο γνώμονα την ελαχιστοποίηση των παρεμβάσεων σε ότι αφορά το τοπίο και το οικοσύστημα.



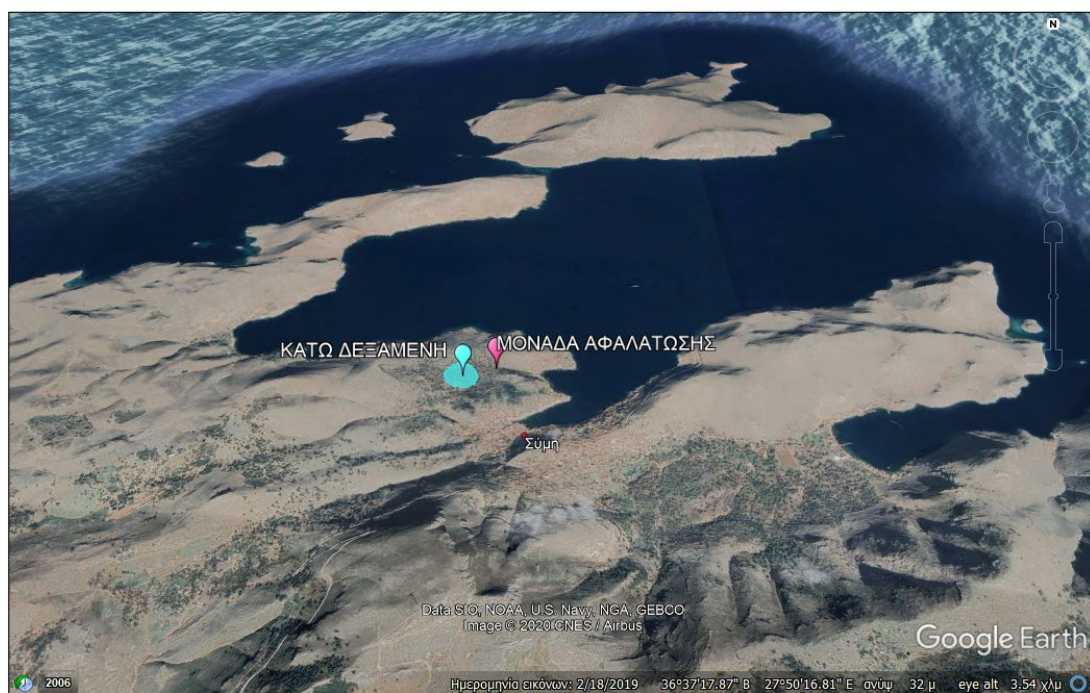
Σχήμα 4.3 - Πρόταση θέσης εγκαταστάσεων του υβριδικού συστήματος στο νησί της Σύμης (Επεξεργασία στο πρόγραμμα ArcGIS)

Οι τρεις ανεμογεννήτριες τοποθετούνται στο ανατολικό κομμάτι του νησιού, σε υψόμετρο 420 m κατά μέσο όρο, με βορειοδυτικό προσανατολισμό, όπως και το μεγαλύτερο ποσοστό των ανέμων. Αρκετά κοντά χωροθετείται και η άνω δεξαμενή σε υψόμετρο 240 m, ενώ ο υδροηλεκτρικός σταθμός βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας. Ο αγωγός πτώσης υπολογίζεται να έχει μήκος περίπου 1,3 km. Ο κύριος οικισμός του νησιού, ο Γιαλός απέχει 2,4 km από τις ανεμογεννήτριες και 3,2 km από τον υδροηλεκτρικό σταθμό.



**Σχήμα 4.4 - Χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, του υδροηλεκτρικού σταθμού και της άνω δεξαμενής (Πηγή : Google Earth)**

Το αντλιοστάσιο για τη μεταφορά νερού στη μονάδα αφαλάτωσης προτείνεται να τοποθετηθεί στον οικισμό Συκίδι, ενώ πολύ κοντά θα βρίσκονται και οι εγκαταστάσεις της μονάδας όπως και της κάτω δεξαμενής. Συγκεκριμένα υπολογίζονται σε απόσταση μισού χιλιομέτρου από το Γιαλό και σε υψόμετρο 40 m.



**Σχήμα 4.5 - Χωροθέτηση της μονάδας αφαλάτωσης και της κάτω δεξαμενής (Πηγή : Google Earth)**

## 4.3 Εκτίμηση Ζήτησης Όγκου Νερού

### 4.3.1 Ύδρευση

Σε ότι αφορά τις ανάγκες ύδρευσης του νησιού έγινε προσέγγιση με δύο διαφορετικούς τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος προκύπτει μέσω θεωρητικής προσέγγισης του πληθυσμού κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε συνάρτηση φυσικά με την κατανάλωση ανά κάτοικο. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ ο μόνιμος πληθυσμός της Σύμης ανέρχεται στους 2590 κατοίκους με βάση την απογραφή του 2011. Παράλληλα από την ίδια πηγή έγινε συλλογή πληροφοριών για τις αφίξεις τόσο των τουριστικών όσο και των υπόλοιπων μηνών, οι οποίες ανέρχονται στις 10000 περίπου



ετησίως. Επιπλέον θεωρήθηκε κατανάλωση νερού ανά κάτοικο και ανά ημέρα της τάξης 0,18 m<sup>3</sup>/d. Με αυτό τον τρόπο έγινε η αρχική προσέγγιση της ζήτησης ύδρευσης με ημερήσιο βήμα (m<sup>3</sup>/d) και για κάθε μήνα, θεωρώντας ότι κατά τη διάρκεια αυτού η τιμή αυτή παραμένει σταθερή.

**Πίνακας 4.1 - Προσέγγιση του πληθυσμού της Σύμης ανά μήνα**

<b>ΜΗΝΕΣ</b>	<b>ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ</b>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2590
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2590
ΜΑΡΤΙΟΣ	2590
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	3000
ΜΑΙΟΣ	3000
ΙΟΥΝΙΟΣ	4000
ΙΟΥΛΙΟΣ	6000
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6000
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	3000
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	2590
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	2590
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	2590

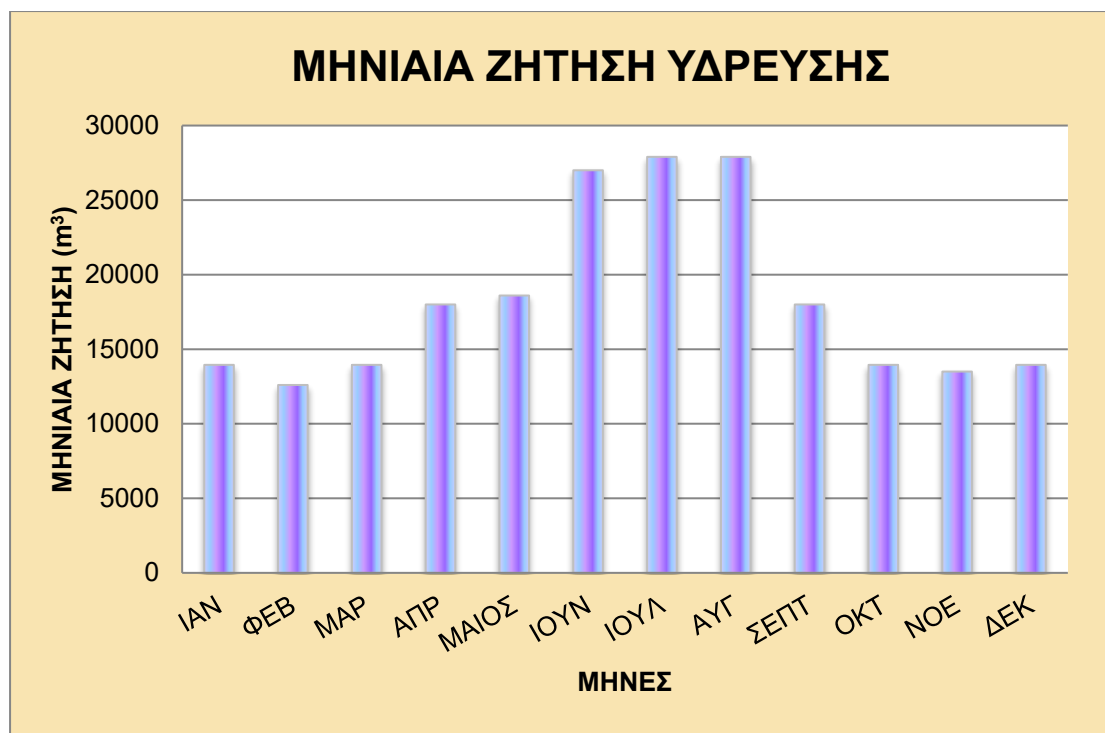
Ο δεύτερος τρόπος προήλθε μετά από επικοινωνία με την Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου της Σύμης (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Σύμης, ΔΕΥΑΣ). Ειδικότερα, συλλέχτηκαν τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν τη συνολική κατανάλωση (m<sup>3</sup>) ανά τρίμηνο, όπως αυτή μετρήθηκε από την ΔΕΥΑΣ. Το πρόβλημα εδώ έγκειται στο ότι δεν ήταν γνωστή η κατανομή της συνολικής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια του τριμήνου. Παράλληλα στις παραπάνω καταναλώσεις θα έπρεπε να προστεθούν και αυτές των δημόσιων υπηρεσιών.

Τελικά, έχοντας τα αθροίσματα συνολικής κατανάλωσης για τα τρίμηνα Ιανουάριος - Μάρτιος, Απρίλιος - Ιούνιος, Ιούλιος - Σεπτέμβριος, Οκτώβριος - Δεκέμβριος, και σε συνάρτηση με την προσέγγιση της κατανάλωσης του κάθε μήνα με βάση τον πληθυσμό, προέκυψε το παρακάτω αποτέλεσμα.

Πίνακας 4.2 - Ανάγκες ύδρευσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση

ΜΗΝΕΣ	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m <sup>3</sup> )	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m <sup>3</sup> )
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	450	13950
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	450	12600
ΜΑΡΤΙΟΣ	450	13950
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	600	18000
ΜΑΙΟΣ	600	18600
ΙΟΥΝΙΟΣ	900	27000
ΙΟΥΛΙΟΣ	900	27900
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	900	27900
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	600	18000
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	450	13950
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	450	13500
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	450	13950
<b>ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m<sup>3</sup>)</b>		<b>219300</b>

Συνεπώς, υπολογίστηκε πως για το νησί της Σύμης η συνολική ετήσια ζήτηση ύδρευσης κυμαίνεται στα 219300 m<sup>3</sup> για το έτος αναφοράς της εργασίας, το οποίο είναι το 2018. Στο σχήμα που ακολουθεί παρακάτω φαίνεται η διακύμανση της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όπως ήταν αναμενόμενο η αιχμή παρουσιάζεται κατά τους θερινούς μήνες όπου η τουριστική κίνηση μεγιστοποιείται.



Σχήμα 4.6 – Μέση μηνιαία ζήτηση ύδρευσης της Σύμης για το έτος 2018

#### 4.3.2 Άρδευση

Σύμφωνα με τις καταγραφές της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα είδη καλλιέργειας του νησιού της Σύμης καθώς και η αντίστοιχες εκτάσεις αυτών.

Πίνακας 4.3 - Έκταση ανά καλλιέργεια (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ (στρ)
ΛΑΧΑΝΙΚΑ	970,5
ΟΠΩΡΟΦΟΡΑ	612,1
ΑΜΠΕΛΙΑ	87,8
ΣΙΤΗΡΑ	131,5
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1801,9</b>

Ως αρδευτική περίοδος θεωρήθηκαν οι μήνες Μάιος έως και Σεπτέμβριος, κατά τους χειμερινούς δηλαδή μήνες λαμβάνονται μηδενικές αρδευτικές ανάγκες. Η αρδευτική ζήτηση λοιπόν υπολογίστηκε με τη μέθοδο Blaney – Criddle, η οποία μέσω μιας εμπειρικής σχέσης υπολογίζει τη μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή ET (mm) για κάθε μήνα και ανά κατηγορία καλλιέργειας. Πρόκειται δηλαδή για μία μέθοδο που λαμβάνει υπόψη το είδος της καλλιέργειας, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας.

**Εξίσωση 4.1 - Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm  
(Πηγή : Τσακίρης, 2006)**

$$ET = k \frac{(1,8T + 32)p}{3,94}$$

Όπου:

*ET* η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm,

*k* ο συντελεστής καλλιέργειας

*T* η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε °C

*p* το ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα  $p = 100 \frac{N \cdot \mu}{365 \cdot 12}$

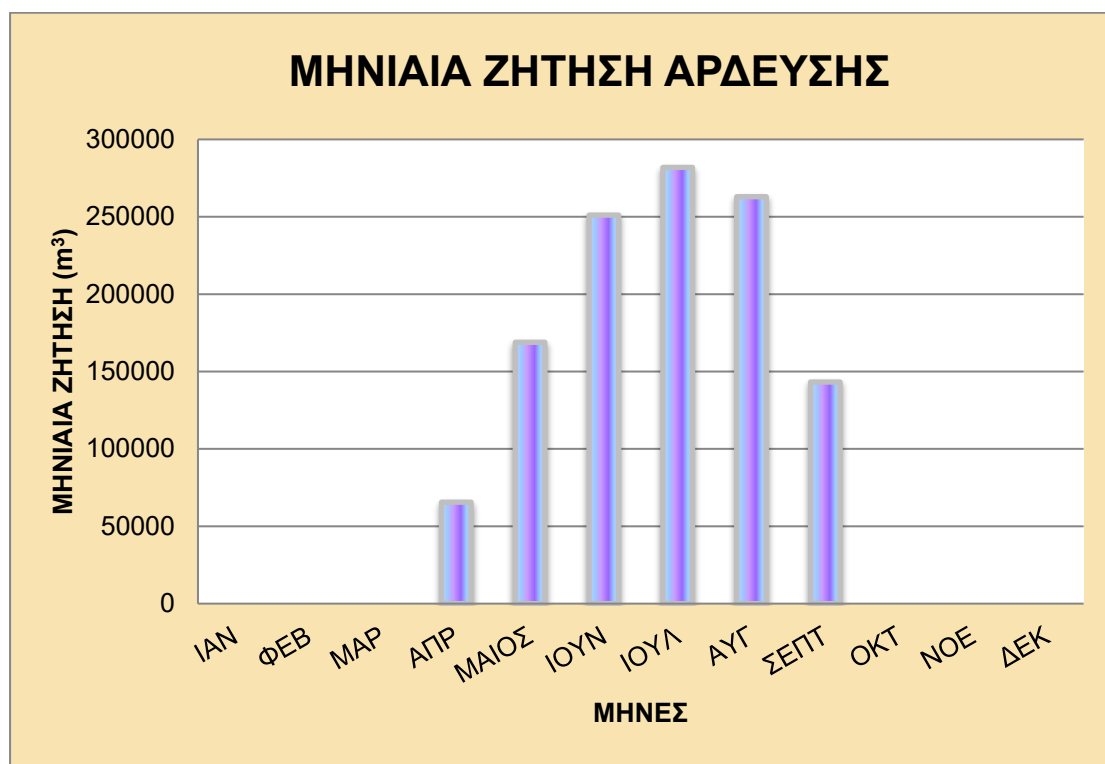
*N* η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας σε ώρες

*μ* ο αριθμός ημερών συγκεκριμένου μήνα

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι έχουν ληφθεί υπόψη και τα στοιχεία υετού, καθώς από την παραπάνω τιμή της εξατμισοδιαπνοής αφαιρείται η μέση μηνιαία τιμή της βροχόπτωσης (mm). Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τις αντίστοιχες εκτάσεις (m<sup>2</sup>) της κάθε καλλιέργειας προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα της ποσότητας ζήτησης αρδευτικού νερού (m<sup>3</sup>), η οποία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4 - Ανάγκες ύδρευσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση

ΜΗΝΕΣ	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m <sup>3</sup> )	ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m <sup>3</sup> )
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2185	65560
ΜΑΙΟΣ	5449	168909
ΙΟΥΝΙΟΣ	8370	251087
ΙΟΥΛΙΟΣ	9095	281931
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	8483	262986
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4773	143199
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0	0
<b>ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m<sup>3</sup>)</b>		<b>1173672</b>



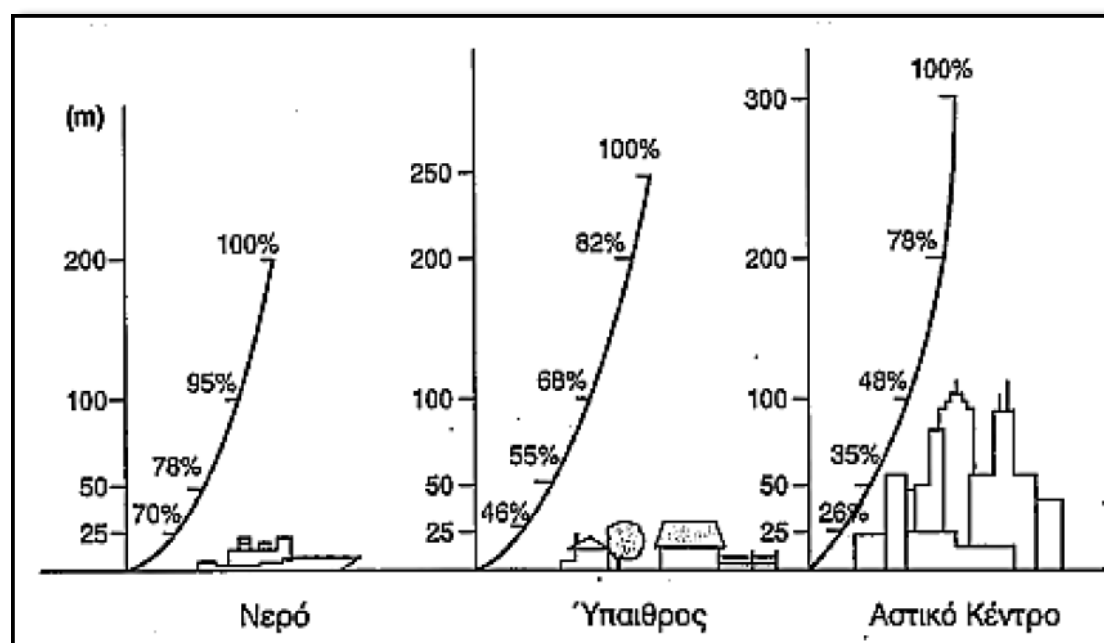
Σχήμα 4.7 - Μέση μηνιαία ζήτηση άρδευσης της Σύμης για το έτος 2018

#### 4.4 Αιολικό Δυναμικό

Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ). Συγκεκριμένα, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία για το νησί της Σύμης αυτό καθαυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι ταχύτητες ανέμου που καταγράφηκαν από τον πλησιέστερο στην περιοχή μελέτης μετεωρολογικό σταθμό, τον σταθμό της Ρόδου.

Το αρχείο της ΕΜΥ περιείχε καταγραφές των ταχυτήτων ανέμου ανά τρίωρο και στη μονάδα μέτρησης των knots. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων αυτών ήταν η μετατροπή τους ώστε να έχουν ημερήσιο βήμα και η αλλαγή σε m/s.

Όπως έχει προκύψει από μελέτες, η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει αυξητική τάση με την απομάκρυνση από το έδαφος, λόγω της ταχείας ελάττωσης των τριβών με την επιφάνεια του εδάφους. Η μεταβολή αυτή μπορεί να είναι αξιοσημείωτη στο χαμηλότερο στρώμα του εδάφους, καθώς εκεί υφίσταται η μεγαλύτερη τριβή λόγω των εμποδίων που υπάρχουν στο ανάγλυφο της εκάστοτε περιοχής όπως κτήρια, δένδρα και άλλα.



Σχήμα 4.8 - Επίδραση τραχύτητας στην κατανομή ταχύτητας του ανέμου (Πηγή : Καραγκούνης, 2017)

Για την υψομετρική αναγωγή των ταχυτήτων θεωρήθηκε λογαριθμική κατανομή σε ότι αφορά την κατακόρυφη μεταβολή και χρησιμοποιήθηκε ο εξής τύπος :

**Εξίσωση 4.2 - Λογαριθμική κατανομή της ταχύτητας ανέμου στον κατακόρυφο άξονα (Πηγή : Καραγκούνης, 2017)**

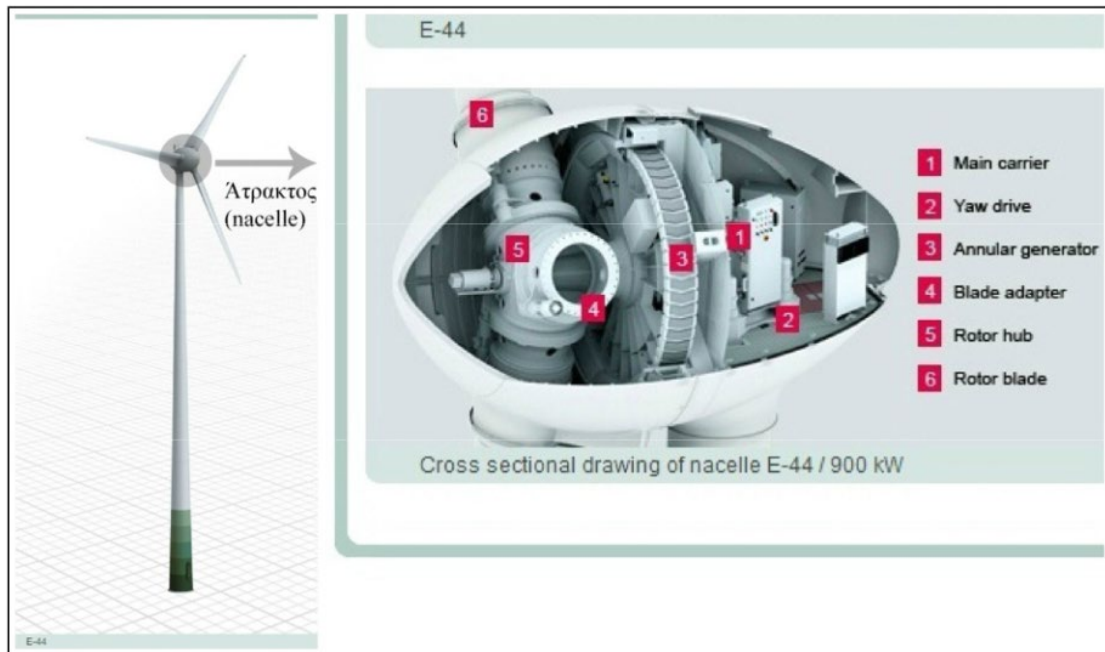
$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}}$$

Όπου  $u_1$  και  $u_2$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψη  $z_1$  και  $z_2$  αντίστοιχα και  $z_0$  η παράμετρος τραχύτητας. Η παράμετρος  $z_0$  εξαρτάται από την κάλυψη του εδάφους, τη γεωμετρία της επιφάνειας, το ύψος και την πυκνότητα των στοιχείων τραχύτητας.

**Πίνακας 4.5 - Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας (Πηγή: Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999)**

<b>Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας <math>z_0</math> για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)</b>	
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 10-15 m	40-70

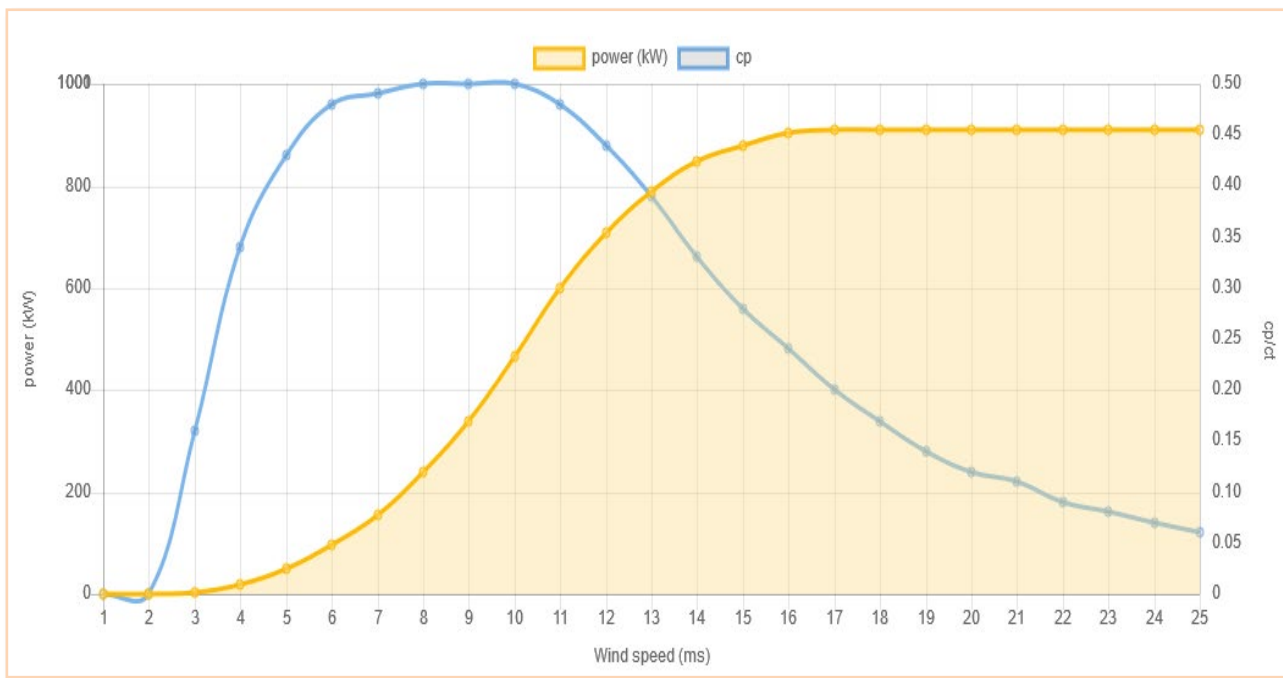
Το μοντέλο των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση είναι η A/G Enercon E- 44 με διάμετρο ρότορα 44m όπως αναφέρεται και στον τίτλο της και ισχύ 900kW.



Σχήμα 4.9 - Η Α/Γ Enercon E- 44 (Πηγή : [www.enercon.de](http://www.enercon.de))

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την Α/Γ χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος. Η καμπύλη ισχύος αποτελεί χαρακτηριστικό της κάθε ανεμογεννήτριας και παρουσιάζει την απόδοση σε ισχύ ανάλογα με την ένταση του ανέμου που δέχεται η Α/Γ. Ειδικότερα, με σκοπό να εκτιμηθεί μια ικανοποιητική εξίσωση που να δίνει τη τιμή της ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, στο κυρτό μη σταθερό τμήμα της καμπύλης ισχύος προσαρμόστηκε μια πολυωνυμική εξίσωση 6<sup>ου</sup> βαθμού (Μυσίρης, 2015).





Σχήμα 4.10 - Διάγραμμα καμπύλης ισχύος A/Γ Enercon 44 (Πηγή : wind-turbine-models.com)

#### Εξίσωση 4.3 - Ισχύς σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου (Μουσίρης, 2015)

$$P = \begin{cases} 0, & u \leq 2 \\ 0,000479u^6 - 0,020121u^5 + 0,237154u^4 - 0,358363u^3 - 0,779043u^2 + 3,713895u, & 2 < u < 17 \\ 900, & u \geq 17 \end{cases}$$

Όπου  $u$  (m/s) η ταχύτητα του ανέμου και  $P$  (kW) η ισχύς. Τέλος, για τον προσδιορισμό της ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας πολλαπλασιάζεται η παραπάνω ισχύς με τον αντίστοιχο χρόνο. Αυτή λοιπόν είναι και η διατιθέμενη ενέργεια προς διαχείριση και διάθεση είτε στη μονάδα αφαλάτωσης είτε στο αντλιοστάσιο, με σκοπό την καλύτερη δυνατή κάλυψη των υδατικών αναγκών της Σύμης.

#### 4.5 Στοιχεία Υδροηλεκτρικού Έργου

Η ισχύς  $I$  (kW) που απαιτεί μία αντλία ή αποδίδει ένας υδροστρόβιλος υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

**Εξίσωση 4.4 – Ισχύς υδροστροβίλου (Πηγή : Στάμου, 2009)**

$$I = g * Q * H_{man} * n_t$$

**Εξίσωση 4.5 – Ισχύς αντλίας (Πηγή : Στάμου, 2009)**

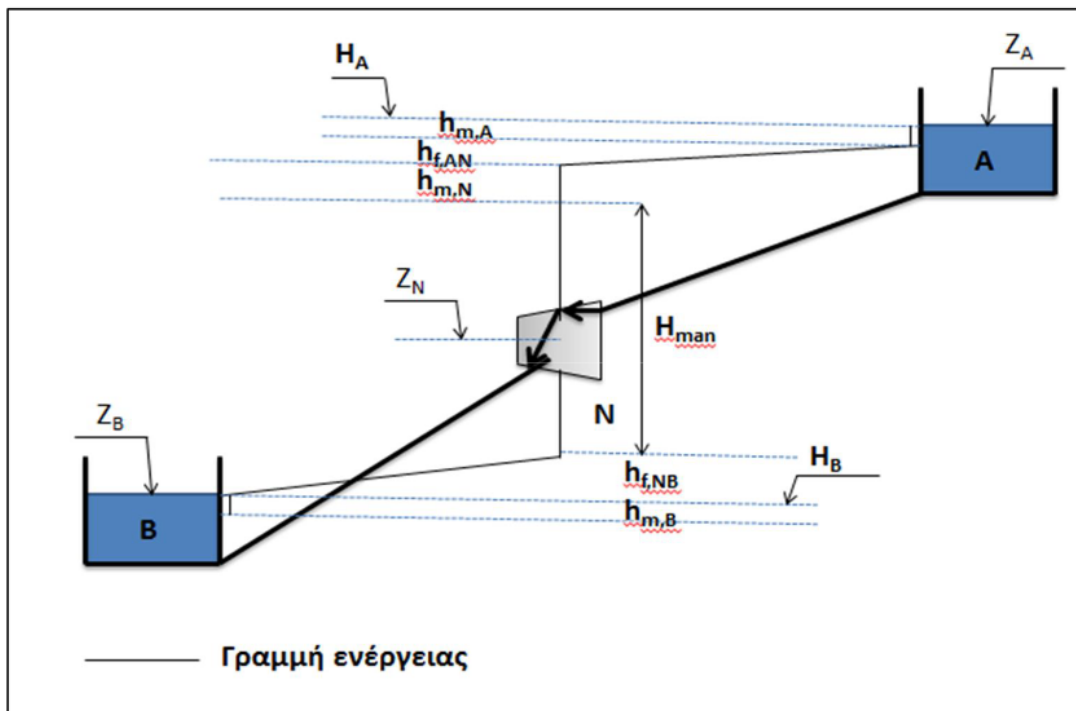
$$I = g * Q * H_{man} / \eta_p$$

Όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $Q$  η παροχή στον αγωγό πτώσης ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_{man}$  το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστρόβιλου και  $\eta_t$ ,  $\eta_p$  οι συντελεστές βαθμού απόδοσης του υδροστρόβιλου και της αντλίας που λαμβάνονται ίσοι με 0,9 και 0,69 αντίστοιχα.

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

**Εξίσωση 4.6 - Εξίσωση ενέργειας για υδροστρόβιλο (Πηγή : Στάμου, 2009)**

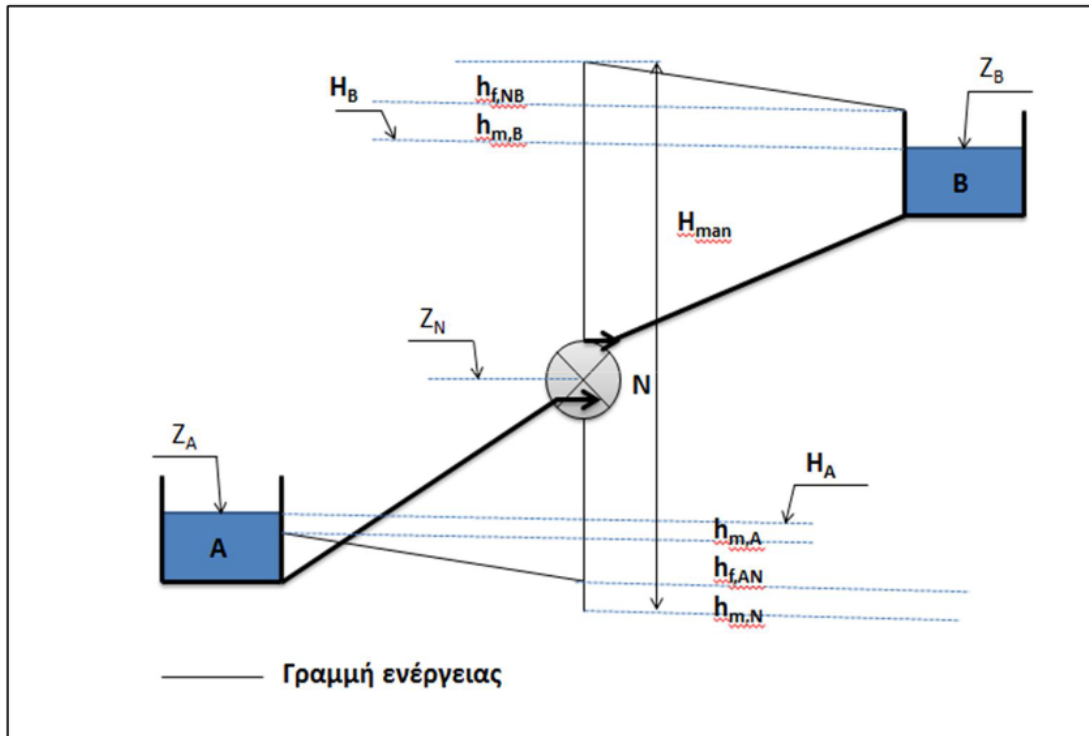
$$H_A = H_{man} + H_B + \Sigma h_{f(A-B)} + \Sigma h_{m(A-B)}$$



**Σχήμα 4.11 - Η γραμμή ενέργειας κατά τη χρήση υδροστροβίλου (Πηγή : Στάμος, 2009)**

Εξίσωση 4.7 - Εξίσωση ενέργειας για αντλία (Πηγή : Στάμου, 2009)

$$H_A + H_{man} = H_B + \sum h_{f(A-B)} + \sum h_{m(A-B)}$$



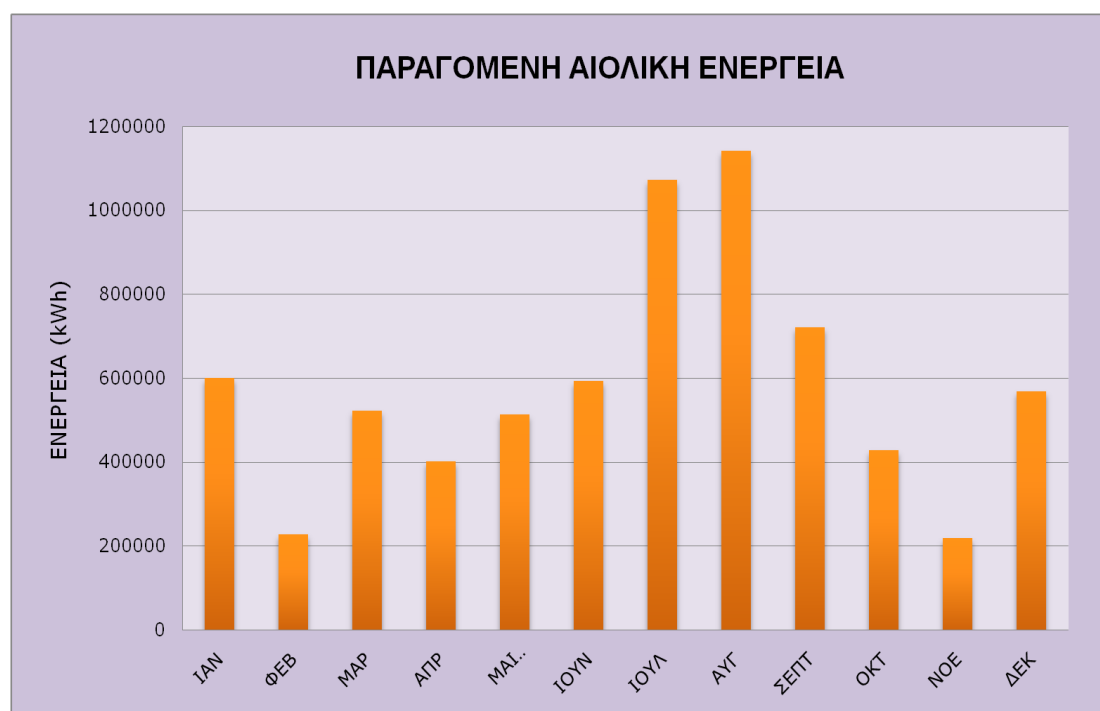
Σχήμα 4.12 - Η γραμμή ενέργειας κατά τη χρήση αντλίας (Πηγή : Στάμου, 2009)

Όπου  $H_{man}$  είναι το μανομετρικό ύψος του υδροστρόβιλου ή της αντλίας αντίστοιχα,  $H_A$  είναι η στάθμη στην δεξαμενή A,  $H_B$  η στάθμη στη δεξαμενή B,  $\sum h_{f(A-B)}$  το άθροισμα των γραμμικών απωλειών των σωλήνων και  $\sum h_{m(A-B)}$  το άθροισμα των τοπικών απωλειών.

## 5. Αποτελέσματα

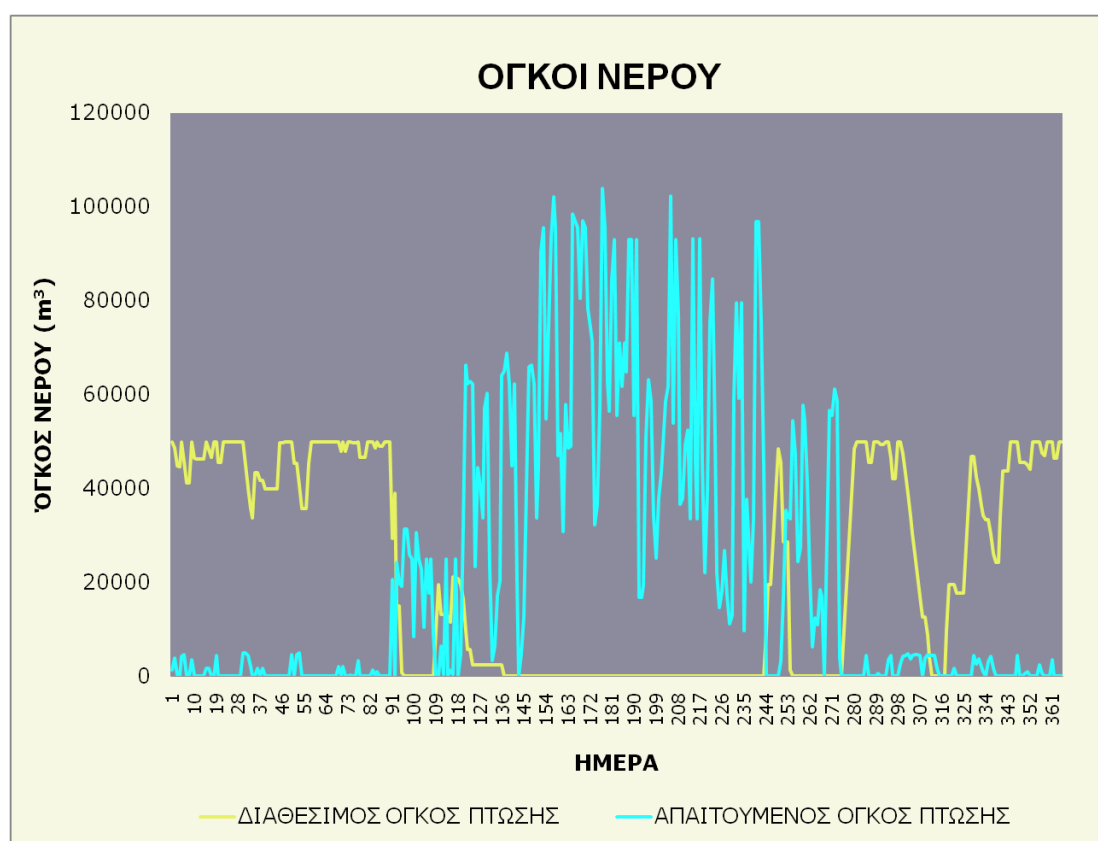
Με στόχο την αξιολόγηση του βαθμού ανταπόκρισης του υβριδικού συστήματος μορφώθηκε στο πρόγραμμα Microsoft Excel 365 ένα μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος στη διάρκεια ενός έτους και με ημερήσιο βήμα. Το έτος αναφοράς των παρακάτω αποτελεσμάτων είναι το 2018.

Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται η παραγόμενη αιολική ενέργεια των τριών ανεμογεννητριών, ανά μήνα. Η ενέργεια αυτή δεν απορρίπτεται ούτε στο ελάχιστο, αλλά καταναλώνεται εξ ολοκλήρου για την λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης και για τα υφιστάμενα αντλιοστάσια, τόσο της άνω όσο και της κάτω δεξαμενής. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα οι θερινοί μήνες είναι εκείνοι με τις υψηλότερες ταχύτητες ανέμων και κατά συνέπεια υψηλότερη παραγόμενη ενέργεια, γεγονός που είναι προς όφελος του συστήματος καθώς τότε είναι και η περίοδος με την μεγαλύτερη ζήτηση.



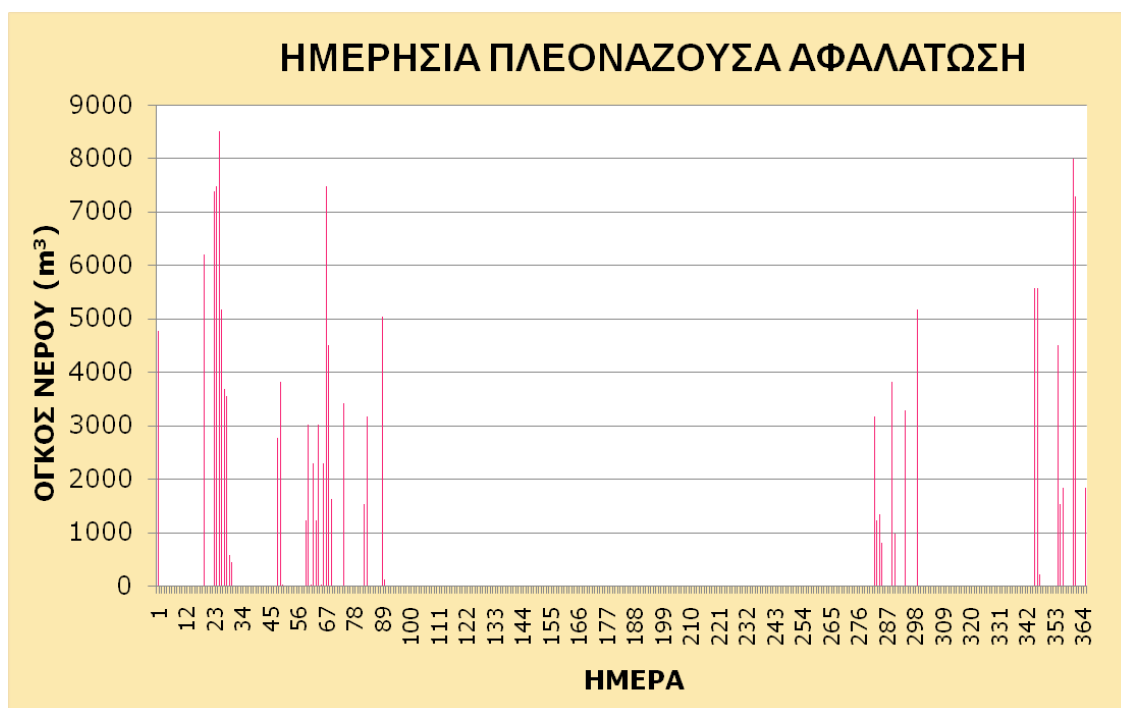
Σχήμα 5.1 - Παραγόμενη αιολική ενέργεια

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται ο απαιτούμενος όγκος πτώσης σε συνάρτηση με τον διαθέσιμο. Ο απαιτούμενος όγκος πτώσης αφορά τις ημέρες που δεν επαρκεί μόνο η ενέργεια των ανεμογεννητριών. Συγκεκριμένα αναφέρεται στην ποσότητα του όγκου νερού που απαιτείται να περάσει από τον υδροστρόβιλο, με στόχο την παραγωγή της ενέργειας που υπολείπεται για την κάλυψη ύδρευσης και άρδευσης αθροιστικά. Ως διαθέσιμος όγκος από την άλλη, εμφανίζεται η εκάστοτε πληρότητα της άνω δεξαμενής.



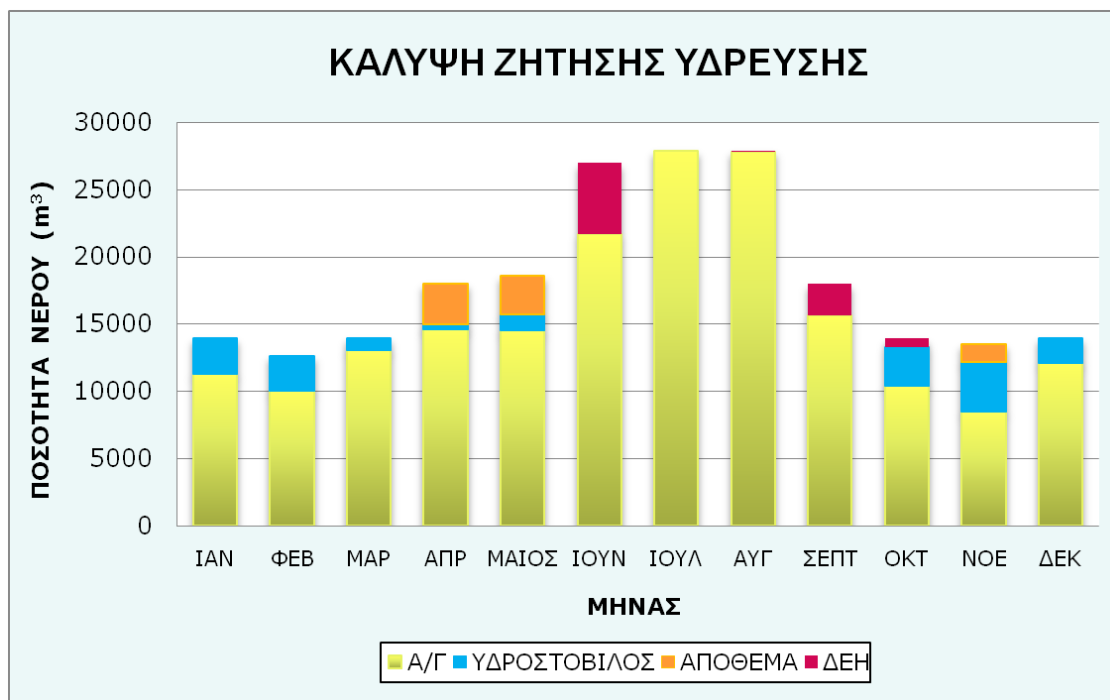
**Σχήμα 5.2 - Απαιτούμενος και διαθέσιμος όγκος νερού**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τις ημέρες που υπάρχει περίσσεια ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, το πλεόνασμα αυτό χρησιμοποιείται για άντληση, εξαιρουμένης της περίπτωσης που η άνω δεξαμενή είναι πλήρης. Τότε, παρότι έχει ήδη καλυφθεί η ζήτηση, η επιπλέον ενέργεια χρησιμοποιείται και εκείνη για αφαλάτωση, με τον όγκο του νερού να αποθηκεύεται στην κάτω δεξαμενή. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο όγκος του επιπλέον νερού που αφαλατώνεται την κάθε ημέρα του έτους.



Σχήμα 5.3 - Ημερήσια πλεονάζουσα αφαλάτωση

Το Σχήμα 5.4 εμφανίζει για κάθε μήνα του έτους την ποσότητα νερού που ζητείται για ύδρευση. Αυτός ο όγκος νερού προκύπτει όλος από τις μονάδες αφαλάτωσης, με μόνη διαφορά την πηγή ενέργειας από την οποία τροφοδοτούνται με ρεύμα οι μονάδες κάθε φορά. Έτσι στο παρακάτω διάγραμμα οι όγκοι νερού αντιστοιχίζονται στην εκάστοτε πηγή, μεταφράζεται δηλαδή η παραγόμενη ενέργεια σε αφαλατωμένο νερό.

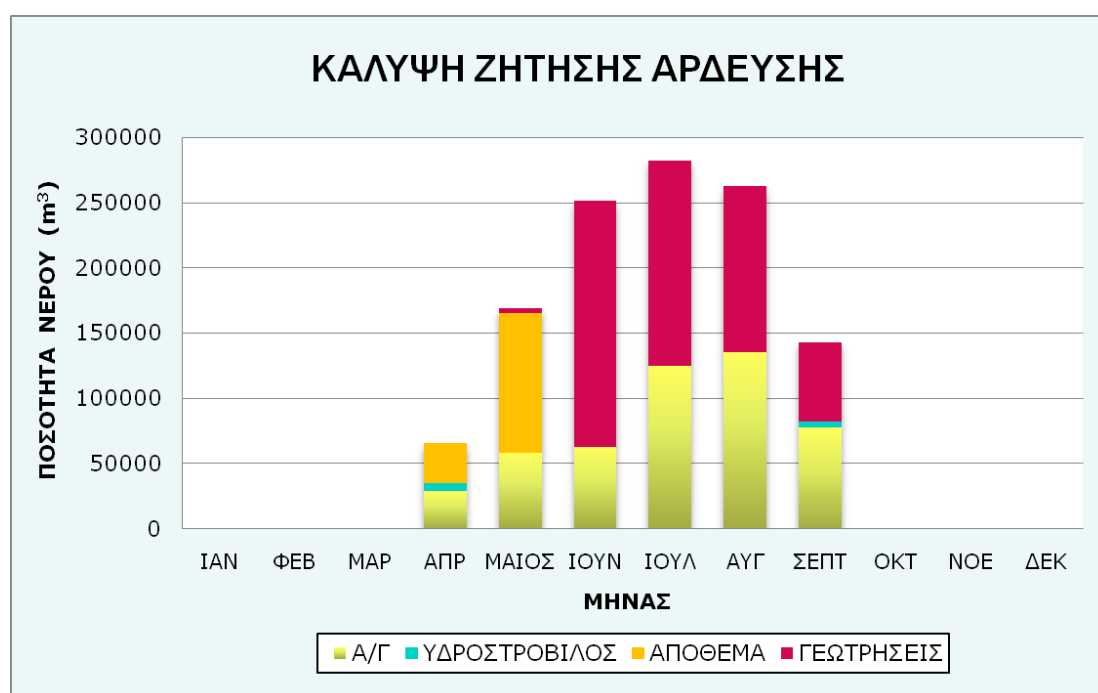


Σχήμα 5.4 - Κάλυψη ζήτησης ύδρευσης

Πίνακας 5.1 - Αντιστοιχία των παραγόμενων κυβικών νερού (m<sup>3</sup>) με τις πηγές κάλυψης

ΥΔΡΕΥΣΗ					
ΜΗΝΑΣ	ΖΗΤΗΣΗ	Α/Γ	ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΟΣ	ΑΠΟΘΕΜΑ	ΔΕΗ
ΙΑΝ	13950	11279	2671	0	0
ΦΕΒ	12600	10069	2531	0	0
ΜΑΡ	13950	13095	855	0	0
ΑΠΡ	18000	14627	358	3015	0
ΜΑΙΟΣ	18600	14519	1229	2851	0
ΙΟΥΝ	27000	21699	0	0	5301
ΙΟΥΛ	27900	27900	0	0	0
ΑΥΓ	27900	27829	0	0	71
ΣΕΠΤ	18000	15613	0	0	2387
ΟΚΤ	13950	10431	2826	0	693
ΝΟΕ	13500	8532	3650	1318	0
ΔΕΚ	13950	12089	1861	0	0

Το Σχήμα 5.5 εμφανίζει για κάθε μήνα της αρδευτικής περιόδου την ποσότητα νερού που ζητείται για άρδευση. Στόχος είναι ο απαιτούμενος όγκος νερού για την άρδευση να προκύπτει μέσω των μονάδων αφαλάτωσης, οι οποίες τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια είτε μέσω των ανεμογεννητριών, είτε μέσω του υδροστροβίλου. Τις ημέρες που υφίσταται ενεργειακό έλλειμμα, η άρδευση γίνεται μέσω γεωτρήσεων ή ακόμη και μεταφερόμενου νερού. Στο παρακάτω διάγραμμα λοιπόν, πέρα από τη ζήτηση προβάλλεται και ο τρόπος με τον οποίο εκείνη καλύπτεται κάθε φορά.



Σχήμα 5.5 - Κάλυψη ζήτησης άρδευσης

Πίνακας 5.2 - Αντιστοιχία των παραγόμενων κυβικών νερού (m<sup>3</sup>) με τις πηγές κάλυψης

ΑΡΔΕΥΣΗ					
ΜΗΝΑΣ	ΖΗΤΗΣΗ	Α/Γ	ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΟΣ	ΑΠΟΘΕΜΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ
ΙΑΝ	0	0	0	0	0
ΦΕΒ	0	0	0	0	0
ΜΑΡ	0	0	0	0	0
ΑΠΡ	65560	28805	5936	30819	0
ΜΑΙΟΣ	168909	58524	0	106492	3893
ΙΟΥΝ	251087	63123	0	0	187965
ΙΟΥΛ	281931	125238	0	0	156693
ΑΥΓ	262986	135276	0	0	127709
ΣΕΠΤ	143199	77911	4139	0	61150
ΟΚΤ	0	0	0	0	0
ΝΟΕ	0	0	0	0	0
ΔΕΚ	0	0	0	0	0

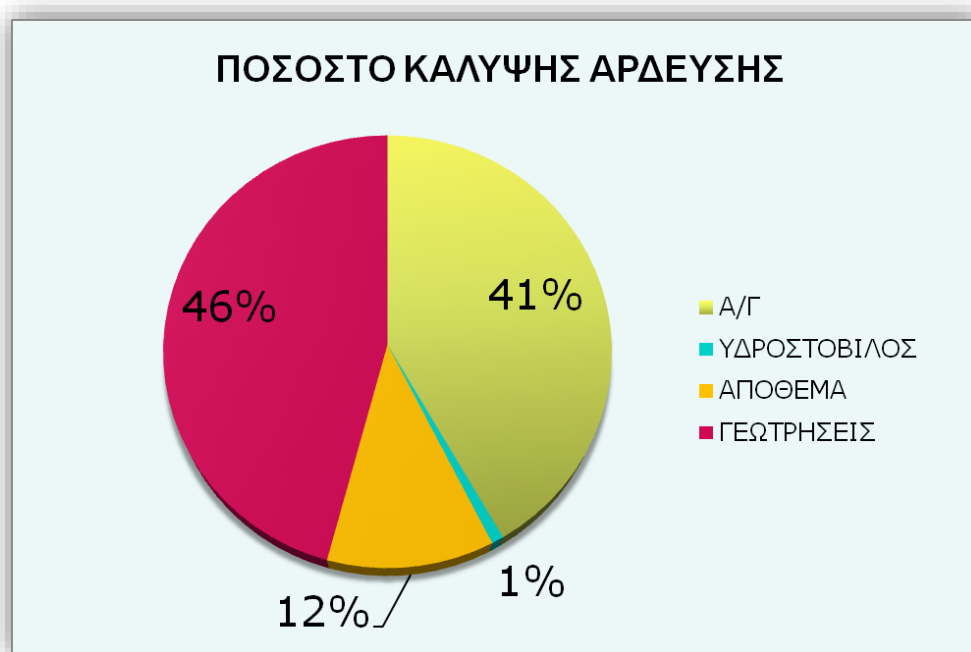


Σχετικά με τις ανάγκες ύδρευσης υπολογίστηκε ότι αυτές ανέρχονται στα 219300 m<sup>3</sup> ετησίως, εκ των οποίων όλα είναι αφαλατωμένο νερό. Ειδικότερα, 187682 m<sup>3</sup> αφαλατώθηκαν με ενεργειακή κάλυψη χάρη στις ανεμογεννήτριες, 15981 m<sup>3</sup> χάρη στον υδροστρόβιλο, 8452 m<sup>3</sup> χάρη στη ΔΕΗ και 7185 m<sup>3</sup> προήλθαν από το πλεόνασμα αφαλατωμένου νερού το οποίο ουσιαστικά καλύφθηκε ενεργειακά και αυτό μέσω των ανεμογεννητριών. Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζονται όλες οι παραπάνω ποσότητες κυβικών σε αντίστοιχες ποσοστιαίες ποσότητες.



Σχήμα 5.6 - Ποσοστό κάλυψης ύδρευσης

Όμοια, για την άρδευση προέκυψε ανάγκη 1173672 m<sup>3</sup> ετησίως εκ των οποίων τα 488876 m<sup>3</sup> είναι αφαλατωμένο νερό με ενεργειακή κάλυψη από τις Α/Γ, τα 10075 m<sup>3</sup> αφαλατωμένο νερό με κάλυψη από τον υδροστρόβιλο, τα 137311 m<sup>3</sup> από το αποθηκευμένο πλεόνασμα δηλαδή επίσης κάλυψη από τις Α/Γ και τέλος τα 537410 m<sup>3</sup> που προέρχονται από γεωτρήσεις είτε μεταφερόμενο νερό. Αντίστοιχα, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα ανάλογα ποσοστά των παραπάνω ποσοτήτων.



**Σχήμα 5.7 - Ποσοστό κάλυψης άρδευσης**

Στο Σχήμα 5.8, παρουσιάζεται η αξιοπιστία του έργου, δηλαδή το ποσοστό των ημερών κατά τη διάρκεια του έτους 2018 που το νησί καταφέρνει να καλύψει την υδρευτική ζήτηση λόγω του υβριδικού έργου. Με τον ίδιο τρόπο, στο Σχήμα 5.9 φαίνεται το ποσοστό αξιοπιστίας της κάλυψης της άρδευσης σε ημέρες της αρδευτικής περιόδου, όπως αυτό έχει θεωρηθεί από Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο.

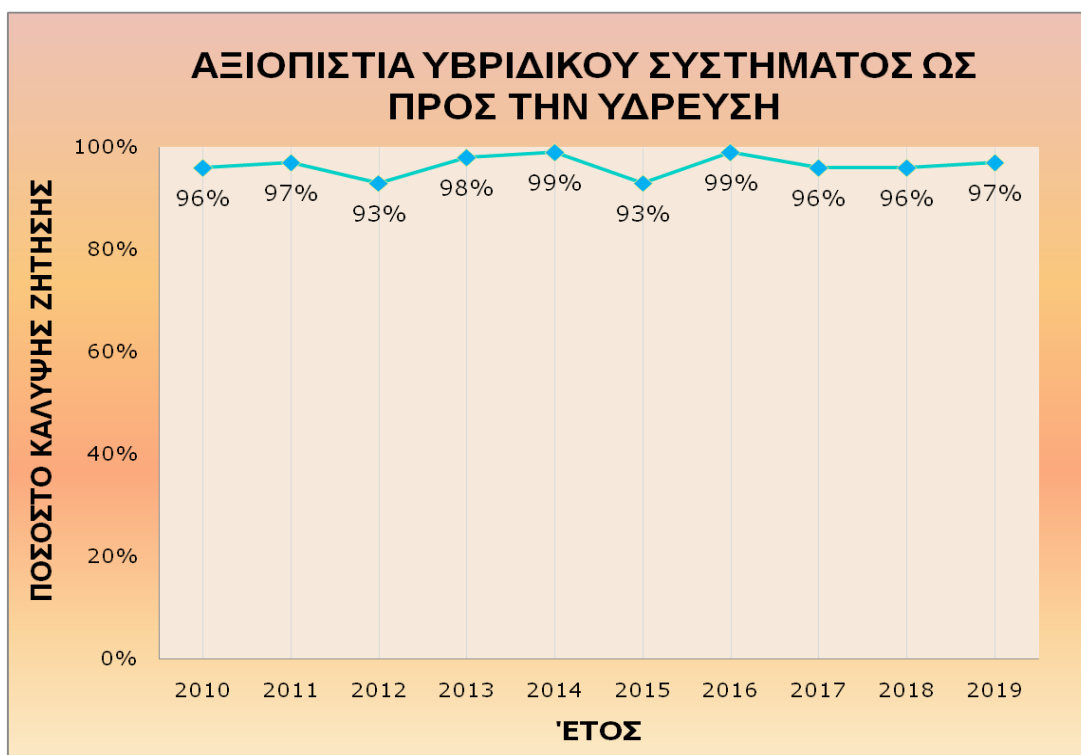


**Σχήμα 5.8 - Ετήσιο ποσοστό κάλυψης ύδρευσης με το υβριδικό σύστημα**

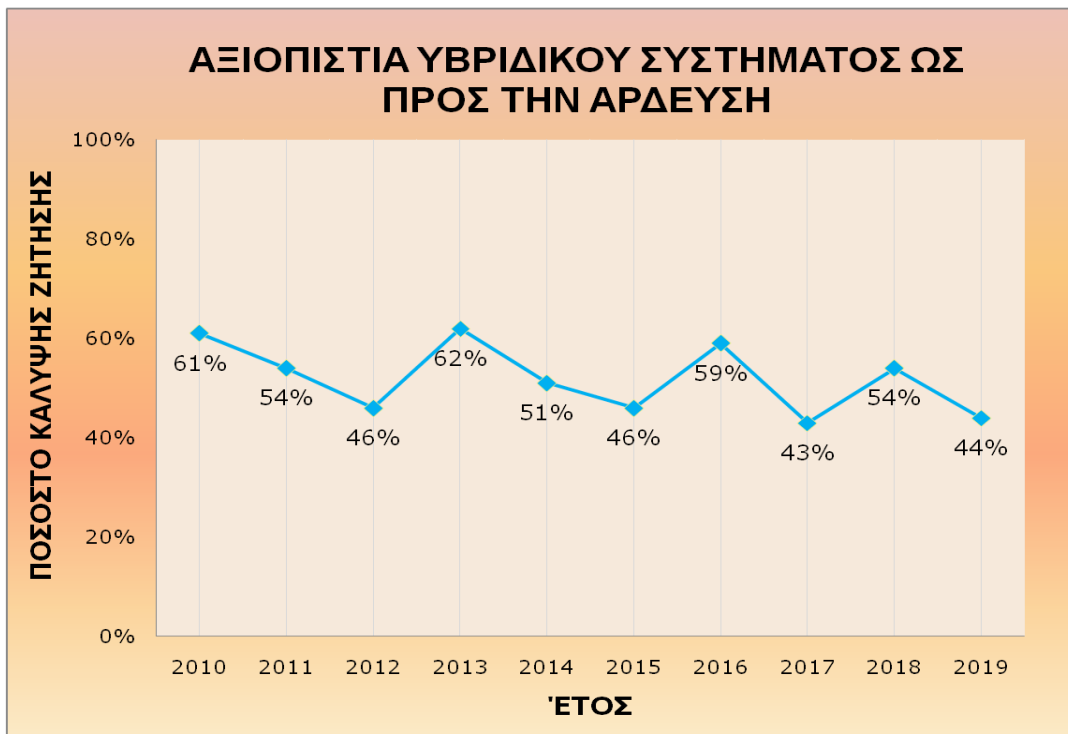


Σχήμα 5.9 - Ετήσιο ποσοστό κάλυψης άρδευσης με το υβριδικό σύστημα

Στη συνέχεια έγινε μία ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος σύμφωνα με την ανταπόκριση του σε διαφορετικά ανεμολογικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα ανεμολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Ρόδου για τα έτη 2010 έως και 2019, ενώ παράλληλα θεωρήθηκε σταθερή ζήτηση. Τα ποσοστά κάλυψης της ζήτησης μέσω του υβριδικού συστήματος παρουσιάζονται παρακάτω, τόσο για την ύδρευση όσο και για την άρδευση.

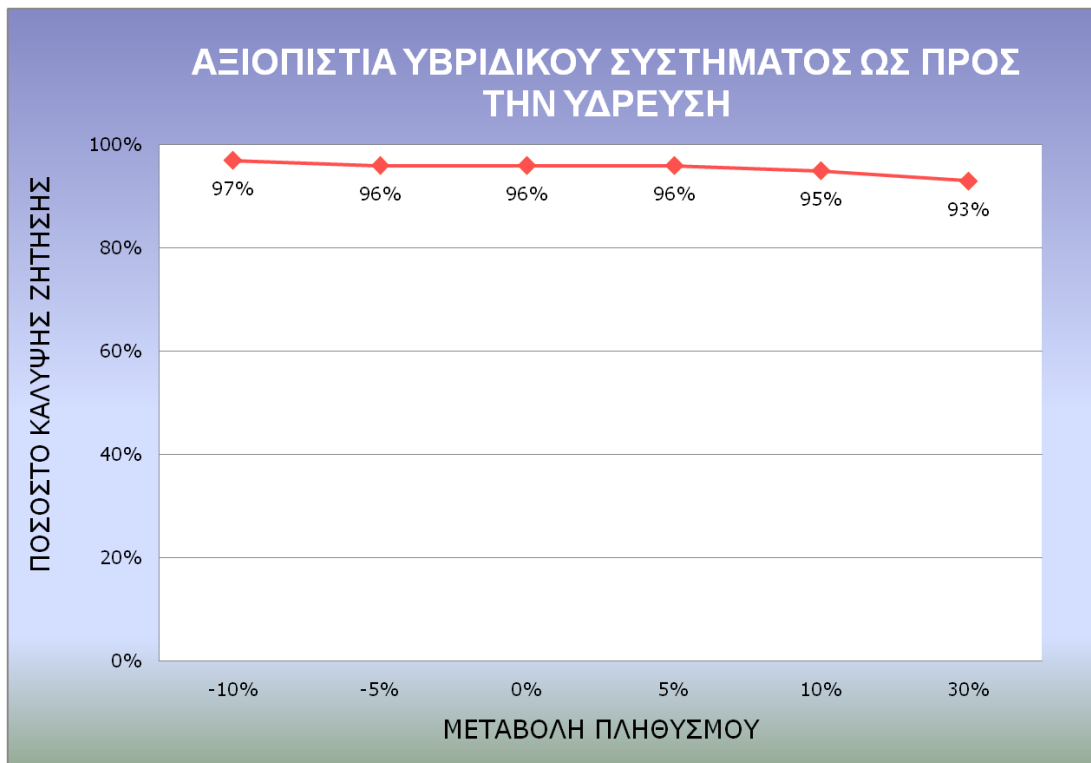


Σχήμα 5.10 - Ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος ως προς την ύδρευση για τα ανεμολογικά έτη 2010 – 2019

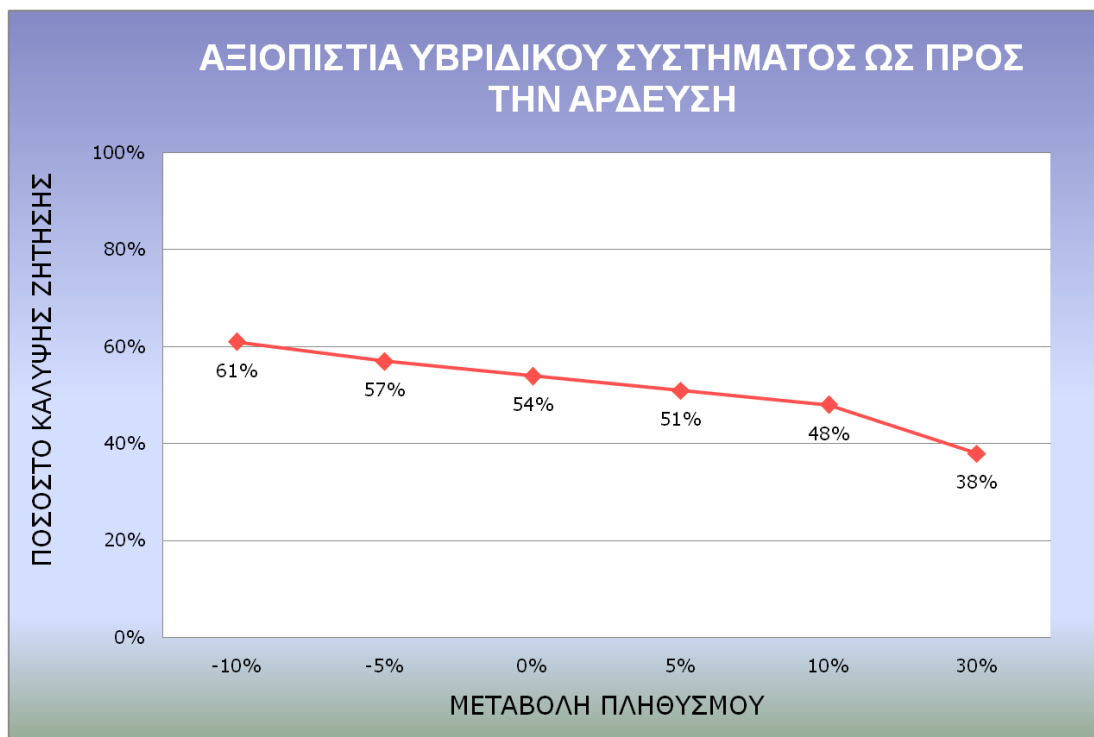


**Σχήμα 5.11 - Ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος ως προς την άρδευση για τα ανεμολογικά έτη 2010 – 2019**

Ακόμη μια ανάλυση ευαισθησίας έγινε με βάση τη μεταβολή του πληθυσμού. Θεωρήθηκαν σταθερά τα ανεμολογικά στοιχεία του 2018 και πιθανές μεταβολές πληθυσμού με μείωση 5 και 10%, αλλά και τις αντίστοιχες πιθανές αυξήσεις. Εκτός αυτών επιλέχθηκε και η τιμή αύξησης του πληθυσμού κατά 30% ως πιθανή μελλοντική εξέλιξη σε ορίζοντα δεκαετίας, λόγω της θέσης της Σύμης σε συνάρτηση με το προσφυγικό και μεταναστευτικό ζήτημα. Σύμφωνα με την Έγερση Αρμοστέα του Ο.Η.Ε το πρώτο εξάμηνο του 2016 ο αριθμός των προσφύγων και μεταναστών που κατέφτασαν στη Σύμη ήταν 43, γεγονός που μεταφράζεται σε 3% ετήσια αύξηση με βάση τον υπάρχοντα πληθυσμό του νησιού (Γιαννάκου, 2019). Η διακύμανση της αξιοπιστίας του συστήματος σύμφωνα με αυτές τις μεταβολές παρουσιάζεται στα επόμενα διαγράμματα.



Σχήμα 5.12 - Ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος ως προς την ύδρευση για διάφορες μεταβολές του πληθυσμού



Σχήμα 5.13 - Ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος ως προς την άρδευση για διάφορες μεταβολές του πληθυσμού

## 6. Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η αποδοτικότητα της λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την κάλυψη των υδατικών αναγκών, στο απομακρυσμένο νησί της Δωδεκανήσου, Σύμη.

Η έρευνα είχε ως αφετηρία την ανασκόπηση της περιοχής μελέτης και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του τόπου, με στόχο να εντοπιστούν τα προβλήματα υδροδότησης αλλά και η υφιστάμενη κατάσταση του νησιού σε ότι αφορά τα ανάλογα ζητήματα. Τα κύρια λοιπόν συμπεράσματα που προέκυψαν από το πρώτο βήμα αυτής της σύνθετης διαδικασίας είναι τα εξής:

- Η ανεξαρτητοποίηση των νησιών από την καύση συμβατικών ορυκτών καυσίμων και τη μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια αποτελεί πέρα από περιβαλλοντική και οικονομική ανακούφιση. Στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στα νησιά του Αιγαίου, ενδείκνυνται η εγκατάσταση υβριδικών έργων, καθώς το κόστος παραγωγής ενέργειας όπως και το κόστος του μεταφερόμενου νερού αποτελούν ξεκάθαρη ζημία.
- Το ιδιαίτερα υψηλό αιολικό δυναμικό που παρουσιάζουν τα νησιά του Αιγαίου, τα καθιστούν αρκετά καλή βάση για να ανοίξει ο δρόμος της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ανάπτυξης υβριδικών συστημάτων.
- Τα χαμηλά ποσοστά βροχόπτωσης καθώς και οι υφάλμυροι υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες που παρουσιάζουν τα περισσότερα μικρά σε έκταση νησιά, εντείνουν ακόμα περισσότερο το πρόβλημα της κάλυψης της ζήτησης ύδρευσης και άρδευσης.
- Η έντονη αυξομείωση του πληθυσμού της Σύμης, όπως και πολλών άλλων τουριστικών νησιών μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση παρόμοιων συστημάτων και σε εγκατάσταση μεγάλων μονάδων, που δεν αξιοποιούν πλήρως το δυναμικό τους, παρά μόνο τους θερινούς μήνες αιχμής της ζήτησης.
- Το ανάγλυφο της Σύμης στάθηκε αρκετά ευεργετικό για την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων του συστήματος. Για την ακρίβεια τα υψηλά υψόμετρα που διαθέτει το νησί βοήθησαν στην καλύτερη εκμετάλλευση των ανέμων

αλλά και στην ευκολότερη τοποθέτηση του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού. Παρόλα αυτά, η παρουσία αρκετών προστατευόμενων περιοχών περιόρισε κάποιες από τις διαθέσιμες πιθανές θέσεις.

Στη συνέχεια, έγινε μια βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την διείσδυση τους στην Ελληνικό χώρο, όπως επίσης και των διαθέσιμων τεχνολογικών μέσων για την αφαλάτωση του νερού. Ύστερα, παρατέθηκαν παραδείγματα εφαρμογών υβριδικών συστημάτων στην Ελλάδα, και ο τρόπος που λειτούργησαν μέσα στο χρόνο. Κάποια συμπεράσματα που αφορούν το κομμάτι αυτό της εργασίας είναι τα παρακάτω:

- Οι περιβαλλοντικές συνέπειες των ορυκτών καυσίμων, καθώς επίσης και το ενδεχόμενο εξάντλησής τους, οδήγησε στην αναζήτηση νέων αειφόρων προσεγγίσεων και στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων με χρήση ΑΠΕ.
- Ορισμένα από τα βασικά μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η αβεβαιότητα ανάλογα με τα εκάστοτε φαινόμενα της φύσης, όπως επίσης και η αδυναμία της αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με αποτέλεσμα συχνά να απορρίπτεται σημαντικό ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας.
- Συγκριτικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, που επίσης αποτελούν ελκυστική λύση, η αιολική ενέργεια φαίνεται να συμφέρει περισσότερο τόσο από οικονομικής άποψης, όσο και επειδή καταλαμβάνει μικρότερη έκταση εγκατάστασης.
- Τα υβριδικά συστήματα, είτε είναι πλήρως ανεξάρτητα ενεργειακά, είτε εντάσσονται έπειτα από τις κατάλληλες παρεμβάσεις, σε υπάρχοντες κατά βάση, συμβατικούς τοπικούς σταθμούς παραγωγής.
- Η ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης, καθιστά εμφανές το πρόβλημα της έλλειψης νερού τα τελευταία χρόνια και καλεί την επιστημονική κοινότητα για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη αυτού του τομέα.
- Για την περίπτωση που οι μονάδες αφαλάτωσης δεν τροφοδοτούνται από συμβατικές μορφές ενέργειας αλλά ΑΠΕ, πρέπει να σημειωθεί πως δεν



είναι δυνατός ο συνδυασμός όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με όλες τις μεθόδους αφαλάτωσης.

- Η πιο διαδεδομένη μεταξύ των τεχνολογιών αφαλάτωσης είναι η αντίστροφη ώσμωση. Αυτό συμβαίνει καθώς συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους εμφανίζει τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και την υψηλότερη δυναμικότητα όσον αφορά την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού. Παράλληλα, παρουσιάζεται ως μία από τις καταλληλότερες τεχνολογίες για σύνδεση και παροχή ρεύματος από Φ/Β ή Α/Γ.
- Η αντλησιοταμίευση αποτελεί τη μοναδική μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας, η οποία εφαρμόζεται στα υδροηλεκτρικά έργα. Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή αποτελείται από εγκαταστάσεις πολλαπλών σκοπών όπως οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού ή τα υδροηλεκτρικά έργα παραγωγής ενέργειας. Με λίγα λόγια, πρόκειται για μια σημαντικά αποδοτική και βιώσιμη μέθοδο, που καταφέρνει να ελαχιστοποιήσει τυχόν απορρίψεις ενέργειας και να μειώσει δραστικά την αβεβαιότητα των υβριδικών συστημάτων, γεγονός που βοηθά εξαιρετικά στην περαιτέρω διείσδυσή τους.

Ακολουθεί σχολιασμός των αποτελεσμάτων σχετικά με την αποδοτικότητα του υβριδικού συστήματος:

- Η αδυναμία ανταπόκρισης του συστήματος προκύπτει τους θερινούς μήνες που λαμβάνει χώρα η έξαρση του πληθυσμού αλλά είναι και περισσότερες οι αρδευτικές ανάγκες λόγω της λιγοστής βροχόπτωσης.
- Η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης υψηλής συνολικής δυναμικότητας εκμεταλλεύονται πλήρως όλο το χρόνο και όχι μόνο το καλοκαίρι, καθώς το αφαλατωμένο πλεόνασμα έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης στην κάτω δεξαμενή.
- Όσον αφορά στην ύδρευση το νησί καταφέρνει να είναι αυτόνομο στην κάλυψη των αναγκών του, από το πρίσμα της μεταφοράς νερού με δεξαμενόπλοια, ανακουφίζεται δηλαδή από μία εξαιρετικά σοβαρή οικονομική επιβάρυνση. Σχετικά με την ενέργεια που απαιτεί η μονάδα αφαλάτωσης για τη λειτουργία της, το νησί επίσης καταφέρνει να είναι

ανεξάρτητο από τον τοπικό σταθμό παραγωγής το 95% των ημερών του έτους.

- Η άρδευση από την άλλη πλευρά απαιτεί τεράστιες ποσότητες νερού συγκριτικά με την ύδρευση. Εξαιτίας αυτού, προκύπτει ότι για την κάλυψη των αναγκών, το 62% των ημερών της αρδευτικής περιόδου θα πρέπει να επιστρατευτούν άλλοι τρόποι, όπως για παράδειγμα γεωτρήσεις ή τοπικές ομβροδεξαμενές.
- Η συμμετοχή του υδροστρόβιλου είναι μεγαλύτερη ποσοστιαία για την κάλυψη της ύδρευσης (7%) σε σχέση με την άρδευση (1%), διότι οι μεγάλες ποσότητες νερού που ζητούνται για την άρδευση, μεταφράζονται σε υψηλές ενεργειακές ανάγκες και αυτές με τη σειρά τους σε μεγάλο απαιτούμενο όγκο πτώσης, ο οποίος συχνά δεν είναι διαθέσιμος. Παρά τη δήλωση του ποσοστού όμως, αν το δει κανείς σε κυβικά παραγόμενου νερού, ο υδροστρόβιλος προσφέρει εν τέλει στην άρδευση περίπου τα 2/3 της ποσότητας που προσφέρει στην ύδρευση.
- Η ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος, τόσο ως προς τα ανεμολογικά δεδομένα, όσο και ως προς τον πληθυσμό, έδειξε σταθερή σχεδόν απόδοση σε ότι αφορά την ύδρευση. Η πορεία της ποσοστιαίας κάλυψης των αναγκών άρδευσης είναι συγκριτικά αρκετά πιο ασταθής, γεγονός αναμενόμενο λόγω της μεγάλης διαφοράς στις απαιτούμενες ποσότητες νερού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προκύπτουν εύλογα ζητήματα τα οποία χρήζουν μελλοντικής έρευνας. Αρχικά, η συλλογή δεδομένων πληθυσμού, καιρού, κατανάλωσης ύδρευσης/άρδευσης και άλλων, θα έπρεπε να βασίζεται σε επί τόπου καταγραφές του ίδιου του νησιού με στόχο τη δυνατότητα εξαγωγής ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Παράλληλα, ζητήματα χωροθέτησης, διαστασιολόγησης των δεξαμενών και των αντλιοστασίων χρήζουν περαιτέρω έρευνας με σκοπό τη βελτιστοποίηση του συστήματος. Μία ενδιαφέρουσα πρόταση για μελλοντική έρευνα θα ήταν επίσης η επεξεργασία του συστήματος για διείσδυση και άλλων μορφών ΑΠΕ όπως Φ/Β, με απώτερο στόχο γιατί όχι και την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα των υδατικών αναγκών. Τέλος, η αξιολόγηση ενός

τέτοιου υβριδικού συστήματος, θα ήταν ορθότερο να γίνει και υπό οικονομικούς όρους, ώστε να επιλεγθεί και με βάση αυτούς ο καλύτερος τρόπος διαχείρισής του.

## 7. Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Γιαννάκου Α., Ο αντίκτυπος του προσφυγικού ρεύματος στον τουρισμό της Χίου, Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος 2019.

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

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

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

Καραγκούνης Α., Υπολογισμός αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα με τη χρήση αριθμητικού μοντέλου, Πτυχιακή εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2017.

Καραχάλιου Π., Τεχνολογίες αφαλάτωσης και προοπτικές εφαρμογής στον ελληνικό χώρο, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2010.

Καρταλίδης Α., Αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη υδατικών και ενεργειακών αναγκών, Διδακτορική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2017.

Κατερινόπουλος Φ., Μικροϋδροηλεκτρικά έργα: Τεχνολογία, διαδικασία μελέτης και εφαρμογές, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2007.

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

Λιάτσου Χ., Συστήματα αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2010.

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

Μέντης Δ., Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ στα άνυδρα νησιά του νοτίου Αιγαίου, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2011.

Μητρόπουλος Ν., Ευρετική Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Υβριδικών Ενεργειακών Συστημάτων, Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2017.

Μπακογιάννη Δ., Χωρική κατανομή μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα - Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης της άλμης από τη βιομηχανία, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2016.

Μπαλτάς Ε., Εφαρμοσμένη Υδρομετεωρολογία, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2013.

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

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

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

Στάμου, Α., Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009.

Τζιβάρας Σ., Υβριδικά Συστήματα παραγωγής ενέργειας βασισμένα σε συνδυασμό δύο διαφορετικών μορφών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2019.

Τσακίρης Γ., Υδραυλικά Έργα – Σχεδιασμός και Διαχείριση, Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2006.

## **Ξένη Βιβλιογραφία**

Bertsiou M., Feloni E., Karpouzos D., Baltas E., Water management and electricity output of a Hybrid Renewable Energy System (HRES) in Fournoi Island in Aegean Sea, 2017.

Papaefthimiou S., Karamanou E., Papathanassiou S., Papadopoulos M., Operating policies for wind-pumped storage hybrid power stations in island grids, IET Renewable Power Generation, 2009.

## **Διαδουκτιακοί Ιστότοποι**

Γεωπληροφοριακός χάρτης Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας:  
<http://www.rae.gr/geo/> (προσπέλαση 26/09/2020)

ΔΕΗ Ανανεώσιμες,  
<https://www.ppcr.gr/el/announcements/news/335-naeras-yvridiko-ergo-ikarias>  
(προσπέλαση 03/10/2020)

ΔΕΥΑΣ, Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Σύμης  
<https://edeya.gr/2013-09-24-09-35-41/deya-meli?pid=2&sid=151:symis>  
(προσπέλαση 26/02/2020)

Δήμος Σύμης, Επίσημη Ιστοσελίδα,  
<https://symi.gr/> (προσπέλαση 19/08/2020)

Διαδραστικός χάρτης της Σύμης,  
<http://www.symimap.com/> (προσπέλαση 19/08/2020)

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ),  
[http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology\\_city?perifereia=South%20Aegean&poli=Rodos](http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=South%20Aegean&poli=Rodos) (προσπέλαση 07/04/2020)

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ),  
<http://www.cres.gr/cres/index.html> (προσπέλαση 03/10/2020)

Κοινή Γνώμη, Ημερήσια Εφημερίδα των Κυκλάδων,  
<https://www.koinignomi.gr/news/i-gnomi-sas/apopseis/2015/08/31/afalatosi-i-skoyriasmeni-ydriada-apohaireta-tin-irakleia.html> (προσπέλαση 03/10/2020)

Οδοιπορικό στην Σύμη,  
[http://www.osymi.gr/proti\\_selida.htm](http://www.osymi.gr/proti_selida.htm) (προσπέλαση 19/08/2020)

Περιοδικό «Αρχαιολογία και Τέχνες»,  
<https://www.archaiologia.gr/blog> (προσπέλαση 06/09/2020)

ΣymiNEWS, Τοπική Εφημερίδα Σύμης,  
<http://www.symigreece.com/nero.htm> (προσπέλαση 06/09/2020)

ΦΙΛΟΤΗΣ, Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση,  
[https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/?sort=site\\_code&dir=asc](https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/?sort=site_code&dir=asc) (προσπέλαση 22/05/2020)

Energypress, Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια,  
[https://energypress.gr/sites/default/files/styles/magnific/public/paragraphs/nae\\_ras\\_diagramma\\_-\\_stathmes.png](https://energypress.gr/sites/default/files/styles/magnific/public/paragraphs/nae_ras_diagramma_-_stathmes.png) (προσπέλαση 05/09/2020)

Wind-turbine-models.com,  
<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/531-enercon-e-44> (προσπέλαση 14/09/2020)