



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση ενός Υβριδικού Συστήματος
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Νήσο Σκύρο στο πλαίσιο
Απολιγνιτοποίησης»**

ΜΑΝΤΖΟΥΡΑΝΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΠΑΛΤΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται το πέραςμα μου από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το μεγάλο αυτό κεφάλαιο της ζωής μου δεν θα μπορούσε να κλείσει χωρίς να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους, που έκαναν αυτήν την εμπειρία ξεχωριστή.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Ευάγγελο Μπαλτά, για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια σε όλα τα στάδια της εργασίας. Ταυτόχρονα υπήρξε ο άνθρωπος που μου πρότεινε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα των υβριδικών συστημάτων στο νησί της Σκύρου και τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπο μου, στην υλοποίηση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές κ. Ευστρατιάδη, κ. Μαμάση και κ. Παπανικολάου για την εξαιρετική διδασκαλία τους στα μαθήματα της σχολής, και ειδικότερα στα μαθήματα «Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα», «Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία» και «Υδραυλικές Κατασκευές – Φράγματα», τα οποία μου προσέφεραν τις απαραίτητες γνώσεις και ανέπτυξαν το ενδιαφέρον μου σε αυτόν τον τομέα.

Έπειτα, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην υποψήφια Διδάκτορα Σοφία Σκρουφούτα, για την ανεκτίμητη συνεισφορά της, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Χωρίς τη βοήθεια της, η παρούσα εργασία δεν θα ήταν η ίδια.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Φωντίνα Πετρακοπούλου για τα στοιχεία που μου προσέφερε, αλλά και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε. Ιδιαίτερες, επίσης, ευχαριστίες στο συμφοιτητή και καλό μου φίλο Αναστάσιο Λεμονή, με τον οποίο μοιραστήκαμε πολλές εμπειρίες στα φοιτητικά μας χρόνια.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την αμέριστη υποστήριξη και την κατανόηση, που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Εμμανουήλ Μαντζουράνης

Μάρτιος 2021

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	VII
EXTENDED ABSTRACT	IX
INTRODUCTION	IX
STUDY AREA.....	X
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	XII
ESTIMATION OF PRODUCED ENERGY.....	XVII
RESULTS	XX
COST – BENEFIT ANALYSIS.....	XXIII
ASSESSMENT OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS (CO ₂ EMISSIONS).....	XXV
CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH	XXVII
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 1 -
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	- 1 -
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	- 3 -
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	- 3 -
2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 5 -
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	- 5 -
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	- 6 -
2.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	- 7 -
2.3.1 Αιολική Ενέργεια	- 7 -
2.3.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	- 10 -
2.3.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	- 13 -
2.4 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	- 14 -
2.4.1 Γενικά Στοιχεία	- 14 -
2.4.2 Αντίστροφη Ωσμωση (Reserve Osmosis- RO)	- 15 -
2.4.3 Ενέργεια για αφαλάτωση.....	- 16 -
3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	- 18 -
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	- 18 -
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	- 19 -
3.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	- 19 -
3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	- 20 -
3.5 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	- 20 -
3.6 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	- 22 -
3.7 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	- 22 -
3.8 ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	- 23 -
3.8.1 ΦΙΛΟΤΗΣ.....	- 23 -
3.8.2 Το Σκυριανό Αλογάκι	- 24 -
3.9 ΥΔΡΕΥΣΗ ΚΑΙ ΆΡΔΕΥΣΗ	- 24 -
3.10 ΕΝΕΡΓΕΙΑ	- 25 -
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	- 26 -
4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	- 26 -
4.1.1 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Βροχόπτωσης.....	- 26 -
4.1.2 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Θερμοκρασίας	- 30 -
4.1.3 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Ανέμου	- 32 -
4.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ, ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ	- 35 -
4.2.1 Υδρευτικές Ανάγκες.....	- 39 -

4.2.2	Αρδευτικές Ανάγκες	- 41 -
4.2.3	Ενεργειακές Ανάγκες	- 46 -
4.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 50 -
4.3.1	Εκτίμηση Παραγόμενης Αιολικής Ενέργειας	- 50 -
4.3.2	Εκτίμηση Παραγόμενης Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	- 54 -
4.4	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ - ΆΝΤΛΗΣΗ.....	- 55 -
4.5	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΌΓΚΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	- 55 -
4.6	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	- 56 -
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	- 60 -
5.1	ΣΕΝΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	- 60 -
5.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	- 60 -
5.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΟΦΕΛΟΥΣ.....	- 78 -
5.3.1	Οικονομικές Έννοιες	- 78 -
5.3.2	Εκτίμηση Συνολικού Κόστους Κατασκευής Έργου.....	- 80 -
5.3.3	Εκτίμηση Ετήσιων Δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης του Υβριδικού Συστήματος	- 81 -
5.3.4	Αξιολόγηση Επένδυσης	- 81 -
5.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΆΝΘΡΑΚΑ (CO ₂ EMISSIONS)	- 86 -
5.4.1	Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Emissions Trading System).....	- 86 -
5.4.2	Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα από τον ΤΣΠ της Σκύρου	- 87 -
5.4.3	Δαπάνες για τα Δικαιώματα Εκπομπής Διοξειδίου του Άνθρακα από τον ΤΣΠ της Σκύρου	- 90 -
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ	- 94 -
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 94 -
6.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ	- 95 -
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 97 -

Περίληψη

Η ενέργεια αποτελεί έναν από τους βασικότερους πυλώνες λειτουργίας των σύγχρονων ανεπτυγμένων χωρών. Σήμερα, ωστόσο, υπάρχει έντονη ανησυχία λόγω της μείωσης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, δηλαδή των καυσίμων που τροφοδοτούν με ενέργεια τον πλανήτη. Επιπρόσθετα, σε περιβαλλοντικό επίπεδο είναι ιδιαίτερα ανησυχητικά τα δεδομένα, καθώς το φαινόμενο του θερμοκηπίου φαίνεται να οφείλεται σε μεγάλο βαθμό τόσο στις εκπομπές των ορυκτών καυσίμων, όσο και σε άλλες περιβαλλοντικές παθογένειες, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση. Πλέον, μέσω μηχανισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η εκπομπή τέτοιων ρύπων από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, κοστολογείται και οι σταθμοί αυτοί εντάσσονται σε μια αγορά άνθρακα, με στόχο την μείωση των εκπομπών αυτών. Έτσι, αφενός η εξάρτηση των κοινωνιών, παγκοσμίως, από τα συνεχώς μειούμενα ενεργειακά αποθέματα, για την κάλυψη βασικών αναγκών τους, αφετέρου οι παραπάνω λόγοι, έχουν οδηγήσει στη μελέτη και εφαρμογή εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Άμεση απόρροια των ανωτέρω αποτελεί η εισχώρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο, με στόχο την βιώσιμη, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον διαχείριση της ενέργειας.

Παράλληλα, ανησυχητική είναι η έλλειψη υδατικών πόρων, σε παγκόσμιο επίπεδο. Το πρόβλημα αυτό, επηρεάζει τόσο τον πλανήτη, όσο και την Ελλάδα, της οποίας τα περισσότερα νησιά χαρακτηρίζονται ως άνυδρα. Η συντριπτική πλειοψηφία της νησιωτικής Ελλάδας, καλείται να αντιμετωπίσει αυτά τα δύο κομβικά ζητήματα. Τα περισσότερα νησιά δεν είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτρισμού της ηπειρωτικής χώρας και καλύπτουν τις ανάγκες τους από τοπικούς σταθμούς παραγωγής (ΤΣΠ) ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ. Οι σταθμοί αυτοί είναι χαμηλής ισχύος και καλύπτουν τις ανάγκες ενός νησιού ή και ενός συμπλέγματος νησιών σε πολλές περιπτώσεις. Συνεπώς, τα νησιά αυτά, καθίστανται ενεργειακά εξαρτημένα από άλλες περιοχές ή από τους ΤΣΠ, ενώ ταυτόχρονα η ηλεκτρική ενέργεια την οποία διαθέτουν είναι χαμηλής ποιότητας, ειδικά κατά την θερινή τουριστική περίοδο, λόγω της αυξημένης ενεργειακής ζήτησης. Όσον αφορά στην κάλυψη των υδατικών αναγκών των νησιών, αυτή λαμβάνει χώρα με δύο, κυρίως, μεθόδους : είτε με μεταφορά αφαλατωμένου νερού μέσω υδροφόρων πλοίων, μια διαδικασία αρκετά δαπανηρή, είτε μέσω των μικρών λεκανών απορροής και του υδροφόρου ορίζοντα που διαθέτουν.

Είναι, λοιπόν, αδήριτη ανάγκη να απεξαρτηθούν τα νησιά σε ενεργειακό επίπεδο από τα ορυκτά καύσιμα, αξιοποιώντας το σημαντικό αιολικό και ηλιακό δυναμικό και τη δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας από τις αντίστοιχες ανανεώσιμες πηγές. Η μελέτη και αξιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος (ΥΣ) στο νησιωτικό χώρο, όπου υπάρχει διαθέσιμο πλούσιο αιολικό δυναμικό σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη αξιοποίηση της τεχνολογίας της αφαλάτωσης, μπορεί να εξαλείψει παθογένειες, όπως είναι η λειψυδρία, η αστάθεια των ηλεκτρικών δικτύων, αλλά και να συνδράμει ταυτόχρονα στην ενεργειακή αυτονομία τους.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση ενός ΥΣ από ΑΠΕ στη νήσο Σκύρο για την κάλυψη των ενεργειακών και υδατικών αναγκών, καθώς και η προσπάθεια απολιγνιτοποίησης του νησιού. Μελετώνται δύο υδροηλεκτρικά έργα (ΥΗΕ), αιολικό πάρκο με δύο ανεμογεννήτριες (Α/Γ), ταμιευτήρας αφαλατωμένου νερού (φράγμα του Φερεκάμπου), ταμιευτήρας θαλασσινού νερού, αντλιοστάσιο και μονάδα αφαλάτωσης. Οι παραπάνω διατάξεις συνδυάζονται με τον ΤΣΠ Σκύρου, αποσκοπώντας στην, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, κάλυψη των υδρευτικών, αρδευτικών και ενεργειακών απαιτήσεων του νησιού από τις ΑΠΕ. Το υπό μελέτη σύστημα προσομοιώνεται για περίοδο λειτουργίας 25 ετών και για ένα σενάριο λειτουργίας. Το σύστημα αξιολογείται και οικονομικώς, μέσω ανάλυσης κόστους – οφέλους, ώστε να διαπιστωθεί πόσο οικονομικά βιώσιμο είναι η επένδυση και αν μπορεί να εφαρμοσθεί ρεαλιστικά. Τέλος, αναπτύσσεται μεθοδολογία για την εκτίμηση των δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από τον ΤΣΠ Σκύρου, σύμφωνα με το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Emissions Trading System). Εφαρμόζεται σύγκριση ανάμεσα στην τωρινή κατάσταση του σταθμού και κατά τη λειτουργία του ΥΣ, στο πλαίσιο απολιγνιτοποίησης (net zero carbon dioxide emissions).

Extended Abstract

Introduction

Energy is one of the main operation pillars in modern developed countries. Today, however, there is intense concern about the depletion of fossil fuel stocks, which supply our world with energy. Most importantly, at environmental level, the data are particularly worrying, as the greenhouse effect seems to be due, in large part, to fossil fuel emissions, as well as, other environmental pathogens, such as air pollution. At the same time, the lack of water resources is considered a notably serious matter, worldwide. This problem also affects Greece, where most Aegean islands are characterized as arid. The vast majority of Greek islands is called upon to address these two key issues. Most of the islands are unconnected to the mainland electricity network and cover their energy needs from local autonomous power stations. These stations are low power and cover the needs of an island, or an island complex in many cases. Consequently, these islands become energy dependent on other areas or power stations, while at the same time their electricity is of low quality, especially during the summer tourist season of increased energy demand. As for the coverage of the water needs of the islands, it takes place by two main methods: either by transporting desalinated water through watercrafts, a quite expensive process, or through the small catchments and aquifer, they have.

Therefore, it is an insurmountable need for the islands to become energy independent on fossil fuels, taking advantage of their significant potential in renewable energy sources (RES) and their capability of storing this energy. The study and evaluation of a hybrid system (HRES) in an island, where there is available rich wind potential, in combination with the simultaneous use of desalination technology, can eliminate pathogens, such as water scarcity, instability of electricity networks and assist in their energy autonomy. Renewable power plants can offer an environmentally and economically sustainable alternative to conventional energy sources, that may currently exist in such areas. In addition, renewable hybrid plants establish a more competitive environment for RES (Petrakopoulou et al., 2015).

The object of the present thesis is the simulation and evaluation of a hybrid renewable energy system (HRES) on the island of Skyros to cover the energy and water needs, as well as, to de-lignify the island. This project includes two hydroelectric power plants (HPP), a wind farm with two wind turbines, a desalinated water reservoir (Ferekampos dam), a seawater reservoir, a pumping station and a desalination plant. The above provisions are combined with the local autonomous power station of the island, aiming at improving and meeting the water, irrigation and energy demands of the island. The system, under study, is simulated through the Office Excel program by Microsoft, for a period of 25 years and for one operating scenario. The system is also evaluated economically, through cost-benefit analysis, to determine how economically viable the investment is and whether it can be implemented realistically. Finally, a methodology is being developed for the assessment of carbon dioxide emission allowances

by the Skyros thermal power station, according to the European Emissions Trading System (EU ETS). A comparison is made between the current state of the station and the operation of the HS, in the case of de-lignification (net zero carbon dioxide emissions).

Study Area

Skyros is the southernmost and largest island of the Sporades. The capital of the island is Chora, located on the east coast. The island, geographically, belongs to the Sporades, while administratively to the Prefecture of Evia and the region of Central Greece. It is located east of Evia, at a distance of 40.7 km from the port of Kimi. Chora is the main settlement and is about 11 km from the island's port, Linaria on the west coast. The island has a total area of 209.5 km², maximum length 29 km, minimum width 3 km and coastline length 130 km. The maximum altitude of the island is located on Mount "Kochilas" (792 m).

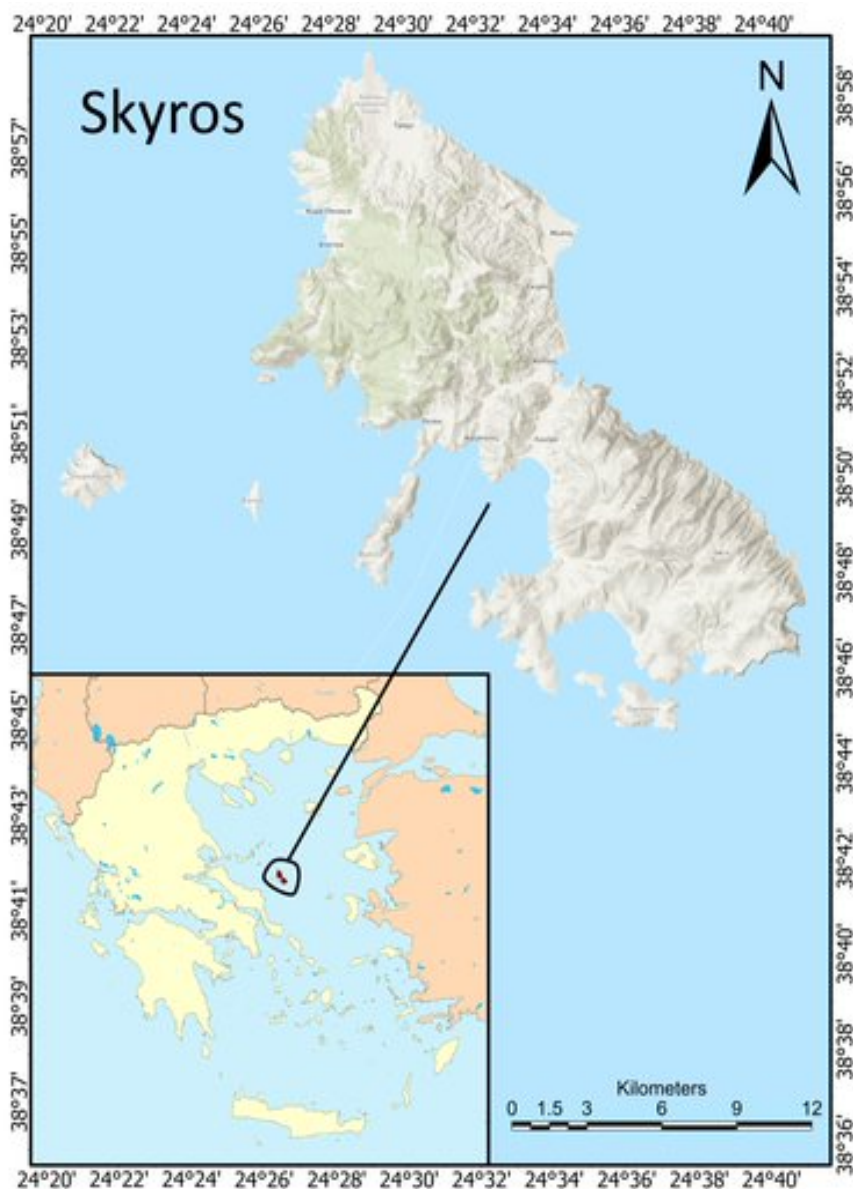


Figure 1: Map of Skyros Island (Source: ArcGIS Pro)

According to the latest census of the country's population (Hellenic Statistical Authority, 2011), the permanent residents of Skyros amount to 2888. The island has 21 settlements, of which 6 are uninhabited islets to date. Now, the largest load of the population is distributed in the capital of the island (Chora) and in the coastal area of Molos. The climate of Skyros is Mediterranean, as in most Aegean islands, and is characterized by cool summers and mild winters. The prevalence, of northerly winds on the island in summer, mitigates the maximum temperatures in relation to the mainland, significantly reducing the discomfort index. The average annual temperature is 17° C. Rainfall occurs mainly during the winter, while in the summer these events are rare and appear mainly as short thunderstorms. The total annual rainfall reaches 500 mm.

The water needs of the island, until today, are satisfied by drilling. Most of the water demand is covered by the source "Anavallousa". The spring water flows with natural flow in the location "Paliabelas", where the "Drinking Water Treatment Unit" is located. The water is brackish, due to the penetration of seawater into the aquifer. For this reason, it is planned to install 2 portable brackish water desalination units in prefabricated containers, with the method of reverse osmosis, with a capacity of 2000 m³/d from the ESPA program. Irrigation is satisfied by the Ferekampos irrigation dam, which was recently constructed (98% completion of the project). Until recently, however, the irrigation needs were also fulfilled by the aforementioned sources of the island.

Until today, the energy demands of the island are fully covered by the local autonomous power station. The thermal plant is located in the southwestern part of the island, at a distance of 1 km from the port (Linaria), in the area of Acherounes, on the provincial road that connects the port with Chora. The station is diesel-electric, while oil is transported to the island by tanker approximately every 120 days, making approximately three landings per year. The total installed capacity of the station is now 7.2 MW. Electricity demand fluctuates significantly throughout the year. In peak times, mostly during the summer months, demand increases rapidly due to tourism. On the contrary, during the winter months, the operation of all the Power Generating Pairs of the station in full power is not required.

Methodology

Estimates of physical and hydrological variables are usually made after processing the available historical information, assisted by probabilistic and statistical methods. Historical information, or historical time series, is a set of measurements of a physical process, referring to a specific area or location. It is, therefore, self-evident that statistical processing in hydrological phenomena is vital, considering that the larger the sample size and the greater the reliability of the measurements, the more reliable the estimates and forecasts (Koutsogiannis, 1997).

The study of the hybrid renewable energy system (HRES) is done for a period of 25 years. Available historical data is of less than or equal in duration. In addition, when dimensioning the system, it is necessary to consider and include the uncertainty of natural processes (rainfall, temperature, wind). These quantities compose the input data to the simulation model and for the above reasons it is necessary to produce synthetic time series with a total length of 25 years with an hourly step.

For the generation of the rainfall timeseries, the 25 years length historical data (1995-2019) is received by the Hellenic National Meteorological Service. The measurements come from the meteorological station of Skyros, at an altitude of 21 m. Concerning rainfall, three possible time series production models are considered. Specifically, synthetic time series are produced with AR (1), known as the first-order autocorrelation model, the second-order autocorrelation model AR (2) and the ARMA (1, 1), "First-order and rolling medium self-regression model". Then, follows the Anderson test, for the selection of the optimal synthetic time series (Mimikou et al., 2016). The AR (1) and ARMA (1,1) models appear to be closer to the target. The first method represents a random process, which argues that rainfall is defined linearly from its immediately preceding value, since the model is first-order, and from a contemplative term, white noise, which measures errors. White noise is defined at a discrete time as a distinct signal, whose samples are considered to be a sequence of unrelated random variables, with zero mean and finite variance, or otherwise a momentary and discrete variation in the sample. The second method is a combination of the AR method and the MA mobile process. The combination of the two methods, known as ARMA, has proven to be a model suitable for the analysis of historical time series, but also the production of future synthetic time series. Figure 1 shows the test results. The optimal time series is the one most of which is in the range $\{-(1/N)^{0,5}, (1/N)^{0,5}\}$. Based on the Anderson test, the AR model (1) is selected for the production of the synthetic rainfall time series.

Anderson Test

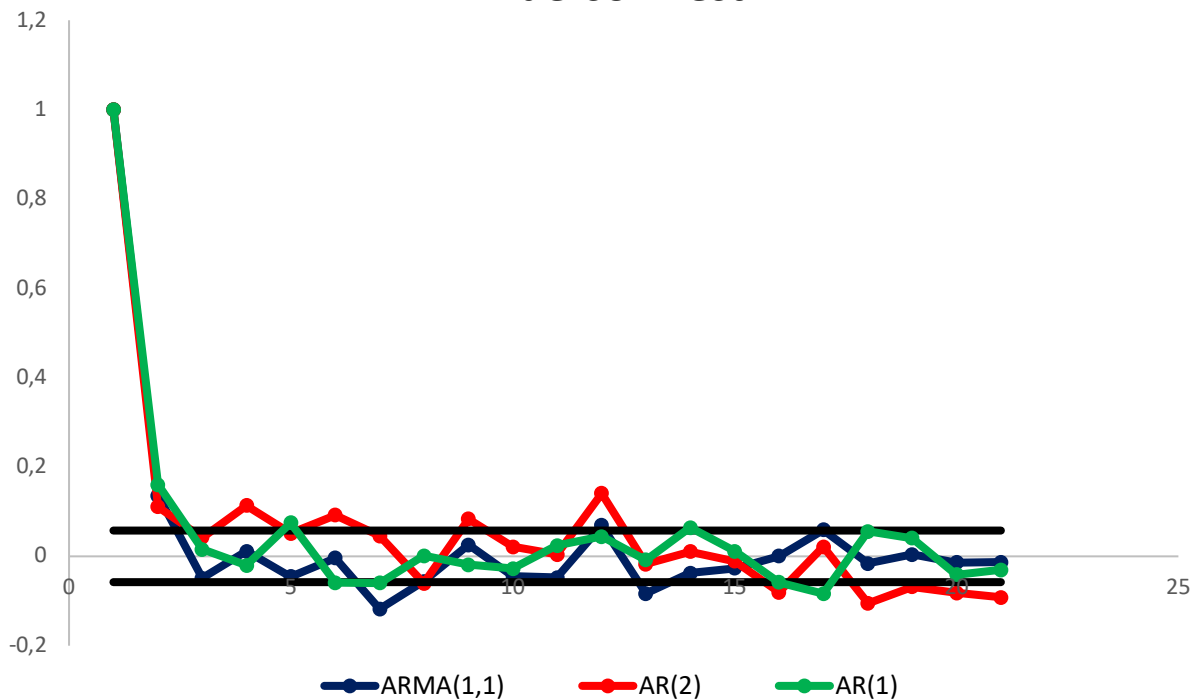


Figure 2: Anderson Test for the Rainfall Time Series

For the production of the synthetic time series of temperature, the same procedure is followed, but the AR model (1) is not taken into account, because the temperature appears to be dependent on both previous time steps. The Anderson test is repeated, from which the ARMA (1,1) model is selected.

The steps of the production of synthetic wind series are the following (Negra et al., 2007):

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

Once 12 probability tables for each month are defined, it is possible to produce synthetic wind speed time series. The step-by-step procedure is described as follows:

- The wind speed vector takes an initial value while the time variable receives the initial value of 0 hour. For the first simulation year, the initial wind speed vector takes the value that corresponds to the average historic wind speed.
- Two random numbers are created in the interval (0,1) one for the transition up and one for the transition down.
- Calculation of time to up (TTU) and time to down (TTD). h represents the simulation period which is one year.
- If $TTU < TTD$ the wind speed goes to the upper state after TTU hours.

- If $TTD < TTU$ the wind speed goes to the lower state after TTD hours.
- Vector and variable t are updated
- The procedure is repeated until t is equal or exceeds h .
- Every time, the initial wind speed vector takes the latest value of the previous synthetic wind speed times series.

The input data for this method is the historical time series, which also is received by the Hellenic National Meteorological Service. Finally, a one-year synthetic time series is produced in a three-hour step. The procedure is repeated 25 times to match the time series with the lifespan of the project. Eventually, the three-hour step series is converted to an hourly synthetic one, so that there is a common time step in all input data (temperature, rainfall, wind). The implementation of the model for the production of time series is carried out using the program Microsoft Office Excel. Figure 2, which shows the frequency-speed comparison between the two series (historical – synthetic), confirms the similarity of the historical with the synthetic and the reliability of the model.

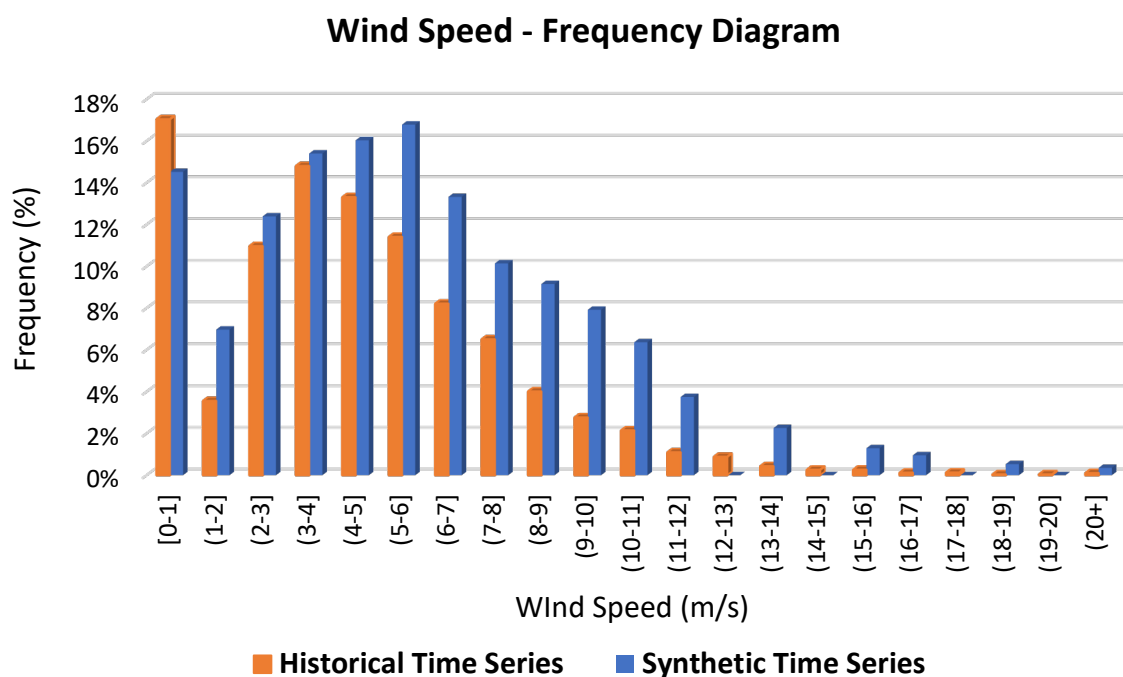


Figure 3: Wind Speed - Frequency Diagram

The island’s demands are energy and water supply. In contrast to the processing of meteorological data, in the case of these demands, no stochastic result is produced, but the input data are connected with the potential population volume of the island. The study concerns a lifespan of 25 years. For this reason, it is crucial to assess the needs of Skyros for the next 25 years and not to base the model only on the current population situation. Therefore, the population of Skyros is reduced to the expected one for the next 25 years.

In addition to the permanent population, the size of tourist inflows and vacationers, for each year on the island, is taken into account. According to monthly data from the Skyros Shipping Company (SNE), the most active tourist month is August, followed by July, September and June. Also, it is considered that March is a tourist month, due to the traditional carnival being held on the island, which is very popular. According to data for the year 2009, coming from the Hellenic Statistical Authority, Skyros receives 7000 tourists annually (Petrakopoulou, 2015). This number has been increased by 20 % in favor of safety, while vacationers are considered equal to 1500.

The assessment of the drinking water supply demands of the inhabitants of Skyros is done considering the individual water supply needs. Specifically, the daily drinking water consumption per person is considered 150 l/d/ capita for permanent residents, 150 l/d/capita for tourists and 200 l/d/capita for vacationers (Koutsogiannis, Efstratiadis, 2015). For the summer months and September, this consideration becomes more realistic by increasing the daily consumption per person by 20 %. This increase rate is taken into account, due to water consumption increase during summer followed by rising temperatures. As a base year is considered 2020, which has the characteristics of the year 2011, in which the last population census was conducted by Hellenic Statistical Authority. After determining the water supply for the base year, the demand is reduced according to the population, for each year and for the next 25. Figure 3 shows the monthly variation of the daily drinking water consumption.

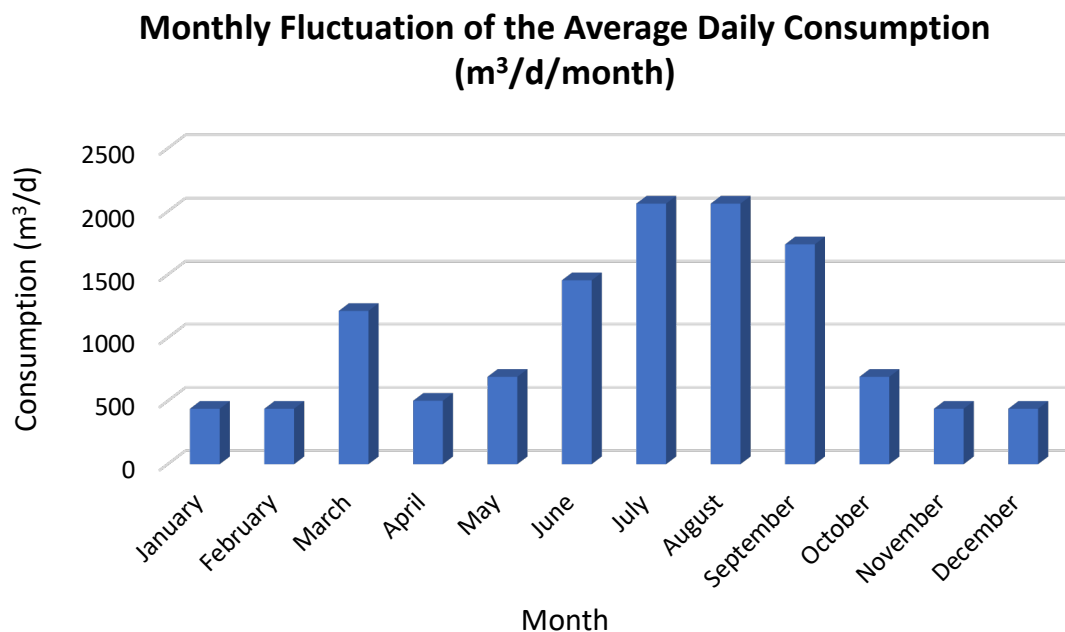


Figure 4: Monthly Fluctuation of the average daily consumption

The assessment of irrigation demands of the island is based on the needs of crops in water. For this process, the evapotranspiration of the Skyros crops is first estimated, for the calculation of which the Blaney - Criddle method is used. Figure 4 shows the variation of the average monthly irrigation consumption.

Average Monthly Variation of Irrigation Consumption (m³/month)

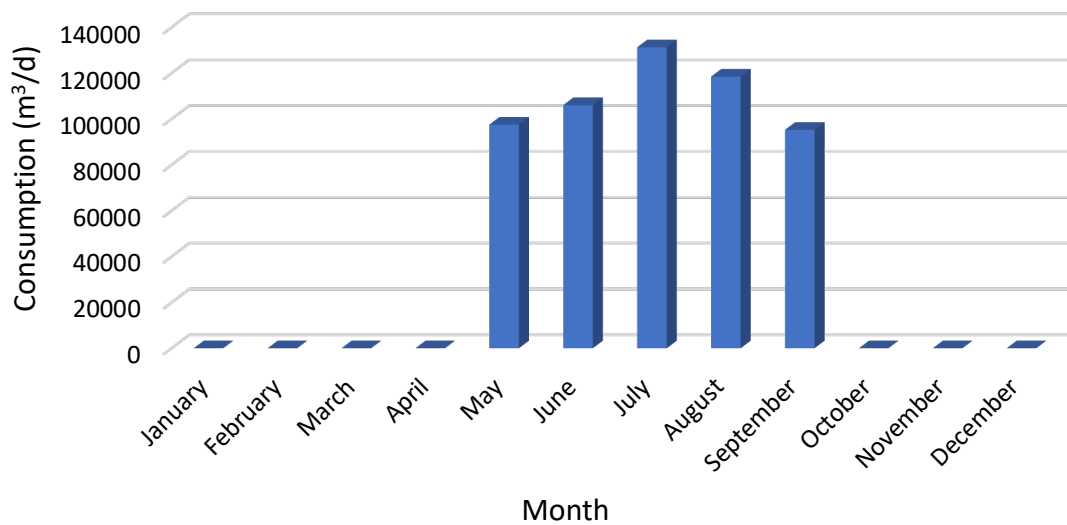


Figure 5: Average monthly variation of Irrigation Consumption

The coverage of the energy needs in Skyros is done entirely by the local autonomous power station, with a total capacity of 7.2 MW. For the estimation of the energy needs, consumption data for the year 2012 are used in an hourly step, which are obtained after personal communication with Dr. Petrakopoulou – Robinson. In Table 1, is shown the average daily electricity consumption of Skyros for 2012.

Table 1: Average daily electricity consumption for the year 2012

Average Daily Electricity Consumption, 2012 (MWh)	
January	44.65
February	48.82
March	40.68
April	36.29
May	32.67
June	41.12
July	60.57
August	68.45
September	39.52
October	33.54
November	35.55
December	41.55

Just like the drinking water demands estimation, energy demands for the next 25 years are estimated through the population reduce for each year and for the next 25 to come. Figure 5 shows the comparison between the average monthly consumption of year 2012 and the average monthly consumption of the whole project (25 years).

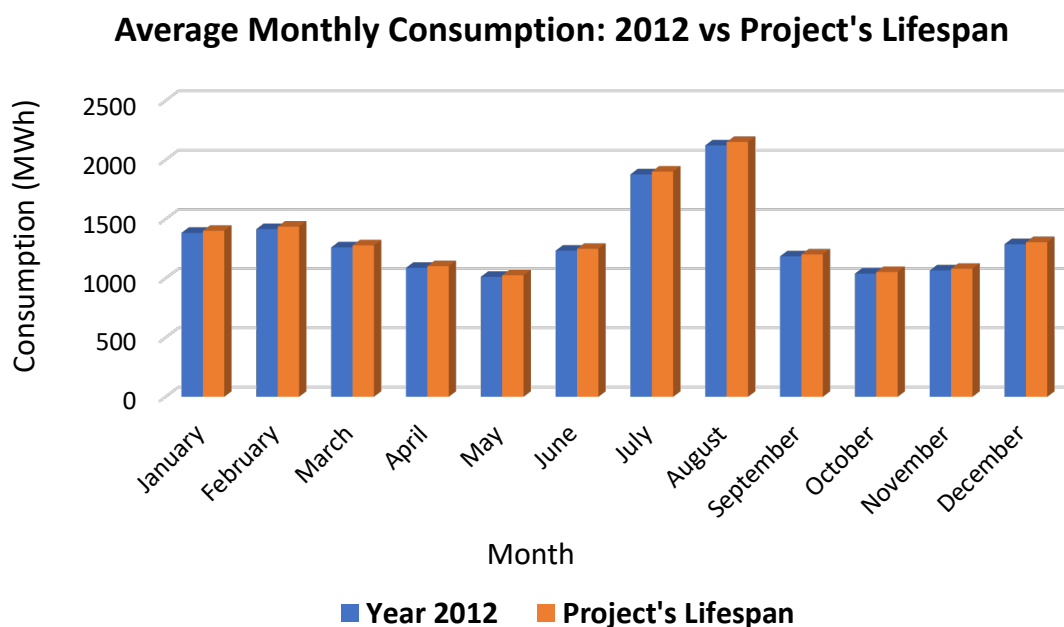


Figure 6: Average monthly consumption, 2012 vs project's lifespan

Estimation of Produced Energy

For the production of wind energy, in the present study, it is proposed the construction of a wind farm with a total capacity of 6.1 MW, on Mount Kochilas. More specifically, the wind farm consists of two wind turbines, by Enercon, model E-101 with 3050 kW of power. The E - 101 model is chosen from the rest, as it responds willingly to both low wind speeds and also to the attractive wind potential of the island, exploiting it in the desired way. Specifically, a comparison has been made between the E-101, E-82 model of 2350 kW and E-82 of 3000 kW.

To estimate the energy produced by the wind turbines, the power curve of each model under consideration is used, in order to select the most efficient one for the conditions of the selected study area. Note that linear interpolation is used for decimal wind values, to maintain accuracy in conversion into energy. Thus, the energy time series is produced from the wind time series. In Figure 7, the power curve of E – 101 model is shown.

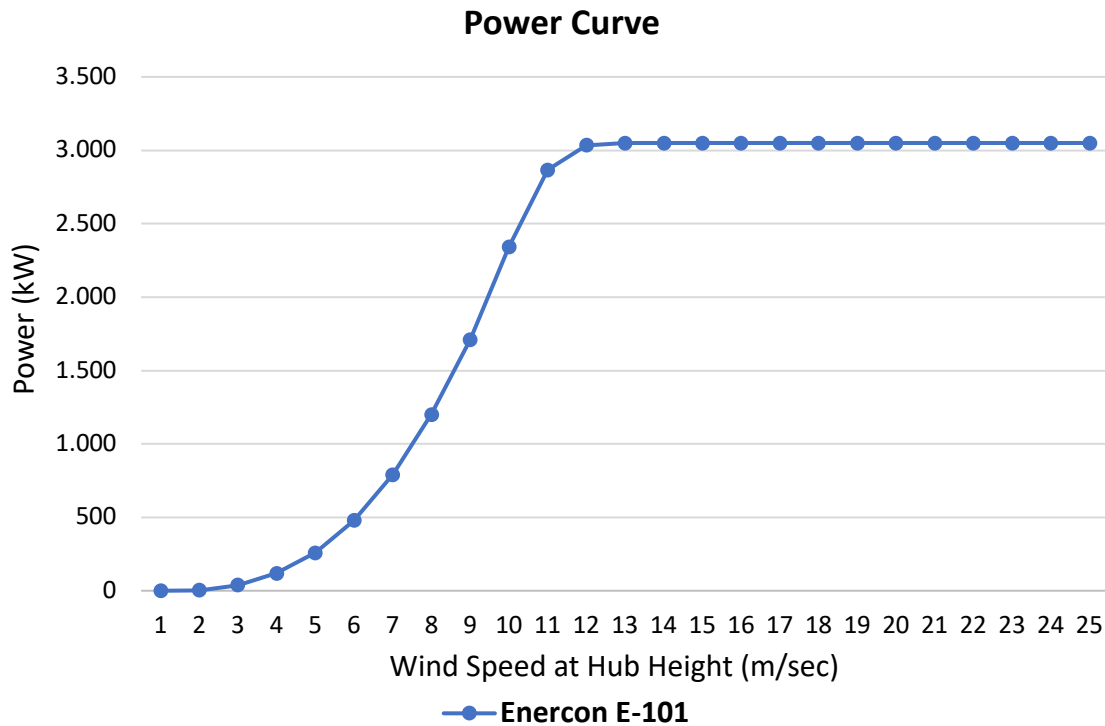


Figure 7: Power Curve

The calculation of the hydroelectric energy from the addition of the turbines is done in an hourly step, according to the simulation model. Specifically, the energy produced by the turbines results from the equation:

$$E = \gamma \times Q \times H \times n$$

Where:

- γ : water specific gravity (9.81 kN/m³),
- Q: turbine flow rate (m³/s),
- H: the altitude difference between the upstream water level and the altitude of the downstream turbine,
- n: turbine efficiency coefficient.

For the HRES, under study, one operation scenario is simulated and examined. The goal is to cover as much as possible the water needs of the island, water supply and irrigation, as well as, a satisfactory percentage of energy needs. The proper operation of the HRES depends largely on the wind potential and, consequently, on the productivity of the wind farm. Starting the simulation process, 30 % of the generated wind energy is distributed directly to the grid, while the remaining 70 % supplies the desalination, and then, the pumping of seawater to the Ferekampos dam. Next, the operation of the reservoir is simulated, which is considered to be half full at the beginning of the simulation, having a total volume of 500,000 m³. Every day, in addition to the requested water, the ecological volume is disbursed. This flow rate is considered constant and equal to 5 m³/d.

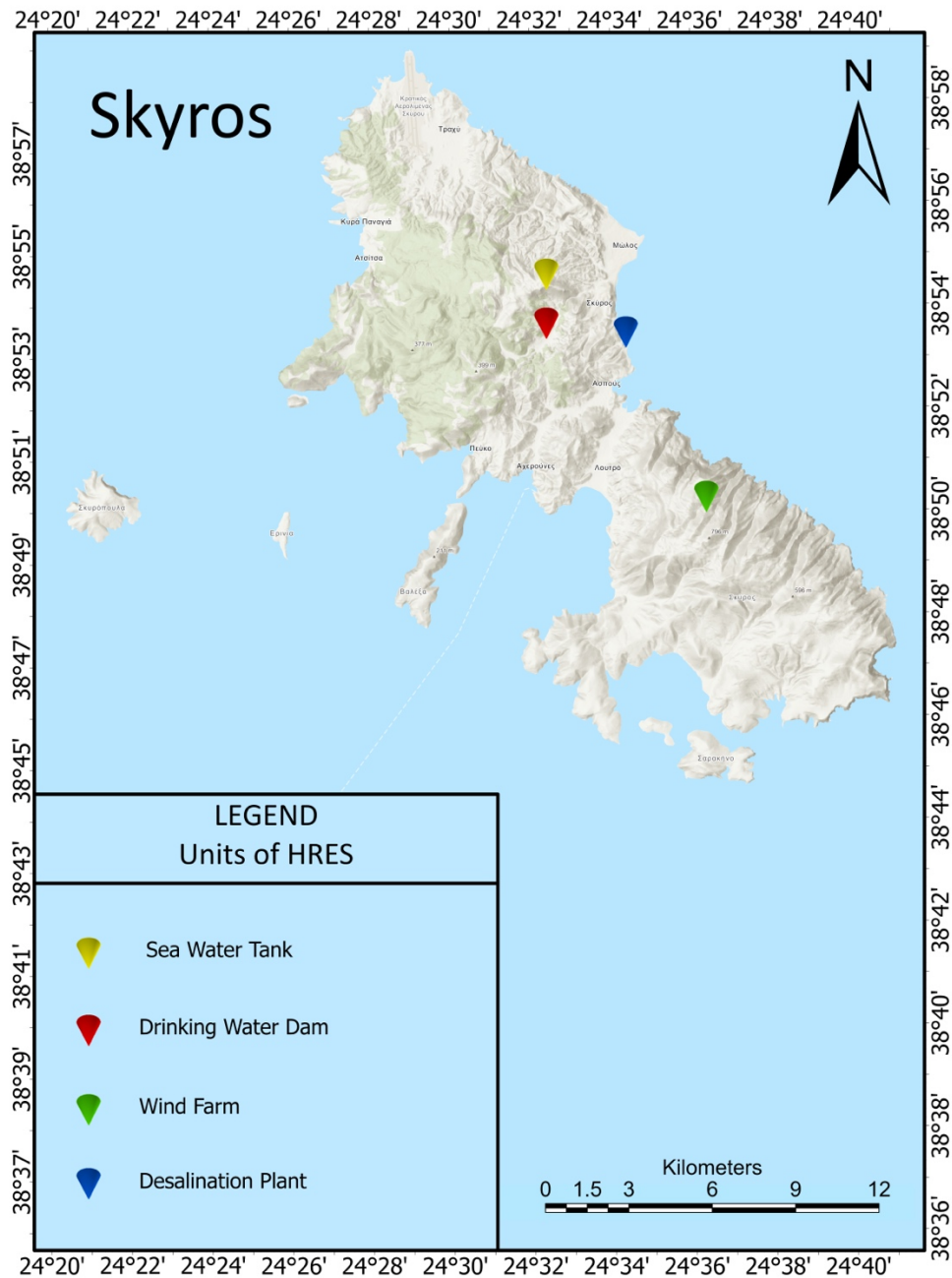


Figure 8 - Position of the Units of HRES (Source: ArcGIS Pro)

At each step, the water demand is met as a priority, followed by the irrigation demand. The water required for both uses passes through the turbine, producing energy. Adding 30 % of the wind energy channeled to the grid, with the probable balance of 70 % of the wind energy and the production from the hydroelectric station, the percentage of coverage of the hourly energy demand is calculated. If excess energy is generated, the seawater pumping into the seawater tank is activated to store the excess there. In the opposite case, where there is an energy deficit, the reverse process is activated, with the production of hydroelectric energy from the seawater reservoir to the sea. At each hour step of the operation of the HRES, it is considered that the thermal power station of the island operates at a capacity of up to 10 % of its total power, namely up to 720 kW. It is also pointed out that in the hourly steps that the

energy demand is not covered by the energy mix of the HRES, the thermal power station covers the deficits.

The system simulation model takes place in Microsoft Excel 365. The system is simulated in an hourly step and the program input data is as follows:

- Water demand time series,
- Irrigation demand time series,
- Energy demand time series,
- Rainfall time series,
- Generated wind energy time series,
- Dimensioning characteristics for the hydropower plants and desalination and
- Elevations, reservoir capacities and energy conversion coefficients.

Based on the above, the following results are obtained

- Generated hydroelectric energy time series
- HRES energy coverage time series
- Water supply time series
- Irrigation water supply time series
- Reliability on any size, on monthly and annual basis.

Results

The total energy production, from the HRES per year, is consistently greater than 8.5 GWh, with the maximum annual production amounting to 19,505 GWh (Figure 8). The wind farm has the highest energy production, exceeding 60 % of the total demand for the entire duration of the study (Figure 9). Also, the percentage of energy coverage by the two HPPs may seem negligible, but that 14 % of the share of hydroelectric energy production, saves from the thermal station tons of carbon dioxide (CO₂) emissions, for which otherwise pays huge fees. Finally, the percentage of participation of the autonomous power station in the energy mix ensures the existence of an energy constant in the system.

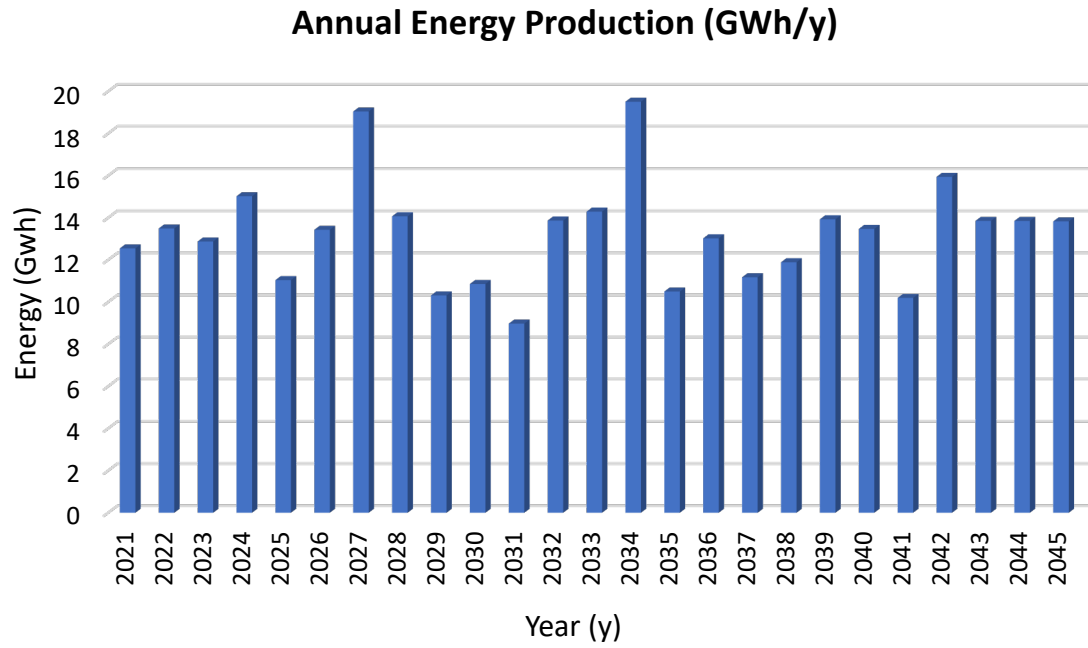


Figure 9: Annual energy production

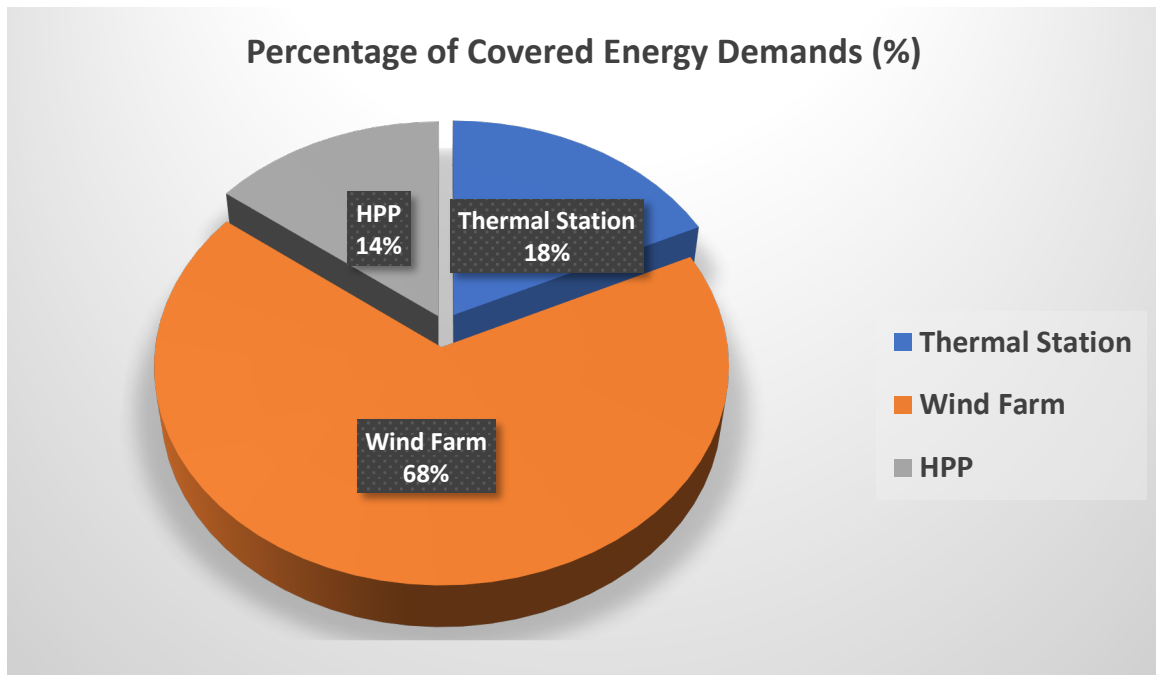


Figure 10: Percentage of covered energy demands

Average Monthly Energy Production (MWh/y)

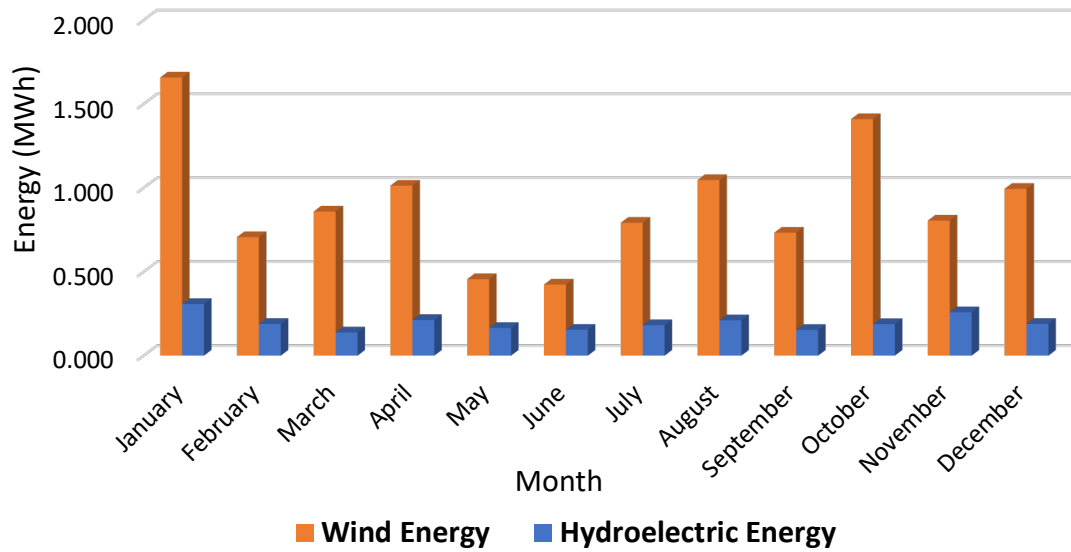


Figure 11: Average Monthly Energy Production

Figure 10 shows that the vast majority of energy production comes from wind turbines, a fact that confirms the importance of the island's wind potential, in the smooth and efficient operation of the power plant. The under-study scenario fully achieves its primary goal, since the reliability of both water supply and irrigation reaches 99.9 % for the entire life of the project. The success of the scenario results both from the large volume of the Ferekampos reservoir, but also from the desalination and pumping of seawater in it. As it is shown in Figures 11 - 12, the operation of the Ferekampos reservoir manages to satisfy every month, both water consumptions, for the entire life of the project.

Average Monthly Supply - Demand of Drinking Water (m³)

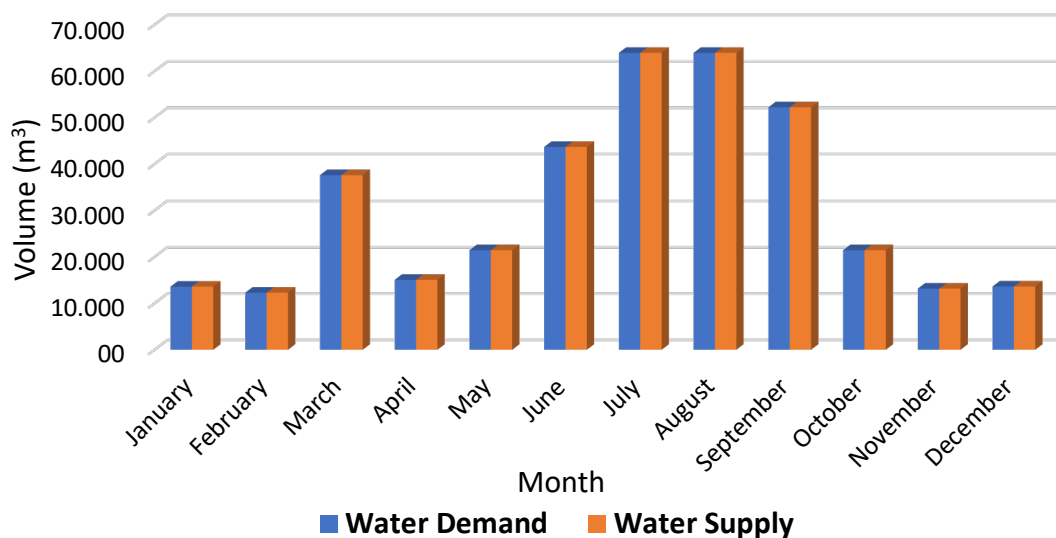


Figure 12: Average Monthly Supply - Demand of Drinking Water

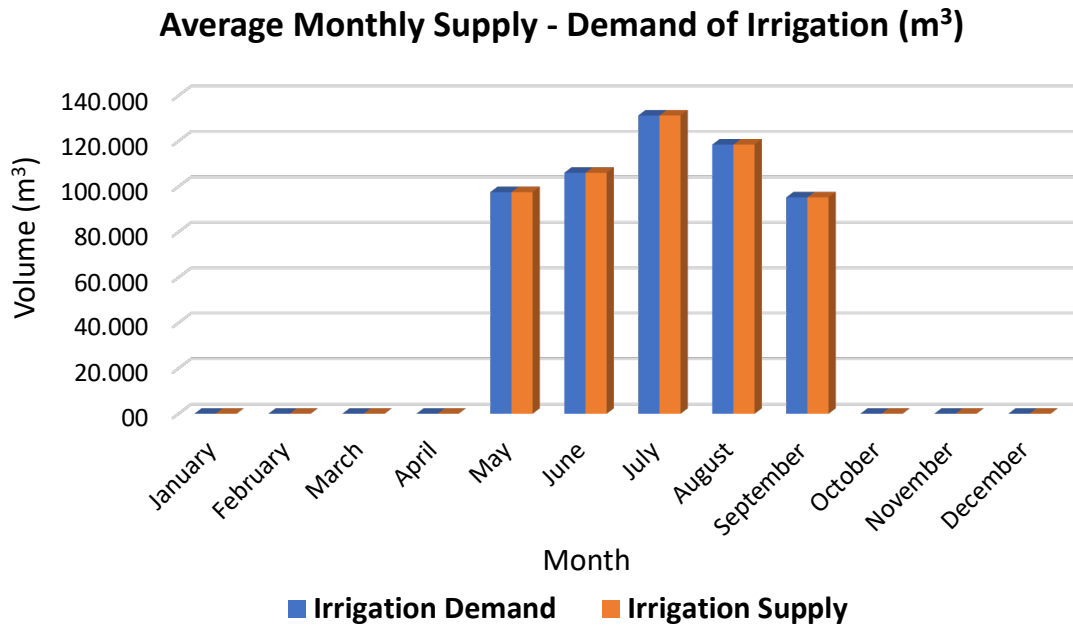


Figure 13: Average Monthly Supply - Demand of Irrigation

Figure 12, also shows that the volume of water for irrigation demands from October to April are zero, because the evaporation of these months is considered equal to zero.

Cost – Benefit Analysis

In this section, an attempt is made to determine the possible profit in the HRES under study. For this reason, a cost-benefit analysis takes place for the entire project life cycle. Net Present Value (NPV) is the value that results from the present discount of all annual net cash flows projected over the entire life horizon of an investment. The Internal Rate of Return (IRR) is an indicator that measures the return on an investment. Expresses the discount rate (e), at which the Net Present Value is zero. The discount rate incorporates the risk that an investor assumes in order to carry out a project. Specifically:

- If $IRR > e$, then the return on investment is greater than the discount rate and the investment is approved as it is financially viable.
- If $IRR < e$, then the return on investment is less than the discount rate and the investment is discarded because it is unprofitable.
- If $IRR = e$, then the investment is marginal and may not be profitable.

At first, in order to properly evaluate the investment for the project under study, it is necessary to define its time horizon. The time horizon of the project is the lifespan of the project for which it is simulated, namely 25 years. The total amount of the investment is equal to $13.08 \cdot 10^6$ €. This amount is subsidized by 40 % of the operational program for the promotion of RES in the Greek islands. In addition, a bank loan is received for 50 % of the total investment amount, namely $6.54 \cdot 10^6$ €, while the own participation amounts to 10 %, $1.3 \cdot 10^6$ €. With regard to borrowing, the equity method is used for a repayment period of 10

years. Therefore, the interest arrears are calculated according to the ratio, at $0.95 \cdot 10^6$ €. In Table 2, the loan repayment is presented.

Table 2: Loan Repayment

Year	Interest – Bearing Debt (€)	Debt (€)	Interest (€)	Bankruptcy Balance (€)
0				5.232.800,00
1	762.345,32 €	369.885,32 €	392.460,00 €	4.862.914,68
2	762.345,32 €	397.626,72 €	364.718,60 €	4.465.287,96
3	762.345,32 €	427.448,72 €	334.896,60 €	4.037.839,23
4	762.345,32 €	459.507,38 €	302.837,94 €	3.578.331,86
5	762.345,32 €	493.970,43 €	268.374,89 €	3.084.361,42
6	762.345,32 €	531.018,21 €	231.327,11 €	2.553.343,21
7	762.345,32 €	570.844,58 €	191.500,74 €	1.982.498,63
8	762.345,32 €	613.657,92 €	148.687,40 €	1.368.840,71
9	762.345,32 €	659.682,27 €	102.663,05 €	709.158,44
10	762.345,32 €	709.158,44 €	53.186,88 €	0,00
Summary	7.623.453,21 €	5.232.800,00	2.390.653,21	

The tax rate on net profits is 35 %, the discount rate is 3 % and the depreciation rate is 10 %. The residual value of the project is considered null, as it assumes that the State grants the right to a private company for a certain period and after that time the project is transferred back to the State, which can exploit the project itself or give it back to another company. Investment income comes from the sale of water and energy. Figures 13 and 14, show the changes in NPV and IRR for different water and energy selling prices, in order to indicate the efficiency of the system, according to the selling prices.

NPV - IRR for various selling prices of Desalinated Water and Energy selling price at 0,0875 €/kWh

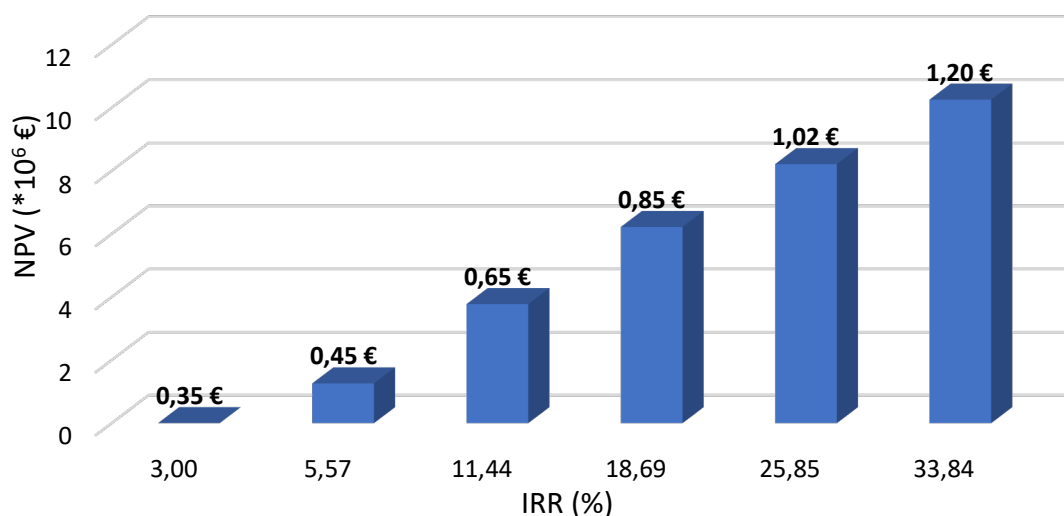


Figure 14: NPV - IRR for various selling prices of Desalinated Water

NPV - IRR for various selling prices of Energy and Desalinated Water selling price at 0,85 €/m³

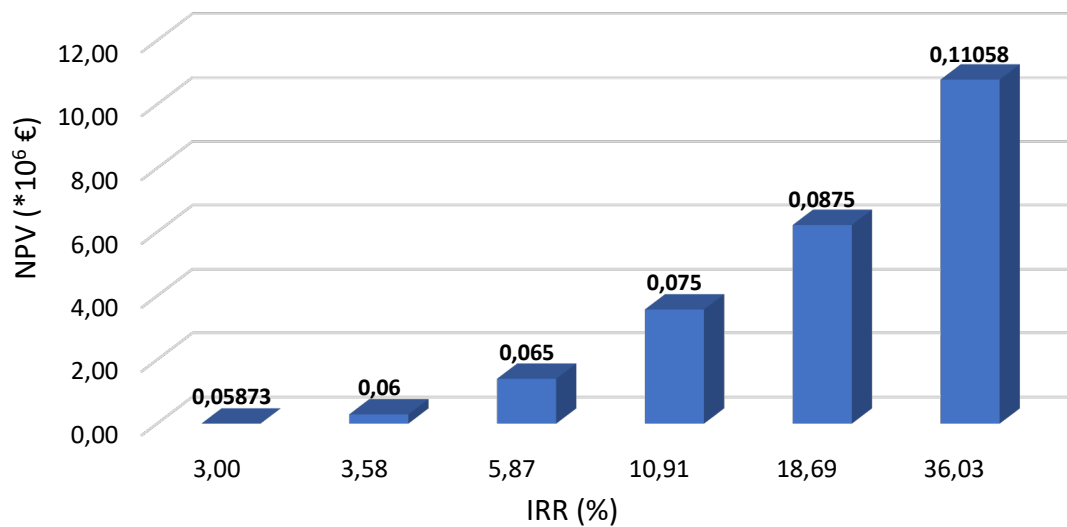


Figure 15: NPV - IRR for various selling prices of Energy

It is obvious that the NPV increases sharply with a small increase in price, either the selling price of kWh or the price of water. It is concluded, therefore, that for low sales prices of both desalinated water and electricity, the investment has a high return. This condition is a benefit, both for the prospective investor, who is provided with a wide range of pricing policies, and for the society, which benefits financially from lower bills. Finally, the environmental benefits of such an investment are particularly important, with the partial de-lignification and enrichment of the Skyros aquifer.

Assessment of Carbon Dioxide Emissions (CO₂ Emissions)

The EU ETS is the mainstay of policy to combat climate change and the key tool for reducing greenhouse gas emissions, in a cost-effective way within the Union. It is the first large coal market in the world and remains the largest.

In the context of the present study, the emissions are calculated and compared between the carbon emissions during the operation of the HRES, as well as, during the current situation, from the satisfaction of all the energy demands of the island by the thermal station. One ton of carbon is considered to be emitted from the production of 0.82 MWh of energy. This price is very close to reality.

As expected, carbon dioxide emissions show an annual increase, proportional to the increase in the island's energy needs each year. The total number is 492,110 tons of carbon dioxide in the atmosphere, until the last year of life of the project (Figure 13). The total carbon dioxide emissions during the operation of the HS, amount to 247,749 tons, almost half, in relation to the operation of the local station only.

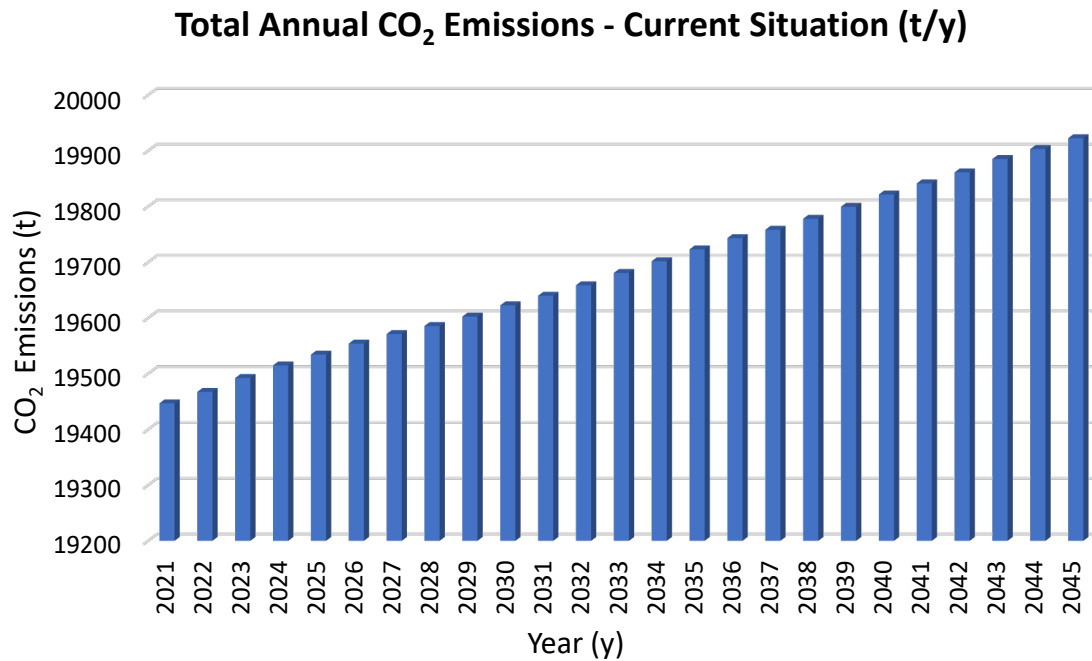


Figure 16: Total Annual Carbon Dioxide Emissions - Current Situation

In a situation where the world economy operates under normal conditions, it is certain that the price of one tone of carbon emissions will show a steady upward trend. This is absolutely true, since this product is a tool of the European Union to reduce greenhouse gas emissions. It is essentially the mean, by which the Union achieves its commitments and implements its policies. Thus, in the context of this work, three different allowance values are considered for the 25 years of operation of the system. Unfortunately, it is not possible to make a more accurate daily price forecast over a 25-year period. The price is considered 30 € per ton for the first 10 years of operation and then an increase of 5 € is added every decade. Therefore, the maximum price of the right used corresponds to the last five years of operation and is 40 €/t.

Based on this view, the total costs for the local power station of the island are calculated, due to the carbon emission licenses. It is considered that the company buys, at every time step, the absolutely necessary allowances and therefore does not create a surplus for future use. In Figure 14, is shown the comparison between the two situations, the current one and the HRES under study.

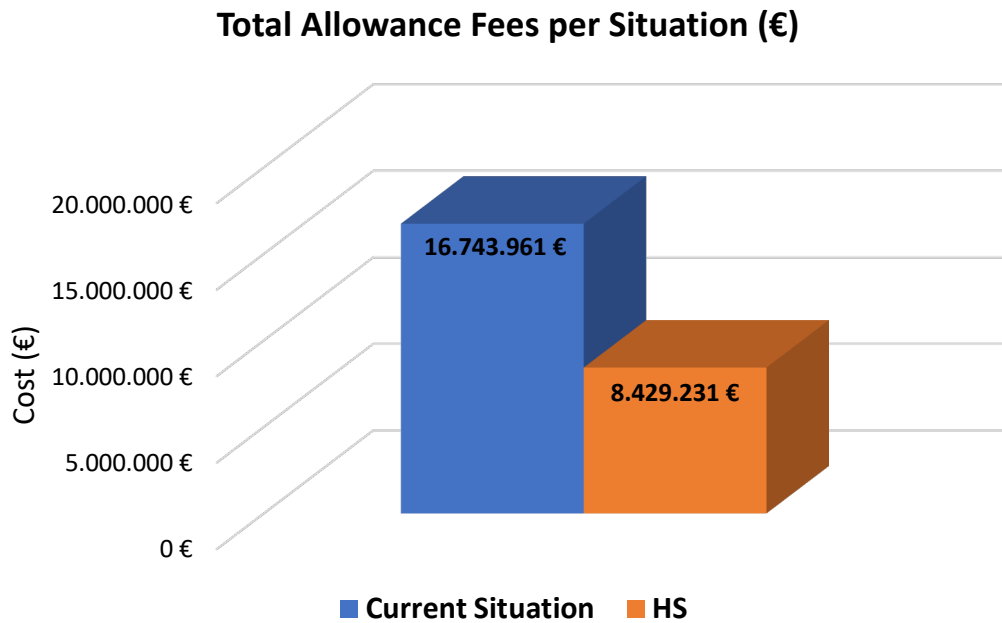


Figure 17: Total Allowance Fees per Situation

Conclusions and Future Research

The study of HRES aims to cover the water, irrigation and energy demands of Skyros Island. The modeling of the project includes the collection and then analysis of the meteorological data, the estimation of the needs, as well as, the electricity produced by it. Through the simulation model of this thesis, the following key conclusions were drawn:

- There is an irrigation dam on the island, with a useful volume of 10^6 m^3 . To this construction, a hydropower plant, a wind farm, a seawater tank and a new desalination unit are added, so that they can all be combined together with the local autonomous power station order to form a HRES.
- There is, almost, complete coverage of the water supply and irrigation needs from the operation of the HRES, with the reliability amounting to 99.99 %, throughout the life of the project.
- The operation of the wind farm on Mount Kochilas, results in the coverage of more than 60 % of the demand for electricity on the island, for the entire life of the project.
- From the cost-benefit analysis, it appears that for low selling prices of energy and desalinated water, the investment is considered sustainable, while for higher prices the project is of great investment interest.

- The operation of the HRES studied in the present thesis reduces, by almost half, the emissions of greenhouse gases, namely carbon dioxide (CO₂), into the atmosphere.
- The total fare, which the thermal power station is required to pay from the emission of carbon dioxide into the atmosphere, during the operation of the HRES, is almost half of the corresponding fare, due to the existing operation of the station.

This dissertation draws some conclusions, based on the methodology and the rules of operation of the system that are followed. However, throughout the study, some issues arise that need further analysis and research. This additional process leads to the improvement of the project and is the essence of the evolution of knowledge.

Initially, the application of this methodology can be applied to other Greek islands, which, whether connected to the power grid or not, cover their needs from autonomous conventional power plants.

Also, an evolution of the present study is considered the interconnection of Skyros, either with neighboring islands or with Mainland Greece. In this case, it is proposed to increase the total power of the HRES, so that the island is able to export, now, electricity to the main network. Based on the wind potential of the island, the installation of several more wind turbines imply a high profit for the project manager, who for example could be the Municipality of Skyros.

In addition, the development of the methodology, followed in the work, is of great interest with a significant difference. All the demands of the island, drinking water supply, irrigation and energy to be considered contemplative figures. Thus, time series are developed for the demands of the island, which describe and predict in a more realistic way the real needs of the island.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Αναφορά

Η υποβάθμιση της ποιότητας των φυσικών πόρων, καθώς και η σταδιακή τους εξάντληση, οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ραγδαία πληθυσμιακή αύξηση των τελευταίων δεκαετιών. Αυτός είναι ένας από τους κυριότερους λόγους διεύθυνσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό ισοζύγιο, παγκοσμίως. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καλύπτουν το κενό που δημιουργείται από την μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης, οι εκπομπές, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αλλά και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, στην ατμόσφαιρα από την χρήση αυτών των καυσίμων, ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την περιβαλλοντική ρύπανση, τόσο του ύδατος, όσο και του αέρα, καθώς και την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Λόγω της αλλαγής της νομοθεσίας σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλούνται να εντάξουν τις ΑΠΕ στη λειτουργία τους. Οι ΑΠΕ αποτελούν βασική προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή Ένωση, γεγονός που διαφαίνεται κυρίως από το θεσμικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια. Η αρχή έγινε με τη Λευκή Βίβλο «Ενέργεια για το Μέλλον» το 1997 για την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία ακολουθείται από το Green Paper το 2000 «Στρατηγική για την Ασφάλεια της παροχής Ενέργειας» για την ανεξαρτησία του ενεργειακού εφοδιασμού. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο υπογράφηκε το Δεκέμβριο του 1997 από τα Ηνωμένα Έθνη για την κλιματική αλλαγή, ορίστηκε ο στόχος της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) κατά 8 % το διάστημα 2008-2012 από τα επίπεδα του 1990 (Παπαευθυμίου, 2012).

Η Ελλάδα συμμετέχει στη συνολική προσπάθεια της ΕΕ για την αύξηση της συμβολής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, ως κράτος – μέλος της. Η εγκατάσταση και λειτουργία συνδυασμού ΑΠΕ θεωρείται αναγκαία, ιδιαίτερα για τη νησιωτική Ελλάδα. Κυρίως τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, στα οποία η ενεργειακή ζήτηση καλύπτεται είτε μέσω της σύνδεσης τους με το δίκτυο κάποιας απομακρυσμένης περιοχής, την ηπειρωτική χώρα ή άλλο γειτονικό νησί, είτε από αυτόνομους ενεργειακούς σταθμούς. Στην περίπτωση της Σκύρου, λειτουργεί τοπικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ (ΤΣΠ). Με τη χρήση Υβριδικού Συστήματος στο νησί, καλύπτεται ένα σημαντικό ποσοστό της ενεργειακής ζήτησης και μειώνονται αισθητά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το λειτουργικό κόστος της συμβατικής μονάδας. Στην περίπτωση σύνδεσης με το δίκτυο κάποιας απομακρυσμένης περιοχής, η χρήση ΥΣ εξαλείφει τις πτώσεις ενέργειας και τις αρρυθμίες στις περιόδους υψηλής ενεργειακής ζήτησης, ενώ ταυτόχρονα το νησί καθίσταται ενεργειακά ανεξάρτητο. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι τα νησιά μπορούν να απεξαρτηθούν από τα συμβατικά καύσιμα και τις επιπτώσεις της μονοπωλιακής χρήσης τους και να συνεισφέρουν ενεργά στην επίτευξη των εθνικών στόχων, με τη δημιουργία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.

Τα νησιά της χώρας εμφανίζουν πλούσιο και ελκυστικό αιολικό δυναμικό. Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Η έντονη μεταβλητότητα στην παραγόμενη ενέργεια των ανεμογεννητριών (Α/Γ) οφείλεται στη στοχαστικότητα που διέπει τη φυσική διεργασία του ανέμου. Καθίσταται λοιπόν αμφίβολη η αξιοπιστία τέτοιων εγκαταστάσεων στη νησιωτική χώρα. Η στοχαστικότητα που περιέχουν τα φυσικά μεγέθη, όπως ο άνεμος ή η ηλιοφάνεια, έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία πλήρους κάλυψης ενός συστήματος με πάγιες ανάγκες από ΑΠΕ. Η αδυναμία αυτή είναι δυνατόν να καλυφθεί από τα λεγόμενα Υβριδικά Συστήματα (ΥΣ). Ο στόχος των Υβριδικών Ενεργειακών Έργων είναι η παραγωγή ενέργειας, μέσω της αξιοποίησης διαφορετικών ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα αιολικής και υδροηλεκτρικής, σε συνδυασμό με την αποθήκευση της περισσευούμενης παραγόμενης ενέργειας. Η πιο διαδεδομένη και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος αποθήκευσης του ενεργειακού πλεονάσματος είναι η μέθοδος της αντλησοταμίευσης. Αξιοσημείωτο παράδειγμα ενός τέτοιου έργου στην Ελλάδα αποτελεί το ΥΣ στο νησί της Ικαρίας, συνολικής ισχύος 6.8 MW. Το έργο σχεδιάστηκε για την παραγωγή αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας τις λιμνοδεξαμενές του νησιού, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, υποκαθιστώντας σημαντικά τον υπάρχοντα πετρελαϊκό σταθμό (Παπαευθυμίου, 2012).

Εκτός όμως από την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, πρόβλημα για τη νησιωτική Ελλάδα, αποτελεί και η κάλυψη των υδατικών αναγκών, δηλαδή της ύδρευσης και της άρδευσης. Τα νησιά της χώρας αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα λειψυδρίας, το οποίο προκύπτει από την ανεπάρκεια σε υδατικούς πόρους σε μεγάλο αριθμό νησιών. Δυστυχώς, το συγκεκριμένο πρόβλημα επιβαρύνει τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Στην περίπτωση της πλήρους έλλειψης υδατικών πόρων, η κάλυψη των αναγκών επιτυγχάνεται με την αγορά νερού και τη μεταφορά του με υδροφόρα πλοία. Σε αντίθετη περίπτωση, η υπεράντληση των γεωτρήσεων οδηγεί στην πρόσμιξη του θαλασσινού και του πόσιμου νερού. Έτσι, το νερό γίνεται υφάλμυρο και υποβαθμίζεται σημαντικά η ποιότητα του. Παράλληλα, η κατάσταση δυσχεραίνει κατά τους θερινούς μήνες, όπου η αύξηση της θερμοκρασίας, της ξηρασίας και της τουριστικής κίνησης, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη εύρεσης μιας βιώσιμης λύσης. Η λύση αυτή οφείλει να βελτιώσει τόσο το βιοτικό επίπεδο των μόνιμων κατοίκων των νησιών, όσο και την οικονομική τους ευημερία.

Η λειψυδρία μπορεί να αντιμετωπιστεί αρκετά αποτελεσματικά με την κατασκευή φράγματος για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού, καθώς και με εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης. Επιπρόσθετα, η υδροδότηση των περισσότερων νησιών, μέσω υδροφόρων πλοίων, αποτελεί μια απλή αλλά δαπανηρή λύση, αφού το κόστος ανά κυβικό μέτρο του παρεχόμενου νερού μπορεί να φτάσει έως και τα 12 €/m³. Αντίστοιχα, παρόλο που η ύπαρξη φράγματος αποτελεί μια πιο ικανοποιητική λύση, η αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και της τοπογραφίας του νησιού μπορεί να λειτουργήσουν ως ανασταλτικοί παράγοντες για την κατασκευή του. Τέλος, η αφαλάτωση, αν και έχει σχετικά υψηλές ενεργειακές

απαιτήσεις, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση ενός κατάλληλα σχεδιασμένου ΥΣ μπορεί να αποτελέσει τη μόνιμη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

1.2 Αντικείμενο της Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη ενός ΥΣ στο νησί της Σκύρου. Το συγκεκριμένο έργο, έχει ως στόχο τη μέγιστη δυνατή κάλυψη τόσο της ύδρευσης, αλλά ταυτόχρονα και των αρδευτικών και ενεργειακών αναγκών. Το έργο περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες, μια μονάδα αφαλάτωσης, έναν ταμιευτήρα αφαλατωμένου νερού, δύο υδροηλεκτρικούς σταθμούς, δύο αντλητικούς σταθμούς και έναν ταμιευτήρα θαλασσινού νερού. Οι υποδομές αυτές, προσομοιώνουν τη λειτουργία του συστήματος, σύμφωνα με τους κανόνες και τους περιορισμούς που ορίζονται από την παρούσα μελέτη. Το ζητούμενο της προσομοίωσης είναι η κατανόηση και η εμπάθυση στον τρόπο λειτουργίας ενός ΥΣ, τόσο για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και για την εκτίμηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας αυτού του συστήματος ως προς την κάλυψη των υδατικών και ενεργειακών αναγκών του νησιού.

1.3 Διάρθρωση της Εργασίας

Η διπλωματική εργασία ξεκινάει με το 2^ο Κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται τα Υβριδικά Συστήματα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τις οποίες απαρτίζονται και η μέθοδος της αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα, αναλύεται η λειτουργία των ΥΣ και παρουσιάζονται οι ΑΠΕ και η παραγωγή ενέργειας από κάθε μορφή. Επιπλέον, αναπτύσσεται η διαδικασία της αφαλάτωσης και συγκεκριμένα η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης. Η μέθοδος αυτή συνδυάζεται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ είναι ενταγμένη στο εξεταζόμενο σύστημα της εργασίας, στο νησί της Σκύρου.

Κατόπιν, στο 3^ο Κεφάλαιο, περιγράφεται η υπάρχουσα κατάσταση στην Σκύρο. Συγκεκριμένα, αναπτύσσονται τα ιστορικά, μορφολογικά και πληθυσμιακά στοιχεία, το καθεστώς προστασίας της περιοχής καθώς και της υδροδότησης, ενέργειας κ.α..

Στη συνέχεια, στο 4^ο Κεφάλαιο, γίνεται εκτενής παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθείται για την προσομοίωση του Υβριδικού Συστήματος. Αρχικά, αναφέρονται τα βασικά τεχνικά στοιχεία και οι υποδομές που αποτελούν το υπό μελέτη σύστημα. Περιγράφεται η διαδικασία που προηγείται της προσομοίωσης, δηλαδή η επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων που λαμβάνονται για την περιοχή μελέτης. Η διακύμανση του πληθυσμού και η εκτίμηση του για τα έτη λειτουργίας του έργου. Επίσης, εκτιμώνται οι ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και ενέργειας της Σκύρου, καθώς και η παραγόμενη ενέργεια από το ΥΣ. Τέλος, παρουσιάζονται τα παραπάνω δεδομένα εισόδου, όπως και η διαδικασία και τα δεδομένα εξόδου της προσομοίωσης.

Στο 5^ο Κεφάλαιο, λαμβάνει χώρα η αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του Υβριδικού Συστήματος που μελετάται στην Σκύρο. Όλα τα πλεονεκτήματα καθώς και οι παθολογίες του συστήματος, φαίνονται συγκεκριμένα

Κεφάλαιο. Επίσης, γίνεται η Ανάλυση Κόστους – Οφέλους για το σενάριο λειτουργίας του έργου, με σκοπό την αξιολόγηση του από οικονομικής άποψης και την επενδυτικής του δυνατότητας. Κλείνοντας το Κεφάλαιο 5, αναλύονται οι οικονομικές, κυρίως, επιπτώσεις για τον ΤΣΠ της ΔΕΗ από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία και το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στο 6^ο και τελευταίο Κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξάγονται τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν μέσα από κάθε Κεφάλαιο. Τέλος, προτείνονται ιδέες για περαιτέρω ανάλυση και ανάπτυξη, αναφορικά με την λειτουργία των Υβριδικών Συστημάτων.

2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Γενικά Στοιχεία Υβριδικών Συστημάτων

Οι κυριότεροι λόγοι ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), τα τελευταία χρόνια, είναι περιβαλλοντικοί και οικονομικοί. Οι ΑΠΕ είναι σήμερα η μοναδική λύση στο πρόβλημα της βιώσιμης, φιλικής προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα οικονομικής διαχείρισης της ενέργειας. Δυστυχώς όμως, οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση, η οποία συνδέεται με τη στοχαστικότητα των φυσικών μεγεθών που τις διέπει. Συγκεκριμένα, η στοχαστικότητα των φυσικών διεργασιών, όπως ηλιοφάνεια και άνεμος, δεν επιτρέπει την σταθερή παραγωγή ενέργειας και την ακριβή πρόβλεψή της. Επίσης, οι ΑΠΕ αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της χρονικής και χωρικής αναντιστοιχίας μεταξύ της προσφερόμενης ενέργειας που παράγουν και της ζητούμενης ενέργειας που καταναλώνεται από τον άνθρωπο. Έτσι, πολλές φορές, η παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές, ενέργεια, δεν είναι αναγκαία και το πλεόνασμα χάνεται, ενώ άλλες φορές δεν είναι αρκετή όταν απαιτείται. Είναι αναγκαίο λοιπόν, η στροφή προς τις ΑΠΕ και η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση τους στο ενεργειακό ισοζύγιο, να συνδυάζονται με τεχνολογίες που αφορούν την αποθήκευση της ενέργειας. Με τον συνδυασμό αυτό, εξομαλύνονται οι ενεργειακές αιχμές και ρυθμίζεται η παροχή προς το δίκτυο. Οι παραπάνω απαραίτητες διαδικασίες, καλύπτονται από την τεχνολογία των Υβριδικών Συστημάτων (ΥΣ).

«Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας» ονομάζονται τα συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα είναι δυνατόν να περιλαμβάνει μια συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου, καθώς και σύστημα διαχείρισης φόρτου. Έτσι, τα ΥΣ αποτελούν μια εναλλακτική και αποτελεσματική επιλογή έναντι των συμβατικών συστημάτων, τα οποία βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Manwell, 2004).

Για το σχεδιασμό ενός ΥΣ πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες (Καγκαράκη, 1992):

1. Η εθνική πολιτική για την προώθηση των ΥΣ παραγωγής ενέργειας και για την προώθηση των ΑΠΕ.
2. Τα χαρακτηριστικά του φορτίου και της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένο το σύστημα (ημερήσιες kWh, φορτίο αιχμής).
3. Η διαθεσιμότητα και η βέλτιστη εκμετάλλευση των ΑΠΕ.
4. Το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ στο ΥΣ.
5. Το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος.
6. Την αξιοπιστία και την επίδραση του στο περιβάλλον.

Συνηθίζεται, τα ΥΣ να περιλαμβάνουν μια ή και περισσότερες ΑΠΕ, οι οποίες συνδυάζονται με μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας (ΤΣΠ) και μια ή και περισσότερες μονάδες αποθήκευσης. Χαρακτηριστικό είναι το μοντέλο λειτουργίας των ΥΣ στα άνυδρα μη διασυνδεδεμένα ελληνικά νησιά, το οποίο αναπτύσσεται για την επίλυση διαφορετικών συνυπαρχόντων προβλημάτων. Ένα αιολικό πάρκο σε συνδυασμό με τοπικό σταθμό παραγωγής της ΔΕΗ και ταμιευτήρα αφαλατωμένου νερού. Το παραπάνω, αποτελεί ένα αξιόπιστο ΥΣ, το οποίο φροντίζει για την παροχή σταθερής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, με μεγάλη συμμετοχή ΑΠΕ (αιολικό πάρκο, ΥΗΕ), καθώς όμως και παροχή υδρευτικού και αρδευτικού νερού στο νησί. Ο ΤΣΠ εγγυάται την κάλυψη του συνόλου των ενεργειακών αναγκών, ενώ το ΥΗΕ ρυθμίζει τις αιχμές του δικτύου και την αποθήκευση της περίσσειας (αντλησοταμίευση). Το αιολικό πάρκο καλύπτει ένα μέρος της ζήτησης, ενώ ταυτόχρονα καλύπτει τις ανάγκες για αφαλάτωση και μεταφορά του νερού στον ταμιευτήρα. Το παραπάνω σύστημα, είναι ιδιαίτερα θεμιτό για τα άνυδρα μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας, καθώς επιτυγχάνει να αντιμετωπίσει πολλές δυσκολίες για τις τοπικές κοινωνίες.

2.2 Πλεονεκτήματα των Υβριδικών Συστημάτων

Η μελέτη και η ανάπτυξη των (ΥΣ) έχει ως στόχο, την βέλτιστη αξιοποίηση κάθε μίας εκ των επιμέρους τεχνολογιών, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες τεχνολογίες είναι, για παράδειγμα, οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα ΥΣ παρέχουν ενέργεια ισάξιας ποιότητας με αυτήν που παρέχεται από το δίκτυο. Έχουν έτσι την δυνατότητα, να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα, καινούργια και ανεξάρτητα συστήματα, μέσα σε μικρά συστήματα διανομής ενέργειας ή και να ενταχθούν σε υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα, τα οποία βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα.

Για την τελευταία περίπτωση, είναι αναγκαίο να γίνουν κάποιες απαραίτητες επεμβάσεις στον τρόπο λειτουργίας του δικτύου. Η κατανάλωση του ορυκτού καυσίμου, π.χ. πετρέλαιο, είναι η ελάχιστη δυνατή στα ΥΣ, τα οποία περιλαμβάνουν θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Προφανώς, αυτή η συνθήκη αποτελεί έναν βασικό κανόνα λειτουργίας για τα ΥΣ. Σε περιπτώσεις όμως, υψηλών ενεργειακών ζητήσεων, οι οποίες είναι αδύνατον να καλυφθούν εξ ολοκλήρου από ΑΠΕ, ή σε στιγμές χαμηλής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, ο θερμικός σταθμός καλύπτει το υπόλοιπο της ενεργειακής ζήτησης. Συνεπώς, τα συστήματα αυτά, καθίστανται αρκετά φιλικά προς το περιβάλλον, με την μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και τα καταστροφικά αποτελέσματα των εκπομπών τους. Αποτελούν, επίσης, αρκετά οικονομικότερες λύσεις, σε αγροτικές περιοχές ή μη διασυνδεδεμένα νησιά, όπου είναι ασύμφορη η σύνδεση ή η μεταφορά καυσίμου. Τέλος, η υψηλή αποδοτικότητα και η αξιοπιστία, που διέπουν τα ΥΣ, αποτελούν αποτελεσματική λύση για παροχή ισχύος, σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή οποιασδήποτε έκτακτης ανάγκης. (Μυσίρης, 2015)

Όλα τα παραπάνω οφέλη, αναφέρονται σε τοπικό επίπεδο, ενώ διαφέρουν ανάλογα με τη χωροθέτηση, την κατασκευή και τον τρόπο λειτουργίας του ΥΣ. Το ΥΣ που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη για το νησί της Σκύρου, αναμένεται να έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
- Αποφυγή γενικών ή μερικών black-out.
- Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων και των αντίστοιχων κομίστρων, λόγω του περιορισμού λειτουργίας του ΤΣΠ της ΔΕΗ.
- Αναβάθμιση της ποιότητας και εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα του νησιού, μέσω της αποδέσμευσης του από τις ευθύνες ύδρευσης και άρδευσης.
- Εξασφάλιση σημαντικής ποσότητας αφαλατωμένου νερού τόσο για την κάλυψη της ύδρευσης όσο και της άρδευσης.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στο νησί, κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου.

2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Υβριδικά Συστήματα

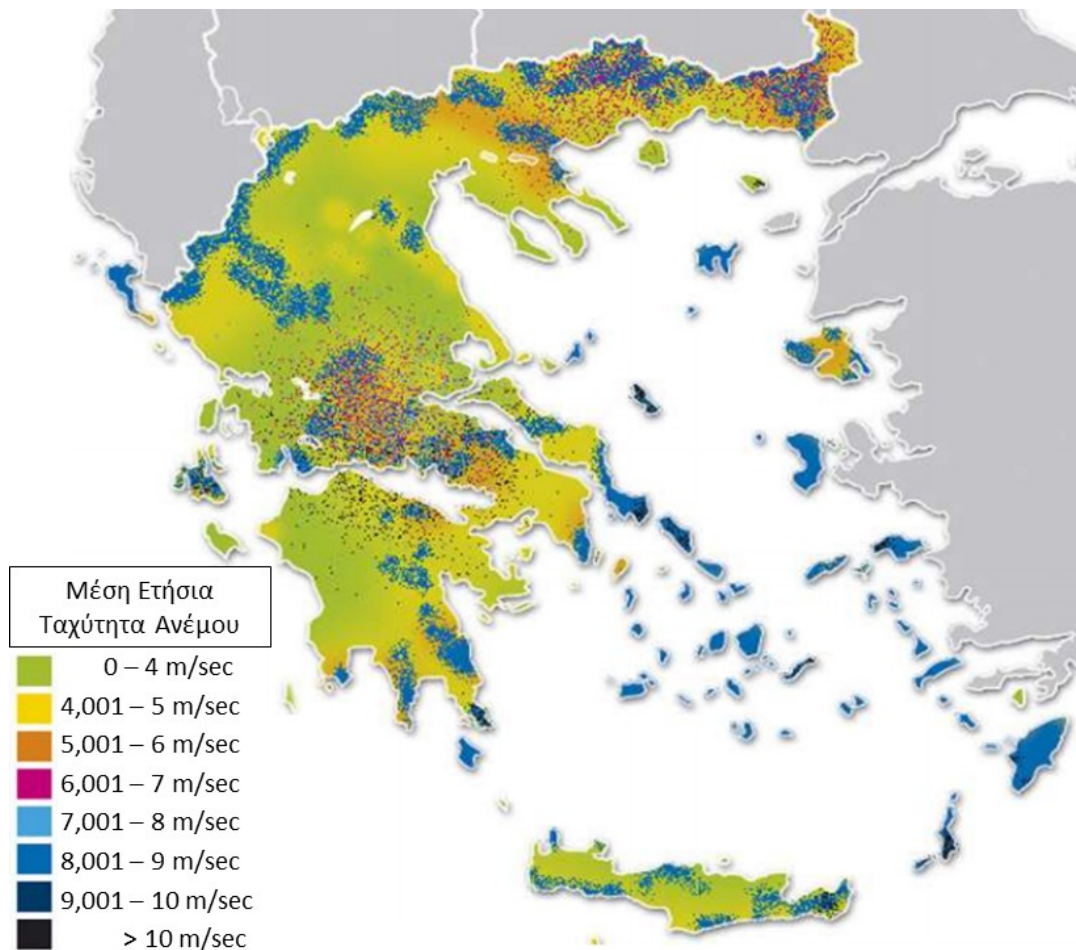
2.3.1 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ως ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, εφόσον ο άνεμος θεωρείται ανεξάντλητος.

Από τα αρχαία κιόλας χρόνια, ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε την κίνηση του ανέμου. Για εκατοντάδες χρόνια, η κίνηση των πλοίων εξαρτιόταν από το αιολικό δυναμικό, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν, ως κινητήριες μηχανές, για άντληση νερού και άλεσμα δημητριακών. Πλέον, ο άνεμος μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω κατάλληλων διατάξεων και μηχανισμών, τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια, μέσω της περιστροφικής κίνησης της πτερωτής, και στην συνέχεια σε ηλεκτρική, μέσω της γεννήτριας. Ο πρώτος ανεμόμυλος για την παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland, Ohio των Η.Π.Α. με ισχύ 12 kW (Μαμάσης, Στεφανάκος, 2012).

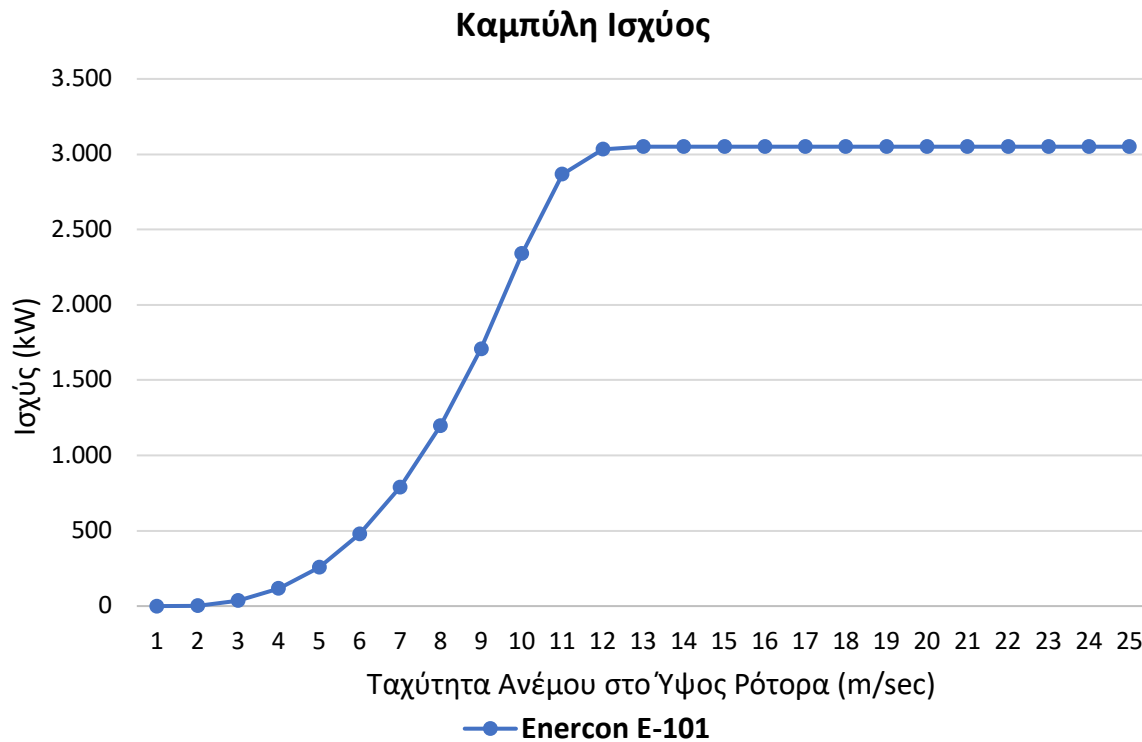
Ο άνεμος αποτελεί ελεύθερη, άφθονη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς και ανεξάρτητη των ορυκτών καυσίμων. Όπως στην αρχαιότητα, έτσι και σήμερα, ο άνθρωπος προσπαθεί να επωφεληθεί από τη δύναμη του, με σκοπό να ικανοποιήσει τις ανάγκες. Οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί της σημερινής εποχής οδηγούν ξανά στην αναζήτηση ενός καλύτερου τρόπου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ο άνεμος αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τη γρήγορη συναρμολόγηση και εγκατάσταση, καθώς και το χαμηλό λειτουργικό κόστος να είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που τις καθιστούν σήμερα μια αρκετά ελκυστική και ανταγωνιστική επιλογή ανάμεσα στις υπόλοιπες ΑΠΕ (Λεμονής, 2020).

Η ορθή εγκατάσταση ανεμογεννητριών, προϋποθέτει πως το αιολικό δυναμικό της περιοχής χαρακτηρίζεται αρκετά υψηλό. Έτσι, ο σημαντικότερος παράγοντας για την δημιουργία ενός αιολικού πάρκου, είναι κατά κύριο λόγο οι ανεμολογικές συνθήκες. Τα ελληνικά νησιά και οι παράκτιες περιοχές, θεωρούνται οι πλέον κατάλληλες για την δημιουργία τέτοιων πάρκων, λόγω των συχνών και ισχυρών ανέμων. Προφανώς, από τα παραπάνω προκύπτει και το μεγάλο μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας. Ο άνεμος αποτελεί ένα μετεωρολογικό μέγεθος, το οποίο, όπως είναι αναμενόμενο, παρουσιάζει έντονη στοχαστικότητα και μεταβλητότητα. Η έντονη και απρόβλεπτη διακύμανση του ανέμου, οδηγεί στην έντονη και απρόβλεπτη διακύμανση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργώντας προβλήματα αστάθειας στο δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό το λόγο, δεν γίνεται να δομηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας, με αποκλειστική χρήση των Α/Γ. Άλλοι παράγοντες, που λαμβάνονται υπόψιν για την χωροθέτηση των Α/Γ, είναι η προσβασιμότητα της τοποθεσίας και η δυνατότητα διασύνδεσης με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι η οικολογική καταστροφή που δημιουργείται από την διάνοιξη του οδικού δικτύου και την απειλή προς την χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των Α/Γ, οδηγούν στον θάνατο πουλιών και στην υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων (Αναγνωστοπούλου, Μπούσμπουρας, 2008). Λόγω των παραπάνω, η νομοθεσία απαγορεύει την κατασκευή αιολικών πάρκων σε περιοχές προστασίας πουλιών, περιοχές RAMSAR ή ευαίσθητες οικολογικά περιοχές.



Σχήμα 2.1 - Αιολικό Δυναμικό της Ελλάδας (Πηγή: [ΚΑΠΕ](#), 2013)

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Α/Γ, υπολογίζεται με βάση την καμπύλη ισχύος της, δηλαδή συναρτήσει του μοντέλου που χρησιμοποιείται και της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος του ρότορα. Η καμπύλη αυτή, διατίθεται από τον κατασκευαστή της ανεμογεννήτριας και διαθέτει δύο αξιοσημείωτα σημεία λειτουργίας. Το πρώτο είναι το κατώτατο σημείο λειτουργίας, δηλαδή η ταχύτητα ανέμου, κάτω από την οποία δεν παράγεται ενέργεια. Το δεύτερο σημείο, είναι το ανώτατο σημείο λειτουργίας της Α/Γ, πάνω από το οποίο σταματά η λειτουργία της. Δηλαδή, για μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου από την ανώτατη, η Α/Γ διακόπτει την λειτουργία της για λόγους ασφαλείας, καθώς υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της κατασκευής. Στο σχήμα 2.2, παρουσιάζεται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ Enercon E – 101, συνολικής ισχύος 3.050 kW, η οποία χρησιμοποιείται για την μελέτη του ΥΣ της εργασίας.



Σχήμα 2.2 - Καμπύλη Ισχύος Enercon E – 101, 3050 kW

2.3.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του τρεχούμενου νερού, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Βασίζεται, δηλαδή, στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας των επιφανειακών υδάτων με μετατροπή της πρώτα σε κινητική ενέργεια και, τελικά, σε ηλεκτρική. Το νερό που βρίσκεται αποταμιευμένο σε μεγάλα υψόμετρα έχει δυναμική ενέργεια, την οποία αποδίδει μέσω της διεργασίας της υδατόπτωσης. Για το λόγο αυτό, η ενέργεια που παράγεται συνδέεται άμεσα με το υψόμετρο των ταμιευτήρων (Μπέρτσιου, 2016).

Το τρεχούμενο νερό, αποτελεί, πρακτικά, μια ανεξάντλητη πηγή, την οποία εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος μέσω των ποταμών ή των φραγμάτων. Οι διατάξεις της μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική, ονομάζονται υδροστρόβιλοι. Η μετατροπή γίνεται σε δύο βασικά στάδια. Αρχικά, μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια μέσω της πτερωτής του υδροστροβίλου. Στο δεύτερο στάδιο, μετατρέπεται η μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, μέσω της γεννήτριας. Το σύνολο των έργων και ο απαιτούμενος εξοπλισμός, μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της ενέργειας, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Η αποθήκευση σημαντικών ποσοτήτων νερού, συνήθως σε φράγματα, ουσιαστικά αποτελεί αποθήκευση ενέργειας. Είναι δηλαδή, πρακτικά, μια φυσική «μπαταρία», από την οποία μπορούμε, μέσω των ΥΗΕ, να αντλούμε ηλεκτρική ενέργεια με ελεγχόμενο τρόπο. Η παραπάνω συνθήκη, καθιστά την υδροηλεκτρική ενέργεια μια πάρα πολύ σημαντική

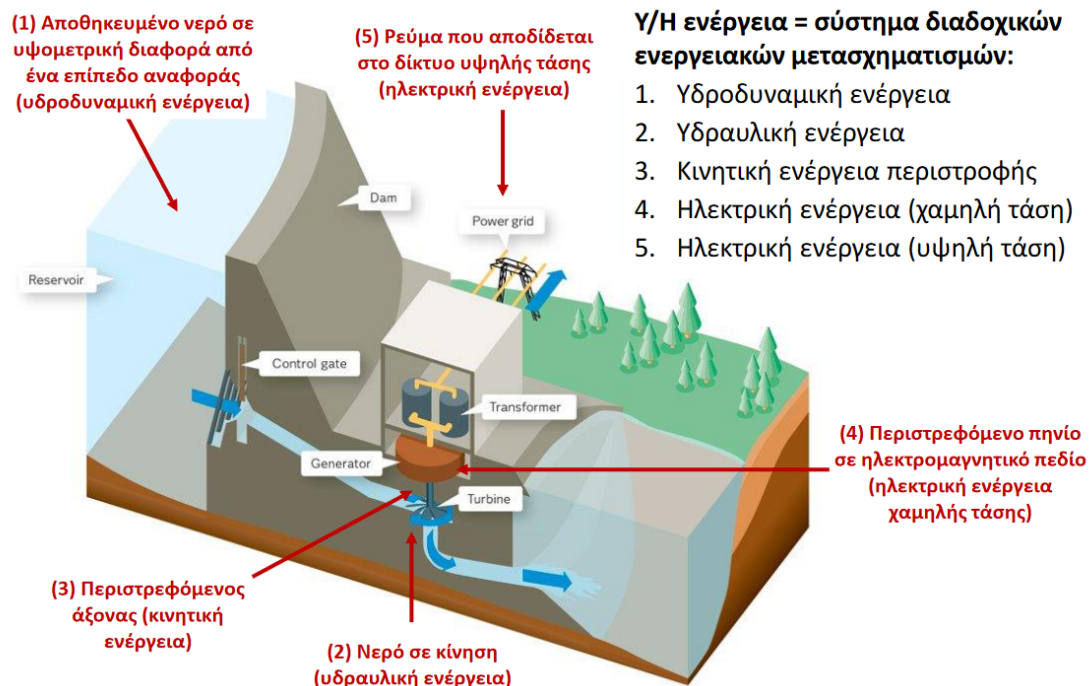
ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Πολύ δύσκολα, απαντάται σε ΑΠΕ, η σταθερότητα και ο έλεγχος της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τις Α/Γ, τα ΥΗΕ δεν περιέχουν τόσο μεγάλη στοχαστικότητα. Σίγουρα, η βροχόπτωση αποτελεί στοχαστικό μέγεθος, το οποίο επηρεάζει την διαθέσιμη ποσότητα νερού προς αποθήκευση. Παρόλα αυτά, η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων μπορεί να αντιμετωπίσει, έως ένα βαθμό, την μεταβλητότητα του τρεχούμενου νερού. Στα ΥΗΕ παράγεται ενέργεια χωρίς διακυμάνσεις, με ελεγχόμενη εκροή σε αντίθεση με κάθε άλλη ΑΠΕ, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Λόγω των παραπάνω, τα ΥΗΕ συνηθίζουν να λειτουργούν ως «ρυθμιστές» της ενέργειας. Για παράδειγμα, σε ένα μεγάλο ΥΗΕ στο οποίο λειτουργεί αντλησοσταμίευση, υπάρχει η δυνατότητα άντλησης της περίσσειας ενέργειας πίσω στο φράγμα και αντίστοιχα η κάλυψη των αιχμών της ζήτησης. Τέλος, η υδροηλεκτρική ενέργεια, παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό ενεργειακής απόδοσης (περίπου 85%).

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ΥΗΕ, είναι το φράγμα και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Το φράγμα (ή ο ταμιευτήρας νερού), αποτελεί το μέσο αποθήκευσης. Το ύψος πτώσης, ο αγωγός και ο υδροστρόβιλος αποτελούν τα βασικότερα στοιχεία που επηρεάζουν την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από ΥΗΕ, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υψομετρική διαφορά, του στροβίλου από το νερό ανάντη. Συγκεκριμένα, η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστρόβιλο προκύπτει από τη σχέση:

$$E = \gamma \times Q \times H \times n \quad (2.1)$$

Όπου:

- γ : το ειδικό βάρος του νερού (9,81 kN/m³),
- Q : η παροχή που διέρχεται από τον στρόβιλο (m/s),
- H : η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη και του υψομέτρου του υδροστρόβιλου κατόντη,
- n : ο συντελεστής απόδοσης του στροβίλου.



Σχήμα 2.3 - Χαρακτηριστικά Υδροηλεκτρικών Έργων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.α., 2019)

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι τα ΥΗΕ εκτός από χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, είναι και μια φιλική για το περιβάλλον διάταξη. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται χωρίς την εκπομπή ρύπων προς την ατμόσφαιρα. Επίσης, δεν υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού. Παράλληλα, τα φράγματα, τα οποία είναι βασικά στοιχεία ενός ΥΗΕ, ικανοποιούν και άλλες ανθρώπινες ανάγκες, όπως η ύδρευση, η άρδευση και η αντιπλημμυρική προστασία.

Ένα μειονέκτημα των ΥΗΕ είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες προκύπτουν από την κατασκευή του φράγματος. Συγκεκριμένα, η μετατροπή ενός ποταμού σε λίμνη, αλλάζει το οικοσύστημα αντίστοιχα από ποτάμιο σε λιμναίο και εξαλείφει την εποχικότητα. Η ροή δεν είναι πλέον συνεχής, ενώ παρεμποδίζεται η κυκλοφορία των ψαριών και συγκρατούνται φερτές ύλες. Τέλος και η περιοχή γύρω από τον ταμιευτήρα επιβαρύνεται με την διάνοιξη του οδικού δικτύου και την αποψίλωση των δασικών εκτάσεων. Οι παραπάνω είναι και οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους, η παραγωγή ενέργειας από μεγάλα ΥΗΕ ισχύος μεγαλύτερης από 15 MW, δεν θεωρείται βάση νόμου ως ΑΠΕ.

2.3.3 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και για το λόγο αυτό είναι, πρακτικά, ανεξάντλητη. Συνεπώς, δεν υπάρχουν περιορισμοί για την εκμετάλλευσή της. Η αξιοποίηση της χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, για παράδειγμα ο ηλιακός θερμοσίφωνας, εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική, είναι το ηλεκτρικό πλαίσιο, ή φωτοβολταϊκό, και το θερμικό πλαίσιο, ή αλλιώς ηλιακός συλλέκτης. Οι ηλιακοί συλλέκτες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για θέρμανση. Βρίσκουν συχνά εφαρμογή ως θερμοσίφωνες σε μεμονωμένες κατοικίες αλλά και σαν ηλιακοί φούρνοι και τμήματα ηλιακών πύργων για τη θέρμανση μεγάλων κτηρίων (Κρητικός, 2010).

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα γίνεται μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η μετατροπή αυτή γίνεται μέσα από την απορρόφηση των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας από ειδικούς ημιαγωγούς τοποθετημένους σε φωτοβολταϊκές κυψέλες, με αποτέλεσμα την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα σύνηθες φωτοβολταϊκό σύστημα απαρτίζεται από τον ηλιακό ή φωτοβολταϊκό συλλέκτη, μπαταρίες ως σύστημα αποθήκευσης και ηλεκτρονικά συστήματα για έλεγχο της ενέργειας που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία (Σκρουφούτα, 2020). Η εφαρμογή τους ξεκίνησε τη δεκαετία του '60 για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διαστημικές εφαρμογές. Τα συστήματα αυτά, συνήθως εφαρμόζονται σε οροφές, αλλά ακόμα και σε όψεις κτηρίων.

Μεγάλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών πλαισίων αποτελούν οι μηδενικές εκπομπές ρύπων, καθώς και το μικρό κόστος συντήρησης. Επίσης, παρουσιάζουν ευελιξία σε εφαρμογές, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε μικρής όσο και σε μεγάλης κλίμακας συστήματα παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, παρόλο που το κόστος εγκατάστασης τους είναι αρκετά υψηλό και η απόδοση που παρουσιάζουν αρκετά χαμηλή, 13 % έως 20 %, η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων έχει αυξηθεί παγκοσμίως, μέσω επιχειρησιακών προγραμμάτων ανάπτυξης για διείσδυση και προώθηση των ΑΠΕ (Ρίππη, 2013).

2.4 Αφαλάτωση και Ενέργεια

2.4.1 Γενικά Στοιχεία

Αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Συνεπώς, η αφαλάτωση ορίζεται ως η μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Η ανάπτυξη της μεθόδου ξεκίνησε κατά τον 20^ο αιώνα, με την εμφάνιση της λειψυδρίας σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Αξιοσημείωτο είναι πως το 97 % περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται αναμειγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα στη θάλασσα, γεγονός που καθιστά το νερό ακατάλληλο για κάλυψη υδρευτικών, αρδευτικών, ακόμα και βιομηχανικών αναγκών (Μουτάφης, 2008).

Η διαδικασία της αφαλάτωσης ξεκίνησε από τους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς, οι οποίοι εφάρμοσαν την μέθοδο κατά τον 4^ο π.Χ. αιώνα δι' εξατμίσεως του θαλασσινού νερού, όπως περιγράφεται από τον Αριστοτέλη. Επίσης, αναφορά στην αφαλάτωση γίνεται και από Άραβα συγγραφέα του 8^{ου} αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Η ανάπτυξη των ατμοπλοϊών, περίπου τον 18^ο αιώνα, ανέπτυξε την ανάγκη για μεγάλη ποσότητα ύδατος στη χρήση των ατμομηχανών, ώστε να μην διαβρώνονται οι εν λόγω μηχανές από το θαλασσινό νερό. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Η σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης φάνηκε από το γεγονός ότι τον ίδιο αμέσως χρόνο εγκαταστάθηκε η πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου της Αγγλίας. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα, το 1930.

Σήμερα, η μέθοδος της αφαλάτωσης εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων, λόγω της έλλειψης υδατικών πόρων. Οι κυριότεροι παράγοντες, που δημιουργούν τέτοια φαινόμενα, είναι η συνεχόμενη πληθυσμιακή αύξηση, καθώς και η χρονική και χωρική αναντιστοιχία ανάμεσα στους υδατικούς πόρους και τις απαιτούμενες ποσότητες αφαλατωμένου νερού. Δηλαδή, το αρδευτικό νερό απαιτείται κατά κύριο λόγο τους θερινούς μήνες, όταν η βροχόπτωση δεν είναι συχνή. Επίσης, στον ελληνικό χώρο, οι υδρευτικές ανάγκες του πληθυσμού, αυξάνονται κατά τους θερινούς μήνες, λόγω της τουριστικής ανάπτυξης της νησιωτικής χώρας, με τις λεκάνες απορροής των νησιών να είναι περιορισμένες. Η Ελλάδα αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση τόπου, όπου το νερό βρίσκεται σε λάθος μέρος, σε λάθος χρόνο, σε λάθος ποσότητα, με την μεγαλύτερη ανάγκη για αφαλατωμένο νερό να βρίσκεται στα μεγάλα αστικά κέντρα και την νησιωτική χώρα και το μεγαλύτερο όγκο βροχής να βρίσκεται στις λεκάνες απορροής κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου. Καθίσταται λοιπόν και για την χώρα μας αναγκαία λύση, η αφαλάτωση, για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων.

2.4.2 Αντίστροφη Ώσμωση (Reverse Osmosis- RO)

Η ώσμωση είναι μια φυσική διεργασία κατά την οποία διαλύτης κινείται μέσω μίας μεμβράνης, που είναι περατή μόνο για τα μόριά του και όχι για τα μόρια της διαλυμένης ουσίας και διαχωρίζει δύο διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων ή χωρίζει ένα διαλύτη από ένα διάλυμα. Χωρίς την μεμβράνη, θα συνέβαινε απλή ανάμιξη των δύο διαλυμάτων ή του διαλύτη και του διαλύματος, δηλαδή θα εμφανιζόταν το φαινόμενο της διάχυσης, ώστε το μείγμα να αποκτήσει την ίδια περιεκτικότητα σε κάποιες ουσίες, π.χ. σε άλατα. Η ώσμωση συναντάται πολύ συχνά στη φύση, ακόμη και στον ανθρώπινο οργανισμό, με το δέρμα, τα νεφρά, τους πνεύμονες αλλά και τα ίδια τα κύτταρα να αποτελούν τις μεμβράνες (Σκρουφούτα, 2020).

Το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης εφαρμόζεται στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Συγκεκριμένα, η ωσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού είναι 27 ατμόσφαιρες (atm). Ασκώντας αρκετά μεγάλη εξωτερική πίεση (περίπου 70 atm), η ώσμωση μπορεί να σταματήσει και να αντιστραφεί, οπότε από τη μεμβράνη διέρχεται αφαλατωμένο νερό. Ως ωσμωτική πίεση ορίζεται η πίεση που ασκείται στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος για να μη συμβεί η ώσμωση και να εξαχθεί καθαρό νερό (Μυσίρης, 2015). Ουσιαστικά, η ημιπερατή μεμβράνη στέκεται εμπόδιο στη διέλευση των αλάτων, ενώ το νερό διέρχεται ελεύθερα. Οι ημιπερατές μεμβράνες κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη ή από πολυαμίδια με τη μορφή μικροσκοπικών διάτρητων ινών. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται υπό πίεση στις ίνες και εξέρχεται αφαλατωμένο.

Για να είναι αποτελεσματική η μέθοδος και να επιτυγχάνει το σκοπό της, είναι αναγκαίο να χωρίζεται σε τρεις φάσεις επεξεργασίας. Η πρώτη φάση είναι η προεπεξεργασία και θεωρείται κρίσιμης σημασίας, αφού εξασφαλίζει την καθαρότητα των μεμβρανών, μέσα από την καταστροφή των μικροοργανισμών και την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, και συνεπώς την αποτελεσματική λειτουργία της μονάδας. Η δεύτερη φάση αφορά στη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης από την οποία παράγεται αφαλατωμένο νερό, ενώ τελικά, ακολουθεί η τρίτη φάση επεξεργασίας, στην οποία γίνεται η προετοιμασία του νερού για τη διανομή του ως πόσιμου με χρήση χημικών για τη σταθεροποίηση του (Λεμονής, 2020).

Η αντίστροφη ώσμωση, εφαρμόζεται περισσότερο από κάθε άλλη μέθοδο αφαλάτωσης. Είναι η μέθοδος, η οποία εφαρμόζεται για την παραγωγή πόσιμου νερού, η οποία χρησιμοποιείται, και στο υπό μελέτη υβριδικό σύστημα. Παρουσιάζει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καταλληλόλητα για σύνδεση με φωτοβολταϊκά, καθώς και ανεμογεννήτριες και παράγει μεγάλες ποσότητες αφαλατωμένου νερού σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους (Μυσίρης, 2015). Επίσης, η εν λόγω μέθοδος, έχει το πλεονέκτημα της εγκατάστασης και λειτουργίας σε όλες τις κλίμακες, από τη μεγαλύτερη εγκατάσταση για την ύδρευση ενός αστικού κέντρου, μέχρι και τη χρήση μιας μικρής συσκευής για την λειτουργία σε οικιακό επίπεδο. Για παράδειγμα, η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης με τη μέθοδο της

αντίστροφης ώσμωσης, βρίσκεται στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, όπου το 50 % των υδατικών αναγκών καλύπτεται από αφαλατωμένο νερό, ενώ η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και στις οικιακές βρύσες.

2.4.3 Ενέργεια για αφαλάτωση

Η ανάγκη για παραγωγή πόσιμου νερού, με μεθόδους αφαλάτωσης, σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό και με τη δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μιας περιοχής. Η αφαλάτωση, ως μέθοδος, εφαρμόζεται για την επίλυση προβλημάτων λειψυδρίας μιας περιοχής, για παράδειγμα ενός νησιού. Αρκετά συχνά, οι περιοχές αυτές, είναι απομονωμένες και ασύνδετες με κάποιο μεγάλο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελούν τα ελληνικά νησιά, τα οποία στην πλειοψηφία τους, δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας και ικανοποιούν τις ανάγκες τους, μέσω τοπικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ (ΤΣΠ). Επίσης, οι σταθμοί αυτοί είναι, συνήθως, χαμηλής ισχύος, καθώς σκοπό έχουν την κάλυψη των αναγκών ενός νησιού ή ενός συμπλέγματος νησιών, χαμηλής συνολικής μέγιστης ζήτησης. Έτσι, δημιουργείται μια συχνή αδυναμία και αστοχία του συστήματος, να τροφοδοτεί τις μονάδες αφαλάτωσης, με την απαιτούμενη ενέργεια για την εκτέλεση των διεργασιών.

Η αδυναμία αυτή, είναι δυνατόν να καλυφθεί από ΑΠΕ στο νησιωτικό χώρο. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός της αφαλάτωσης με συγκεκριμένες ΑΠΕ, ερευνάται και εφαρμόζεται, με στόχο να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και το κόστος του αφαλατωμένου νερού τελικώς. Βέβαια, τα αποτελέσματα από έρευνες δεν ήταν ικανοποιητικά, καθώς ανέδειξαν και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αφαλάτωσης όταν συνδέονται με ΑΠΕ. Τα προβλήματα αυτά αφορούν κυρίως την αδυναμία των ΑΠΕ, τόσο για εξασφάλιση συνεχούς παροχής ενέργειας, όσο και για αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας για την απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης (Λεμονής, 2020).

Η αιολική ενέργεια, αποτελεί μια εναλλακτική λύση για την τροφοδότηση εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, η οποία είναι ικανή να μειώσει έως ένα βαθμό τα μειονεκτήματα του συνδυασμού ΑΠΕ με αφαλάτωση, σε συγκεκριμένες περιοχές. Στο νησιωτικό χώρο, παρατηρείται αρκετά υψηλό αιολικό δυναμικό, επομένως είναι δυνατή η, κατά προτεραιότητα, κάλυψη της ενεργειακής απαίτησης της αφαλάτωσης από Α/Γ. Το αιολικό πάρκο του νησιού, καλύπτει σε πρώτη φάση τις ανάγκες για αφαλάτωση και μεταφορά του αφαλατωμένου νερού στον πληθυσμό, ενώ στη συνέχεια, εάν υπάρχει η αιολική δυνατότητα, καλύπτει μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων. Πάλι ωστόσο, η διακύμανση και η αβεβαιότητα του ανέμου, επιφέρουν διακυμάνσεις και στην παραγόμενη ποσότητα του αφαλατωμένου νερού. Τα ΥΣ, που απαρτίζονται από διαφορετικές ΑΠΕ, συμβατικές μονάδες και διαθέτουν διατάξεις αποθήκευσης της ενέργειας, είναι ικανά να αποτελέσουν μια σοβαρή εναλλακτική λύση, με ελάχιστη πιθανότητα αστοχίας. Κρίσιμη, χαρακτηρίζεται η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας του συστήματος, για την εύρυθμη λειτουργία των

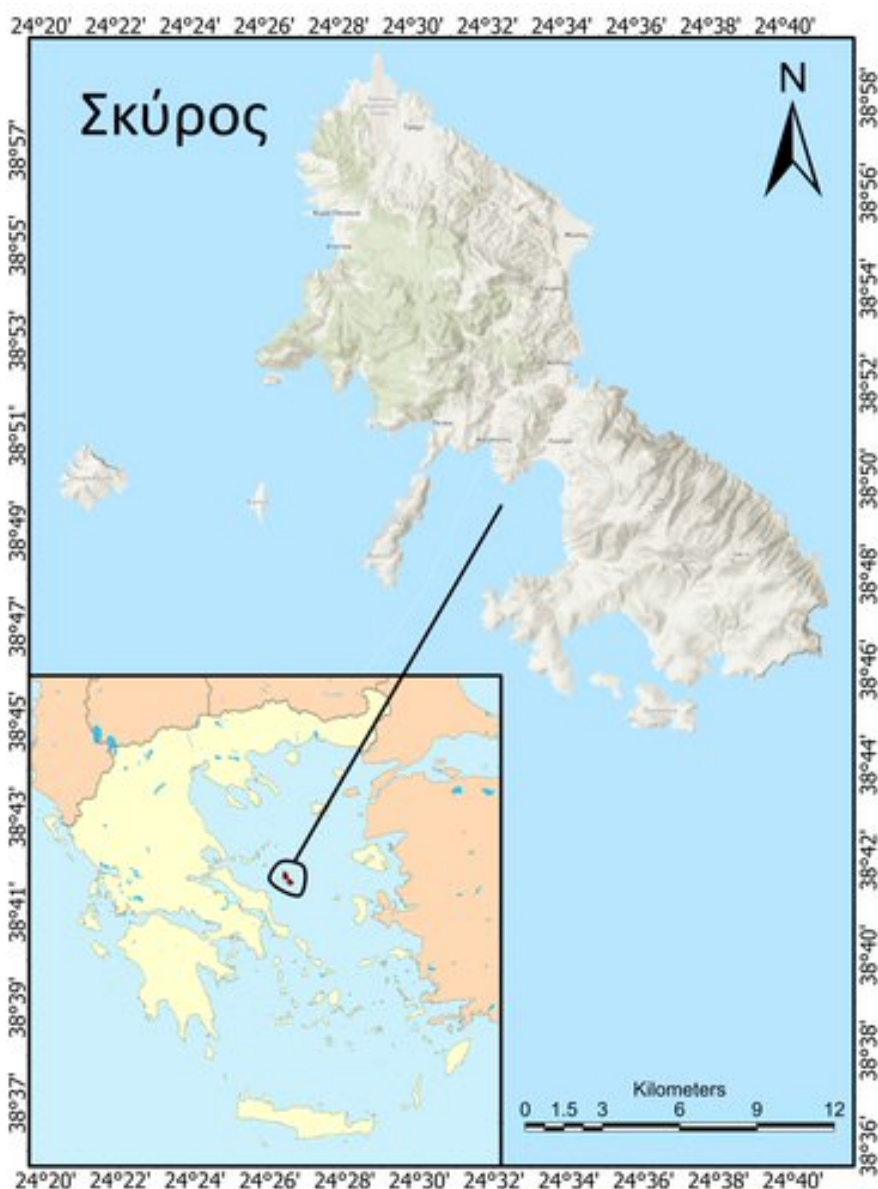
υπόλοιπων διατάξεων του. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός Α/Γ, φωτοβολταϊκών, ΥΗΕ, ΤΣΠ και μονάδας αντίστροφης ώσμωσης, εξασφαλίζει συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της αφαλάτωσης. Έτσι, καλύπτεται η απαίτηση για αφαλατωμένο νερό συνεχώς και στη συνέχεια το σύστημα επιτελεί τις υπόλοιπες αρμοδιότητες του, όσο είναι δυνατόν μέσω ΑΠΕ.

Συμπερασματικά, τα ΥΣ παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον ελληνικό νησιωτικό χώρο, κυρίως λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού και του μικρού πληθυσμού. Το νησί της Σκύρου, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής τέτοιου συστήματος. Το αιολικό δυναμικό, ο πληθυσμός, ο ΤΣΠ της ΔΕΗ, καθώς και το υπάρχον αρδευτικό φράγμα, καθιστούν το νησί μια φοβερή επιλογή για την εφαρμογή και την αξιολόγηση ενός ΥΣ ΑΠΕ.

3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γενικά

Η Σκύρος αποτελεί το νοτιότερο και μεγαλύτερο νησί των Σποράδων. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Χώρα, που βρίσκεται στην ανατολική ακτή. Το νησί, γεωγραφικά, ανήκει στις Σποράδες, ενώ διοικητικά στο Νομό Εύβοιας και στην περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Βρίσκεται ανατολικά της Εύβοιας, σε απόσταση 22 ν.μ. από το λιμάνι της Κύμης. Η Χώρα της Σκύρου είναι ο κύριος οικισμός και απέχει περίπου 11 km από το λιμάνι του νησιού, την Λιναριά στη δυτική ακτή.



Σχήμα 3.1 - Το νησί της Σκύρου (Πηγή: ArcGIS Pro)

3.2 Ιστορικά Δεδομένα

Το όνομα Σκύρος προέρχεται από το σκληρό και λιθώδες έδαφος του νησιού, όπως φαίνεται από αναφορά στους αρχαίους συγγραφείς : «Η δε Σκύρος την κλίσην ταύτην έχει δια τό της νήσου ταύτης σκληρόν και οίον σκυρώδες ήτοι λιθώδες» (σχόλια Ευστάθιου στον Διονύσιο Περιηγητή). Στην αρχαιότητα ονομαζόταν και Πετραία (Σοφοκλέους Φιλοκτήτης, στιχ.459), (Σαπουνά - Σακελλαράκη, 1997).

Η Σκύρος κατοικείται από τη νεολιθική περίοδο (5500 – 2800 π.Χ.) όπως μαρτυρούν τα λείψανα που έχουν βρεθεί στο βόρειο τμήμα του νησιού. Ακμάζει κατά την πρώιμη εποχή του χαλκού (2800 – 1900 π.Χ.) και φτάνει στο απόγειο της ακμής της κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο (1650 – 1100 π.Χ.). Επιπρόσθετα, αναφέρεται και στην Ελληνική Μυθολογία, όπου η παρουσία της είναι ιδιαίτερα αισθητή. Τα σημαντικότερα μυθικά πρόσωπα που συνδέονται με την Σκύρο είναι ο Θησέας, ο Λυκομήδης και ο Αχιλλέας. Φημολογείται ότι η μητέρα του Αχιλλέα, Θέτιδα, έκρυψε τον γιό της στο βόρειο τμήμα του νησιού γνωρίζοντας ότι αν πολεμήσει στην Τροία θα σκοτωθεί. Σημαντική εμφανίζεται η Σκύρος και στα γεωμετρικά και αρχαϊκά χρόνια. Το 457 π.Χ., κατακτάται από τους Αθηναίους και το 323/22 π.Χ. περνάει στα χέρια των Μακεδόνων. Το 197 π.Χ., την καταλαμβάνουν οι Ρωμαίοι, ενώ από το 2^ο αιώνα μ.Χ. εξαπλώνεται στο νησί η χριστιανική θρησκεία (Σαπουνά - Σακελλαράκη, 1997).

Η Σκύρος σημαντικό νησί σε όλες τις περιόδους, όπως δείχνουν τα θραύσματα αγγείων, όπου βρίσκονται σε όλα τα σημεία του νησιού, δεν είχε ανασκαφεί συστηματικά μέχρι και το 1980. Κατά συνέπεια, η γνώση σχετικά με τους οικισμούς στις διάφορες περιόδους είναι περιορισμένη. Από τις ανασκαφές των τελευταίων 20 χρόνων που διενεργούνται από την Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία, βρέθηκε ένας από τους σημαντικότερους προϊστορικούς οικισμούς του Αιγαίου κατά την πρώιμη και μέση Χαλκοκρατία (2^η και 3^η π.Χ. χιλιετία), στη θέση Παλαμάρι στη ΒΑ παραλία της.

Το 1538, η Σκύρος κατακτήθηκε από τους Οθωμανούς, με πολλά προνόμια όμως, καθώς στο νησί δεν έμειναν για μεγάλο διάστημα ούτε τουρκικά στρατεύματα, ούτε Τούρκοι κυβερνήτες. Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας, η Σκύρος υπέφερε πολύ από πειρατικές επιδρομές, που ανάγκαζαν τους κατοίκους της να καταφεύγουν στο κάστρο.

3.3 Μορφολογικά Δεδομένα

Η Σκύρος έχει συνολική έκταση 209.5 km², μέγιστο μήκος 29 km, ελάχιστο πλάτος 3 km και μήκος ακτογραμμής 130 km. Το μέγιστο υψόμετρο του νησιού βρίσκεται στο όρος «Κόχυλας» (792 m). Κοντά στις ακτές του νησιού βρίσκονται αρκετές νησίδες και βραχονησίδες, οι οποίες πιθανότατα αποκολλήθηκαν από το υπόλοιπο νησί λόγω ρηγμάτων μεταξύ τους.

Το νησί διαχωρίζεται σε τρεις μορφολογικές ενότητες. Το νοτιοανατολικό τμήμα (Βουνό) με έκταση 87 km² παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο, μεγάλες κλίσεις και χέρσα και βραχώδη βουνά. Το βορειοδυτικό τμήμα (Μερόη) με έκταση 111 km², το οποίο περιλαμβάνει ομαλό ανάγλυφο και πεδινές εκτάσεις. Και τέλος, το κεντρικό τμήμα του νησιού, το οποίο αποτελεί μια στενή λωρίδα γης, περιλαμβάνει δύο κορυφές, αυτές του Προφήτη Ηλία (294 m) και της Μονής Κάμπου (331 m). Το κεντρικό τμήμα του νησιού διαχωρίζεται από τις άλλες δύο ενότητες, με την παρουσία δύο σχεδόν παράλληλων μεταξύ τους κοιλάδων, που συνδέουν τους κόλπους Ασπούς - Αχερούνες και Αχίλλι – Αγίου Νικολάου.

3.4 Γεωλογικά Στοιχεία

Ως προς την λιθολογία της, η Σκύρος αποτελείται κατά 66 % από ασβεστόλιθους (έκταση 144 km²), 22 % από σχιστόλιθους (48 km²), 7 % από νεογενείς σχηματισμούς (15 km²) και κατά 5 % από μάρμαρα, εκρηξιγενή πετρώματα και αλλουβιακές προσχώσεις. Το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού αποτελείται από ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους και νεογενείς σχηματισμούς, ενώ το νοτιοανατολικό τμήμα αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθο και έχει έντονο ανάγλυφο, με βαθιές χαραδρώσεις, καρστικούς σχηματισμούς (σπήλαια, καταβόθρες), και κατά τόπους κλειστά οροπέδια. Στα οροπέδια αυτά, έχει αποθεθεί ερυθρά γη (terra rossa). Τέλος, στις ζώνες που διαχωρίζουν το νησί σε τρία τμήματα, το έδαφος είναι θαλάσσιας προέλευσης (αμμώδες ως αργιλαμμώδες).

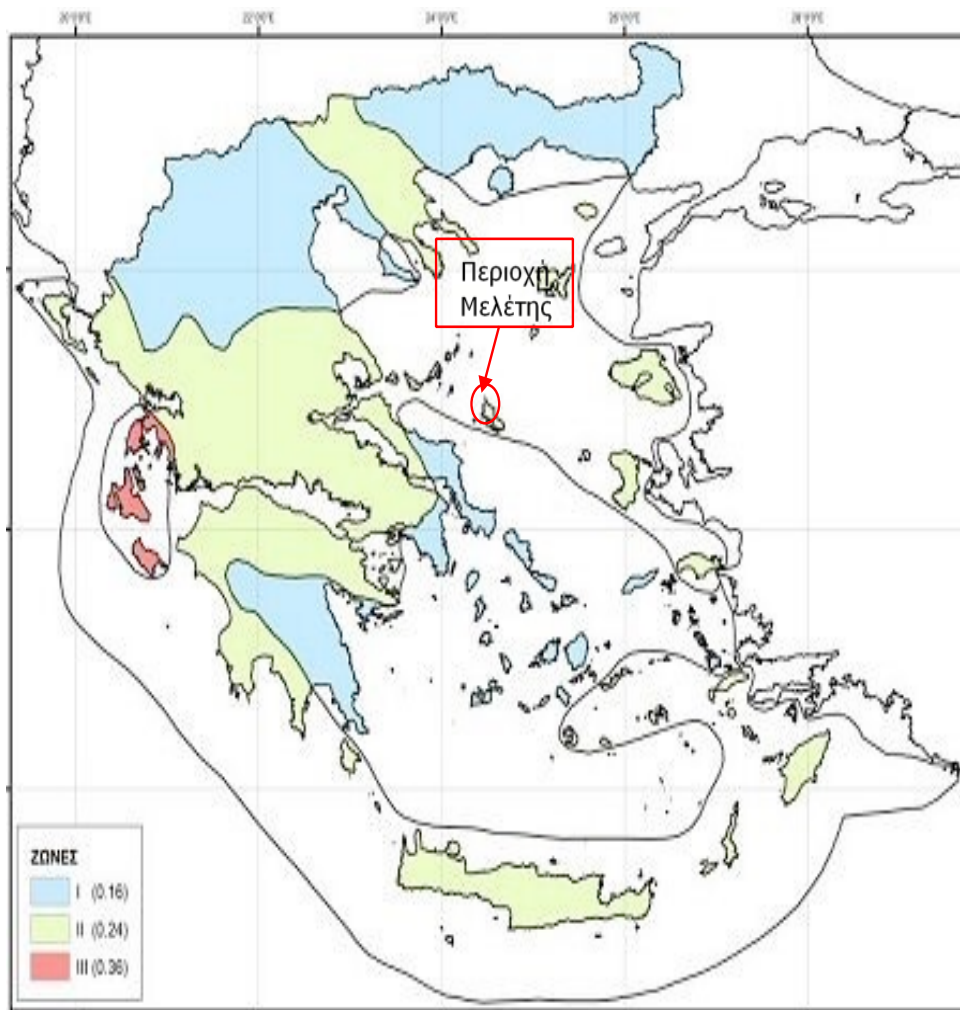
3.5 Σεισμικότητα

Σύμφωνα με την τροποποίηση του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού, της ΥΑ αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275 (ΦΕΚ 1154Β'/12.08.2003) αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II (ΕΑΚ, 2003), όπως φαίνεται και στο χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (βλ. Εικόνα).

Η περιοχή παρουσιάζει διαχρονικά έντονη σεισμική δραστηριότητα, καθώς βρίσκεται νοτιότερα της τάφρου του Β. Αιγαίου, η οποία αποτελεί συνέχεια του ρήγματος της Ανατολίας. Χαρακτηριστικό των σεισμών της περιοχής είναι το μικρό βάθος, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγάλων μακροσεισμικών εντάσεων. Αυξημένη συγκέντρωση σεισμικών εστιών εμφανίζεται στην θαλάσσια περιοχή δυτικά των ακτών της Σκύρου, μεταξύ του νησιού και της Εύβοιας, ωστόσο η ευρύτερη περιοχή του βορείου Αιγαίου, αν και χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλής σεισμικότητας, εμφανίζει χαμηλή σεισμική επικινδυνότητα.

Σημαντικός σεισμός που σημειώθηκε πρόσφατα στην περιοχή, καταγράφηκε την 21^η Ιουλίου του 2001, όπου είχε μέγεθος $M \approx 5.8$ R και εκδηλώθηκε στην θαλάσσια περιοχή βόρεια της νήσου Σκύρου, σε 130 km απόσταση βορειοανατολικά της Αθήνας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο σεισμός έγινε αισθητός σε μια ευρεία περιοχή ακτίνας περίπου 200 km γύρω

από την κεντρική περιοχή, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στον εστιακό μηχανισμό σε συνδυασμό με την πυκνή δομή του φλοιού της ευρύτερης Λεκάνης των Σποράδων.



Σχήμα 3.2 - Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (Πηγή: [ΤΕΕ](#))

3.6 Δημογραφικά Στοιχεία

Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του πληθυσμού της χώρας (ΕΛΣΤΑΤ, 2011), οι μόνιμοι κάτοικοι της Σκύρου ανέρχονται σε 2888.

Πίνακας 3.1 - Απογραφή Πληθυσμού Σκύρου (Πηγή: [ΕΛΣΤΑΤ](#), 2011)

Δήμος Σκύρου	Κάτοικοι 1991	Κάτοικοι 2001	Κάτοικοι 2011
Σκύρος (Χώρα)	1806	1748	1598
Ασπούς	47	120	103
Ατσιτσα	22	15	11
Αχερούνες	71	43	63
Αχίλλι	26	16	53
Έξω Ποδιές	0	0	0
Καλαμίτσα	29	43	40
Κυρά Παναγιά	0	0	0
Καλικρί	44	12	42
Λιναριά	146	319	112
Λουτρό	24	88	28
Μελά	103	0	0
Μέσα Ποδιά	0	0	0
Μώλος	244	134	602
Νύφι	26	23	30
Ρήνεια	0	0	0
Βαλάξα	0	0	0
Σαρακηνόν	0	0	0
Σκυροπούλα	0	0	0
Πεύκος	0	3	25
Τραχύ	313	38	181
Σύνολο	2901	2602	2888

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, το νησί έχει 21 οικισμούς, εκ των οποίων οι 6 είναι μη κατοικημένες νησίδες έως σήμερα. Πλέον, το μεγαλύτερο φορτίο του πληθυσμού είναι κατανομημένο στην πρωτεύουσα του νησιού (Χώρα) και στην παραλιακή περιοχή Μώλος.

3.7 Χρήσεις Γης

Για τις χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή, χρησιμοποιούνται δεδομένα από το πρόγραμμα CORINE 2000, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2, μαζί με τα αντίστοιχα ποσοστά κάλυψης τους.

Πίνακας 3.2 - Χρήσεις Γης στη Σκύρο (Πηγή: Σικαλιά-Τράκου, 2015)

Χρήσεις Γης	Ποσοστό Κάλυψης
Σκληροφυλλική βλάστηση	35.88 %
Αραιή βλάστηση	5.41 %
Φυσικοί βοσκότοποι	19.56 %
Γεωργία	4.56 %
Λιβάδια	0.63 %
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	1.46 %
Ζώνη Λιμένων	0.13 %
Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.28 %
Καλλιέργειες	4.71 %
Δάσος κωνοφόρων	18.17 %
Βιομηχανικές ζώνες	1.36 %
Αεροδρόμιο	0.58 %
Θαμνώδεις Εκτάσεις	7.25 %

3.8 Καθεστώς Προστασίας Περιοχής

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

3.8.1 ΦΙΛΟΤΗΣ

Σύμφωνα με την Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση ΦΙΛΟΤΗΣ (<https://filotis.itia.ntua.gr/>) η Σκύρος περιλαμβάνει Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ), βιότοπους CORINE, καθώς και βιότοπους NATURA.



Σχήμα 3.3 - ΤΙΦΚ, CORINE και NATURA Σκύρου (Πηγή: (<https://filotis.itia.ntua.gr/>))

Το Ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης, που εκτείνεται σε ολόκληρη την κοινότητα και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών:

- Τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»
- Τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΤΚΣ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι οικοτόπων και τα είδη των Παραρτημάτων I και II της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος III αυτής.

Η Ελλάδα έχει χαρακτηρίσει σήμερα 202 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) και 241 Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ). Οι δύο κατάλογοι περιοχών παρουσιάζουν μεταξύ τους επικαλύψεις όσον αφορά τις εκτάσεις τους.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3, το όρος Κόχυλας αποτελεί βιότοπο NATURA2000 και ένα τμήμα του βιότοπο CORINE. Στην ημιορεινή αυτή περιοχή, οι Σκυριανοί βόσκουν περίπου 40000 ζώα, δημιουργώντας έτσι κίνδυνο υπερβόσκησης για τις δασικές εκτάσεις. Ο Κόχυλας περιλαμβάνει κυρίως ευρωπαϊκούς θάμνους και πουρνάρια πολύ μικρού ύψους, λόγω της έντονης βόσκησης. Η περιοχή του Κόχυλα είναι επίσης υψηλής εκτίμησης, λόγω της παρουσίας της *Podarcis*, ενός αυστηρά τοπικού ενδημικού είδους σαύρας.

3.8.2 Το Σκυριανό Αλογάκι

Σπάνια και απειλούμενα είδη στο νησί είναι τα Σκυριανά αλογάκια, μια γενιά μικρών και λεπτοφυών αλόγων που φτάνουν περίπου το 1 m ύψους και ζουν σε ημιάγρια κατάσταση στην ημιορεινή Σκύρο (Βουνό). Σύμφωνα με μια θεωρία είναι οι τελευταίοι απόγονοι του τριδαχτύλου ιππαρσίου του Πικερμίου που εξελίχθηκαν σε μονοδάχτυλους. Σήμερα διαβιούν περίπου 100 με 130 σκυριανά αλογάκια, χωρίς συστηματική παρακολούθηση.

3.9 Ύδρευση και Άρδευση

Οι υδρευτικές ανάγκες του νησιού, μέχρι και σήμερα, καλύπτονται από γεωτρήσεις. Το μεγαλύτερο μέρος της υδρευτικής ζήτησης καλύπτεται από την πηγή «Αναβάλλουσα». Το νερό της πηγής ρέει με φυσική ροή στην τοποθεσία «Παλιαμπελάς», όπου βρίσκεται η «Μονάδα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού». Από εκεί μεταφέρεται με αντλία σε δεξαμενή στη θέση «Καραλή», η οποία βρίσκεται σε υψόμετρο 80 m. Η δεξαμενή αυτή καλύπτει, με φυσική ροή, το μεγαλύτερο μέρος της υδρευτικής ζήτησης του νησιού (Χώρα, Καλαμίτσα, Καλικρί, Αχερούνες, Λιναριά). Υπάρχει μια επιπλέον δεξαμενή κοντά στη Μονή Αγ. Γεωργίου, που

τροφοδοτεί την περιοχή Γυρίσματα-Μώλος, επίσης, υπάρχουν γεωτρήσεις που λειτουργούν σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, π.χ. βλάβη ή ανεπάρκεια κάλυψης της ζήτησης.

Το νερό είναι υφάλμυρο, εξαιτίας της διείσδυσης θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Για τον λόγο αυτό, έχει προβλεφθεί η εγκατάσταση 2 φορητών μονάδων αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού εντός προκατασκευασμένων containers, με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, με δυναμικότητα 2000 m³/d από το πρόγραμμα ΕΣΠΑ (Υπ. Ανάπτυξης και Τουρισμού, 2016).

Η άρδευση ικανοποιείται από το αρδευτικό φράγμα του Φερεκάμπου, το οποίο κατασκευάστηκε πρόσφατα (98 % αποπεράτωση έργου). Μέχρι πρότινος ωστόσο, οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονταν κι αυτές από τις προαναφερθέντες πηγές του νησιού.

3.10 Ενέργεια

Μέχρι και σήμερα, οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού καλύπτονται, εξ ολοκλήρου, από τον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής (ΤΣΠ) της ΔΕΗ. Ο ΤΣΠ Σκύρου είναι εγκατεστημένος στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού, σε απόσταση 1 km από το λιμάνι (Λιναριά), στην περιοχή Αχερούνες, επί της επαρχιακής οδού που συνδέει το συνδέει με τη Σκύρο. Η περιοχή όπου βρίσκεται εγκατεστημένος ο σταθμός είναι πεδινή, περικλείεται από ορεινούς όγκους στις τρεις πλευρές, εκτός της πλευράς που εφάπτεται του δημόσιου δρόμου και βλέπει προς τη θάλασσα. Στον ευρύτερο χώρο, γύρω από τον ΤΣΠ, δεν υπάρχουν αναπτυγμένοι οικισμοί, εκτός από μιας οικίας σε απόσταση 100 m και μιας ξενοδοχειακής μονάδας σε απόσταση 300 m. Η συνολική έκταση του οικοπέδου του ΤΣΠ είναι 10210 m². (ΔΕΗ, 2005)

Ο σταθμός είναι ντιζελοηλεκτρικός, δηλαδή το καύσιμο που χρησιμοποιεί είναι πετρέλαιο (ελαφρύ καύσιμο). Το πετρέλαιο μεταφέρεται στο νησί με δεξαμενόπλοιο περίπου κάθε 120 ημέρες, δηλαδή γίνονται τρεις εκφορτώσεις τον χρόνο. Η εκφόρτωση γίνεται μέσω υποθαλάσσιου αγωγού μήκους 350 m και το καύσιμο αποθηκεύεται σε δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 2130 m³. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού είναι πλέον 7.2 MW. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει σημαντική διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους. Στις περιόδους αιχμής, δηλαδή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η ζήτηση αυξάνεται σημαντικά εξαιτίας του τουρισμού. Αντίθετα, κατά του χειμερινούς μήνες δεν απαιτείται η λειτουργία όλων των Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών (H/Z) του σταθμού σε πλήρη ισχύ. Ανάλογα με την ζήτηση, λειτουργεί το σύνολο ή όχι των H/Z, με ισχύ ανάλογη του ζητούμενου φορτίου.

4 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

4.1 Επεξεργασία Δεδομένων

Οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις φυσικών και υδρολογικών μεταβλητών, κατά κανόνα, συνάγονται μετά από επεξεργασία της διαθέσιμης ιστορικής πληροφορίας με πιθανοθεωρητικές και στατιστικές μεθόδους. Η ιστορική πληροφορία, ή αλλιώς ιστορική χρονοσειρά, είναι ένα σύνολο μετρήσεων μιας φυσικής διεργασίας, που αναφέρεται σε συγκεκριμένη περιοχή ή θέση. Είναι, λοιπόν, αυτονόητο ότι η λήψη των κατάλληλων μετρήσεων και η κατάρτιση ενός επαρκούς υδρολογικού δείγματος προηγείται και αποτελεί τη βάση της στατιστικής επεξεργασίας και της εξαγωγής συμπερασμάτων. Επιπρόσθετα, ισχύει ότι όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος του δείγματος και όσο μεγαλύτερη η αξιοπιστία των μετρήσεων, τόσο πιο αξιόπιστες είναι και οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις (Κουτσογιάννης, 1997).

Η μελέτη του υβριδικού συστήματος (ΥΣ) γίνεται για περίοδο 25 ετών. Τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα είναι μικρότερης ή ίσης διάρκειας. Επιπρόσθετα, κατά τη διαστασιολόγηση του συστήματος, είναι απαραίτητο να εξεταστεί και να συμπεριληφθεί η στοχαστικότητα των φυσικών διεργασιών (βροχόπτωση, θερμοκρασία, άνεμος). Τα μεγέθη αυτά αποτελούν τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης και για τους παραπάνω λόγους είναι αναγκαίο να γίνει παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών συνολικού μήκους 25 ετών με ωριαίο βήμα.

4.1.1 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Βροχόπτωσης

Από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ([EMY](#)), λαμβάνεται η ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης συνολικού μήκους 25 χρόνων (1995-2019). Οι μετρήσεις προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό της Σκύρου, σε υψόμετρο 21 m και έχουν ημερήσιο βήμα. Έτσι, η ανάλυση της ιστορικής χρονοσειράς ξεκινάει με την μετατροπή της σε μηνιαία χρονοσειρά βροχόπτωσης και την μονιμοποίηση της, όπου υπολογίζονται όλα τα στατιστικά μεγέθη και οι απαραίτητοι συντελεστές για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς. Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις κάθε μήνα της ιστορικής χρονοσειράς. Η μέση τιμή κάθε μήνα προκύπτει ως η μέση τιμή του αθροίσματος των ημερήσιων βροχοπτώσεων κάθε μήνα.

Πίνακας 4.1 - Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση Βροχόπτωσης ανά Μήνα

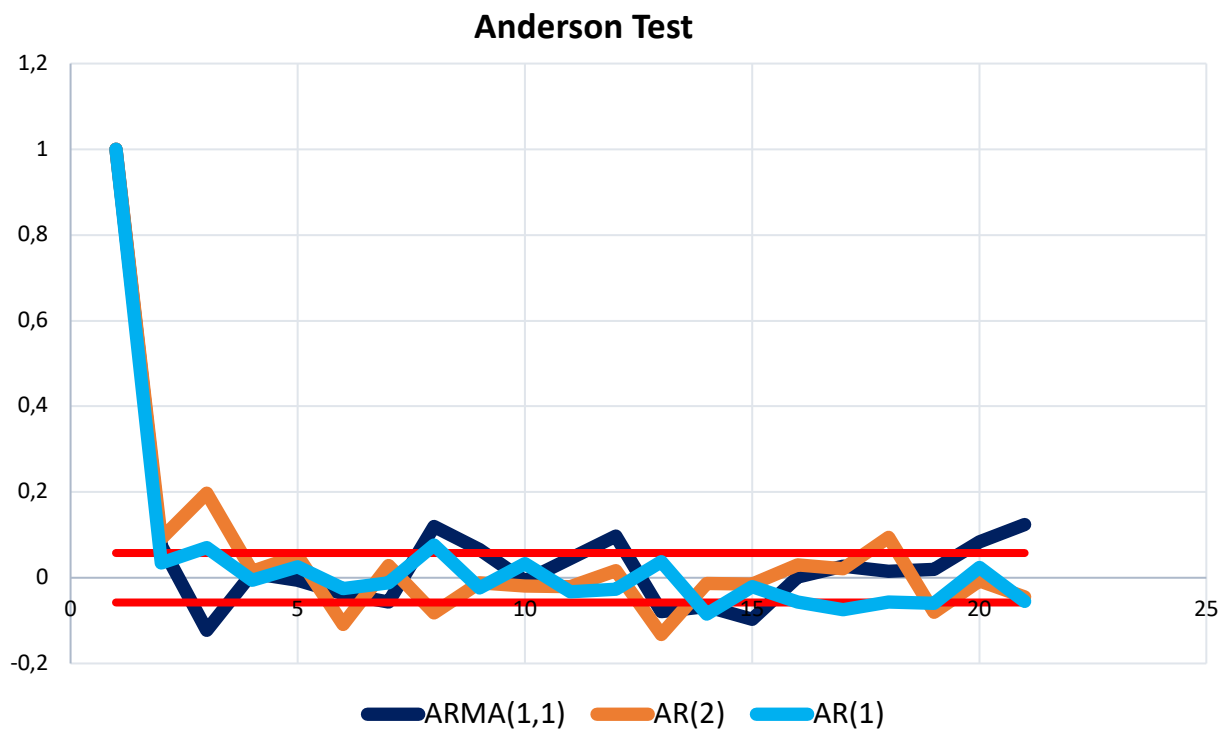
Μήνας	Μέση Τιμή (mm)	Τυπική Απόκλιση (mm)
Ιανουάριος	63.59	39.08
Φεβρουάριος	52.86	41.26
Μάρτιος	42.02	35.35
Απρίλιος	22.30	23.59
Μάϊος	11.91	14.38
Ιούνιος	11.43	21.33
Ιούλιος	4.12	7.79
Αύγουστος	5.25	11.06
Σεπτέμβριος	23.31	28.59
Οκτώβριος	31.37	33.92
Νοέμβριος	46.31	40.56
Δεκέμβριος	78.05	64.32

Με βάση τον Πίνακα 4.1, λαμβάνει χώρα η παραγωγή της τελικής συνθετικής χρονοσειράς. Για την βροχόπτωση, εξετάζονται 3 πιθανά μοντέλα παραγωγής χρονοσειρών. Συγκεκριμένα, γίνεται παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με το AR(1) γνωστό ως μοντέλο αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης, το μοντέλο αυτοσυσχέτισης δεύτερης τάξης AR(2) και το ARMA(1,1) «Μοντέλο Αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης και κυλιόμενου μέσου». Στην συνέχεια, ακολουθεί ο έλεγχος Anderson (Anderson Test) για την επιλογή της βέλτιστης συνθετικής χρονοσειράς. (Mimikou et al., 2016). Στο Σχήμα 4.1, φαίνονται τα αποτελέσματα του ελέγχου. Η βέλτιστη χρονοσειρά είναι εκείνη της οποίας το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται μέσα στο διάστημα $\{-(1/N)^{0,5}, (1/N)^{0,5}\}$, δηλαδή τις δύο κόκκινες γραμμές στο Διάγραμμα 4.1.

Τα μοντέλα AR(1) και ARMA(1,1) δείχνουν να είναι πιο κοντά στο ζητούμενο. Η πρώτη μέθοδος αναπαριστά μια τυχαία διαδικασία, που στηρίζει ότι η βροχόπτωση ορίζεται γραμμικά από την αμέσως προηγούμενη τιμή της, αφού το μοντέλο είναι πρώτης τάξης, και από έναν στοχαστικό όρο, το λευκό θόρυβο, ο οποίος μετράει τα σφάλματα. Ως λευκός θόρυβος ορίζεται, σε διακριτό χρόνο, ένα διακριτό σήμα του οποίου τα δείγματα θεωρούνται ως ακολουθία ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών, με μηδενική μέση τιμή και πεπερασμένη διακύμανση, ή αλλιώς μια στιγμιαία και διακριτή διακύμανση στο δείγμα. Η δεύτερη μέθοδος είναι ένας συνδυασμός από τη μέθοδο AR και από διαδικασία κινητού μέσου MA. Να σημειωθεί ότι τα υποδείγματα κινητού μέσου MA είναι χρήσιμα για την περιγραφή φαινομένων, όπου τα γεγονότα παράγουν ένα άμεσο αποτέλεσμα, η επίδραση του οποίου δεν σταματά εκεί αλλά συνεχίζει. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων, γνωστός ως

ARMA, έχει αποδειχτεί ως ένα μοντέλο κατάλληλο για την ανάλυση ιστορικών χρονοσειρών, αλλά και την παραγωγή μελλοντικών συνθετικών χρονοσειρών.

Με βάση τον έλεγχο Anderson επιλέγεται το μοντέλο AR(1) για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της βροχόπτωσης.



Σχήμα 4.1 - Έλεγχος Anderson για τη Χρονοσειρά Βροχόπτωσης

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η μέση ημερήσια διακύμανση για κάθε μήνα από την ιστορική χρονοσειρά. Στον Πίνακα 4.2, παρουσιάζονται τα ποσοστά των μέσων ημερήσιων βροχοπτώσεων, βάσει των οποίων η συνθετική μηνιαία χρονοσειρά μετατρέπεται σε ημερήσια. Όπως προαναφέρεται, η βροχόπτωση αποτελεί αθροιστικό μέγεθος, συνεπώς το άθροισμα του κάθε μήνα αποτελεί την μέση τιμή του. Τέλος, η ημερήσια συνθετική χρονοσειρά του μοντέλου αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης AR(1) διαιρείται με τον αριθμό των ωρών της ημέρας (24 h) και έτσι προκύπτει η ωριαία χρονοσειρά της βροχόπτωσης.

Πίνακας 4.2 – Ποσοστό Μέσης Ημερήσιας Βροχόπτωσης ανά Μήνα

Μέση Ημερήσια Βροχόπτωση ανά Μήνα (mm)												
A/A	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1	0,01	0,03	0,01	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02
2	0,02	0,06	0,02	0,04	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,09
3	0,07	0,05	0,02	0,02	0,01	0,00	0,04	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03
4	0,03	0,04	0,01	0,03	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,01
5	0,05	0,04	0,06	0,11	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
6	0,04	0,06	0,02	0,08	0,09	0,06	0,00	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01
7	0,05	0,08	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,02	0,04	0,06	0,05
8	0,02	0,04	0,07	0,03	0,03	0,05	0,01	0,00	0,03	0,04	0,05	0,04
9	0,01	0,00	0,03	0,07	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,06	0,04	0,03
10	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	0,07	0,04	0,11	0,01	0,04
11	0,01	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,02	0,02	0,01
12	0,04	0,03	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,02	0,04
13	0,08	0,05	0,01	0,05	0,00	0,18	0,00	0,44	0,02	0,00	0,03	0,04
14	0,03	0,06	0,05	0,04	0,01	0,01	0,21	0,00	0,04	0,10	0,02	0,04
15	0,03	0,08	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,04	0,07	0,02	0,00	0,03
16	0,06	0,05	0,01	0,10	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04
17	0,02	0,02	0,05	0,03	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,05	0,02
18	0,00	0,04	0,05	0,05	0,04	0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
19	0,02	0,04	0,03	0,04	0,09	0,07	0,00	0,00	0,05	0,02	0,03	0,05
20	0,06	0,02	0,01	0,01	0,15	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,06	0,03
21	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,02	0,03
22	0,06	0,03	0,07	0,01	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05
23	0,04	0,07	0,08	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,03
24	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,07	0,02	0,03	0,03
25	0,06	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,07	0,03	0,03
26	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,23	0,04	0,04	0,01	0,06	0,01	0,00
27	0,01	0,01	0,04	0,03	0,00	0,08	0,11	0,00	0,01	0,04	0,02	0,02
28	0,04	0,01	0,03	0,00	0,06	0,00	0,27	0,03	0,00	0,02	0,04	0,05
29	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,15	0,05
30	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,18	0,04	0,04	0,01
31	0,03	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,15	0,18	0,00	0,05	0,00	0,02

4.1.2 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Θερμοκρασίας

Για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της θερμοκρασίας, ακολουθείται η ίδια περίπου διαδικασία. Εφόσον η θερμοκρασία δεν αποτελεί αθροιστικό μέγεθος όπως η βροχόπτωση, η μέση ημερήσια θερμοκρασία αναφέρεται στη μέση τιμή της ημέρας. Με βάση αυτήν την διαφοροποίηση, υπολογίζεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία (μετατροπή της χρονοσειράς σε μηνιαία). Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τη βροχόπτωση, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν όμως το μοντέλο AR(1), διότι η θερμοκρασία δείχνει να παρουσιάζει εξάρτηση και από τα δύο προηγούμενα χρονικά βήματα. Επαναλαμβάνεται ο έλεγχος Anderson, από όπου επιλέγεται το μοντέλο ARMA(1,1). Στον Πίνακα 4.3, παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας κάθε μήνα για την ιστορική χρονοσειρά και στον πίνακα 4.4 οι μέσες ημερήσιες τιμές σε ποσοστό, βάσει των οποίων μετατρέπεται η χρονοσειρά σε ημερήσια και ακολούθως σε ωριαία.

Πίνακας 4.3 - Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση Θερμοκρασίας ανά Μήνα

Μήνας	Μέση Τιμή (C°)	Τυπική Απόκλιση (C°)
Ιανουάριος	9.83	1.35
Φεβρουάριος	10.10	1.39
Μάρτιος	11.68	1.64
Απρίλιος	14.89	1.42
Μάιος	19.70	0.87
Ιούνιος	24.03	0.78
Ιούλιος	26.30	0.76
Αύγουστος	26.04	0.78
Σεπτέμβριος	22.56	0.89
Οκτώβριος	18.29	1.23
Νοέμβριος	14.55	1.38
Δεκέμβριος	11.35	1.29

Πίνακας 4.4 - Ποσοστό Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας ανά Μήνα

Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία ανά Μήνα												
A/A	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1	1,09	1,07	0,93	0,87	0,91	0,96	0,97	1,01	1,12	1,12	1,11	1,26
2	1,08	1,04	1,02	0,88	0,90	0,95	0,97	1,01	1,10	1,11	1,14	1,22
3	1,05	0,95	1,06	0,91	0,92	0,94	0,97	1,02	1,11	1,12	1,10	1,15
4	1,01	1,05	1,04	0,96	0,93	0,96	1,00	1,03	1,09	1,09	1,10	1,20
5	0,99	1,12	1,05	0,96	0,95	0,96	1,01	1,02	1,12	1,09	1,12	1,14
6	1,01	1,11	0,96	0,99	0,91	0,95	1,01	1,01	1,10	1,09	1,10	1,15
7	0,96	1,08	0,92	0,96	0,91	0,98	0,98	1,02	1,03	1,09	1,11	1,05
8	0,95	1,11	0,86	0,98	0,92	0,98	1,00	1,02	1,03	1,07	1,12	0,94
9	0,97	1,10	0,91	1,01	0,94	0,99	1,01	1,01	1,08	1,02	1,12	0,93
10	1,05	1,11	0,93	1,03	0,93	1,00	0,98	1,01	1,07	1,04	1,09	0,91
11	1,02	1,13	0,93	1,06	0,96	1,01	1,01	1,00	1,06	1,06	1,03	0,99
12	1,00	1,07	0,92	1,08	0,98	1,04	1,01	1,01	1,04	1,08	1,05	0,97
13	0,98	1,06	0,95	1,03	1,00	1,03	1,00	0,99	1,07	1,07	1,04	0,96
14	1,03	1,04	0,95	1,02	0,98	1,03	0,98	1,01	1,05	0,99	1,05	0,95
15	1,00	1,00	0,96	1,03	1,00	1,04	1,00	1,01	1,04	1,00	1,07	0,99
16	0,95	1,01	0,97	1,04	1,03	1,05	1,01	1,02	1,03	1,02	1,01	0,97
17	0,92	1,06	0,95	1,04	1,01	1,06	1,01	1,01	1,03	1,00	1,03	0,93
18	1,03	1,02	0,96	1,02	1,00	1,06	1,00	0,99	1,04	0,96	0,99	0,91
19	1,02	1,04	0,99	1,05	1,01	1,05	1,01	0,99	1,03	0,98	1,00	0,91
20	1,04	1,11	1,02	1,10	1,05	1,05	1,00	1,00	1,00	0,95	0,96	0,89
21	1,14	1,12	1,01	1,08	1,05	1,06	0,99	1,01	0,99	0,95	0,94	0,91
22	1,03	1,16	0,97	1,09	1,08	1,09	0,99	1,00	1,00	1,00	0,97	0,89
23	0,98	1,21	0,97	1,08	1,07	1,11	1,00	0,99	0,98	0,98	0,99	0,91
24	0,98	1,20	0,97	1,07	1,05	1,09	1,01	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96
25	0,97	1,14	1,02	1,06	1,04	1,10	1,02	0,99	1,00	0,90	0,91	0,94
26	0,94	1,20	1,13	1,07	1,07	1,12	1,02	1,00	1,00	0,90	0,95	1,02
27	0,98	1,26	1,13	1,10	1,06	1,10	1,02	0,98	0,99	0,93	0,98	1,03
28	0,95	1,15	1,16	1,12	1,08	1,07	1,01	0,97	0,97	0,88	0,99	1,03
29	0,94	0,26	1,14	1,13	1,08	1,08	1,01	0,98	0,94	0,85	1,00	0,97
30	0,97	0,00	1,12	1,20	1,08	1,08	1,01	0,96	0,92	0,85	0,97	0,97
31	0,96	0,00	1,10	0,00	1,13	0,00	1,00	0,96	0,00	0,84	0,00	0,97

4.1.3 Παραγωγή Συνθετικής Χρονοσειράς Ανέμου

Ένας πολύ σημαντικός και ταυτόχρονα σύνθετος παράγοντας του ΥΣ είναι σίγουρα το αιολικό δυναμικό της Σκύρου. Η δυναμικότητα του αιολικού πάρκου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα ανεμολογικά δεδομένα και συγκεκριμένα από τις τιμές του ανέμου σε κάθε βήμα, την συχνότητα εμφάνισης τους και το μέγεθος τους. Είναι λοιπόν μείζονος σημασίας η συλλογή και ορθή επεξεργασία των ιστορικών δεδομένων του ανέμου.

Για τον άνεμο, χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα τρίωρου χρονικού βήματος, μήκους 25 ετών (1995-2019). Αυτά λαμβάνονται και πάλι από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) και αφορούν την ταχύτητα του ανέμου σε m/s από τον μετεωρολογικό σταθμό στη Σκύρο σε ύψος 21 m. Στα δεδομένα αυτά χρειάζεται να συμπληρωθούν ορισμένα κενά τρίωρα που λείπουν. Η διαδικασία κάλυψης των ελλείψεων πραγματοποιείται με τρόπο ώστε να διατηρείται η εποχικότητα και η ημερήσια διακύμανση του ανέμου σε κάθε μήνα ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται με βάση τις αξιόπιστες μετρήσεις, δηλαδή τις ημέρες με όλες τις τιμές, η μέση τιμή της κάθε ημέρας για κάθε μήνα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η διακύμανση του γεμάτου από τιμές ημερολογιακού έτους. Έτσι, συμπληρώνονται όλα τα κενά με βάση την διακύμανση του έτους που είναι γεμάτο με τιμές.

Σε αντίθεση με την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την βροχόπτωση και την θερμοκρασία, για τον άνεμο η παραγωγή των στοχαστικών χρονοσειρών βασίζεται στη μεθοδολογία των Negra et al. (2007). Δεδομένο εισόδου για την συγκεκριμένη μέθοδο αποτελεί η ιστορική χρονοσειρά, ενώ τελικά παράγεται συνθετική χρονοσειρά μήκους ενός έτους σε τρίωρο βήμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 25 φορές, ώστε να ταυτίζεται η χρονοσειρά με την διάρκεια ζωής της μελέτης. Τελικά μετατρέπεται η τρίωρη συνθετική χρονοσειρά σε συνθετική ωριαίου βήματος, ώστε να υπάρχει κοινό χρονικό βήμα σε όλα τα δεδομένα εισόδου (θερμοκρασία, βροχόπτωση, άνεμος).

Τα βήματα της μεθοδολογίας είναι τα παρακάτω:

- Δημιουργία πίνακα κλάσεων ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.
- Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης της κλάσης, State Probability $p_{ws,i}$ από τη σχέση:

$$p_{ws,i} = \frac{\sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,i,j}}{\sum_{k=1}^{M_{ws}} \sum_{j=1}^{M_{ws}} D_{ws,k,j}} \quad (4.1)$$

Όπου $p_{ws,i}$ η πιθανότητα εμφάνισης και $D_{ws,i,j}$ ο χρόνος παραμονής στην εκάστοτε κλάση πριν μεταβεί στην επόμενη.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης, Frequency, δηλαδή πόσο συχνά ο άνεμος μετακινείται στην εξεταζόμενη κλάση από μια προηγούμενη ή επόμενη κλάση, με τη σχέση:

$$f_{ws,i} = N_{ws,i,i} + N_{ws,i,i-1} \quad (4.2)$$

- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η συχνότητα που ο άνεμος μετακινείται από προηγούμενη κλάση στην εξεταζόμενη κλάση, U_p , και αντίστοιχα η συχνότητα που μετακινείται από επόμενη κλάση στην εξεταζόμενη, $Down$.
- Για κάθε κλάση, υπολογίζεται η μέση διάρκεια παραμονής στη συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση:

$$d_{ws,i} = p_{ws,i} / f_{ws,i} \quad (4.3)$$

- Υπολογίζονται οι συντελεστές $\lambda_{ws,i+}$ και $\lambda_{ws,i-}$ οι οποίοι σχετίζονται με την πιθανότητα να έχουμε μετακίνηση στην αμέσως προηγούμενη ή στην αμέσως επόμενη αντίστοιχα, από μια συγκεκριμένη κλάση, με τη σχέση:

$$\lambda_{ws,i\pm 1} = N_{ws,i\pm 1} / p_{ws,i} \quad (4.4)$$

Μετά τον προσδιορισμό των παραμέτρων και την ταξινόμηση τους σε πίνακες, ακολουθεί η παρακάτω μεθοδολογία για την παραγωγή της χρονοσειράς ανέμου στο αντίστοιχο χρονικό βήμα της ιστορικής χρονοσειράς:

- Το διάνυσμα της ταχύτητας αποκτά μια αρχική ταχύτητα. Αυτή επιλέγεται για το πρώτο χρονικό βήμα ως η μέση ετήσια ταχύτητα.
- Για κάθε χρονικό βήμα δημιουργούνται δύο τυχαίοι αριθμοί, U_1^i και U_2^i , που παίρνουν τιμές από 0 έως 1, και αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα το διάνυσμα της ταχύτητας να μετατοπιστεί στην αμέσως επόμενη ή προηγούμενη κλάση.
- Υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης στην αμέσως επόμενη και στην αμέσως προηγούμενη κλάση, με τις σχέσεις:

$$TTU^i = \frac{h}{\lambda_{up}} \ln(U_1^i) \quad (4.5)$$

$$TTD^i = \frac{h}{\lambda_{down}} \ln(U_2^i) \quad (4.6)$$

Όπου h η περίοδος προσομοίωσης σε τρίωρα, δηλαδή ίδια με την ιστορική χρονοσειρά. Η μικρότερη τιμή μεταξύ των σχέσεων καθορίζει σε ποια κατάσταση θα βρεθεί το νέο διάνυσμα της ταχύτητας.

- Σε περίπτωση που $TTU^i = 0$, τότε θεωρείται ότι ο άνεμος δεν μπορεί να μετατοπιστεί σε μεγαλύτερη κλάση και, επομένως, μετατοπίζεται στην αμέσως χαμηλότερη σε χρονικό διάστημα TTD^i . Αντίθετα, στην περίπτωση που $TTD^i = 0$ θεωρείται ότι ο άνεμος δεν μπορεί να μετατοπιστεί σε μικρότερη κλάση και μετατοπίζεται, τελικά, στην αμέσως μεγαλύτερη σε χρονικό διάστημα TTU^i .
- Όταν η τιμή της ταχύτητας είναι μηδέν, τότε αναγκαστικά μετατοπίζεται σε μεγαλύτερη κλάση ενώ, αντίστοιχα, ο άνεμος δε μπορεί να λάβει τιμές μεγαλύτερες από εκείνες που δεν έχουν παρατηρηθεί στην ιστορική χρονοσειρά.

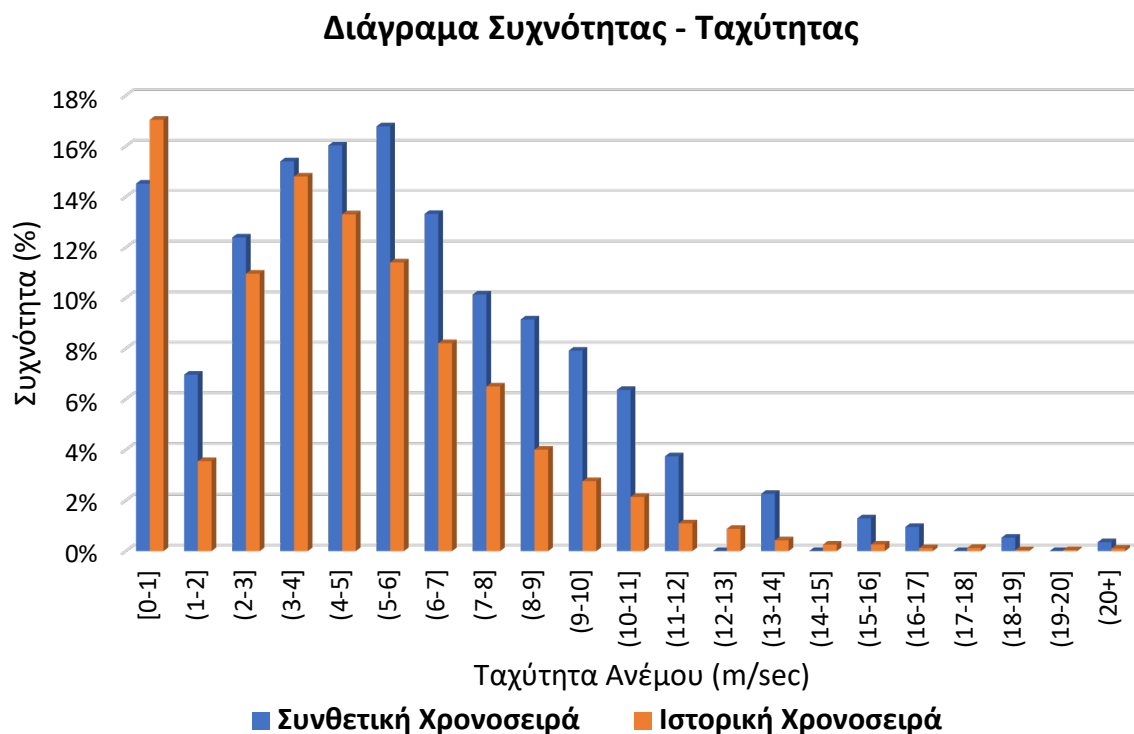
- Σε περίπτωση που $TTU^i < TTD^i$, το διάνυσμα της ταχύτητας μεγαλώνει μια μονάδα ενώ στην αντίθετη περίπτωση το διάνυσμα μειώνεται κατά μία μονάδα. Μετά από κάθε βήμα, το χρονικό διάστημα αυξάνεται κατά $t^i = t^{i-1} + TTU^i$ για την πρώτη περίπτωση και $t^i = t^{i-1} + TTD^i$ για τη δεύτερη.
- Τα βήματα 2 έως και 4 επαναλαμβάνονται μέχρις ότου το t να ισούται ή να ξεπερνάει το h .

Πίνακας 4.5 - Συχνότητα κάθε κλάσης ανά Μήνα

Κλάσεις	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
[0-1]	0,18	0,15	0,17	0,20	0,24	0,24	0,21	0,18	0,19	0,18	0,20	0,15
(1-2]	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
(2-3]	0,08	0,08	0,08	0,12	0,16	0,20	0,14	0,09	0,11	0,10	0,09	0,07
(3-4]	0,09	0,09	0,11	0,18	0,20	0,19	0,20	0,19	0,18	0,12	0,12	0,08
(4-5]	0,11	0,11	0,14	0,15	0,12	0,13	0,13	0,16	0,15	0,16	0,14	0,10
(5-6]	0,13	0,14	0,13	0,11	0,09	0,09	0,10	0,13	0,11	0,11	0,10	0,13
(6-7]	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	0,05	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,11
(7-8]	0,09	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09
(8-9]	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
(9-10]	0,04	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05
(10-11]	0,03	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04
(11-12]	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02
(12-13]	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
(13-14]	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
(14-15]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
(15-16]	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
(16-17]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17-18]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
(18-19]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19-20]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20+]	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Η σημασία της χρήσης των κατάλληλων ανεμολογικών δεδομένων, ως δεδομένα εισόδου στο σύστημα, είναι τέτοια που απαιτείται ο έλεγχος αξιοπιστίας του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της παραπάνω χρονοσειράς. Ο έλεγχος γίνεται μόνο για τα δεδομένα του ανέμου, καθώς αποτελεί το πιο ευαίσθητο δεδομένο εισόδου της

προσομοίωσης και είναι κρίσιμο να διατηρηθεί η ωριαία διακύμανση και η εποχικότητα του. Έτσι λοιπόν, συγκρίνεται η παραχθείσα συνθετική με την ιστορική χρονοσειρά. Στο Σχήμα 4.2, φαίνεται το αποτέλεσμα της σύγκρισης. Είναι εμφανές ότι διατηρούνται τα δύο απαιτούμενα χαρακτηριστικά και η αξιοπιστία του συστήματος παραμένει αρκετά υψηλή.

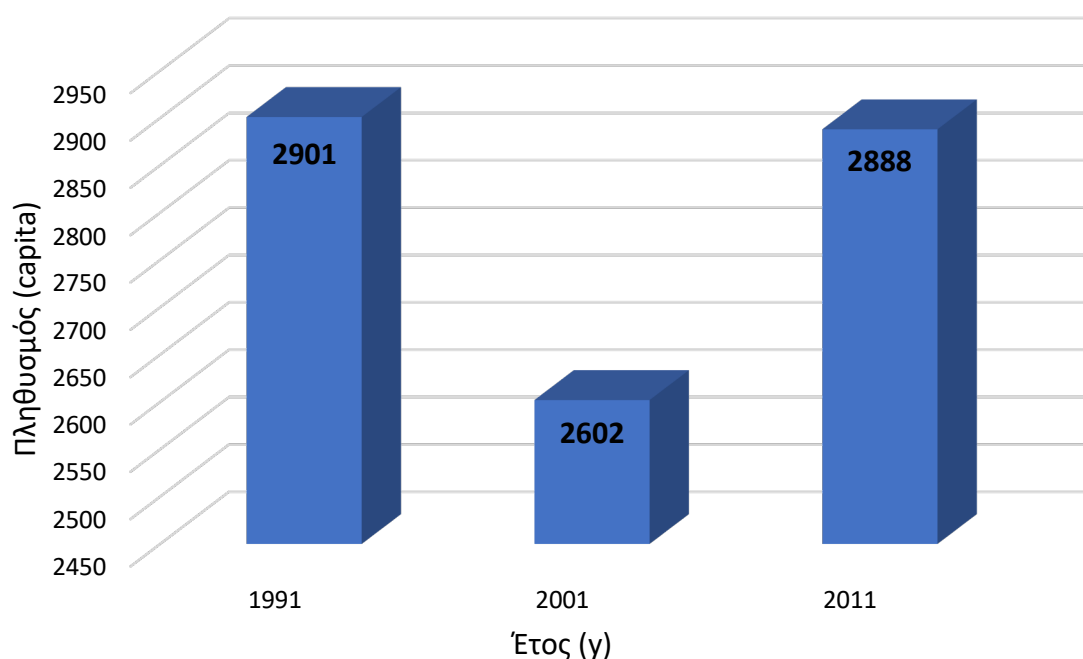


Σχήμα 4.2 - Σύγκριση Ιστορικής και Συνθετικής Χρονοσειράς

4.2 Εκτίμηση Υδρευτικών, Αρδευτικών και Ενεργειακών Αναγκών

Η αξιοπιστία του συστήματος εξαρτάται, εκτός από τα φυσικά φαινόμενα εισόδου, και από την ορθή και ακριβή εκτίμηση των αναγκών – ζητήσεων του νησιού. Οι ανάγκες της Σκύρου αφορούν την ενέργεια και την υδροδότηση. Σε αντίθεση με την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, στην περίπτωση των αναγκών δεν παράγεται κάποιο στοχαστικό αποτέλεσμα, αλλά γίνεται σύνδεση των αναγκών με τον εν δυνάμει πληθυσμιακό όγκο του νησιού. Η μελέτη αφορά διάρκεια ζωής του έργου 25 χρόνων. Για το λόγο αυτό, είναι κρίσιμο να εκτιμηθούν οι ανάγκες της Σκύρου για τα επόμενα 25 χρόνια και να μην βασιστεί το μοντέλο μόνο στην υφιστάμενη κατάσταση. Συνεπώς, γίνεται αναγωγή του πληθυσμού της Σκύρου στον προσδοκώμενο πληθυσμό για τα επόμενα 25 έτη. Με την αναγωγή αυτή, εκτιμώνται οι υδρευτικές και ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Όπως και στα μετεωρολογικά δεδομένα, έτσι και εδώ, χρησιμοποιείται ωριαίο βήμα στο μοντέλο. Στο Σχήμα 4.3, διαφαίνεται η εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού, σύμφωνα με τις απογραφές της ΕΛΣΤΑΤ για τα έτη 1991, 2001, 2011. Για το έτος 2011, η Σκύρος είχε 2888 μόνιμους κατοίκους.

Εξέλιξη Μόνιμου Πληθυσμού (capita/y)



Σχήμα 4.3 - Εξέλιξη Μόνιμου Πληθυσμού Σκύρου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Εκτός από το μόνιμο πληθυσμό, λαμβάνεται υπόψιν το μέγεθος των τουριστικών εισροών και των παραθεριστών για κάθε χρόνο στο νησί. Ο μεγαλύτερος τουριστικός όγκος εισέρχεται στη Σκύρο μέσω του πλοίου «Αχιλλέας» της πλοιοκτήτριας «Σκύρος Ναυτική Εταιρεία», σύσταση λαϊκής βάσης η οποία εκτελεί τα δρομολόγια από και προς το λιμάνι της Κύμης. Πέραν της παραπάνω ακτοπλοϊκής σύνδεσης, εκτελούνται και αεροπορικά δρομολόγια, τα οποία όμως δεν μεταφέρουν μεγάλο όγκο τουριστών, κυρίως λόγω της ανάγκης για μεταφορικό μέσο κατά την διαμονή στο νησί. Σύμφωνα με μηνιαία δεδομένα από την «Σκύρος Ναυτική Εταιρεία» (ΣΝΕ), ο πιο ενεργός τουριστικός μήνας είναι ο Αύγουστος, ενώ ακολουθούν ο Ιούλιος, ο Σεπτέμβριος και ο Ιούνιος. Επίσης, θεωρείται ότι και ο Μάρτιος είναι τουριστικός μήνας, λόγω του αποκριάτικου παραδοσιακού καρναβαλιού στο νησί, το οποίο έχει μεγάλη απήχηση. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ που αφορούν το έτος 2009, η Σκύρος δέχεται 7000 τουρίστες ετησίως (Petra Korouli, 2015). Ο αριθμός αυτός έχει αυξηθεί κατά 20 % υπέρ της ασφαλείας, ενώ οι παραθεριστές θεωρούνται ίσοι με 1500. Στους Πίνακες 4.6 και 4.7, παρουσιάζεται η διάρθρωση του συνολικού πληθυσμού της Σκύρου ανά μήνα και η τουριστική πληρότητα ανά μήνα, για το έτος 2011.

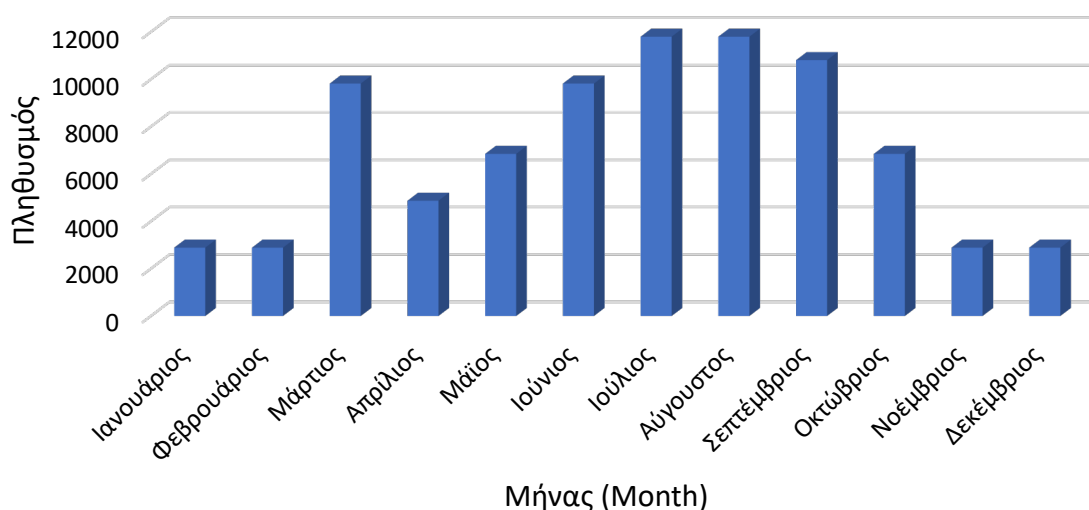
Πίνακας 4.6 - Διάρθρωση Συνολικού Πληθυσμού της Σκύρου ανά Μήνα για το έτος 2011

Μήνας	Μόνιμοι	Παραθεριστές	Τουρίστες
Ιανουάριος	2888	0	0
Φεβρουάριος	2888	0	0
Μάρτιος	2888	1050	5880
Απρίλιος	2888	300	1680
Μάιος	2888	600	3360
Ιούνιος	2888	1050	5880
Ιούλιος	2888	1350	7560
Αύγουστος	2888	1350	7560
Σεπτέμβριος	2888	1200	6720
Οκτώβριος	2888	600	3360
Νοέμβριος	2888	0	0
Δεκέμβριος	2888	0	0

Πίνακας 4.7 - Τουριστική Πληρότητα ανά Μήνα για το έτος 2011

Ποσοστά Πληρότητας ανά Μήνα (%)	
Ιανουάριος	0
Φεβρουάριος	0
Μάρτιος	0.7
Απρίλιος	0.2
Μάιος	0.4
Ιούνιος	0.7
Ιούλιος	0.9
Αύγουστος	0.9
Σεπτέμβριος	0.8
Οκτώβριος	0.4
Νοέμβριος	0
Δεκέμβριος	0

Μηνιαία Διακύμανση Πληθυσμού το 2011 (capita/month)



Σχήμα 4.4 - Μηνιαία Διακύμανση Πληθυσμού για το έτος 2011

Στο Σχήμα 4.4, φαίνεται η μηνιαία εξέλιξη του συνολικού πληθυσμού της Σκύρου για το έτος – βάση 2011. Αυτός ο πληθυσμός υπόκειται σε σταθερή γεωμετρική αύξηση κάθε έτος για τα επόμενα 25 έτη, σύμφωνα με την σχέση:

$$P_i = \alpha \times P_{i-1} \quad (4.7)$$

Όπου $\alpha = 1 + \gamma$, $\gamma = \frac{P_i - P_{i-1}}{P_{i-1}}$ και i το εκάστοτε έτος.

Στους Πίνακες 4.8 και 4.9, παρουσιάζονται τα στοιχεία της πληθυσμιακής αναγωγής και η αναγωγή του μέγιστου εκτιμώμενου ετήσιου πληθυσμού για τα επόμενα 25 έτη.

Πίνακας 4.8 - Στοιχεία Πληθυσμιακής Αναγωγής

Αναγωγή Πληθυσμού	
P₀	7013
P₂₅	7241
α	1.001
γ	0.10 %
n	32
Συνολική Αύξηση Πληθυσμού	3 %

Πίνακας 4.9 – Συντελεστές Αναγωγή του Συνολικού Πληθυσμού για τα επόμενα 25 Έτη

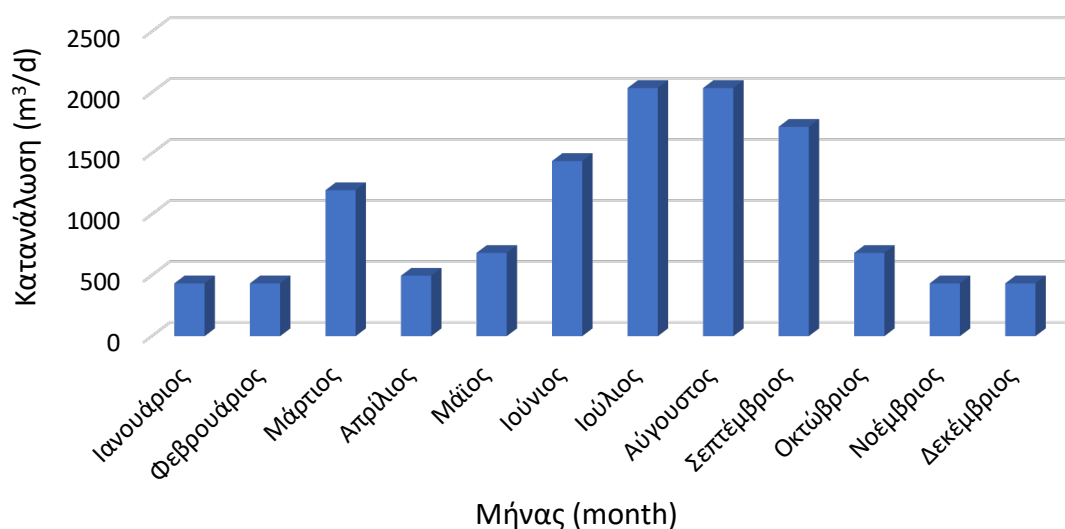
A/A	Έτος	Πληθυσμός	Συντελεστής Αναγωγής	A/A	Έτος	Πληθυσμός	Συντελεστής Αναγωγής
1	2020	7013	1.000	14	2033	7105	1.013
2	2021	7020	1.001	15	2034	7112	1.014
3	2022	7027	1.002	16	2035	7119	1.015
4	2023	7034	1.003	17	2036	7126	1.016
5	2024	7041	1.004	18	2037	7133	1.017
6	2025	7048	1.005	19	2038	7140	1.018
7	2026	7055	1.006	20	2039	7147	1.019
8	2027	7062	1.007	21	2040	7155	1.020
9	2028	7069	1.008	22	2041	7162	1.021
10	2029	7076	1.009	23	2042	7169	1.022
11	2030	7083	1.010	24	2043	7176	1.023
12	2031	7091	1.011	25	2044	7183	1.024
13	2032	7098	1.012	26	2045	7190	1.025

4.2.1 Υδρευτικές Ανάγκες

Η εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών των κατοίκων της Σκύρου γίνεται θεωρώντας τις ατομικές ανάγκες ύδρευσης. Συγκεκριμένα, η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο θεωρείται 150 l/d/capita για τους μόνιμους κατοίκους, 150 l/d/capita για τους τουρίστες και 200 l/d/capita για τους παραθεριστές (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2015). Για τους καλοκαιρινούς μήνες και τον Σεπτέμβριο, η θεώρηση αυτή γίνεται πιο ρεαλιστική αυξάνοντας την ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο κατά 20 %. Δηλαδή για τους μόνιμους κατοίκους και τους τουρίστες γίνεται 180 l/d/capita και για τους παραθεριστές 240 l/d/capita. Το ποσοστό αύξησης οφείλεται στη θεώρηση ότι η κατανάλωση νερού αυξάνεται το καλοκαίρι, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Σαν έτος – βάση θεωρείται το 2020, το οποίο έχει τα χαρακτηριστικά του έτους 2011, στο οποίο έγινε η τελευταία απογραφή πληθυσμού από την ΕΛΣΤΑΤ.

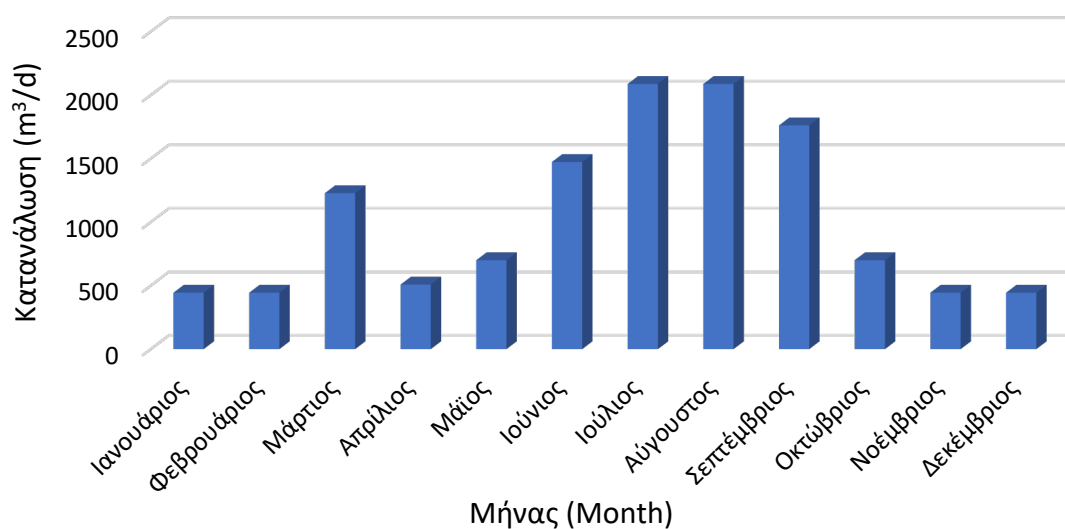
Μετά τον προσδιορισμό της υδρευτικής ζήτησης για το έτος βάσης, ακολουθεί η αναγωγή της ζήτησης σύμφωνα με τον πληθυσμό, για κάθε έτος και για τα επόμενα 25. Στα Σχήματα 4.5 και 4.6, φαίνεται η μηνιαία διακύμανση της ημερήσιας υδρευτικής κατανάλωσης για το έτος – βάση 2020 και το 25^ο έτος, 2045.

Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης Έτους Βάσης (m³/d/month)

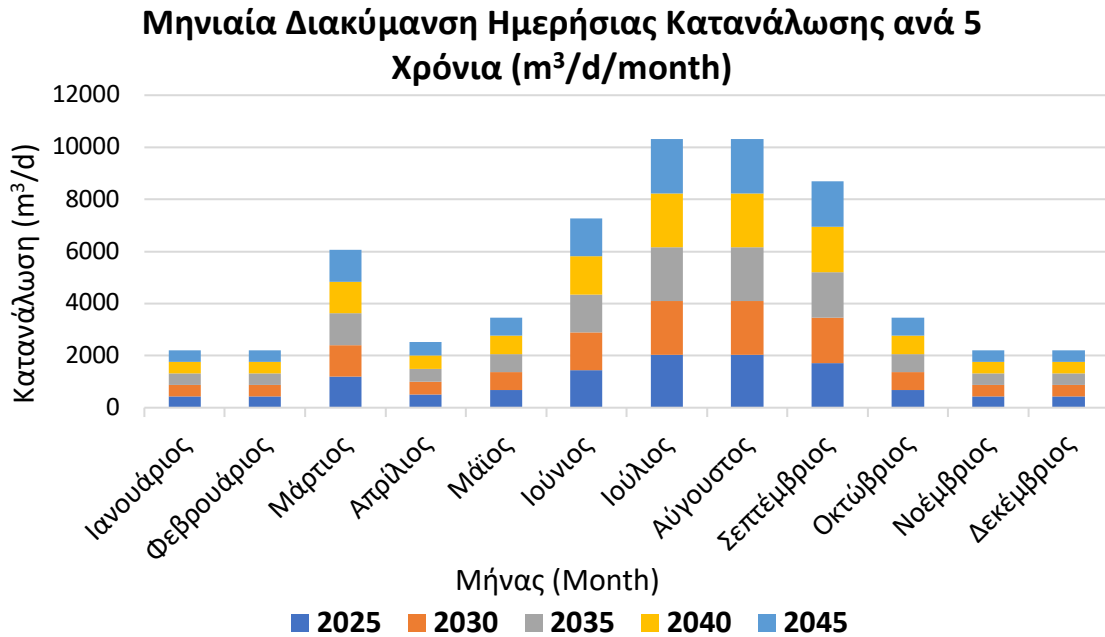


Σχήμα 4.5 - Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Υδρευτικής Κατανάλωσης Έτους Βάσης

Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης 25^{ου} έτους (m³/d/month)



Σχήμα 4.6 - Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης 25ου Έτους



Σχήμα 4.7 - Μηνιαία Διακύμανση Ημερήσιας Κατανάλωσης ανά 5 Χρόνια

Στο Σχήμα 4.7, παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης πόσιμου νερού, ανά 5 χρόνια, για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Παρατηρείται, μεγαλύτερος όγκος στις τελευταίες πενταετίες, συγκριτικά με τις προηγούμενες, γεγονός επόμενο, λόγω της πληθυσμιακής αύξησης.

4.2.2 Αρδευτικές Ανάγκες

Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών γίνεται με βάση τις ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Για την διαδικασία αυτή, εκτιμάται πρώτα η εξατμοδιαπνοή των καλλιεργειών της Σκύρου, για τον υπολογισμό της οποίας χρησιμοποιείται η μέθοδος Blaney – Criddle (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2018). Οι Blaney – Criddle (1962) ανέπτυξαν μια εμπειρική σχέση ανάμεσα στην εξατμισοδιαπνοή, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το ποσοστό των ωρών της ημέρας. Η εξατμισοδιαπνοή άμεσα από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του αέρα και του ποσοστού ωρών ημέρας του μήνα, σε μια επαρκώς αναπτυσσόμενη καλλιέργεια με επαρκή εδαφική υγρασία, σύμφωνα με την σχέση:

$$ET = k_c F = k_c \frac{(1.8 \times T + 32) \times p}{3.94} \quad (4.8)$$

Όπου:

- ET η ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm,
- k_c ο εμπειρικός συντελεστής καλλιέργειας,
- T η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C και
- p το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας.

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία προέρχεται από την συνθετική χρονοσειρά της θερμοκρασίας, η παραγωγή της οποίας παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.1.2. Επίσης, το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας των ωρών της ημέρας προσδιορίζεται για κάθε μήνα, σύμφωνα

με το γεωγραφικό πλάτος της Σκύρου και τη μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας σε ώρες. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία έχει θεσμοθετηθεί από το Υπουργείο Γεωργίας το 1992 (http://goodagro.org/docs/1992_Apofasi_Penman.pdf), ως η πιο ακριβής μέθοδος για την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό.

Πίνακας 4.10 - Μέση Αστρονομική Διάρκεια Ημέρας σε ώρες και ποσοστό (%)

Μήνας	N (h)	p (%)
Ιανουάριος	6.82	0.28
Φεβρουάριος	6.76	0.28
Μάρτιος	8.34	0.35
Απρίλιος	8.92	0.37
Μάϊος	9.97	0.42
Ιούνιος	9.70	0.40
Ιούλιος	10.16	0.42
Αύγουστος	9.50	0.40
Σεπτέμβριος	8.38	0.35
Οκτώβριος	7.83	0.33
Νοέμβριος	6.77	0.28
Δεκέμβριος	6.59	0.27

Στον Πίνακα 4.10, παρουσιάζονται οι τιμές της μέσης αστρονομικής διάρκειας της ημέρας σε ώρες (N) και το αντίστοιχο ποσοστό (p), για κάθε μήνα. Η Σκύρος βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38.96°.

Για τον υπολογισμό του φυτικού συντελεστή k_c , οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την εκτίμηση του είναι η διάρκεια κάθε σταδίου βλάστησης, δηλαδή του αρχικού, κύριου, μέσου και τελικού, και οι αντίστοιχοι συντελεστές για το κάθε στάδιο καθώς και ο μήνας φύτευσης. Τα παραπάνω στοιχεία λαμβάνονται από το [FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 Crop Evapotranspiration](#). Εξάιρεση αποτελούν τα αμπέλια, οι λεμονιές και οι πορτοκαλιές, των οποίων τα στοιχεία λαμβάνονται από τους Παναγούλια και Δήμου (2000), γιατί ανταποκρίνονται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα. Στην περίπτωση των ελαιόδεντρων, ο φυτικός συντελεστής είναι μηδενικός σε όλη τη διάρκεια του έτους, αφού θεωρείται μη αρδευόμενο είδος καλλιέργειας. Η καλλιεργημένη γεωργική γη είναι περίπου 4814 στρέμματα, δηλαδή 654645 km², ενώ η αρδευόμενη έκταση θεωρείται ίση με 710 στρέμματα. Στους Πίνακες 4.11 έως 4.13, παρουσιάζονται οι καλλιέργειες ανά κατηγορία και τα αντίστοιχα στοιχεία που απαιτούνται για την εκτίμηση του φυτικού συντελεστή (Πεχλιβανίδου, 2007; Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 2010).

Πίνακας 4.11 - Εκτάσεις Αρδευόμενων Καλλιεργειών

Καλλιέργεια	Έκταση (στρ)	Ποσοστό Έκτασης (%)
Αγγούρια	0.77	0.11
Αμπέλια	38.79	5.46
Βρόμη με σανό	0.59	0.08
Ελαιόδεντρα	387.91	54.64
Καρπούζια	0.77	0.11
Κρεμμύδια	0.77	0.11
Λεμονιές	195.19	27.49
Ντομάτες	0.77	0.11
Πατάτες	0.77	0.11
Πορτοκαλιές	83.65	11.78
Σύνολο Γης	710	100

Πίνακας 4.12 - Διάρκεια κάθε σταδίου βλάστησης σε ημέρες

Καλλιέργεια	L Ini	L Dev	L Mid	L End	Plant date
Αγγούρια	20	30	40	15	Ιούνιος
Αμπέλια	30	60	40	80	Απρίλιος
Βρόμη με σανό	30	140	40	30	Νοέμβριος
Κρεμμύδια	15	25	70	40	Απρίλιος
Λεμονιές	60	90	120	95	Ιανουάριος
Πατάτες	30	35	50	30	Απρίλιος
Ντομάτες	30	40	45	30	Απρίλιος

Πίνακας 4.13 - Φυτικοί Συντελεστές για κάθε στάδιο βλάστησης

Καλλιέργεια	K _c Ini	K _c Dev	K _c Mid	K _c End
Αγγούρια	0.50	0.75	1.00	0.90
Αμπέλια	0.30	0.50	0.70	0.45
Βρόμη με σανό	0.30	0.73	1.15	0.25
Κρεμμύδια	0.70	0.88	1.05	0.75
Λεμονιές	0.80	0.80	0.80	0.80
Πατάτες	0.50	0.78	1.05	0.95
Ντομάτες	0.60	0.88	1.15	0.90

Με βάση τα παραπάνω, υπολογίζονται οι φυτικοί συντελεστές για κάθε καλλιέργεια με την ακρίβεια 10 ημερών. Ακολούθως, γίνεται αναγωγή των συντελεστών σε ημερήσια κλίμακα και υπολογίζεται ο σταθμισμένος ημερήσιος φυτικός συντελεστής για τη συνολική αρδευόμενη έκταση του Νησιού. Έτσι, υπολογίζεται μέσω της σχέσης της μεθόδου Blaney – Criddle, η εξατμισοδιαπνοή σε ημερήσια κλίμακα αντίστοιχα με τον συντελεστή k_t της συνολικής αρδευόμενης έκτασης. Η τελική εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών γίνεται με την αφαίρεση της βροχόπτωσης από την υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή. Η βροχόπτωση, όπως και η θερμοκρασία, λαμβάνεται από την συνθετική χρονοσειρά της θερμοκρασίας. Ο συνολικός ημερήσιος όγκος αρδευόμενου νερού σε κυβικά (m^3) προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των αναγκών σε m , με τη συνολική αρδευόμενη έκταση σε τετραγωνικά μέτρα (m^2) και στη συνέχεια από τη διαίρεση του με το βαθμό απόδοσης κατά την εφαρμογή. Ο τελευταίος υπολογίζεται από τη σχέση (4.9) και τις τιμές του Πίνακα 4.14 (Παναγιούλια, Δήμου, 2000).

$$E_p = E_d \times E_a \quad (4.9)$$

Όπου:

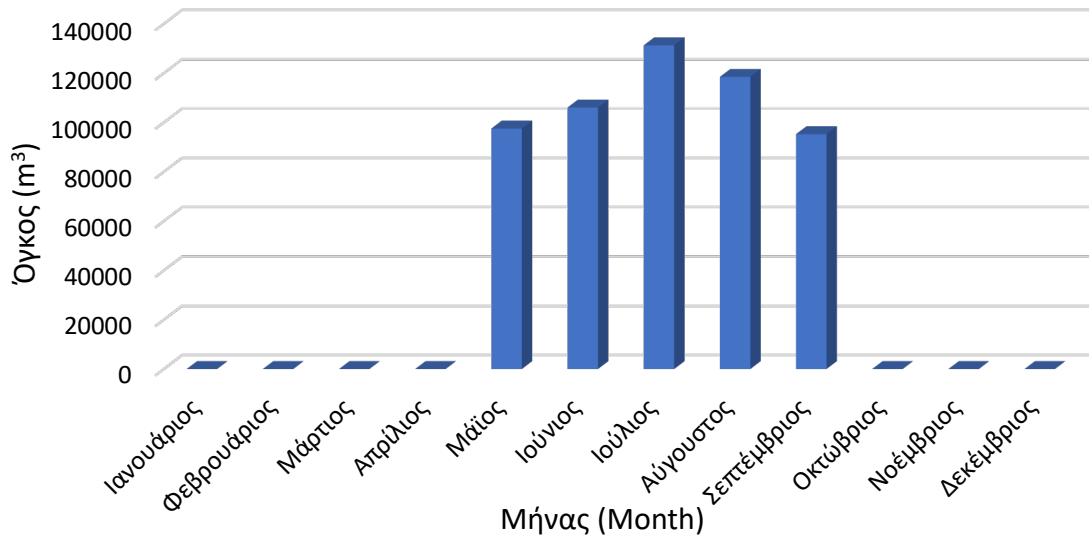
- E_d ο βαθμός απόδοσης διανομής και
- E_a ο βαθμός απόδοσης άρδευσης

Πίνακας 4.14 - Συντελεστές Απόδοσης για Εκτίμηση Ημερήσιου Όγκου Αρδευόμενου Νερού

Συντελεστές Απόδοσης	
Ed	0.70
Ea	0.95
Ep	0.665

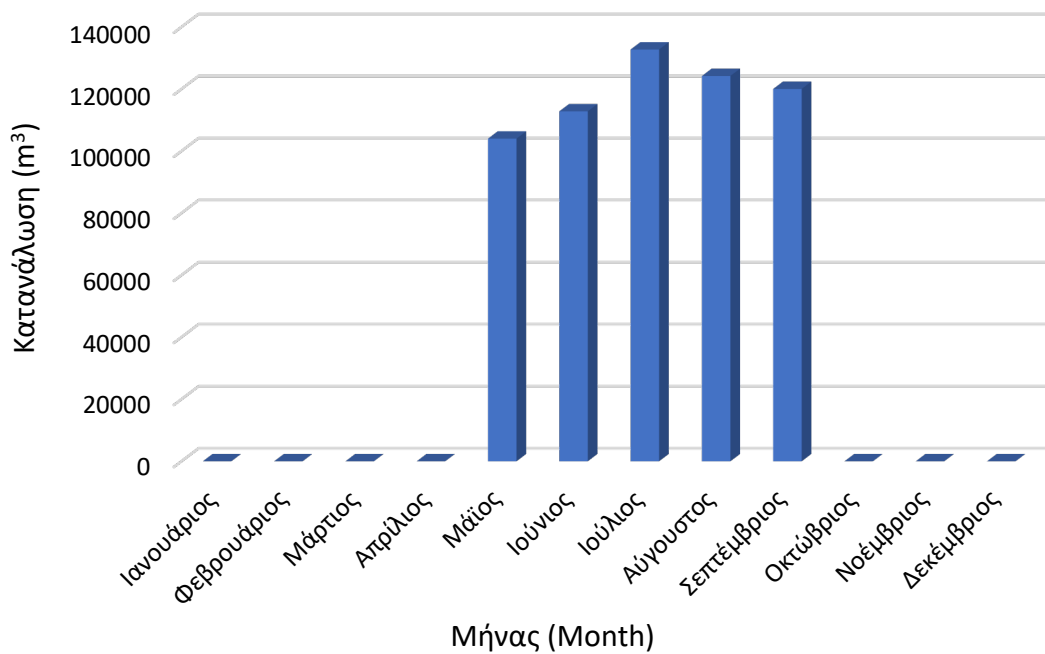
Στα Σχήματα 4.8 και 4.9, παρουσιάζεται τόσο η μέση μηνιαία αρδευτική κατανάλωση για όλη την διάρκεια του έργου, όσο και η εκτιμώμενη συνολική μηνιαία αρδευτική κατανάλωση για το τελευταίο έτος, 2045.

Μέση Μηνιαία Αρδευτική Κατανάλωση (m³/month)



Σχήμα 4.8 - Μέση Μηνιαία Αρδευτική Κατανάλωση

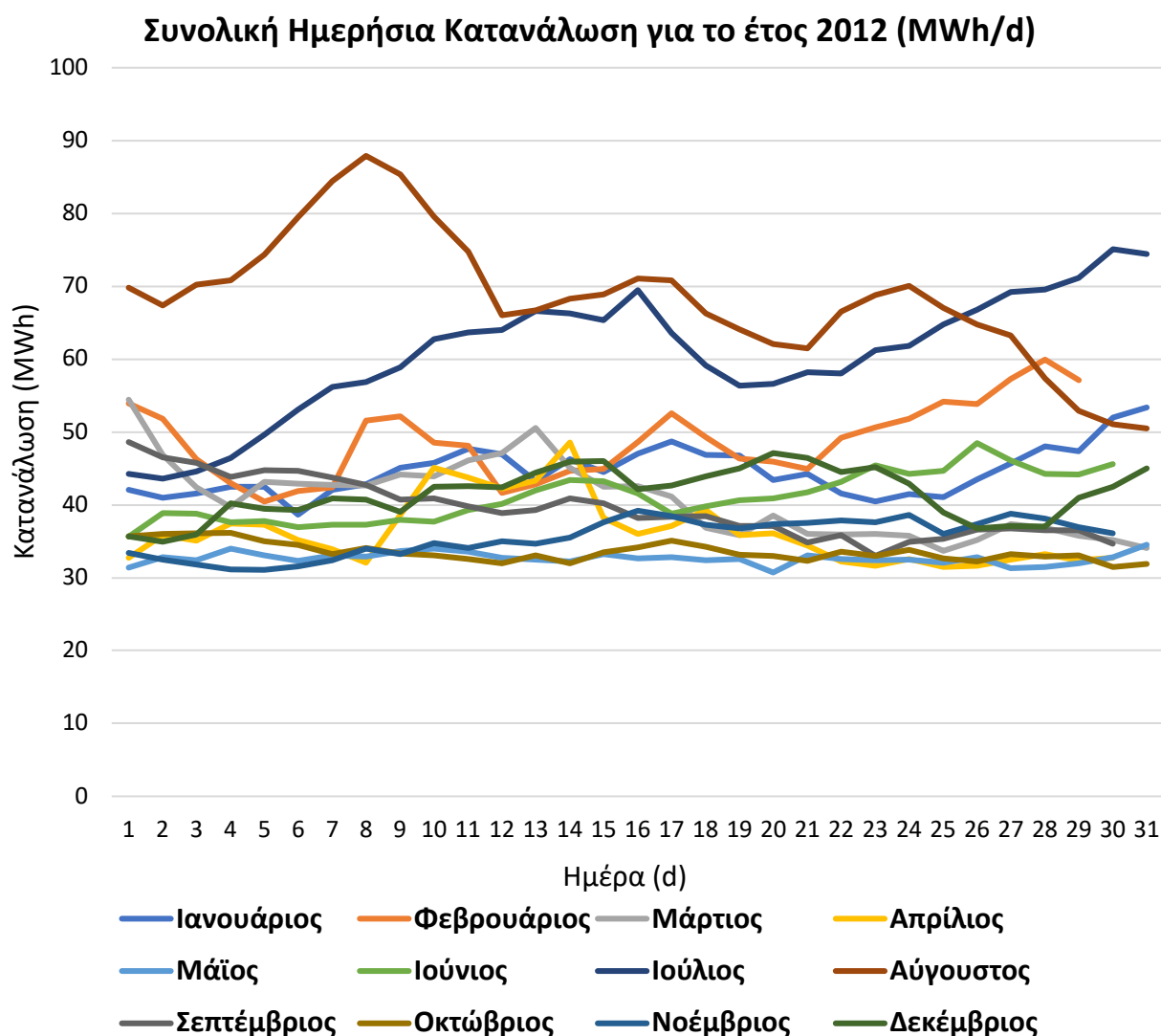
Συνολική Αρδευτική Κατανάλωση για το 25^ο έτος (m³/month)



Σχήμα 4.9 – Συνολική Μηνιαία Αρδευτική Κατανάλωση για το 25^ο έτος

4.2.3 Ενεργειακές Ανάγκες

Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στη Σκύρο γίνεται εξ ολοκλήρου από τον τοπικό σταθμό παραγωγής της ΔΕΗ στο νησί, συνολικής ισχύος 7.2 MW. Για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών, χρησιμοποιούνται δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης για το έτος 2012 με ωριαίο βήμα, τα οποία λαμβάνονται έπειτα από προσωπική επικοινωνία με την Dr. Petrakoroulou. Βέβαια, τα δεδομένα αυτά προέρχονται από την ΔΕΗ του νησιού και η ακρίβεια του ωριαίου βήματος τα απαλλάσσει από περαιτέρω στατιστική επεξεργασία, δηλαδή από μεγαλύτερα σφάλματα. Έτσι, οι ωριαίες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης για το έτος 2012 θεωρούνται αποδεκτές στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι συνολικές ημερήσιες καταναλώσεις για κάθε μήνα, σε πίνακα και σχήμα, για το έτος 2012.



Σχήμα 4.10 - Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Κατανάλωση για το έτος 2012

A/A	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάϊος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
1	42,10	53,90	54,44	32,74	31,43	35,63	44,24	69,80	48,62	35,68	33,38	35,66
2	40,99	51,82	46,86	35,82	32,80	38,89	43,60	67,35	46,49	36,01	32,47	34,94
3	41,56	46,28	42,37	35,09	32,39	38,82	44,58	70,20	45,78	36,08	31,85	35,91
4	42,45	42,96	39,71	37,46	33,96	37,65	46,42	70,79	43,82	36,16	31,16	40,18
5	42,52	40,45	43,19	37,31	33,04	37,82	49,60	74,35	44,79	35,03	31,08	39,48
6	38,65	41,90	42,92	35,17	32,34	36,93	53,11	79,46	44,65	34,47	31,58	39,33
7	42,10	42,44	42,72	33,88	33,03	37,27	56,20	84,43	43,71	33,22	32,44	40,86
8	42,86	51,53	42,67	32,04	32,90	37,28	56,84	87,90	42,73	34,05	33,98	40,70
9	45,13	52,14	44,20	38,58	33,68	37,96	58,88	85,39	40,69	33,31	33,25	39,08
10	45,73	48,54	43,93	45,11	33,98	37,69	62,74	79,54	40,88	33,06	34,73	42,51
11	47,68	48,08	46,07	43,78	33,57	39,33	63,69	74,73	39,83	32,56	34,07	42,59
12	46,96	41,63	47,08	42,26	32,75	40,16	64,00	66,00	38,87	32,02	34,99	42,40
13	43,26	42,82	50,54	43,32	32,46	41,94	66,60	66,70	39,28	33,04	34,68	44,38
14	46,27	44,65	45,09	48,56	32,20	43,39	66,28	68,28	40,90	31,94	35,55	45,90
15	44,54	44,91	42,51	38,19	33,23	43,28	65,39	68,92	40,19	33,45	37,57	46,01
16	47,00	48,60	42,53	36,01	32,68	41,52	69,49	71,07	38,23	34,17	39,20	42,16
17	48,71	52,56	41,18	37,12	32,83	38,80	63,59	70,80	38,38	35,13	38,41	42,64
18	46,89	49,32	36,87	39,33	32,40	39,76	59,12	66,30	38,43	34,26	37,26	43,93
19	46,79	46,33	35,85	35,86	32,58	40,62	56,33	64,08	37,10	33,16	36,73	45,01
20	43,38	45,97	38,51	36,08	30,72	40,89	56,64	62,05	37,10	32,98	37,32	47,11
21	44,25	44,95	36,01	34,44	33,05	41,77	58,20	61,50	34,85	32,29	37,53	46,40
22	41,59	49,22	35,94	32,20	32,57	43,13	58,05	66,51	35,84	33,59	37,86	44,47
23	40,46	50,62	36,03	31,65	32,44	45,42	61,27	68,80	33,00	32,97	37,61	45,20
24	41,45	51,85	35,73	32,59	32,51	44,25	61,78	70,10	34,92	33,82	38,58	42,93
25	41,06	54,19	33,69	31,48	32,06	44,69	64,79	67,03	35,36	32,66	36,00	38,95
26	43,47	53,87	35,19	31,68	32,85	48,48	66,74	64,73	36,59	32,19	37,36	36,80
27	45,65	57,24	37,32	32,47	31,33	46,10	69,24	63,24	36,73	33,26	38,75	37,07
28	48,05	59,94	36,88	33,23	31,49	44,26	69,56	57,33	36,49	32,90	38,15	37,01
29	47,37	57,13	35,80	32,44	32,01	44,14	71,13	52,95	36,50	33,08	36,92	40,94
30	51,97	N/A	35,14	32,73	32,81	45,60	75,09	51,09	34,70	31,47	36,11	42,51
31	53,37	N/A	34,08	N/A	34,53	N/A	74,47	50,49	N/A	31,87	N/A	45,01

Πίνακας 4.15 - Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Κατανάλωση για το έτος 2012

Τα δεδομένα του Πίνακα 4.15 ανάγονται στον προσδοκώμενο πληθυσμό ανά έτος, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που αναλύεται και στην εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει η χρονοσειρά ενεργειακών αναγκών, μήκους 25 χρόνων, με ωριαίο βήμα.

Στους πίνακες 4.16 και 4.17, παρουσιάζονται οι μηνιαίες και ημερήσιες καταναλώσεις ενέργειας αντίστοιχα, τόσο στο πρώτο έτος της προσομοίωσης όσο και στο 25^ο. Όπως είναι λογικό, οι υψηλότερες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αντιστοιχούν στο μήνα Αύγουστο.

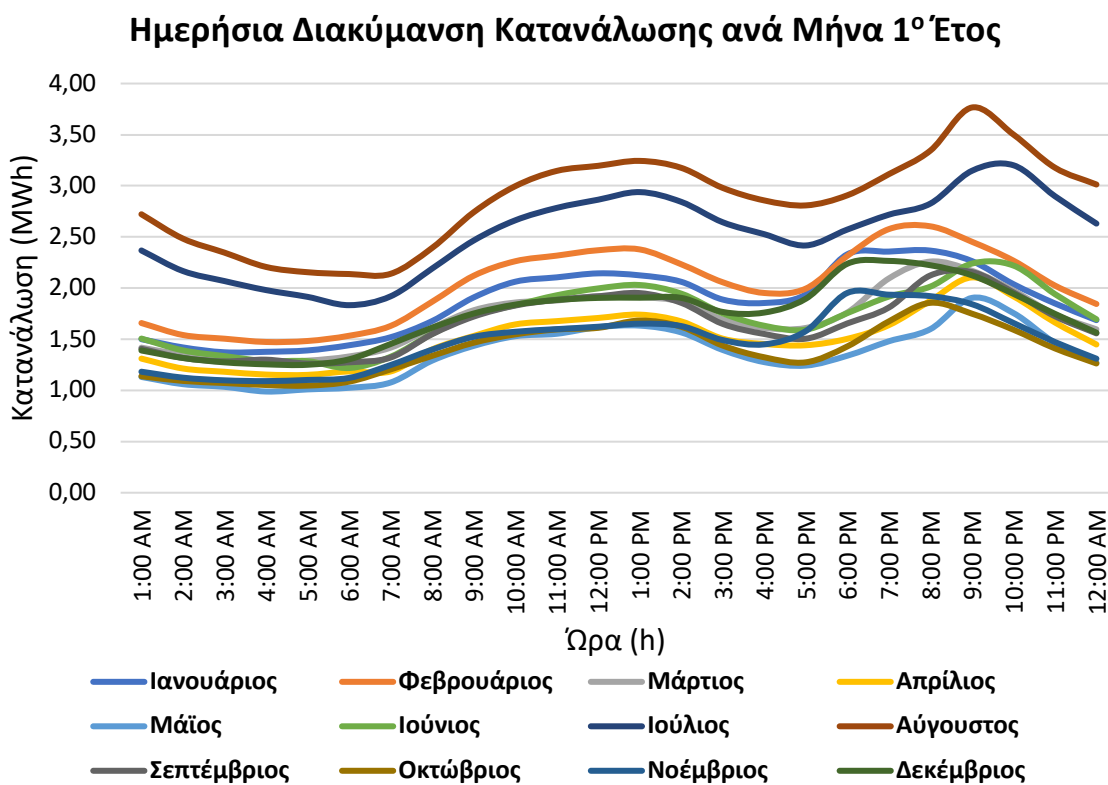
Πίνακας 4.16 - Μηνιαίες Ενεργειακές Καταναλώσεις για το 1ο και 25ο έτος

Μήνας	Μηνιαία Κατανάλωση 1^ο Έτος (MWh/month)	Μηνιαία Κατανάλωση 25^ο Έτος (MWh/month)
Ιανουάριος	1383.63	1417.22
Φεβρουάριος	1357.22	1390.17
Μάρτιος	1262.97	1293.63
Απρίλιος	1089.77	1116.23
Μάιος	1013.46	1038.07
Ιούνιος	1234.32	1264.29
Ιούλιος	1878.15	1923.74
Αύγουστος	2125.20	2176.80
Σεπτέμβριος	1187.38	1216.20
Οκτώβριος	1040.92	1066.19
Νοέμβριος	1067.67	1093.59
Δεκέμβριος	1290.69	1322.02

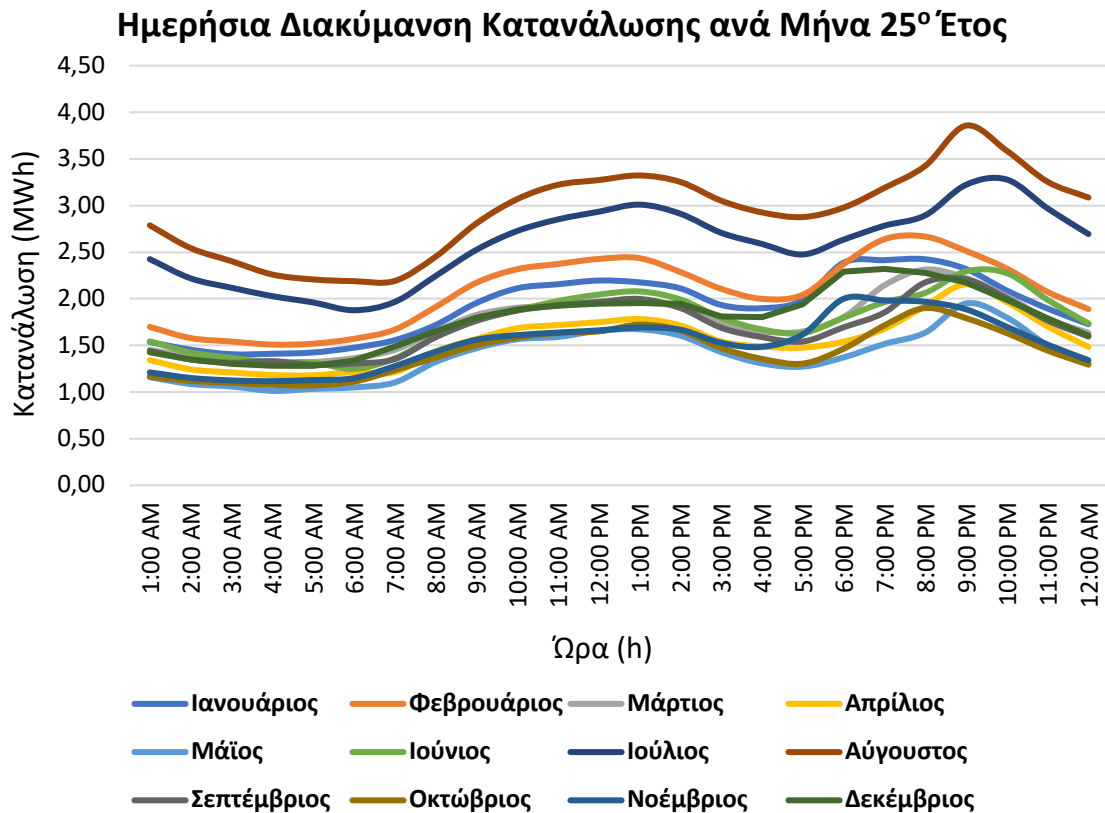
Πίνακας 4.17 - Ημερήσιες Ενεργειακές Καταναλώσεις για το 1ο και 25ο έτος

Μήνας	Ημερήσια Κατανάλωση 1^ο Έτος (MWh/d)	Ημερήσια Κατανάλωση 25^ο Έτος (MWh/d)
Ιανουάριος	57.65	59.05
Φεβρουάριος	56.55	57.92
Μάρτιος	52.62	53.90
Απρίλιος	45.41	46.51
Μάιος	42.23	43.25
Ιούνιος	51.43	52.68
Ιούλιος	78.26	80.16
Αύγουστος	88.55	90.70
Σεπτέμβριος	49.47	50.68
Οκτώβριος	43.37	44.42
Νοέμβριος	44.49	45.57
Δεκέμβριος	53.78	55.08

Αντίστοιχα, στα Σχήματα 4.11 και 4.12, παρουσιάζονται οι ημερήσιες διακυμάνσεις της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού, τόσο για το 1^ο, όσο και για το 25^ο έτος της λειτουργίας του συστήματος. Παρατηρείτε ότι, η μορφή της διακύμανσης είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, με τον μήνα Αύγουστο να έχει τις υψηλότερες τιμές, ενώ για το 25^ο έτος λειτουργίας όλες οι τιμές έχουν μετατοπιστεί προς τα πάνω, λόγω της πληθυσμιακής αύξησης.



Σχήμα 4.11 - Ημερήσια Διακύμανση Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά Μήνα για το 1ο έτος



Σχήμα 4.12 - Ημερήσια Διακύμανση Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά Μήνα για το 25ο έτος

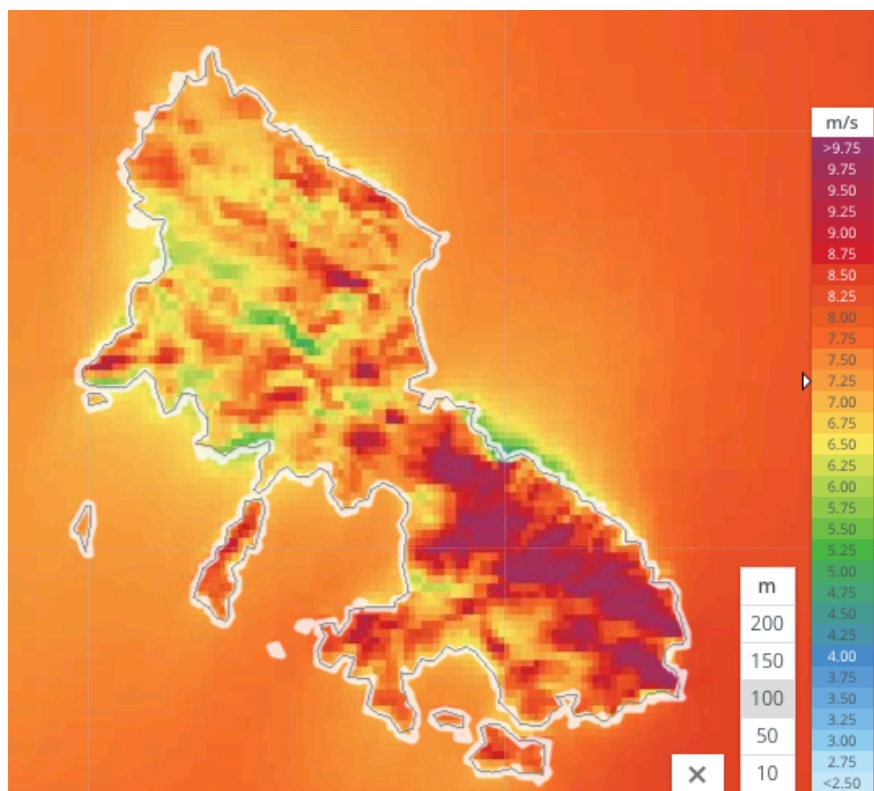
4.3 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας

4.3.1 Εκτίμηση Παραγόμενης Αιολικής Ενέργειας

Για την παραγωγή αιολικής ενέργειας, στην παρούσα μελέτη προτείνεται η κατασκευή αιολικού πάρκου συνολικής ισχύος 6.1 MW, στο όρος Κόχυλας. Πιο συγκεκριμένα, το αιολικό πάρκο αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες (Α/Γ) Enercon E-101 ισχύος 3050 kW. Η γερμανική εταιρεία Enercon, αποτελεί τον τέταρτο μεγαλύτερο κατασκευαστή Α/Γ σε ολόκληρο τον κόσμο, με πάνω από 1000 έργα και 20 GW εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως (<https://energyacuity.com/blog/2019-top-10-wind-turbine-manufacturers>). Το μοντέλο E-101 επιλέχθηκε ανάμεσα από τα υπόλοιπα, καθώς ανταποκρίνεται τόσο σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, ενώ επίσης εκμεταλλεύεται με τον επιθυμητό τρόπο, το ελκυστικό αιολικό δυναμικό του νησιού. Συγκεκριμένα, έγινε σύγκριση ανάμεσα στα μοντέλα E-101, E-82 των 2350 kW και E-82 των 3000 kW. Τέλος, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης δεν επιλέγεται η τοποθέτηση μικρότερων και περισσότερων Α/Γ με ίδια συνολική ισχύ, λόγω πιθανών περιβαλλοντικών και κοινωνικών περιορισμών.

4.3.1.1 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών

Η χωροθέτηση των δύο Α/Γ πραγματοποιείται στο όρος Κόχυλας. Η επιλογή της συγκεκριμένης τοποθεσίας προκύπτει από το γεγονός ότι το όρος Κόχυλας διαθέτει το μεγαλύτερο υψόμετρο του νησιού και παρουσιάζει πολύ μεγάλο αιολικό δυναμικό. Στον χάρτη 4.13, φαίνεται πως για ύψος ρότορα 100 m, ο Κόχυλας παρουσιάζει ένα από τα μεγαλύτερα αιολικά δυναμικά της χώρας.



Σχήμα 4.13 - Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Σκύρου (Πηγή: [Global Wind Atlas](#))

Βέβαια, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 3.8.1, ο Κόχυλας αποτελεί περιοχή του προγράμματος NATURA2000. Θεωρητικά, η περιοχή κρίνεται ακατάλληλη για κατασκευή αιολικού πάρκου και η τοποθέτηση αναγκαστικά πρέπει να γίνει σε διαφορετική θέση. Όμως, όπως φαίνεται στο απόσπασμα χάρτη του Σχήματος 4.14 από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ([PAE](#)), όλη η έκταση στο νότιο μέρος του νησιού, έχει αδειοδοτηθεί για παραγωγή ενέργειας από αιολικό σταθμό και εκκρεμεί η άδεια λειτουργίας. Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω η χωροθέτηση του αιολικού πάρκου είναι εφικτό να γίνει στο όρος Κόχυλας



Σχήμα 4.14 - Χάρτης Αδειοδότησης Αιολικού Σταθμού Σκύρου (Πηγή: ΡΑΕ)

4.3.1.2 Υψομετρική Διόρθωση – Καμπύλη Ισχύος

Με χρήση του λογισμικού ArcGIS (και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους), υπολογίζεται το υψόμετρο στο οποίο τοποθετούνται οι Α/Γ, βάσει της επιλεχθείσας τοποθεσίας, και προκύπτει περίπου ίσο με 700 m. Εφόσον είναι γνωστά πλέον, τόσο το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού από όπου έγιναν οι ανεμολογικές παρατηρήσεις, όσο και το υψόμετρο τοποθέτησης των ανεμογεννητριών, εφαρμόζεται η υψομετρική διόρθωση της παραχθείσας συνθετικής χρονοσειράς του ανέμου, χρησιμοποιώντας τη σχέση (4.10):

$$u_2 = u_1 \times \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (4.10)$$

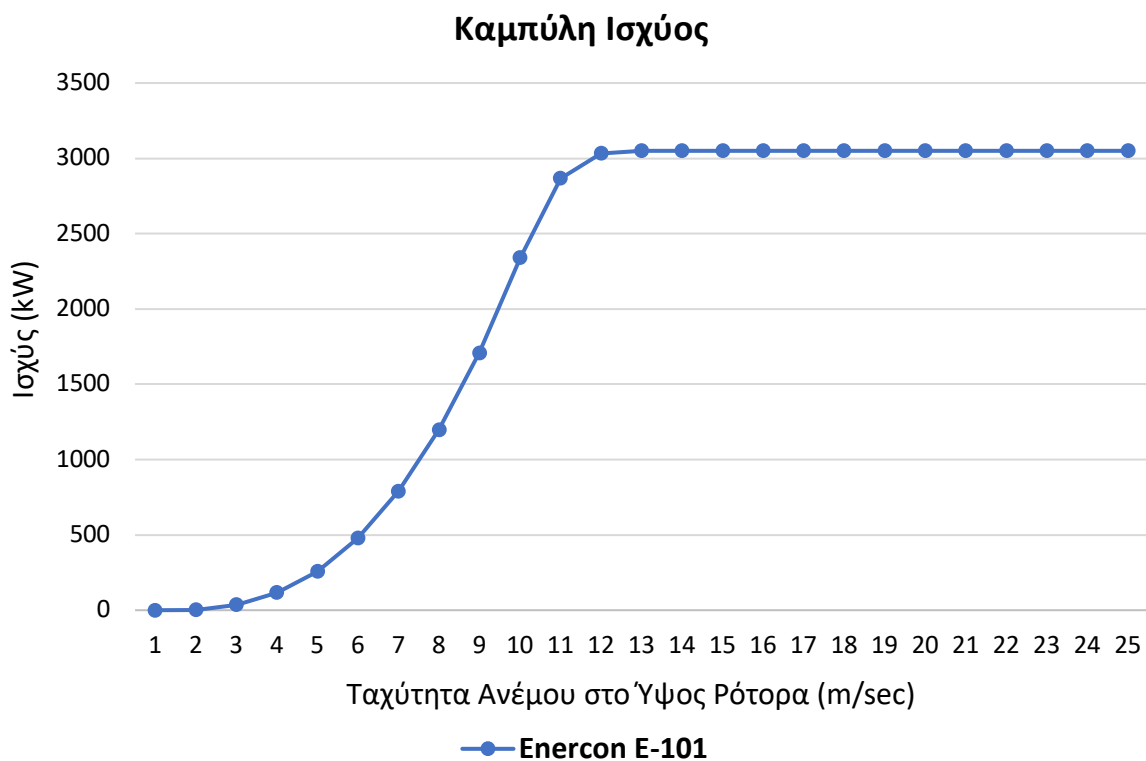
Όπου:

- u_2 η διορθωμένη ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο $z_2 = 799 \text{ m}$, που αντιστοιχεί στο υψόμετρο του ρότορα των δύο ανεμογεννητριών Enercon E-101,
- u_1 η ταχύτητα από τη συνθετική χρονοσειρά που αναφέρεται αντίστοιχα στο υψόμετρο του σταθμού που έγιναν οι μετρήσεις $z_1 = 21 \text{ m}$ και
- z_0 η παράμετρος τραχύτητας του εδάφους, οι τιμές της οποίας μεταβάλλονται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.18. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρείται ίση με 0,10, καθώς στη θέση των ανεμογεννητριών η χλόη είναι χαμηλή με το ύψος της να μη ξεπερνάει τα 10 cm.

Πίνακας 4.18 - Τυπικές Τιμές της παραμέτρου z_0

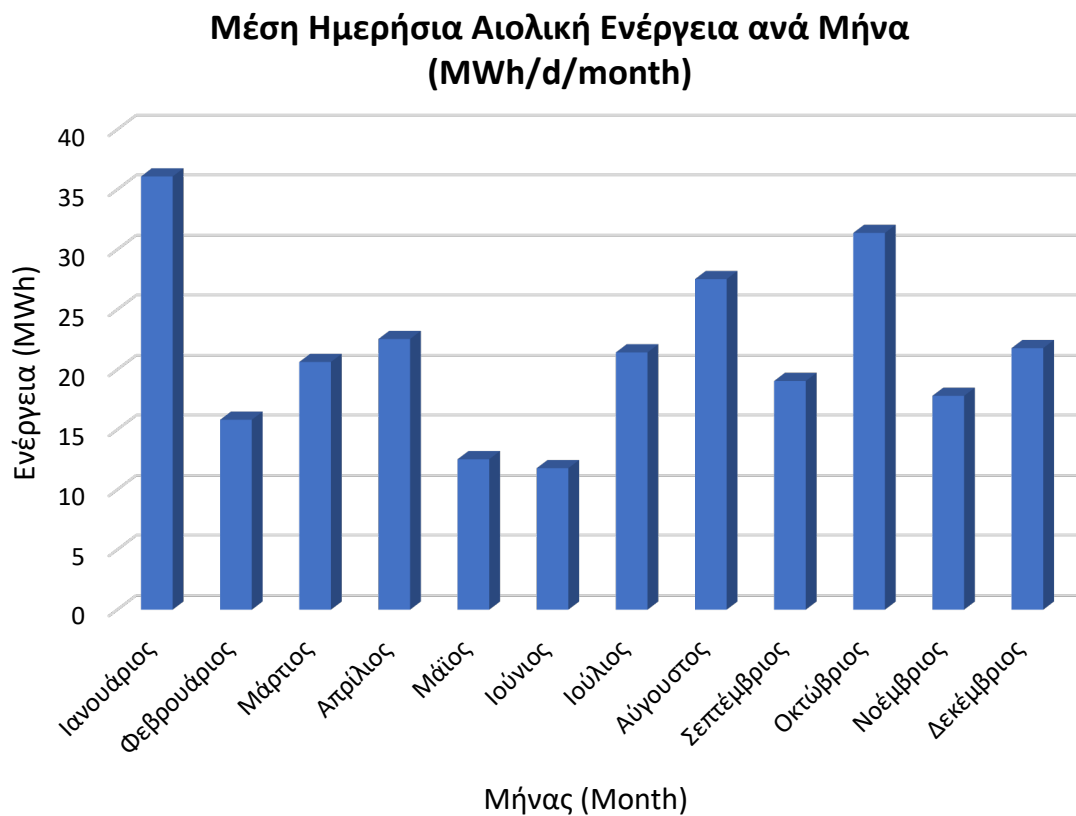
Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)	
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1 cm	0.1
Χλόη ύψους 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ. ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 1-2 m	40-70

Για την εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες, χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος του κάθε μοντέλου υπό εξέταση, ώστε να επιλεγθεί το πιο αποδοτικό για τις συνθήκες της επιλεγμένης περιοχής μελέτης. Σημειώνεται ότι χρησιμοποιείται η γραμμική παρεμβολή για τις δεκαδικές τιμές ανέμου, έτσι ώστε να διατηρείται η ακρίβεια στην μετατροπή σε ενέργεια. Έτσι, παράγεται από την χρονοσειρά του ανέμου, η ενεργειακή χρονοσειρά, η οποία έχει τρίωρο χρονικό βήμα, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε ωριαίο. Αυτό επιτυγχάνεται, θεωρώντας την ωριαία τιμή του ανέμου ίση με την αντίστοιχη τιμή του αρχικού τρίωρου, στο οποίο ανήκει.



Σχήμα 4.15 - Καμπύλη Ισχύος Ανεμογεννήτριας Enercon E - 101 3050 kW

Στο Σχήμα 4.16, παρουσιάζεται η μέση ημερήσια παραγόμενη αιολική ενέργεια για κάθε μήνα, για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Παρατηρείται πολύ υψηλή παραγωγή ενέργειας κατά τον μήνα Ιανουάριο, ενώ ο Ιούνιος συμμετέχει λιγότερο από κάθε άλλον στην παραγωγή.



Σχήμα 4.16 - Μέση Ημερήσια Παραγόμενη Αιολική Ενέργεια ανά Μήνα

4.3.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

Το φράγμα του Φερεκάμπου κατασκευάστηκε πρόσφατα, με σκοπό την συλλογή νερού σε μια λιμνοδεξαμενή για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του νησιού και τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα του. Ο συνολικός του όγκος ανέρχεται σε 1000000 m³, ενώ ο χωμάτινος σχεδιασμός της κατασκευής έχει πυρήνα ύψους 25 m. Εκτός από το υπάρχον φράγμα, παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται και από τη λειτουργία της δεξαμενής θαλασσινού νερού, η οποία βρίσκεται σε ύψος 280 m από τη στάθμη της θάλασσας.

Ο υπολογισμός της υδροηλεκτρικής ενέργειας από την προσθήκη των υδροστροβίλων γίνεται σε ωριαίο βήμα, σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστρόβιλο προκύπτει από τη σχέση (4.11):

$$E = \gamma \times Q \times H \times n \quad (4.11)$$

Όπου:

- γ : το ειδικό βάρος του νερού ($9,81 \text{ kN/m}^3$),
- Q : η παροχή που διέρχεται από τον στρόβιλο (m^3/s),
- H : η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη και του υψομέτρου του υδροστρόβιλου κατάντη,
- n : ο συντελεστής απόδοσης του στρόβιλου.

4.4 Αφαλάτωση - Άντληση

Η αφαλάτωση λαμβάνει χώρα μέσω μίας μονάδας αφαλάτωσης συνολικής ισχύος $2000 \text{ m}^3/\text{d}$, η οποία καταναλώνει 6.5 kW/m^3 που αφαλατώνει. Αναφορικά με την προσομοίωση, το νερό μεταφέρεται στον ταμιευτήρα μέσω αντλιοστασίου συνολικής ισχύος 100 kW , η κατανάλωση της οποίας υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (4.12):

$$E = \rho \times g \times V \times H_{\mu}/n \quad (4.12)$$

Όπου:

- ρ : η πυκνότητα του νερού (997 kg/m^3),
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2),
- V : ο όγκος νερού που αντλείται (m^3),
- H_{μ} : το μανομετρικό ύψος (m) και
- n : ο συντελεστής απόδοσης (0.85)

4.5 Εκτίμηση Συνολικού Όγκου Ρυθμιστικής Δεξαμενής

Ο δεύτερος ταμιευτήρας του συστήματος, η δεξαμενή θαλασσινού νερού, παίζει κομβικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία του ΥΣ (PetraKorouli, 2016). Τα βασικότερα χαρακτηριστικά της είναι αναμφίβολα ο συνολικός όγκος και η μέγιστη υψομετρική διαφορά με τον υδροηλεκτρικό σταθμό. Το δεύτερο μέγεθος ισούται με 300 m και δημιουργεί την δυνατότητα παραγωγής αρκετής υδροηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να αδειάζει η δεξαμενή. Ωστόσο, ο συνολικός όγκος λαμβάνεται εμπειρικά με την δοκιμή τριών διαφορετικών τιμών. Συγκεκριμένα, επιλέγονται οι τιμές 300000 , 350000 και 400000 m^3 (PetraKorouli, 2016). Για κάθε τιμή συνολικού όγκου, ελέγχεται η αξιοπιστία του συστήματος κατά την άντληση και κατά την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, υπολογίζεται η διαίρεση μεταξύ των κυβικών που μεταφέρονται προς αυτά που πρέπει να μεταφέρονται, ώστε να ικανοποιούνται οι εκάστοτε ανάγκες. Στον πίνακα 4.19 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των διαφορετικών όγκων.

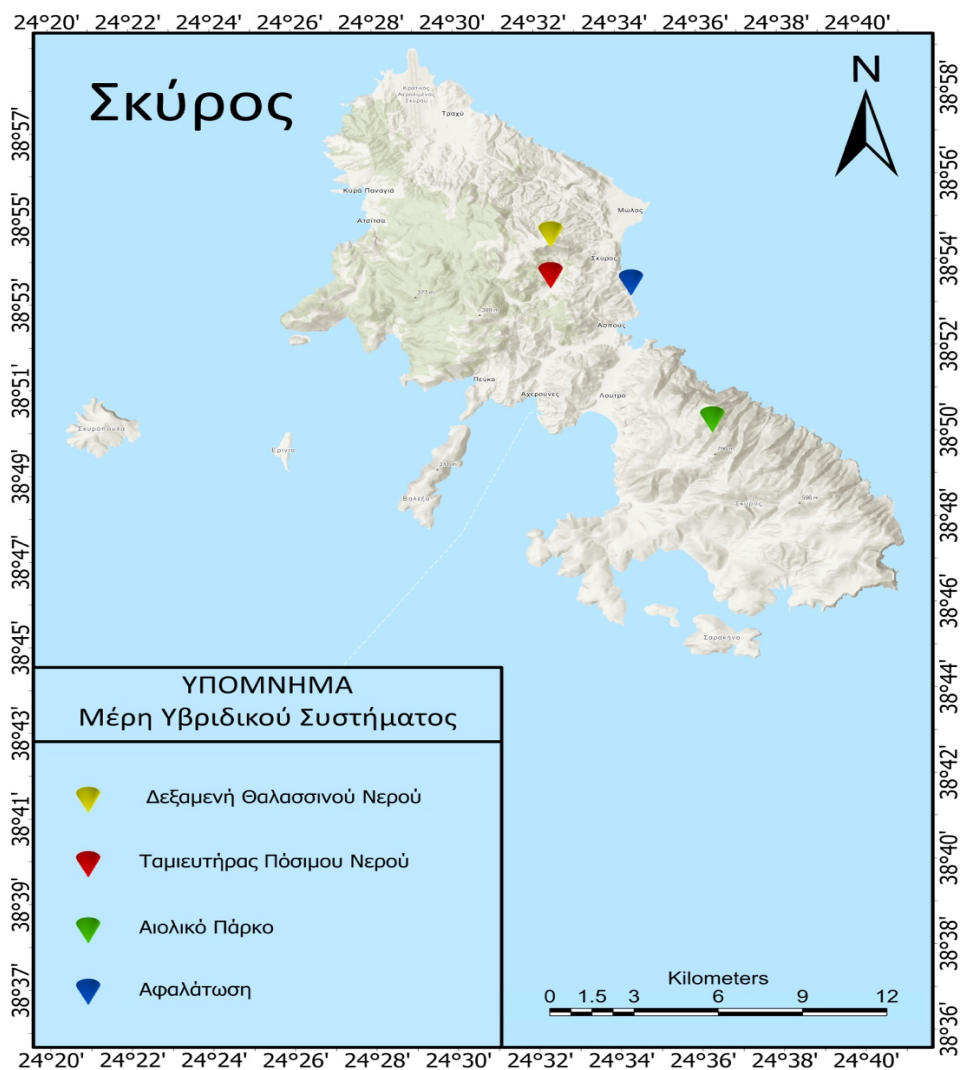
Πίνακας 4.19 - Σύγκριση διάφορων Όγκων Ρυθμιστικής Δεξαμενής

Επιλογή Όγκου Ρυθμιστικής Δεξαμενής						
Όγκος Δεξαμενής (m ³)	ΥΗΕ (MWh)	Αξιοπιστία ΥΗΕ	Έλλειμμα ΥΗΕ (MWh)	Άντληση (MWh)	Αξιοπιστία Άντλησης	Έλλειμμα Άντλησης (MWh)
300000	49891.2	18 %	212063.2	75313.3	60 %	50856
350000	52825.6	20 %	209128.8	79725	63 %	46444.3
400000	55431	21 %	206523.4	83681.3	66 %	42488

Με βάση τα αποτελέσματα της σύγκρισης, ο συνολικός όγκος που επιλέγεται για τη ρυθμιστική δεξαμενή είναι 350000 m³. Η επιλογή αυτή βασίζεται κυρίως στη σχέση όγκου-αξιοπιστίας. Παρατηρείται αύξηση 1 % στην αξιοπιστία, για αύξηση 50000 m³ όγκου δεξαμενής, η οποία δεν κρίνεται συμφέρουσα. Το κόστος για την κατασκευή της δεξαμενής όγκου 400000 m³ είναι αρκετά μεγάλο, ενώ τα οφέλη μικρά.

4.6 Προσομοίωση

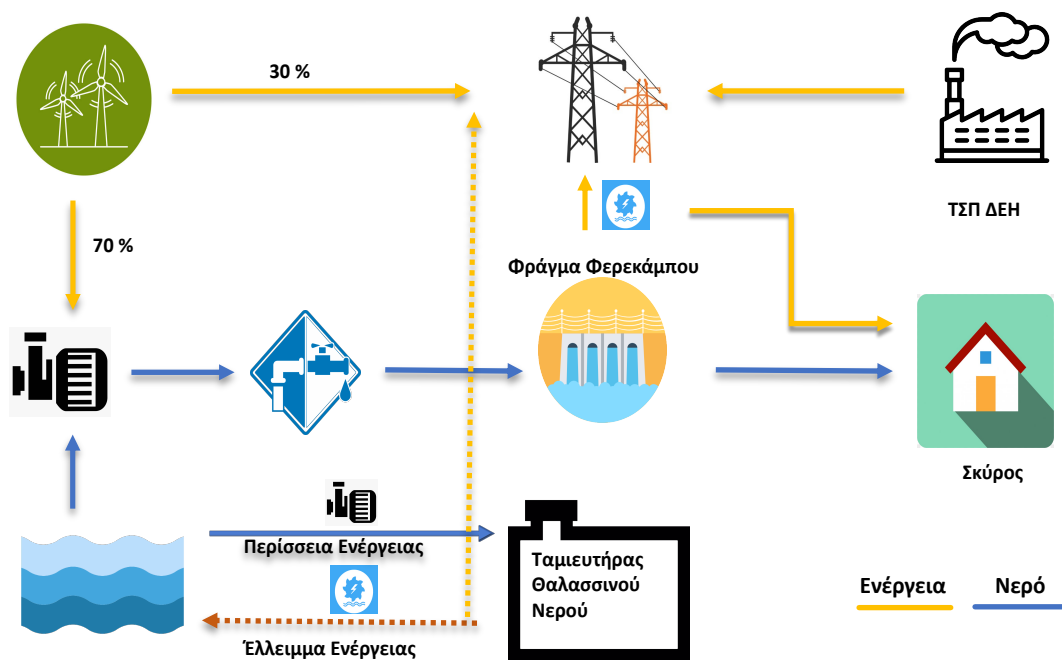
Για το υπό μελέτη ΥΣ, γίνεται προσομοίωση και εξέταση ενός σεναρίου λειτουργίας. Στόχος είναι η, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερη κάλυψη των υδατικών αναγκών του νησιού, δηλαδή της ύδρευσης και της άρδευσης, καθώς και ένα ικανοποιητικό ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Η λειτουργία του ΥΣ επιτρέπει τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα του νησιού, από τον οποίο εξαρτάται μέχρι και σήμερα η Σκύρος, χωρίς όμως να δημιουργείται πρόβλημα στην κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού. Επιπρόσθετα, μέσω της παραγωγής ενέργειας μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τον ΤΣΠ του νησιού, για τις οποίες η ΔΕΗ πληρώνει μεγάλες ρήτρες και κόμιστρα.



Σχήμα 4.17 - Χάρτης Προτεινόμενων Θέσεων Υβριδικού Συστήματος (Πηγή: ArcGIS Pro)

Η εύρυθμη λειτουργία του ΥΣ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αιολικό δυναμικό και, συνεπώς, την παραγωγικότητα του αιολικού πάρκου. Ξεκινώντας την πορεία της προσομοίωσης, το 30 % της παραγόμενης αιολικής ενέργειας διατίθεται απευθείας στο δίκτυο, ενώ το υπόλοιπο 70 % τροφοδοτεί την αφαλάτωση και στη συνέχεια την άντληση του θαλασσινού νερού στον ταμιευτήρα του. Ακολούθως, προσομοιώνεται η λειτουργία του ταμιευτήρα, ο οποίος θεωρείται γεμάτος κατά το ήμισυ στην αρχή της προσομοίωσης, δηλαδή έχει συνολικό όγκο 500000 m³. Κάθε ημέρα, εκτός από το νερό που ζητείται, εκταμιεύεται και η οικολογική παροχή κατάντη. Η παροχή αυτή θεωρείται σταθερή και ίση με 5 m³/d. Η θεώρηση αυτή δεν είναι ακριβής για όλες τις εποχές του χρόνου, παρόλα αυτά για τα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης θεωρείται αποδεκτή. Επίσης, για κάθε χρονικό βήμα, η λιμνοδεξαμενή δέχεται εισροές νερού λόγω βροχόπτωσης. Συγκεκριμένα, μέσω του προγράμματος ArcGIS, αναλύεται και υπολογίζεται η λεκάνη απορροής της λιμνοδεξαμενής στα 13.85 km². Με βάση την συνθετική χρονοσειρά βροχόπτωσης και το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, ο ταμιευτήρας δέχεται το (10 – 30) % της συνολικής βροχής στην επιφάνεια αυτή, για κάθε χρονικό βήμα. Η τιμή 10 % επιλέχθηκε λόγω της διαφοράς φάσης ανάμεσα στην βροχόπτωση και την απορροή στον ταμιευτήρα, αλλά και για την μελέτη ενός

δυσμενέστερου σεναρίου (συντηρητική τιμή). Σε κάθε βήμα, ικανοποιείται η υδρευτική ζήτηση κατά προτεραιότητα, ενώ ακολουθεί η αρδευτική ζήτηση. Το νερό που απαιτείται για τις δύο χρήσεις, διέρχεται από τον υδροστρόβιλο, παράγοντας ενέργεια. Αθροίζοντας το 30 % της αιολικής ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο, με το πιθανό υπόλοιπο του 70 % της αιολικής και την παραγωγή από το υδροηλεκτρικό έργο, υπολογίζεται το ποσοστό κάλυψης της ωριαίας ενεργειακής ζήτησης. Εάν προκύπτει περίσσεια ενέργειας, τίθεται σε λειτουργία η άντληση θαλασσινού νερού στη δεξαμενή θαλασσινού νερού, ώστε να αποθηκευτεί το περίσσειμα εκεί. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου παρατηρείται ενεργειακό έλλειμμα, ενεργοποιείται η αντίστροφη διαδικασία, με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από την δεξαμενή στη θάλασσα. Σε κάθε ωριαίο βήμα της λειτουργίας του ΥΣ, θεωρείται ότι ο ΤΣΠ της ΔΕΗ λειτουργεί σε δυναμικότητα έως 10 % της συνολικής ισχύος του, δηλαδή έως 720 kW. Ακόμη, επισημαίνεται ότι στα ωριαία βήματα που δεν καλύπτεται η ζήτηση της ενέργειας από το ενεργειακό μείγμα (Α/Γ, ΥΗΕ, 10 % ΔΕΗ), ο σταθμός καλύπτει τα ελλείμματα.



Το μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος λαμβάνει χώρα στο πρόγραμμα Microsoft Excel 365. Προσομοιώνεται το σύστημα σε ωριαίο βήμα και τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος είναι τα ακόλουθα:

- Χρονοσειρά υδρευτικής ζήτησης,
- Χρονοσειρά αρδευτικής ζήτησης,
- Χρονοσειρά ενεργειακής ζήτησης,
- Χρονοσειρά βροχόπτωσης,
- Χρονοσειρά παραγόμενης αιολικής ενέργειας,
- Χαρακτηριστικά διαστασιολόγησης για τους ΥΗ σταθμούς και την αφαλάτωση και

- Ενεργειακά υψόμετρα, χωρητικότητα ταμιευτήρων, συντελεστές μετατροπής ενέργειας.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Χρονοσειρά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας,
- Χρονοσειρά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές,
- Χρονοσειρά κάλυψης ελλείμματος από ΔΕΗ,
- Χρονοσειρά υδρευτικού νερού,
- Χρονοσειρά Αρδευτικού νερού,
- Αξιοπιστία για κάθε μέγεθος σε μηνιαία και ετήσια βάση

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Σενάριο Λειτουργίας

Στο σενάριο, μελετάται η λειτουργία του ΥΣ με προτεραιότητα την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του νησιού. Στη συνέχεια, ικανοποιείται η άρδευση και κάποιο ποσοστό της ενεργειακής ζήτησης. Συγκεκριμένα, η αρχή της προσομοίωσης είναι η παραγωγή αιολικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο στο όρος Κόχυλας, συνολικής ισχύος 6.1 MW. Το 30 % της παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης του νησιού, ενώ το υπόλοιπο 70 % κατευθύνεται προς τη μονάδα αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού και την μεταφορά του στη λιμνοδεξαμενή του Φερεκάμπου. Εάν προκύψει υπόλοιπο από αυτό το 70 %, τότε διοχετεύεται και αυτό στο δίκτυο.

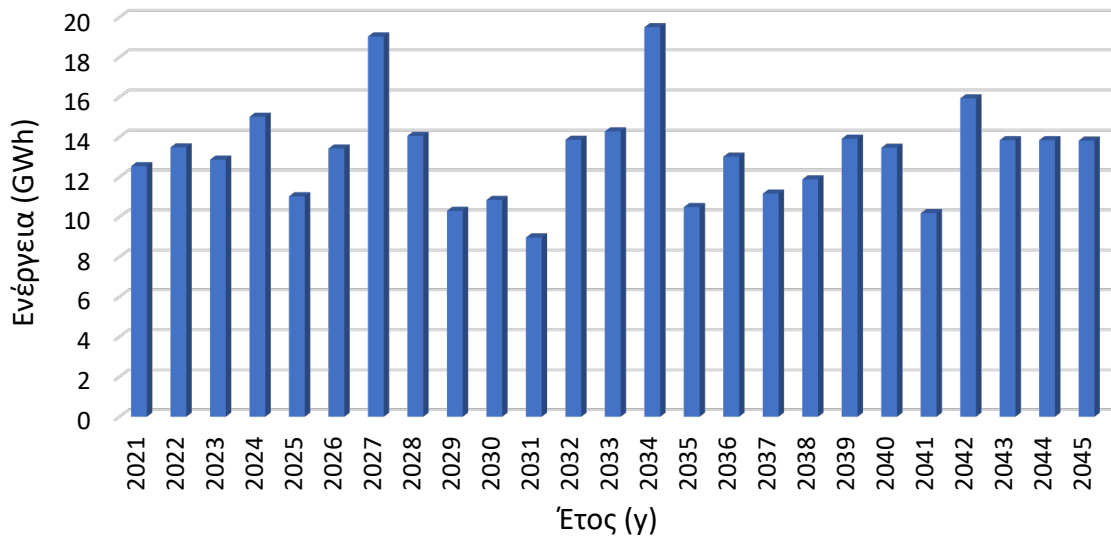
Η γενική ιδέα λειτουργίας του συστήματος είναι η μεταφορά στον ταμιευτήρα όσου νερού απαιτείται για την ικανοποίηση των υδατικών αναγκών της Σκύρου, σε κάθε χρονικό βήμα. Στη συνέχεια, ο ίδιος όγκος νερού διέρχεται μέσα από τους υδροστροβίλους, προτού διατεθεί στο δίκτυο ύδρευσης και άρδευσης. Έτσι, εκτός από τις υδατικές ανάγκες, καλύπτεται ένα μέρος της ενεργειακής ζήτησης, από τις Α/Γ και το ΥΗΕ. Τέλος, γίνεται ρύθμιση του ενεργειακού ελλείμματος ή της ενεργειακής περίσσειας μέσω της δεξαμενής θαλασσινού νερού. Η ρύθμιση επιτυγχάνεται με άντληση θαλασσινού νερού στη δεξαμενή στην περίπτωση της περίσσειας ενέργειας και με λειτουργία του ΥΗΕ στην περίπτωση ελλείμματος.

Συμπερασματικά, το σενάριο επιτυγχάνει το σκοπό του, ικανοποιώντας το σύνολο των υδατικών αναγκών, ενώ παράλληλα καταφέρνει να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια του νησιού.

5.2 Αποτελέσματα Σεναρίου

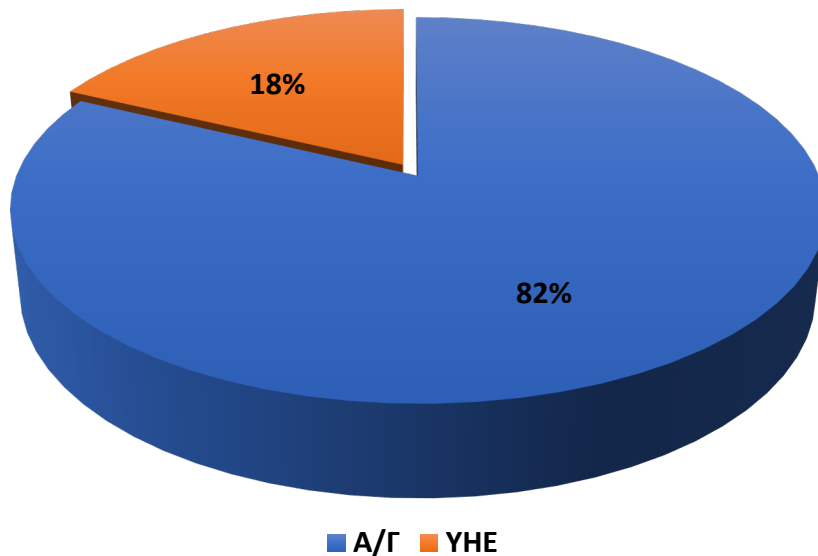
Στο σχήμα 5.1, παρουσιάζεται η ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες και το υδροηλεκτρικό έργο, για το σύνολο της ζωής του έργου. Η συνολική παραγωγή ανά έτος είναι σταθερά μεγαλύτερη από 8.5 GWh, με την μέγιστη ετήσια παραγωγή να ανέρχεται σε 19.505 GWh. Στο σχήμα 5.2, παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, της κάθε ανανεώσιμης μορφής ενέργειας. Είναι ξεκάθαρο, πως το αιολικό δυναμικό της Σκύρου είναι ικανό να προσφέρει πολύ μεγάλη παραγωγή ενέργειας, με το ποσοστό συμμετοχής στο υπό μελέτη σύστημα, να ανέρχεται στο 82 %. Μάλιστα, είναι πολύ ενθαρρυντικό, πως η παραγωγή αυτή δεν έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον του όρους Κόχυλα, από την στιγμή που χρησιμοποιούνται μόνο δύο Α/Γ.

Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από ΑΠΕ (GWh/γ)



Σχήμα 5.1 - Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας

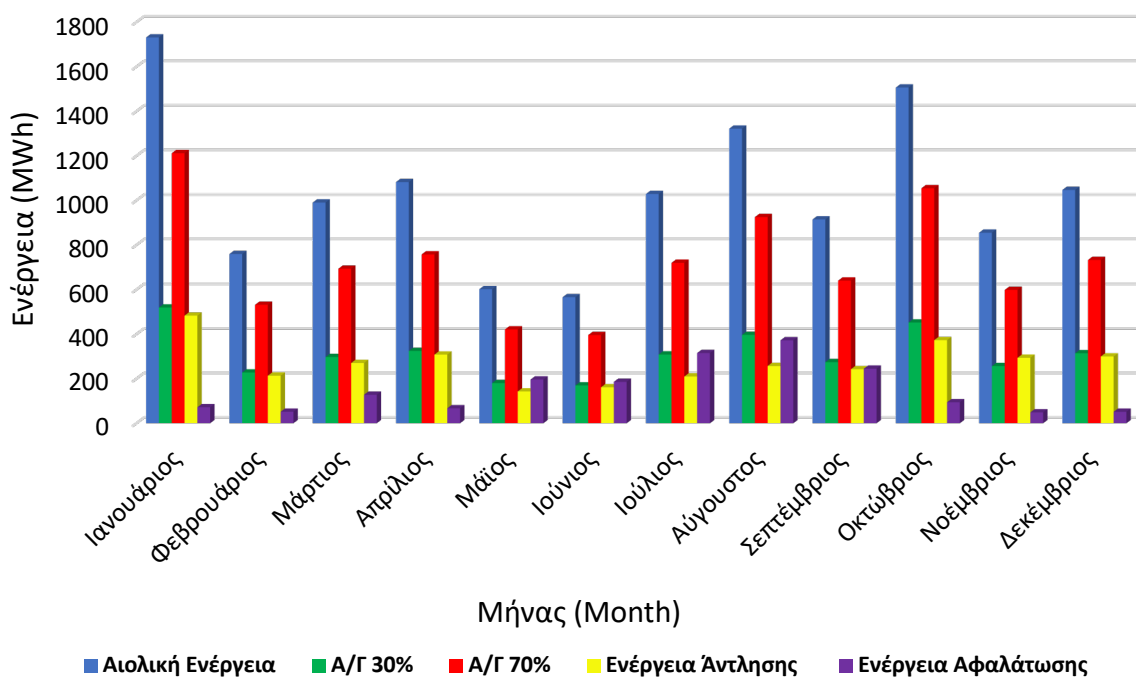
Ποσοστό Συμμετοχής στην Ενεργειακή Κάλυψη



Σχήμα 5.2 - Ποσοστό Συμμετοχής ΑΠΕ στην Ενεργειακή Κάλυψη

Στο σχήμα 5.3, παρουσιάζεται η διαχείριση της συνολικής μηνιαίας παραγωγής αιολικής ενέργειας για όλη τη διάρκεια της μελέτης (25 χρόνια). Είναι φανερό, πως το 70 % της αιολικής παραγωγής καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες αφαλάτωσης και άντλησης, ενώ πολλές φορές προκύπτει και υπόλοιπο, το οποίο διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης του νησιού.

Μηνιαία Διαχείριση Αιολικής Ενέργειας (MWh/month)



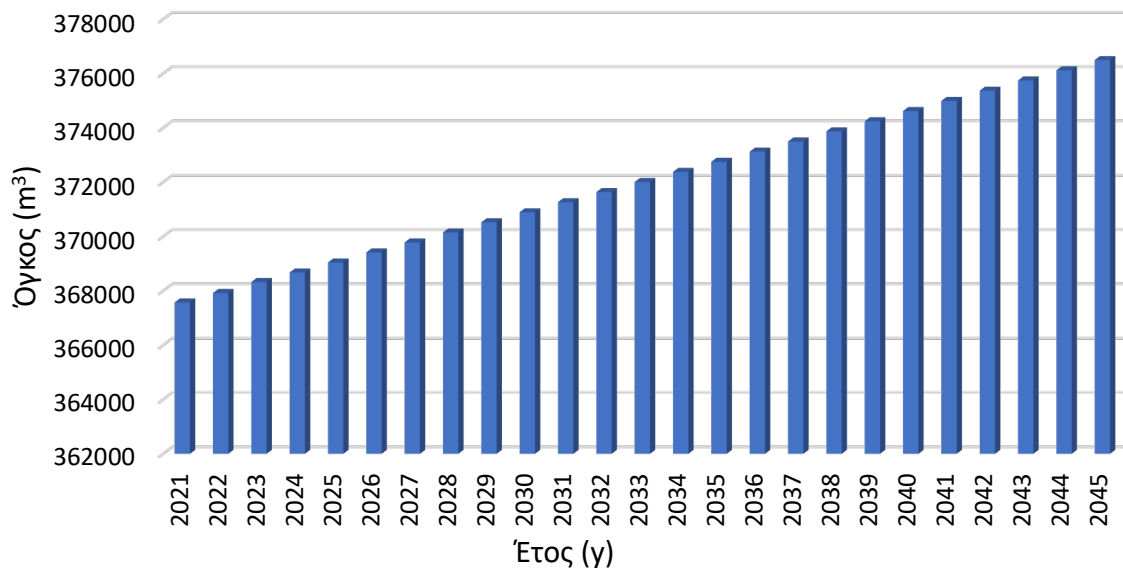
Σχήμα 5.3 - Διαχείριση Παραγόμενης Αιολικής Ενέργειας

Σκοπός της μελέτης, αποτελεί η κάλυψη των υδατικών αναγκών, η οποία επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο μέσω της αφαλάτωσης. Ο απαιτούμενος όγκος νερού, που αντλείται σε κάθε ωριαίο βήμα, δεν είναι σταθερός και υπολογίζεται σε κάθε βήμα της προσομοίωσης εκ νέου, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος και τον διαθέσιμο ωριαίο όγκο νερού. Ωστόσο, βασικός περιορισμός του μοντέλου αποτελεί η μέγιστη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, η οποία ανέρχεται στα 2000 m³/d. Από το σχήμα 5.3, προκύπτει πως η ενέργεια αφαλάτωσης είναι ανάλογη των απαιτούμενων υδατικών αναγκών, καθώς τους θερινούς μήνες η ενέργεια αφαλάτωσης λαμβάνει αυξημένες τιμές. Συμπληρωματικά, η ενέργεια που διοχετεύεται στην άντληση του νερού, παρουσιάζει διακύμανση αντίστοιχη με αυτήν της αιολικής ενέργειας που παράγεται. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, καθώς η δεξαμενή θαλασσινού νερού αντλεί την περίσσεια του ενεργειακού μείγματος, η οποία προέρχεται κατά κύριο λόγο από το αιολικό πάρκο. Από το σχήμα 4.16, φαίνεται πως η αιολική παραγωγή είναι η μεγαλύτερη για τον Ιανουάριο, άρα αναμενόμενο είναι να παρουσιάζεται τον ίδιο μήνα και η μεγαλύτερη τιμή της άντλησης.

Στην περίπτωση όπου το σύστημα δεν μπορεί να καλύψει το σύνολο των αναγκών ύδρευσης ή/και άρδευσης, το έλλειμμα καλύπτεται από την πηγή της Αναβάλλουσας, όπως ακριβώς και στην τωρινή κατάσταση. Αντίστοιχα, όταν δεν αρκεί η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ του ΥΣ για την κάλυψη της ζήτησης, το έλλειμμα καλύπτεται από τον ΤΣΠ της ΔΕΗ. Υπενθυμίζεται ότι ο σταθμός λειτουργεί για το σύστημα έως και στο 10 % της δυναμικότητας του. Στα σχήματα 5.4 και 5.5, παρουσιάζονται οι συνολικοί όγκοι νερού που παράγονται, ανά

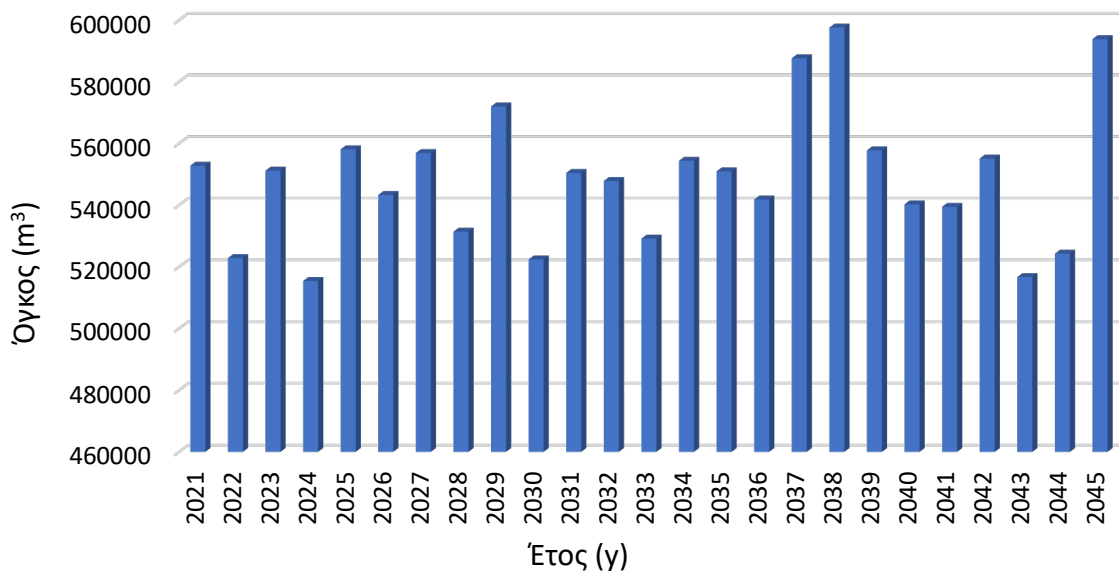
έτος και ανά μήνα, τόσο για την ύδρευση όσο και για την άρδευση. Σύμφωνα με το σχήμα 5.4, η παραγωγή του υδρευτικού νερού παρουσιάζει σταθερή αύξηση για κάθε έτος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην σταθερή ετήσια αύξηση του πληθυσμού, σύμφωνα με την οποία δημιουργήθηκε η χρονοσειρά αναγκών ύδρευσης.

Συνολική Ετήσια Παραγωγή Υδρευτικού Νερού (m³/γ)



Σχήμα 5.4 - Ετήσια Παραγωγή Υδρευτικού Νερού

Συνολική Ετήσια Παραγωγή Άρδευτικού Νερού (m³/γ)

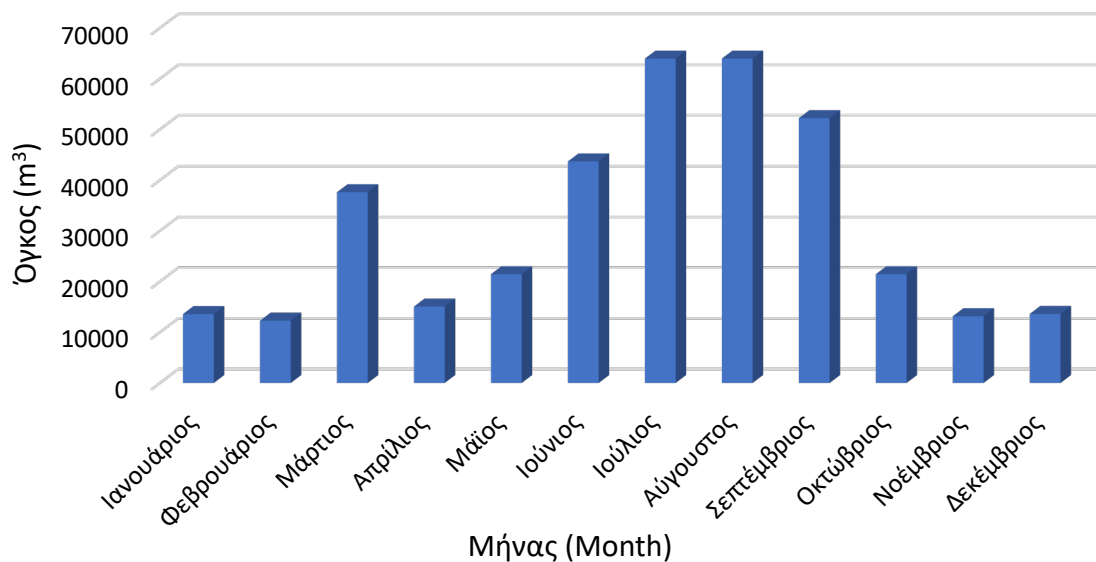


Σχήμα 5.5 - Ετήσια Παραγωγή Άρδευτικού Νερού

Η μηνιαία διακύμανση του υδρευτικού νερού στο δίκτυο ακολουθεί τις τιμές πληρότητας του συνολικού πληθυσμού για το νησί, για κάθε μήνα αντίστοιχα (Σχήματα 5.6, 5.7). Όπως

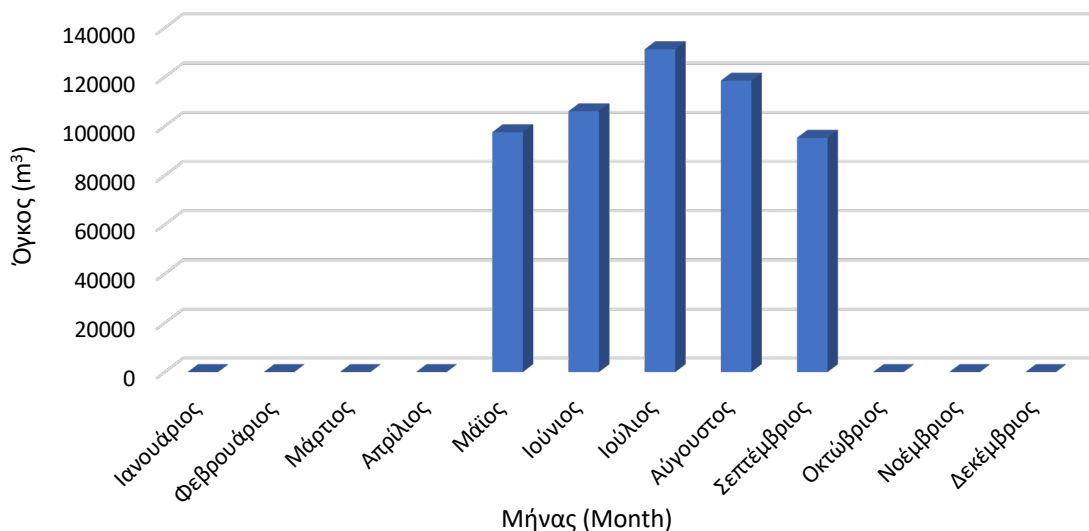
είναι λογικό, οι θερινοί μήνες παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη αύξηση στη ζήτηση, κυρίως λόγω του τουρισμού, αλλά και της αύξησης της ατομικής κατανάλωσης κατά 20 %, στις τιμές των υπόλοιπων μηνών (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης, 2015).

Μέση Μηνιαία Παραγωγή Υδρευτικού Νερού (m³/month)



Σχήμα 5.6 - Μηνιαία Παραγωγή Υδρευτικού Νερού

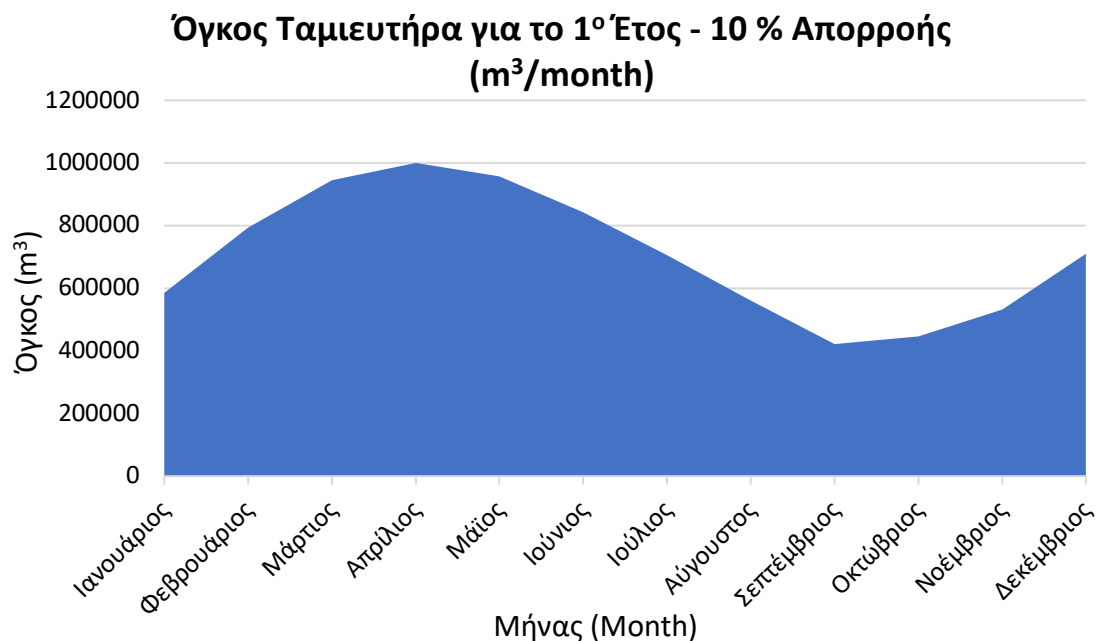
Μέση Μηνιαία Παραγωγή Αρδευτικού Νερού (m³/month)



Σχήμα 5.7 - Μηνιαία Παραγωγή Αρδευτικού Νερού

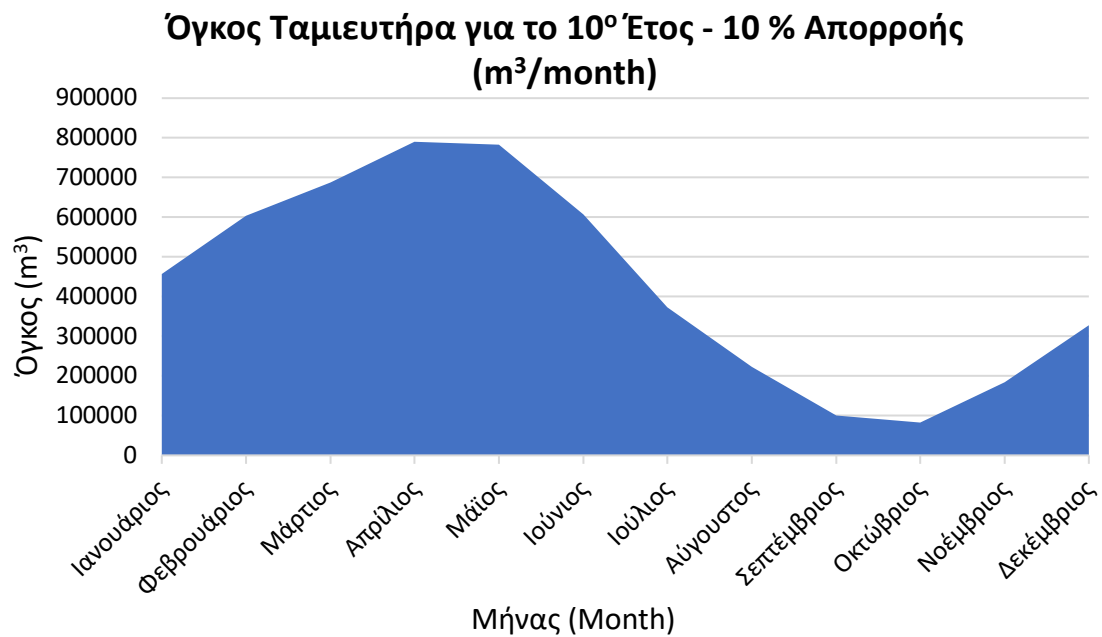
Ουσιαστικά, οι όγκοι ύδρευσης και άρδευσης αποθηκεύονται προσωρινά στον ταμιευτήρα, προτού διοχετευτούν στο δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών. Έτσι, δημιουργείται μια διακύμανση του όγκου μέσα στον ταμιευτήρα. Η μείωση αυτού του όγκου είναι αισθητή

τους θερινούς μήνες και μέχρι τον Σεπτέμβριο, όπου στο διάστημα αυτό, πραγματοποιείται το φαινόμενο της εξατμοδιαπνοής που οδηγεί στην αύξηση των αρδευτικών αναγκών. Ακόμη, λόγω της καλοκαιρινής τουριστικής περιόδου στο νησί, αυξάνεται αντίστοιχα και η υδρευτική κατανάλωση. Στα Σχήματα 5.8 έως 5.12, διαφαίνεται η μέση μηνιαία μεταβολή του όγκου του Φερεκάμπου για το πρώτο έτος, το 10^ο και το τελευταίο. Επιπλέον, λαμβάνει χώρα η σύγκριση των μέσων μηνιαίων μεταβολών του όγκου για τις τρεις διαφορετικές ποσοστιαίες τιμές των εισροών λόγω βροχόπτωσης, για το τελευταίο έτος. Υπενθυμίζεται, πως η μοναδική εισροή στη λιμνοδεξαμενή του Φερεκάμπου είναι η απορροή της βροχόπτωσης από την λεκάνη της. Λαμβάνονται τιμές από 10 % έως 30 % της βροχόπτωσης σε αυτό το εμβαδόν, στο πλαίσιο σύγκρισης της διακύμανσης του όγκου του ταμιευτήρα σε σχέση με την εισροή. Η προσομοίωση του συστήματος πραγματοποιείται για ποσοστό απορροής της βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα ίσο με 10 %, το οποίο αποτελεί το δυσμενέστερο σενάριο, αφού ο ταμιευτήρας δέχεται τον ελάχιστο όγκο νερού. Μια τέτοια θεώρηση, είναι υπέρ της ασφαλείας για την προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα .

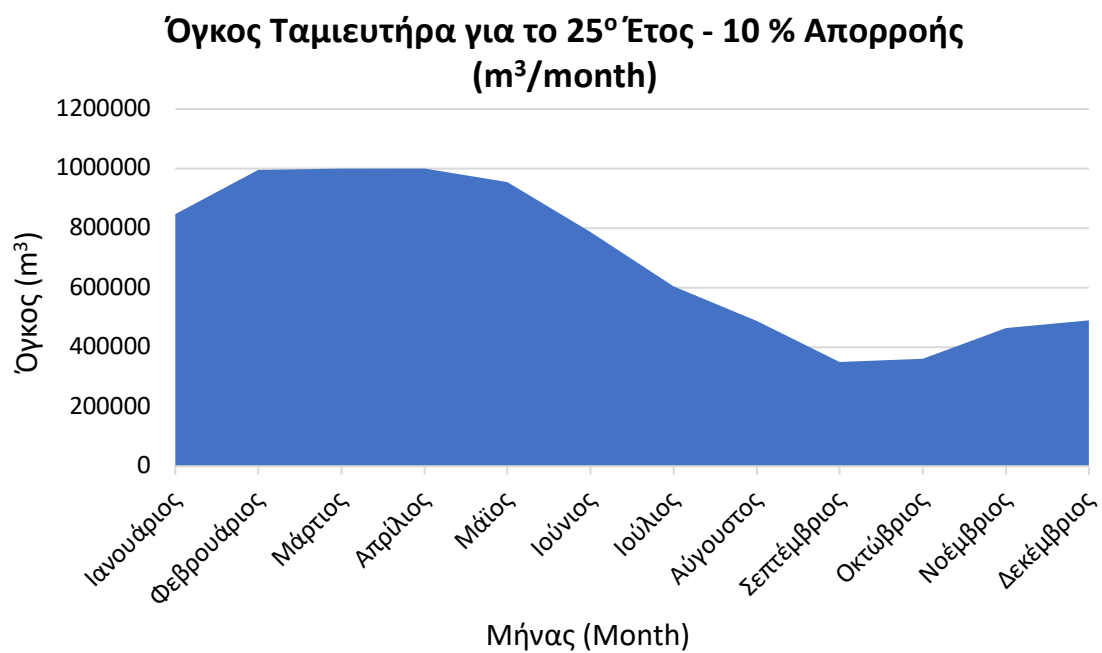


Σχήμα 5.8 - Όγκος Ταμιευτήρα Φερεκάμπου - 1^ο έτος, 10 % συντελεστής απορροής

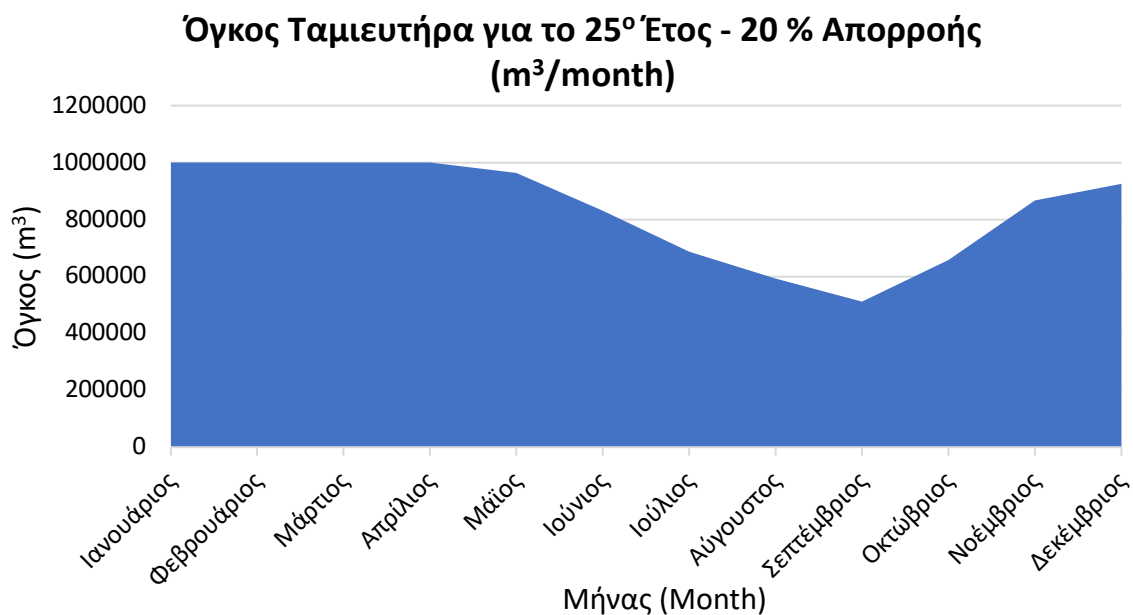
Όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.8 έως 5.10, ο όγκος κυμαίνεται κυρίως σε τιμές μεγαλύτερες από την τιμή της χωρητικότητας του (500.000 m³), ενώ δεν κινδυνεύει ποτέ να στερέψει. Ακόμη και για το 10^ο έτος (2030) η μείωση του όγκου, αν και είναι αρκετά αισθητή κατά την διάρκεια όλου του έτους, δεν καταφέρνει να ρίξει τον διαθέσιμο όγκο κάτω από τα 100000 m³. Η μείωση αυτή, οφείλεται στην μεγαλύτερη αρδευτική παραγωγή νερού όλης της μελέτης, κατά το προηγούμενο έτος 2029.



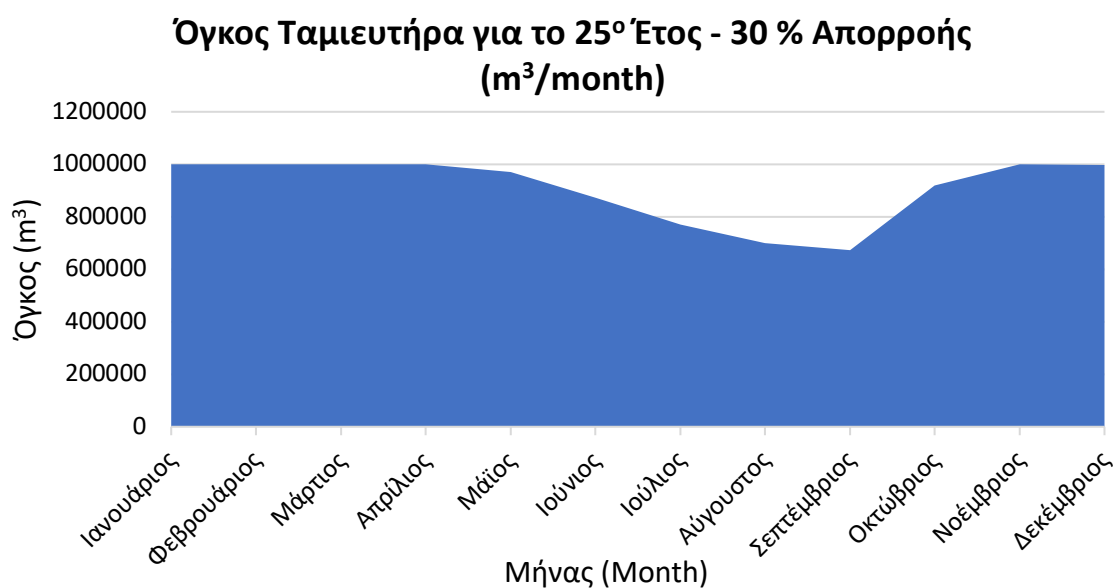
Σχήμα 5.9 - Όγκος Ταμιευτήρα Φερεκάμπου - 10^ο έτος, 10 % συντελεστής απορροής



Σχήμα 5.10 - Όγκος Ταμιευτήρα Φερεκάμπου - 25^ο έτος, 10 % συντελεστής απορροής



Σχήμα 5.11 - Όγκος Ταμιευτήρα Φερεκάμπου - 25^ο έτος, 20 % συντελεστής απορροής



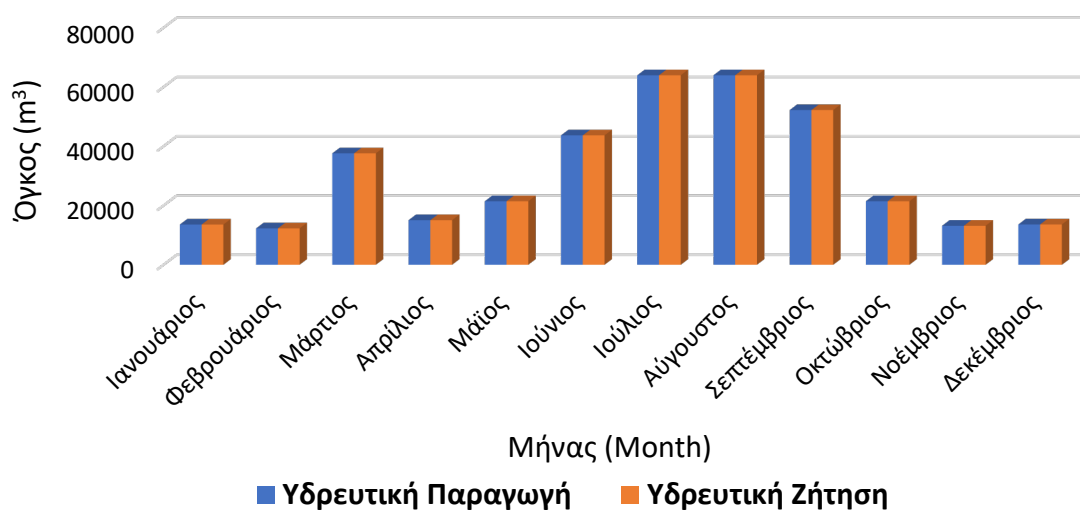
Σχήμα 5.12 - Όγκος Ταμιευτήρα Φερεκάμπου - 25^ο έτος, 30 % συντελεστής απορροής

Η σύγκριση ανάμεσα στους τρεις συντελεστές απορροής της βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα, δείχνει ξεκάθαρα πως για μεγαλύτερες εισροές ο ταμιευτήρας διατηρείται σχεδόν γεμάτος για όλη την διάρκεια του έτους. Το συμπέρασμα αυτό, αποτελεί την μοναδική διαφορά που δημιουργείται από την εναλλαγή των συντελεστών στο μοντέλο λειτουργίας. Μάλιστα, αρκετά αισιόδοξο είναι το γεγονός πως για συντελεστή απορροής 10 %, ο ταμιευτήρας καταφέρνει να φέρει εις πέρας τον σκοπό του συστήματος, δηλαδή την ικανοποίηση των υδατικών αναγκών. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, θεωρείται ορθό, να ληφθεί ο εν λόγω

συντελεστής ίσος με 10 %, ώστε να υπάρχει σαφής εικόνα για τις δυσμενέστερες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

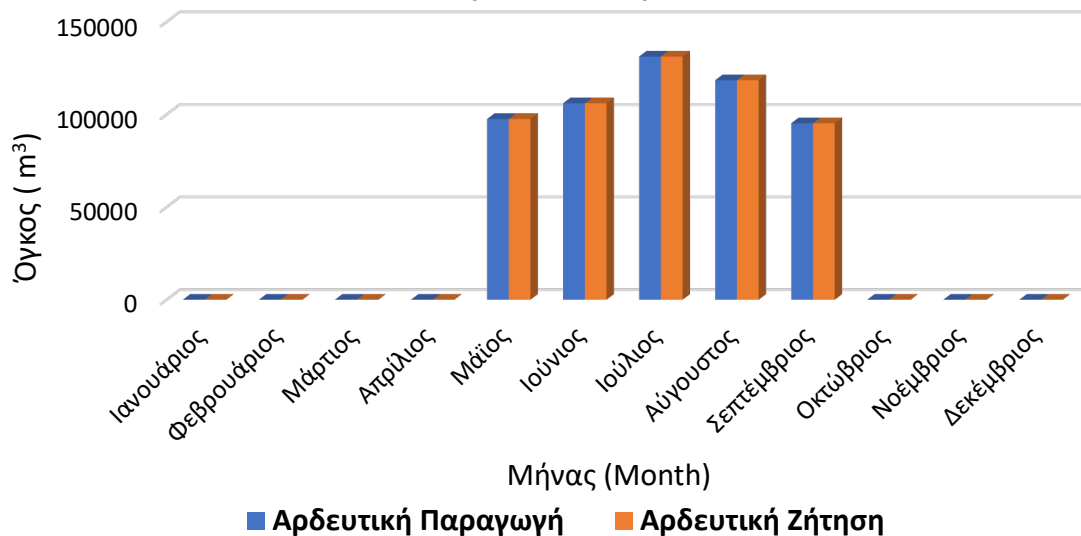
Ακολουθώντας την πορεία της προσομοίωσης, στα σχήματα 5.13 και 5.14 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία παραγωγή νερού, για ύδρευση και άρδευση, σε σχέση με την ζήτηση. Όπως φαίνεται, η λειτουργία του ταμιευτήρα του Φερεκάμπου καταφέρνει να ικανοποιεί κάθε μήνα, όλες τις καταναλώσεις νερού, για όλη την διάρκεια ζωής του έργου.

Μέση Μηνιαία Παραγωγή - Ζήτηση Υδρευτικού Νερού (m³/month)



Σχήμα 5.13 - Σύγκριση Παραγωγής - Ζήτησης Υδρευτικού Νερού

Μέση Μηνιαία Παραγωγή - Ζήτηση Αρδευτικού Νερού (m³/month)

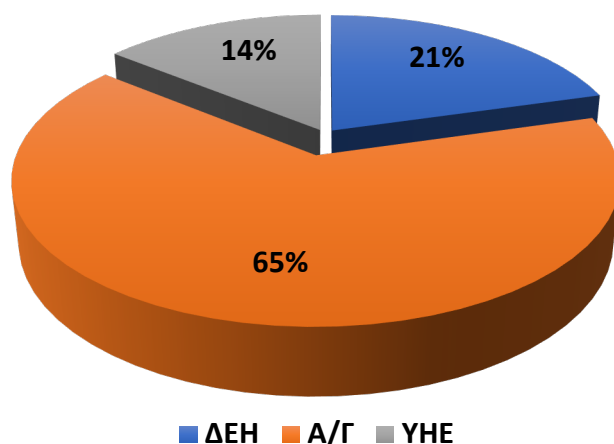


Σχήμα 5.14 - Σύγκριση Παραγωγής - Ζήτησης Αρδευτικού Νερού

Είναι πλέον σαφές πως το σενάριο το οποίο μελετάται επιτυγχάνει πλήρως τον πρωτεύον στόχο του, αφού η αξιοπιστία τόσο της ύδρευσης όσο και της άρδευσης αγγίζει το 99,9 % για όλη την διάρκεια ζωής του έργου. Η επιτυχία του σεναρίου προκύπτει τόσο από τον μεγάλο όγκο της λιμνοδεξαμενής του Φερεκάμπου, αλλά και από την αφαλάτωση και άντληση του θαλασσινού νερού σε αυτόν. Το αποτέλεσμα αυτό είναι μια μεγάλη επιτυχία για την παρούσα μελέτη, καθώς η Σκύρος αποτελεί ένα νησί, το οποίο μέχρι τώρα είναι πλήρως εξαρτημένο από τους φυσικούς του υδατικούς πόρους. Πλέον, η λειτουργία του ΥΣ ανεξαρτητοποιεί πλήρως τους κατοίκους του νησιού από τα αποθέματα των πηγών και παράλληλα δίνει την ευκαιρία στους υδατικούς πόρους να εμπλουτιστούν.

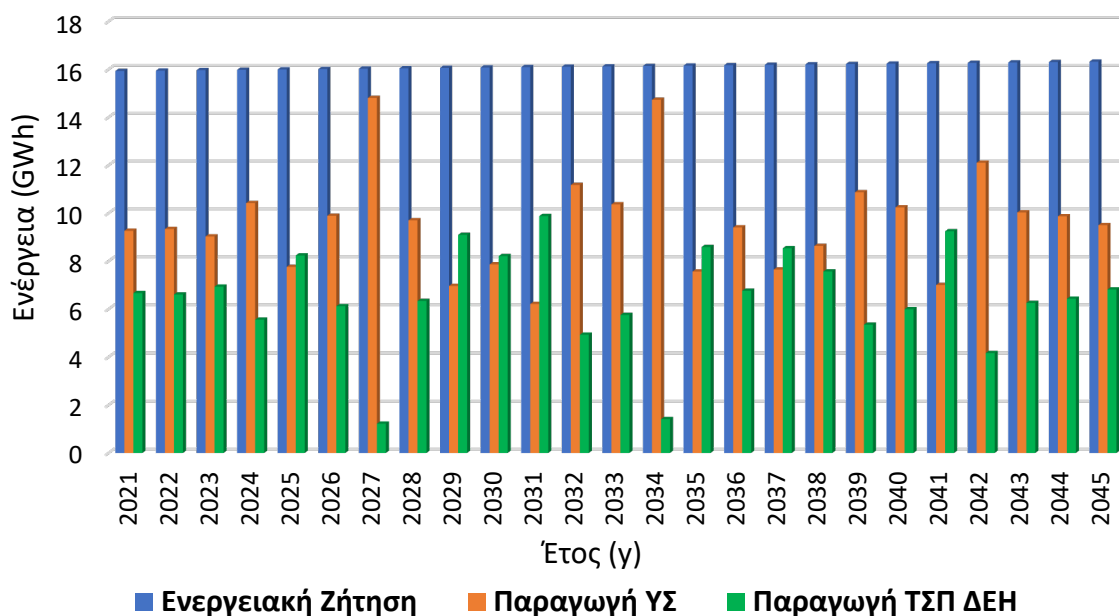
Όσον αφορά στην ενέργεια, η απόκριση του συστήματος παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον. Στο παρόν σενάριο, παράγεται ενέργεια από το αιολικό πάρκο και από το ΥΗΕ. Στην πορεία της προσομοίωσης, ενέργεια καταναλώνεται για την άντληση και αφαλάτωση του θαλασσινού νερού προς τον ταμιευτήρα και για την άντληση της τυχούσας περίσσειας ενέργειας στη δεξαμενή θαλασσινού νερού. Στους υδροστροβίλους κατάντη του φράγματος του Φερεκάμπου, η ενέργεια που παράγεται προέρχεται από τον όγκο του νερού που αντιστοιχεί στην κάλυψη της ύδρευσης και της άρδευσης, ενώ στο ΥΗΕ κατάντη της δεξαμενής θαλασσινού νερού παράγεται όση ενέργεια χρειάζεται για να καλύψει το τυχόν έλλειμμα. Βέβαια, η διάταξη αυτή δεν πετυχαίνει πάντοτε το σκοπό της στο μέγιστο. Το νησί διαθέτει ΤΣΠ της ΔΕΗ, ο οποίος δεν παύει τη λειτουργία του. Ο σταθμός χρησιμοποιείται στο ΥΣ σε ποσοστό που φτάνει μέχρι και το 10 % της δυναμικότητας του, δηλαδή σε μέγιστη ισχύ 720 kW. Στην περίπτωση που το αιολικό πάρκο, τα δύο ΥΗΕ και το 10 % του ΤΣΠ δεν αρκούν για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, τότε ο ΤΣΠ καλύπτει το έλλειμμα. Στο Σχήμα 5.15, φαίνεται το ποσοστό κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης από ΑΠΕ και από τον ΤΣΠ της ΔΕΗ για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Είναι και πάλι φανερό, πως το αιολικό πάρκο συγκεντρώνει την μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή, ξεπερνώντας το 60 % της συνολικής ζήτησης για όλη τη διάρκεια της μελέτης. Επίσης, το ποσοστό κάλυψης της ενέργειας από τα δύο ΥΗΕ μπορεί να φαίνεται αμελητέο, όμως στην πραγματικότητα το 14 % της συμμετοχής των υδροηλεκτρικών σταθμών γλιτώνει από τη ΔΕΗ τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), για τους οποίους σε διαφορετική περίπτωση πληρώνει κόμιστρα. Τέλος, το ποσοστό συμμετοχής της ΔΕΗ στο ενεργειακό μείγμα εξασφαλίζει την ύπαρξη μιας ενεργειακής σταθεράς στο σύστημα.

Ποσοστό Κάλυψης της Ενεργειακής Ζήτησης (%)



Σχήμα 5.15 - Ποσοστό Κάλυψης της Ενεργειακής Ζήτησης

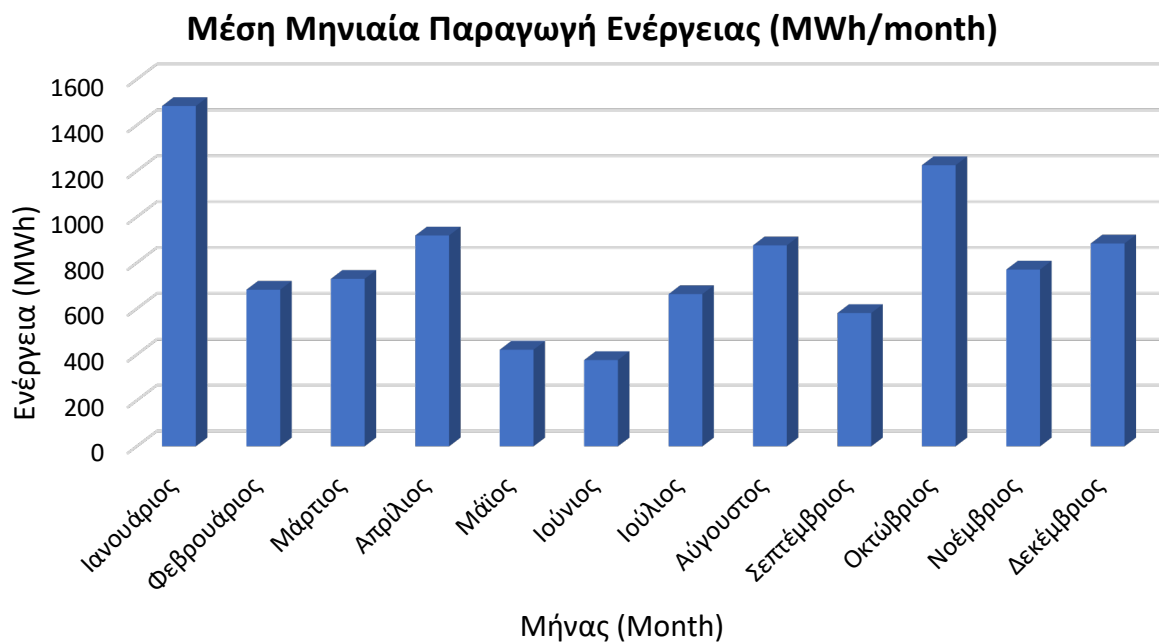
Ετήσια Ζήτηση - Παραγωγή ΥΣ - Παραγωγή ΤΣΠ ΔΕΗ (GWh/y)



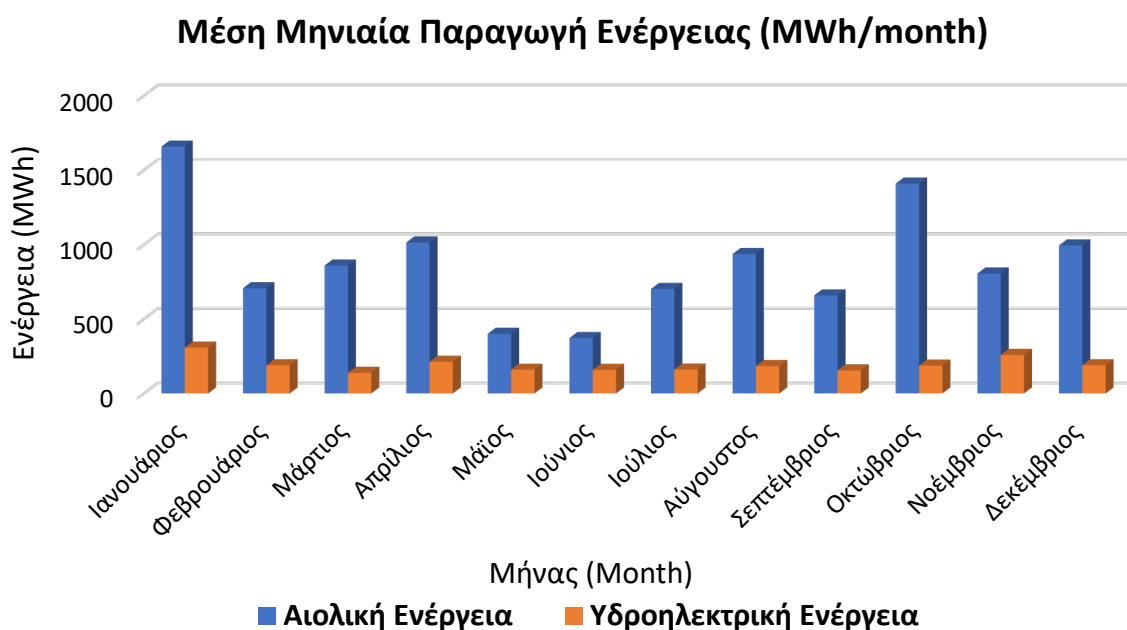
Σχήμα 5.16 - Συνολική Ενεργειακή Ζήτηση - Παραγωγή ΥΣ, ΤΣΠ

Στο σχήμα 5.16, παρουσιάζεται η συνολική ενεργειακή ζήτηση σε σχέση με την παραγωγή από το ΥΣ και την παραγωγή από τον ΤΣΠ της ΔΕΗ. Αξιοσημείωτη είναι η παραγωγή του ΥΣ κατά το 7^ο και 14^ο έτος από την λειτουργία του συστήματος, όπου ικανοποιούν σχεδόν όλη την ζήτηση. Ταυτόχρονα, παρατηρείται η σταθερή ετήσια αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, γεγονός που αιτιολογείται από την ετήσια αύξηση του πληθυσμού, σύμφωνα με την οποία δημιουργείται η ενεργειακή χρονοσειρά.

Στο σχήμα 5.17, παρουσιάζεται η μέση μηνιαία παραγωγή ενέργειας από τη λειτουργία του ΥΣ, ενώ στο σχήμα 5.18 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία παραγωγή από το αιολικό πάρκο και από το ΥΗΕ. Είναι φανερό, πως η συντριπτική πλειοψηφία της ενεργειακής παραγωγής προέρχεται από τις Α/Γ, γεγονός που επιβεβαιώνει την σημασία του αιολικού δυναμικού του νησιού, στην εύρυθμη και αποτελεσματική λειτουργία του ΥΣ.

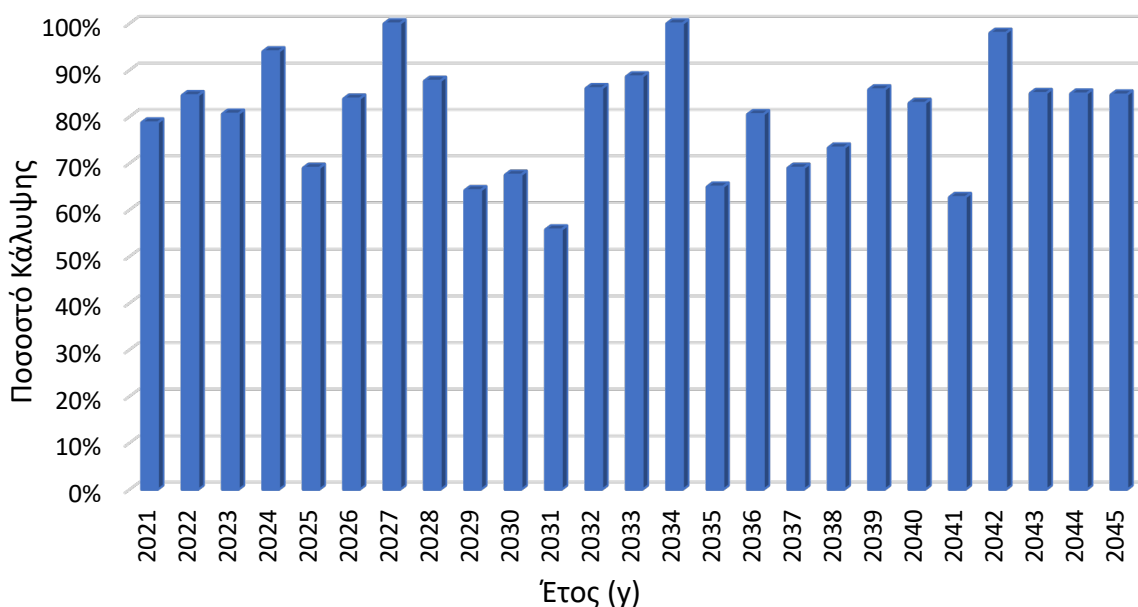


Σχήμα 5.17 - Μέση Μηνιαία Παραγωγή Ενέργειας



Σχήμα 5.18 - Μέση Μηνιαία Παραγωγή Ενέργεια από Α/Γ και ΥΗΕ

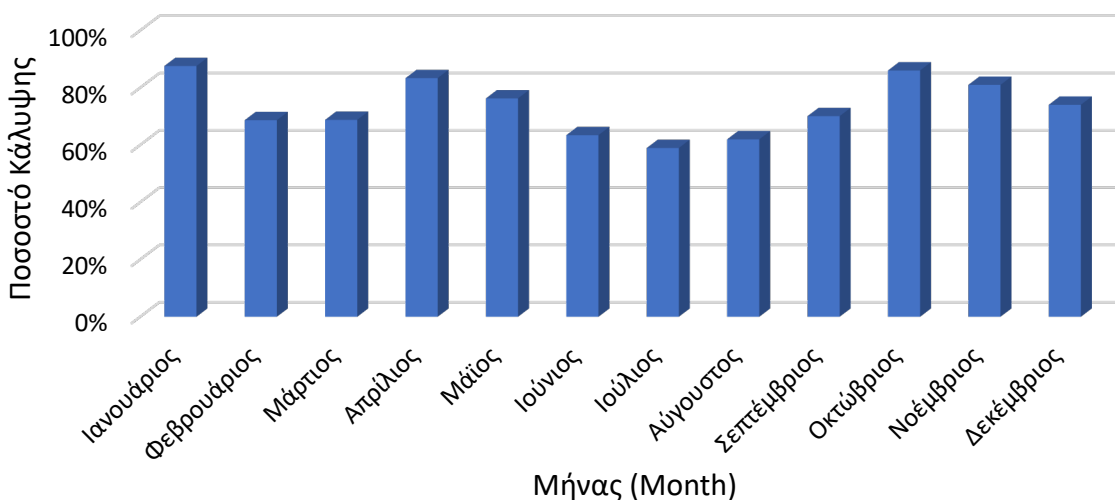
Μέση Ετήσια Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών από το ΥΣ (%)



Σχήμα 5.19 - Μέση Ετήσια Κάλυψη Ενεργειακής Ζήτησης

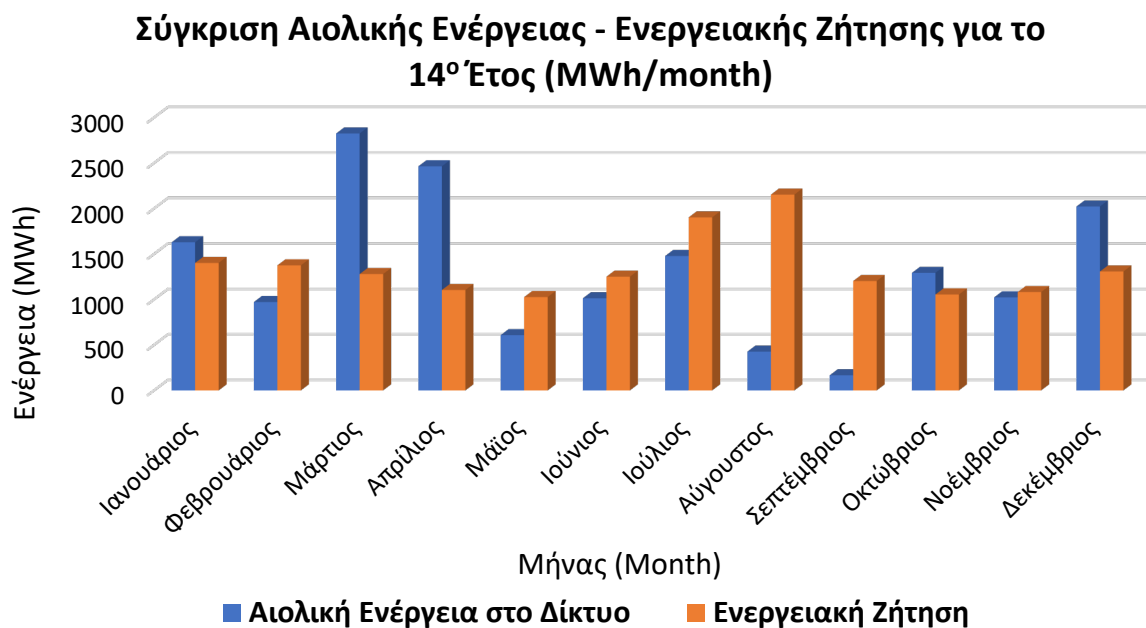
Το ποσοστό της μέσης ετήσιας κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης από την παραγωγή ενέργειας από το ΥΣ φαίνεται στο σχήμα 5.19. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται σε τιμές άνω του 60 %, με εξαίρεση το 11^ο έτος και φαίνεται να παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στο έτος 2034 (99.99 %). Το μεγάλο ποσοστό κάλυψης οφείλεται κυρίως στην υψηλή παραγόμενη αιολική ενέργεια του συγκεκριμένου έτους. Αντίθετα, τα έτη με τα μικρότερα ποσοστά κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης από το ΥΣ, αντιστοιχούν σε χαμηλές τιμές παραγωγής αιολικής ενέργειας. Διακρίνεται, λοιπόν και πάλι, η ευαισθησία του συστήματος στη λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Μέση Μηνιαία Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών από το ΥΣ (%)



Σχήμα 5.20 - Μέση Ετήσια Κάλυψη Ενεργειακής Ζήτησης

Στο σχήμα 234, παρουσιάζεται το αντίστοιχο ποσοστό της μέσης μηνιαίας κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων από τη λειτουργία του ΥΣ. Όπως είναι λογικό, το ποσοστό μειώνεται κατά τους θερινούς μήνες. Για το μήνα Ιανουάριο, όπου η αιολική παραγωγή είναι υψηλότερη από κάθε άλλο μήνα σύμφωνα με το διάγραμμα 5.17, το μέσο ποσοστό κάλυψης είναι αντίστοιχα το υψηλότερο (87.57 %). Είναι και σε επίπεδο μήνα, φανερό η ευαισθησία του συστήματος στη λειτουργία του αιολικού πάρκου.



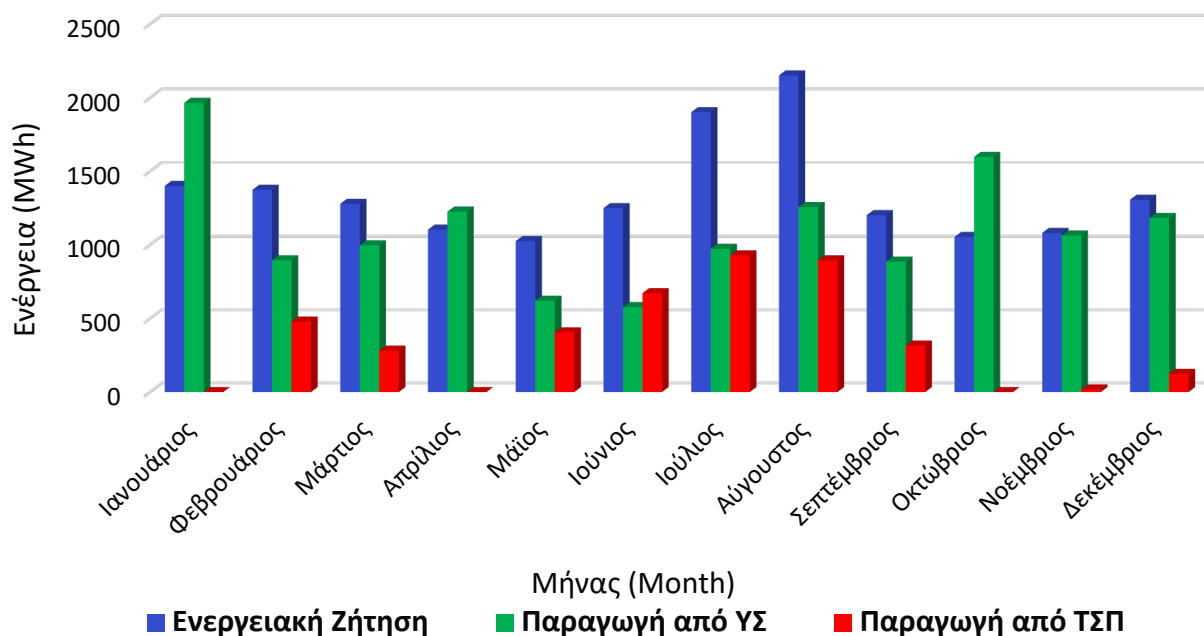
Σχήμα 5.21 - Σύγκριση Αιολικής Παραγωγής - Συνολικής Ζήτησης για το 14^ο έτος

Στο σχήμα 5.21, φαίνονται οι μηνιαίες τιμές παροχής αιολικής ενέργειας στο δίκτυο σε σχέση με την μηνιαία ζήτηση για το 14^ο έτος της προσομοίωσης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, πως για το συγκεκριμένο έτος, η αιολική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο είναι μεγαλύτερη από την ενεργειακή ζήτηση σε 5 μήνες. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι, για τους εν λόγω μήνες, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί το ΥΗΕ του φράγματος του Φερεκάμπου, παρά μόνο η λειτουργία της άντλησης της περίσσειας ενέργειας στη δεξαμενή θαλασσινού νερού, ώστε να αποθηκευτεί για τους ελλειμματικούς μήνες. Στον πίνακα 5.1, παρουσιάζεται η κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης από το σύστημα για κάθε Ιανουάριο, όλης της διάρκειας ζωής του έργου. Το μεγάλο ποσοστό της ενεργειακής κάλυψης για τον συγκεκριμένο μήνα, αιτιολογείται από την πολύ υψηλή μέση μηνιαία παραγωγή αιολικής ενέργειας τον ίδιο μήνα.

Πίνακας 5.1 - Κάλυψη Ενεργειακής Ζήτησης από ΥΣ - Ιανουάριος

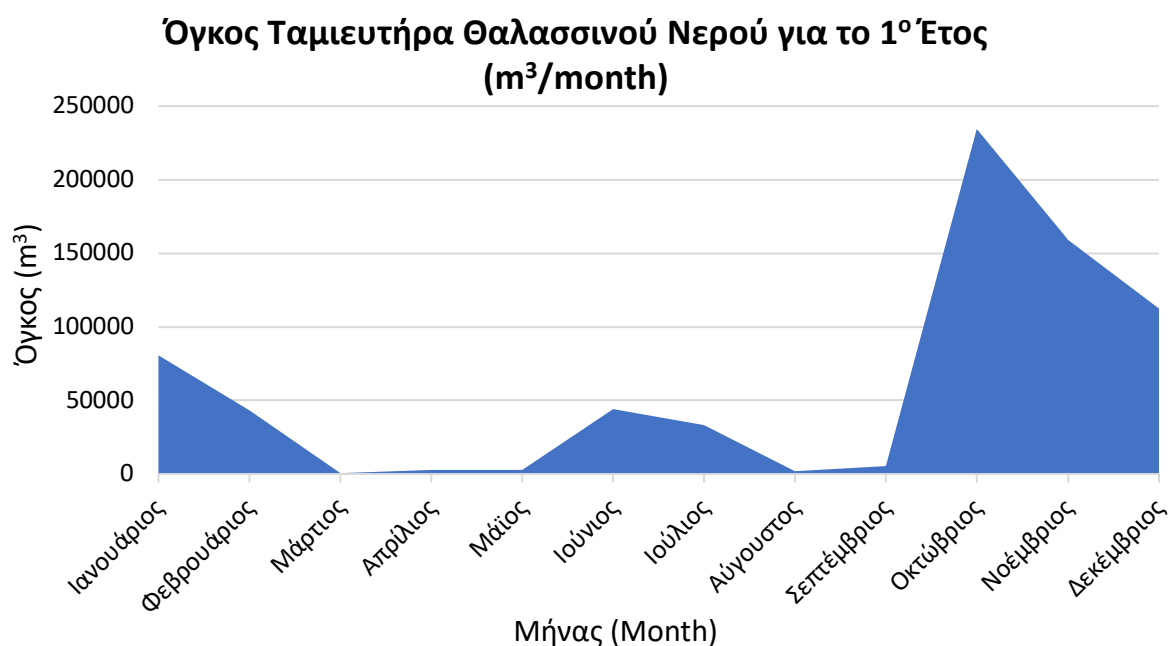
Ποσοστό Κάλυψης Ενεργειακών Αναγκών Ιανουαρίου από το ΥΣ (%)			
2021	83.75 %	2034	95.38 %
2022	97.29 %	2035	73.26 %
2023	87.86 %	2036	99.51 %
2024	90.43 %	2037	84.23 %
2025	64.22 %	2038	86.39 %
2026	91.09 %	2039	77.61 %
2027	99.00 %	2040	73.35 %
2028	99.51 %	2041	79.63 %
2029	90.85 %	2042	97.20 %
2030	79.56 %	2043	85.97 %
2031	79.07 %	2044	94.15 %
2032	93.49 %	2045	85.42 %
2033	99.00 %		

Μέση Μηνιαία Ζήτηση - Παραγωγή ΥΣ - Παραγωγή ΤΣΠ (MWh)

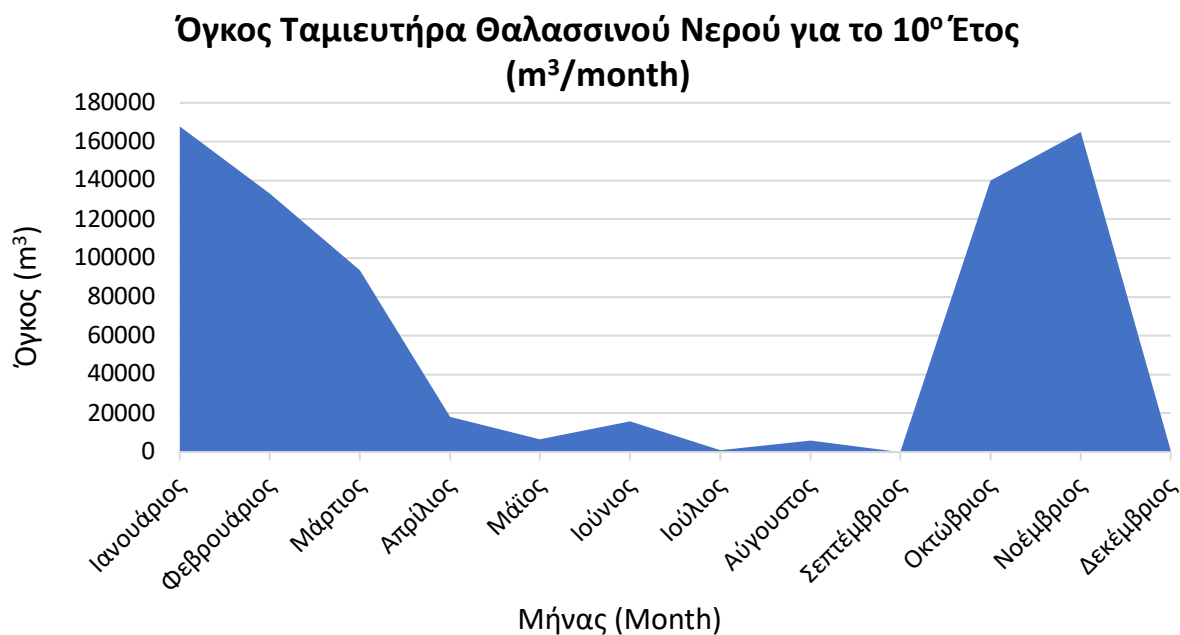


Σχήμα 5.22 - Μέση Μηνιαία Ζήτηση - Παραγωγή ΥΣ, ΤΣΠ

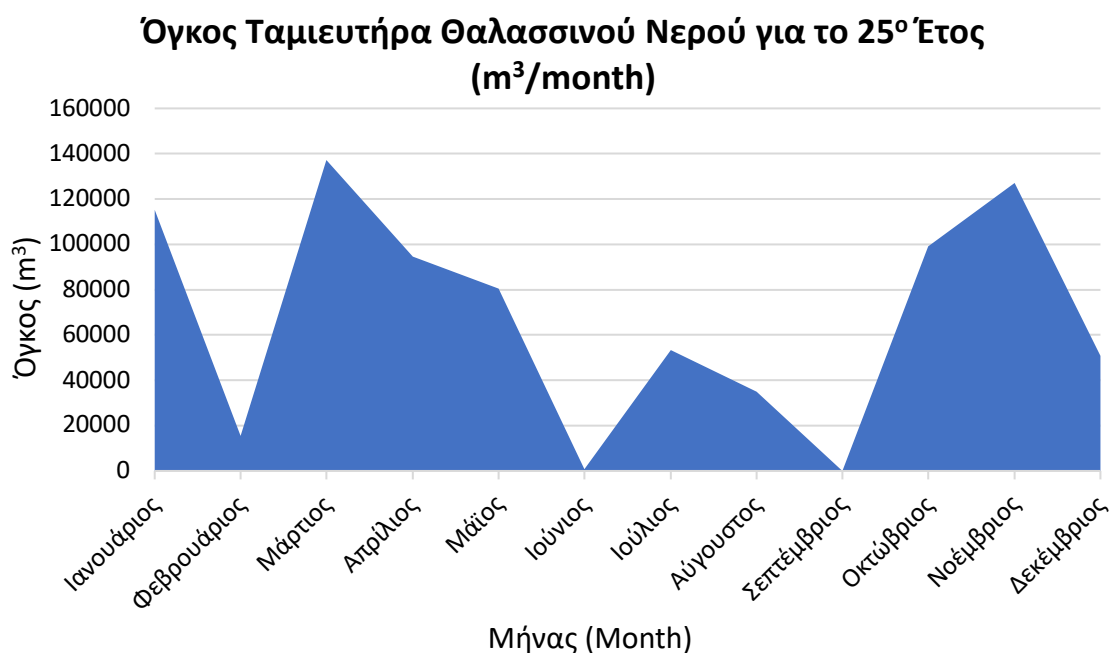
Στο σχήμα 5.22, παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ζήτηση ενέργειας σε σχέση με την κάλυψη της, τόσο από τις ΑΠΕ του συστήματος, όσο και από τον ΤΣΠ της ΔΕΗ. Όπως είναι λογικό, κατά τους θερινούς μήνες η συμμετοχή του τοπικού σταθμού στην κάλυψη των αναγκών παρουσιάζει αύξηση, με αποκορύφωμα τον μήνα Αύγουστο. Φυσικά, το φαινόμενο αυτό εξηγείται από την άνοδο της ζήτησης λόγω του τουρισμού, την οποία δεν μπορεί να καλύψει το ΥΣ. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται και πάλι, περίοδοι κατά τις οποίες η παραγωγή του ΥΣ είναι μεγαλύτερη από την ενεργειακή ζήτηση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η δεξαμενή θαλασσινού νερού εξισώνει το ενεργειακό ισοζύγιο, αντλώντας νερό. Τα σχήματα 5.21 και 5.22, αποδεικνύουν τον κομβικό ρόλο της συγκεκριμένης ρυθμιστικής δεξαμενής. Χωρίς τη δεξαμενή, αντιμετωπίζεται σοβαρό πρόβλημα, από την απώλεια της περισσευούμενης ενέργειας, η οποία καλύπτει μελλοντικά ελλείμματα, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες.



Σχήμα 5.23 - Όγκος Ταμιευτήρα Θαλασσινού Νερού - 1^ο έτος



Σχήμα 5.24 - Όγκος Ταμιευτήρα Θαλασσινού Νερού - 10^ο έτος



Σχήμα 5.25 - Όγκος Ταμιευτήρα Θαλασσινού Νερού - 25^ο έτος

Στα σχήματα 5.23, 5.34 και 5.25, παρουσιάζεται ο όγκος του ταμιευτήρα θαλασσινού νερού για το 1^ο, 10^ο και τελευταίο έτος της προσομοίωσης. Στα σχήματα αυτά, είναι ξεκάθαρο πως υπάρχει μεγάλη διακύμανση στον όγκο της δεξαμενής, γεγονός πολύ θετικό, καθώς η διακύμανση αυτή επιβεβαιώνει τον υψηλό βαθμό απόκρισης της δεξαμενής, τόσο στα ελλείμματα, όσο και στις περίσσειες ενέργειας. Καθίσταται απολύτως σαφές λοιπόν, πως ο ταμιευτήρας θαλασσινού νερού, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του ΥΣ, αποτελώντας τη ρυθμιστική μεταβλητή για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος.

Αρκετό ενδιαφέρον, παρουσιάζουν οι σχέσεις αλληλεπίδρασης νερού – ενέργειας – τροφής, που αναπτύσσονται ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2. Ο όρος “Water for Energy”, αναφέρεται στον συνολικό απαιτούμενο όγκο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος, δηλαδή το νερό που διοχετεύεται στα δύο ΥΗΕ. Ο όρος “Energy for Water”, αναφέρεται στην απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή υδρευτικού νερού, δηλαδή στην ενέργεια άντλησης και αφαλάτωσης. Τέλος, ο όρος “Water for Food”, αναφέρεται στον απαιτούμενο όγκο αρδευτικού νερού για την παραγωγή τροφίμων. Για την παραγωγή υδρευτικού νερού, διατίθεται σταθερά, ενέργεια πάνω από 1450 MWh, ενώ για την παραγωγή ενέργειας ο αντίστοιχος όγκος νερού είναι της τάξεως των 4000000 m³, με ελάχιστη τιμή για το 12^ο έτος προσομοίωσης, 3500000 m³ περίπου.

Πίνακας 5.2 - Αλληλεπιδράσεις Ενέργειας - Νερού - Τροφής

Έτος	Water for Energy (m3)	Energy for Water (MWh)	Water for Food (m3)
2021	4246528,4	1705,2	552781,8
2022	5176575,1	2012,6	522834,7
2023	4840350,1	1876,2	551179,4
2024	5545756,9	2159,3	515392,3
2025	4174462,8	1976,4	558102,7
2026	4729784,9	1448,0	543299,8
2027	5228683,8	2158,5	556888,8
2028	5065082,2	1920,7	531379,5
2029	4614750,3	1972,5	571986,7
2030	4123440,7	1454,0	522402,0
2031	3757135,3	1596,0	550430,1
2032	3569389,4	1636,8	547833,1
2033	4714373,4	2018,3	529138,5
2034	5929402,9	2276,7	554391,0
2035	3693012,1	2095,2	550957,4
2036	4958349,3	1755,8	541826,2
2037	4555670,1	1866,9	587601,7
2038	3941929,0	1684,0	597560,9
2039	4115485,4	1801,0	557758,4
2040	4280311,1	2236,6	540247,9
2041	4125292,3	1743,5	539440,3
2042	4904628,2	1703,6	555084,6
2043	4539867,5	1799,1	516655,1
2044	5314467,3	1907,7	524272,3
2045	5404373,4	1958,3	593803,0

5.3 Ανάλυση Κόστους – Οφέλους

Στην ενότητα αυτή, γίνεται προσπάθεια για τον προσδιορισμό του τυχόντος κέρδους στο υπό μελέτη ΥΣ. Για το λόγο αυτό, λαμβάνει χώρα ανάλυση κόστους – οφέλους για το σύνολο του κύκλου ζωής του έργου.

5.3.1 Οικονομικές Έννοιες

Ως κεφάλαιο ορίζεται το οικονομικό αγαθό, εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες, το οποίο έχει την ικανότητα να παράγει άλλα αγαθά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αποτελεί το απαιτούμενο χρηματικό ποσό, έως την έναρξη λειτουργίας όλου του έργου.

Ο τόκος είναι η απόδοση (αύξηση) του κεφαλαίου για μία χρονική περίοδο.

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

Ως χρηματοροή (cash flow) ορίζεται το χρηματικό ποσό που εισέρχεται ή εξέρχεται από μία οικονομική μονάδα (επιχείρηση) μία χρονική στιγμή. Τα έσοδα αποτελούν τις θετικές χρηματοροές και τα έξοδα τις αρνητικές, ενώ η διαφορά τους αποτελεί τις καθαρές χρηματοροές.

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

$$\text{ΚΠΑ} = \left[\sum_{\tau=1}^n \frac{\text{ΚΤΡ}_{\tau}}{(1+\epsilon)^{\tau}} \right] - E_0 \quad (5.1)$$

όπου,

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

ϵ : το επιτόκιο προεξόφλησης,

n : η διάρκεια ζωής του έργου σε έτη και

E_0 : η αρχική επένδυση

Ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR) είναι δείκτης ο οποίος μετράει την απόδοση μιας επένδυσης. Εκφράζει το επιτόκιο προεξόφλησης (ϵ), στο οποίο η Καθαρή Παρούσα Αξία μηδενίζεται. Υπολογίζεται από την επίλυση της εξίσωσης (5.2):

$$\text{ΚΠΑ} = 0 = \left[\sum_{\tau=1}^n \frac{\text{ΚΤΡ}_{\tau}}{(1+\text{IRR})^{\tau}} \right] - E_0 \quad (5.2)$$

Το επιτόκιο προεξόφλησης ενσωματώνει το ρίσκο που αναλαμβάνει ένας επενδυτής προκειμένου να πραγματοποιήσει ένα έργο. Συγκεκριμένα:

- Αν $\text{IRR} > \epsilon$, τότε η απόδοση της επένδυσης είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση εγκρίνεται, καθώς είναι οικονομικά βιώσιμη.
- Αν $\text{IRR} < \epsilon$, τότε η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση απορρίπτεται, γιατί είναι ασύμφορη.

- Αν $IRR = \varepsilon$, τότε η επένδυση είναι οριακή και ενδεχομένως να μην αποφέρει κέρδη.

Οι αποσβέσεις αντιπροσωπεύουν τη σταδιακή μείωση της αξίας των πάγιων περιουσιακών στοιχείων μιας επένδυσης, λόγω φθοράς ή τεχνολογικής απαξίωσης, και θεωρητικά επιτρέπουν τη σταδιακή ανάκτηση του κόστους αγοράς των παγίων και την αντικατάστασή του μετά το τέλος της ζωής τους. Οι συντελεστές απόσβεσης διαφέρουν ανάλογα με το είδος του πάγιου στοιχείου, ενώ για στοιχεία με μικρό χρόνο ζωής παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων του κάθε στοιχείου, πρέπει να είναι γνωστά το αρχικό κόστος επένδυσης, ο χρήσιμος χρόνος ζωής και η υπολειμματική του αξία. Στην πράξη, χρησιμοποιείται ένας σταθερός συντελεστής απόσβεσης, στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Δηλαδή, ο συντελεστής απόσβεσης είναι σταθερός κάθε χρόνο και ο υπολογισμός του γίνεται πάντοτε με βάση της αρχική αξία του πάγιου περιουσιακού στοιχείου (<https://www.euretirio.com/aposvesi-depreciation/>). Όταν μια επιχείρηση δικαιούται να αποσβέσει ένα ποσό σε κάποιο οικονομικό έτος (καθορίζεται νομοθετικά), τότε το ουσιαστικό της κέρδος δεν είναι το ποσό αυτό αλλά το γινόμενο αυτού με το φορολογικό συντελεστή που χρησιμοποιείται για την φορολόγηση των κερδών της. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τον ισολογισμό, το ποσό της απόσβεσης αφαιρείται από τα καθαρά κέρδη, και αφού αυτά φορολογηθούν, προστίθεται ξανά στο ενεργητικό της (Μπέρτσιου, 2016).

Το συνολικό κόστος μιας επένδυσης σπάνια, αν όχι ποτέ, καλύπτεται αποκλειστικά από κεφάλαια του επενδυτή (ίδια κεφάλαια). Στην πραγματικότητα, ο επενδυτής αναζητά και άλλες πηγές χρηματοδότησης, όπως επιχορηγήσεις, στην περίπτωση που υπάρχει για τη συγκεκριμένη επένδυση και για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή τέτοια δυνατότητα, ή δάνεια από πιστωτικά ιδρύματα (ξένα ή δανειακά κεφάλαια). Το κεφάλαιο αυτό, επιστρέφεται σταδιακά με την αμοιβή του δανειστή. Με τη διαδικασία του δανεισμού, σχετίζονται η έννοια του χρεολυσίου, που είναι η επιστροφή του κεφαλαίου, και ο τόκος που υπολογίζεται βάσει του επιτοκίου δανεισμού και του προς αποπληρωμή κεφαλαίου και ουσιαστικά είναι η αμοιβή του κεφαλαίου. Η μέθοδος αποπληρωμής ενός δανείου γίνεται είτε με σταθερό χρεολύσιο ή με σταθερό τοκοχρεολύσιο, που αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο. Ο υπολογισμός του τοκοχρεολυσίου γίνεται μέσω της σχέσης (5.3):

$$T. \Delta. = \left[\varepsilon \times (1 + \varepsilon)^v / ((1 + \varepsilon)^v - 1) \right] \times K \quad (5.3)$$

όπου,

T.Δ.: η τοκοχρεωλυτική δόση,

ε : το επιτόκιο δανεισμού,

v: περίοδοι αποπληρωμής του δανεισμού (αριθμός δόσεων) και

K: το κεφάλαιο δανεισμού.

5.3.2 Εκτίμηση Συνολικού Κόστους Κατασκευής Έργου

Η Σκύρος διαθέτει ένα μέρος των απαραίτητων στοιχείων του ΥΣ. Συγκεκριμένα, βρίσκεται σε λειτουργία το φράγμα του Φερεκάμπου, χωρητικότητας 1000000 m³. Για όλες τις υπόλοιπες απαραίτητες υποδομές, γίνεται εκτίμηση κόστους, με βάση έρευνα κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αντίστοιχων έργων (Μ. Bertsiou, 2016). Σύμφωνα με τον πίνακα 5.3 και την υφιστάμενη κατάσταση του νησιού, γίνεται εκτίμηση που αφορά τις μονάδες άντλησης, αφαλάτωσης και την κατασκευή του αιολικού πάρκου, της ρυθμιστικής δεξαμενής και των υδροηλεκτρικών σταθμών.

Πίνακας 5.3 - Εκτίμηση Συνολικού Κόστους Κατασκευής Έργου

Πίνακας Εκτιμώμενων Δαπανών Προμήθειας και Εγκατάστασης Εξοπλισμού για το Υβριδικό Σύστημα Σκύρου		
A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπανών
1	Δαπάνες Μελετών-Επιβλέψεων-Αδειοδοτήσεων	
	Αρχιτεκτονική & Η/Μ μελέτες, Αδειοδότηση, Επιβλέψεις	125.000 €
2	Μονάδα αφαλάτωσης	900.000 €
3	Αντλιοστάσιο	
	Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	400.000 €
4	Δεξαμενές	
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	1.500.000 €
5	Υδροστρόβιλος	
	Πλήρης εξοπλισμός υδροστρόβιλου (υδροστρόβιλος, μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης)	1.500.000 €
	Αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	1.000.000 €
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	40.000 €
6	Ανεμογεννήτριες	
	Πλήρης εξοπλισμός ανεμογεννητριών Enercon E - 101 3500 kW (μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης, γερανοί ανέγερσης)	5.000.000 €
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	70.000 €
	Εκπαίδευση προσωπικού	15.000 €
	Σύνολο	10.550.000 €
	ΦΠΑ (24 %)	2.532.000 €
	Σύνολο με ΦΠΑ	13.082.000 €

5.3.3 Εκτίμηση Ετήσιων Δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης του Υβριδικού Συστήματος
 Στον πίνακα 5.4, παρουσιάζονται οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος για κάθε έτος. Οι δαπάνες αυτές, αφορούν όλα τα στοιχεία λειτουργίας του έργου, από τις ανεμογεννήτριες και τους αγωγούς μεταφοράς, έως και την αμοιβή του προσωπικού. Οι τιμές του Πίνακα 5.4, προκύπτουν από εκτίμηση των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης αντίστοιχων έργων.

Πίνακας 5.4 - Εκτίμηση Ετήσιων Δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης

Πίνακας Εκτιμώμενων Δαπανών Ετήσιας Λειτουργίας και Συντήρησης για το Υβριδικό Έργο στη Σκύρο		
A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπανών
1	Δαπάνες Διοίκησης – Διαχείρισης Έργου	
	Αμοιβή προσωπικού διαχείρισης	125.000 €
2	Μονάδα Αφαλάτωσης	
	Συντήρηση μονάδας, χημικής λειτουργίας και καθαρισμού, αντικατάσταση μεμβρανών	20.000 €
	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια	50.000 €
3	Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	
	Συντήρηση του εξοπλισμού, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	2.000 €
4	Δεξαμενές	
	Συντήρηση, αναλώσιμα	2.000 €
5	Υδροστρόβιλος	
	Συντήρηση μονάδας, αναλώσιμα	8.000 €
6	Ανεμογεννήτριες	
	Συντήρηση μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	6.000 €
	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια	40.000 €
	Σύνολο	253.000 €
	ΦΠΑ (24%)	60.720 €
	Σύνολο με ΦΠΑ	313.720 €

5.3.4 Αξιολόγηση Επένδυσης

Για να αξιολογηθεί σωστά η επένδυση για το έργο που μελετάται, είναι απαραίτητο να οριστεί ο χρονικός του ορίζοντα. Ως χρονικός ορίζοντας του έργου λαμβάνεται η διάρκεια ζωής του έργου για την οποία προσομοιώνεται, δηλαδή τα 25 έτη. Το συνολικό ύψος της επένδυσης ανέρχεται στα 13082000 €. Το ποσό αυτό επιχορηγείται κατά 40 % από το επιχειρησιακό πρόγραμμα για την προώθηση των ΑΠΕ στα νησιά. Επιπλέον, λαμβάνεται τραπεζικό δάνειο για το 50 % του συνολικού ποσού επένδυσης, δηλαδή για 6541000 €, ενώ η ίδια συμμετοχή ανέρχεται στο 10 %, ήτοι 1308200 €. Όσον αφορά στο δανεισμό,

εφαρμόζεται η μέθοδος των ισοτοκοχρεολυσίων για περίοδο αποπληρωμής ίση με 10 έτη. Συνεπώς, το τοκοχρεολύσιο υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση τάδε, στα 952932 €.

Για κάθε έτος, υπολογίζονται αρχικά τα συνολικά έσοδα του έργου, τα οποία προκύπτουν από την πώληση υδρευτικού και αρδευτικού νερού, καθώς και ηλεκτρικής ενέργειας. Στην συνέχεια, υπολογίζονται τα έξοδα, τα οποία στην προκειμένη περίπτωση προκύπτουν μόνο από την αγορά του ελλείμματος ενέργειας από τη ΔΕΗ. Στην περίπτωση που υπάρχει υδατικό έλλειμμα, τότε αυτό αγοράζεται από την υπηρεσία ύδρευσης ή άρδευσης του Δήμου Σκύρου. Με βάση την προσομοίωση του συστήματος, δεν προκύπτουν τέτοια ελλείμματα, οπότε ως έξοδο λαμβάνεται μόνο η αγορά του ενεργειακού ελλείμματος. Η τιμή πώλησης ενέργειας, σύμφωνα με το θεσμικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ ([Νόμος 3468/2006](#)) ορίζεται στα 0.0875 €/kWh, ενώ η τιμή αγοράς από τον ΤΣΠ της Σκύρου ανέρχεται στα 0.1625 €/kWh. Αντίστοιχα, η τιμή πώλησης αφαλατωμένου νερού κυμαίνεται μεταξύ 0.24 και 2.00 €/m³ (Αγγελάκης, 2015). Από τα έσοδα αυτά, επιβάλλεται 35 % φορολογία επί των καθαρών κερδών, δηλαδή μετά από αφαίρεση για κάθε έτος των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης, της απόσβεσης και των τόκων (Λεμονής, 2020)



Σχήμα 5.26 - Διάρθρωση Αποπληρωμής Επένδυσης

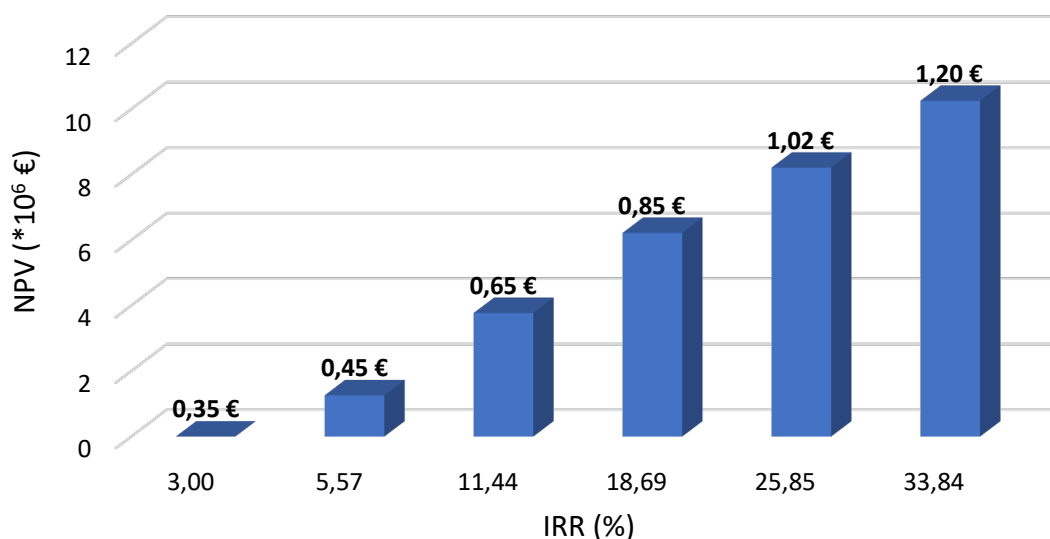
Η απόσβεση του έργου ορίζεται για χρονικό διάστημα 10 ετών, με σταθερό ετήσιο συντελεστή απόσβεσης 10 % επί του ιδίου κεφαλαίου και του δανεισμού. Στον υπολογισμό των αποσβέσεων, δεν υπολογίζονται στο συνολικό κόστος τα χρήματα που έχουν δίνονται ως επιχορήγηση. Η υπολειμματική αξία του έργου θεωρείται μηδενική, καθώς γίνεται η παραδοχή πως το κράτος παραχωρεί δικαίωμα εκμετάλλευσης σε μια ιδιωτική εταιρεία για ορισμένο χρόνο και μετά την παρέλευση του χρόνου αυτού, το έργο μεταβιβάζεται πάλι στο κράτος, το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί το ίδιο το έργο ή να το παραχωρήσει πάλι σε άλλη εταιρεία (Μπέρτσιου, 2016). Τέλος, το επιτόκιο προεξόφλησης (ε) λαμβάνεται ίσο με 3 %. Στον πίνακα 5.5, παρουσιάζεται η αποπληρωμή του δανείου.

Πίνακας 5.5 - Αποπληρωμή Δανείου

Έτος	Τοκοχρεολύσιο (€)	Χρεολύσιο (€)	Τόκοι (€)	Υπόλοιπο Χρεολυσίου (€)
0				5.232.800,00 €
1	762.345,32 €	369.885,32 €	392.460,00 €	4.862.914,68 €
2	762.345,32 €	397.626,72 €	364.718,60 €	4.465.287,96 €
3	762.345,32 €	427.448,72 €	334.896,60 €	4.037.839,23 €
4	762.345,32 €	459.507,38 €	302.837,94 €	3.578.331,86 €
5	762.345,32 €	493.970,43 €	268.374,89 €	3.084.361,42 €
6	762.345,32 €	531.018,21 €	231.327,11 €	2.553.343,21 €
7	762.345,32 €	570.844,58 €	191.500,74 €	1.982.498,63 €
8	762.345,32 €	613.657,92 €	148.687,40 €	1.368.840,71 €
9	762.345,32 €	659.682,27 €	102.663,05 €	709.158,44 €
10	762.345,32 €	709.158,44 €	53.186,88 €	0,00 €
Σύνολο	7.623.453,21 €	5.232.800,00 €	2.390.653,21 €	

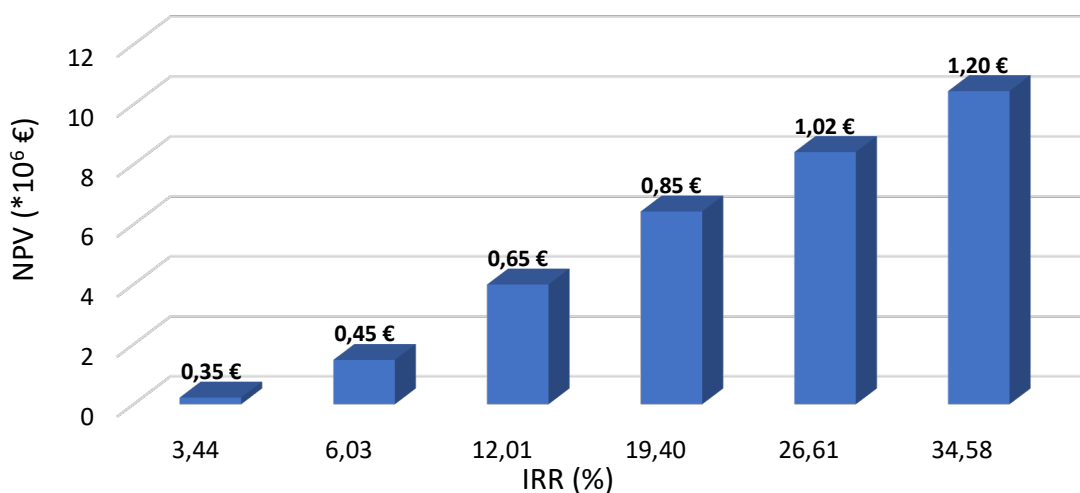
Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) της επένδυσης, μηδενίζεται για τιμή πώλησης αφαλατωμένου νερού 0.352 €/m³ και σταθερή τιμή πώλησης ενέργειας 0.0875 €/kWh. Δηλαδή, για την τιμή αυτή, ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) είναι ίσος με το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση χαρακτηρίζεται οριακά συμφέρουσα. Βέβαια, οι ρεαλιστικές τιμές πώλησης του νερού, είναι αρκετά μεγαλύτερες από τη συγκεκριμένη. Στα Σχήματα 5.27 και 5.28, παρουσιάζεται η σχέση NPV – IRR για διάφορες τιμές πώλησης του αφαλατωμένου νερού και για τιμές σταθερές πώλησης της ενέργειας 0.0875 €/kWh και 0.0885 €/kWh, αντίστοιχα, ώστε να φανεί η αποδοτικότητα της επένδυσης ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού.

NPV - IRR για διάφορες τιμές πώλησης αφαλατωμένου νερού και τιμή πώλησης ενέργειας 0.0875 €/kWh



Σχήμα 5.27 - NPV και IRR για διάφορες τιμές πώλησης Αφαλατωμένου Νερού, τιμή Ενέργειας 0.0875 €/kWh

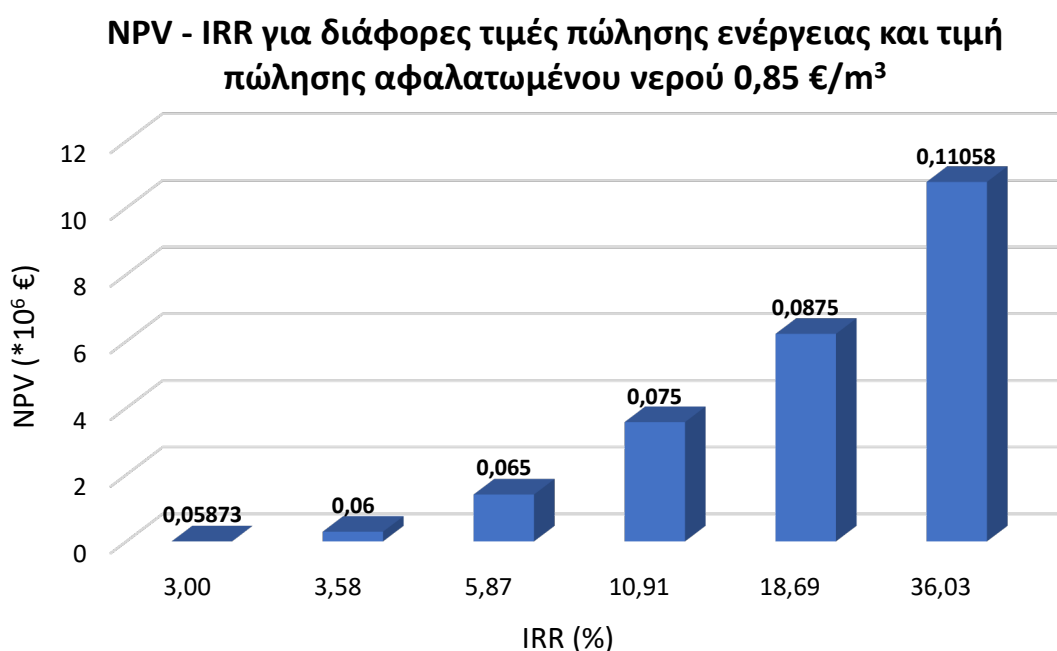
NPV - IRR για διάφορες τιμές πώλησης αφαλατωμένου νερού και τιμή πώλησης ενέργειας 0,0885 €/kWh



Σχήμα 5.28 - NPV και IRR για διάφορες τιμές πώλησης Αφαλατωμένου Νερού, τιμή Ενέργειας 0.0885 €/kWh

Οι περισσότερες τιμές πώλησης που επιλέχθηκαν χαρακτηρίζονται ως ρεαλιστικές ταυτόχρονα όμως και χαμηλές. Έτσι φαίνεται λοιπόν, πως ακόμα και για χαμηλές τιμές πώλησης του αφαλατωμένου νερού, η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι αρκετά μεγάλη και η επένδυση βιώσιμη. Επίσης, για τιμή πώλησης της ενέργειας μεγαλύτερη από την ορισμένη από το θεσμικό πλαίσιο, η απόδοση της επένδυσης βελτιώνεται ελάχιστα και για αυτό η

αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει νόημα. Η πολύ καλή απόδοση της επένδυσης οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στην υψηλή παραγωγή ενέργειας του συστήματος. Ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία, αλλά μεταβάλλοντας τώρα την τιμή πώλησης της ενέργειας και για σταθερή τιμή πώλησης του κυβικού 0.85 €, παρατηρούμε ότι η Καθαρή Παρούσα Αξία λαμβάνει την τιμή μηδέν για τιμή 0,05873 €/kWh. Για αυτήν την τιμή, ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) ισούται με το επιτόκιο προεξόφλησης (3 %) και η επένδυση χαρακτηρίζεται ως οριακά συμφέρουσα. Στο Σχήμα 5.29, παρουσιάζεται η σχέση NPV – IRR για διάφορες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας και για σταθερή τιμή πώλησης του κυβικού μέτρου 0.85 €.



Σχήμα 5.29 - NPV και IRR για διάφορες τιμές πώλησης Ενέργειας

Είναι φανερό, ότι η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) αυξάνεται κατακόρυφα με μια μικρή αύξηση της τιμής, είτε της τιμής πώλησης της kWh είτε της τιμής του νερού. Οι τιμές πώλησης της ενέργειας του Σχήματος 5.29, είναι τιμές ρεαλιστικές. Χαρακτηριστικά, η τιμή 0,11058 €/kWh η οποία αντιστοιχεί στην τελευταία στήλη του Σχήματος, αποτελεί τη σημερινή τιμή πώλησης της ΔΕΗ. Παρατηρούμε λοιπόν, πως για χαμηλές τιμές πώλησης και του αφαλατωμένου νερού και της ηλεκτρικής ενέργειας, η επένδυση έχει υψηλή απόδοση. Η συνθήκη αυτή, αποτελεί κέρδος, τόσο για τον υποψήφιο επενδυτή, στον οποίο παρέχεται ένα ευρύ φάσμα τιμολογιακής πολιτικής, όσο και για την κοινωνία, η οποία επωφελείται οικονομικά από χαμηλότερους λογαριασμούς. Τέλος, ιδιαίτερης σημασίας χαρακτηρίζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη από μια τέτοια επένδυση, με την μερική απολιγνιτοποίηση και τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα της Σκύρου.

5.4 Εκτίμηση Δικαιωμάτων Εκπομπής Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂ Emissions)

Στην ενότητα αυτή, αναπτύσσεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση των κομίστρων που καλείται να πληρώσει η ΔΕΗ, για τους τόνους διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπει στην ατμόσφαιρα, από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πλέον, και σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, όλες οι εγκαταστάσεις που εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, είναι υποχρεωμένες να πληρώνουν συγκεκριμένο τίμημα, αλλιώς κινδυνεύουν με πολύ υψηλά πρόστιμα.

5.4.1 Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ([EU Emissions Trading System](#))

Το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ο βασικός πυλώνας της πολιτικής για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και το βασικότερο εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με οικονομικά αποδοτικό τρόπο, εντός της Ένωσης. Είναι η πρώτη μεγάλη αγορά άνθρακα στον κόσμο και παραμένει η μεγαλύτερη. Ο πρωτεύον στόχος, της εν λόγω αγοράς, είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 50 %, έως το 2030. Η λειτουργία της ξεκίνησε το 2005 και πλέον δραστηριοποιείται σε όλα τα Κράτη – Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις χώρες Ισλανδία, Λιχτενστάιν και Νορβηγία.

Η αγορά άνθρακα λειτουργεί βάσει της αρχής “cap and trade”. Ένα όριο καθορίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, για τη συνολική ποσότητα ορισμένων αερίων θερμοκηπίου που μπορούν να εκπέμπονται από εγκαταστάσεις που υπάγονται στο σύστημα. Το όριο μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, ώστε να μειώνονται οι συνολικές εκπομπές. Όσο οι εταιρείες (όπως η ΔΕΗ), βρίσκονται εντός του ανώτατου καθορισμένου ορίου εκπομπών, μπορούν να αγοράζουν ή να λαμβάνουν έναντι ποσού δικαιώματα εκπομπής (emission allowances) αερίων του θερμοκηπίου. Τα δικαιώματα αυτά αφορούν κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα. Κάθε «άδεια» εκπομπής δίνει στον κάτοχο της το δικαίωμα να εκπέμπει ένα τόνο διοξειδίου του άνθρακα. Το όριο του συνολικού αριθμού των διαθέσιμων δικαιωμάτων διασφαλίζει ότι έχουν αξία. Το ανώτατο όριο για το 2013 από σταθερές εγκαταστάσεις ορίστηκε σε 2.08 δισεκατομμύρια δικαιώματα εκπομπών. Έως το 2020, το ανώτατο όριο μειώνεται κάθε χρόνο με γραμμικό συντελεστή μείωσης 1.74 % της μέσης συνολικής ποσότητας δικαιωμάτων που εκδόθηκε ετησίως κατά την περίοδο 2008-2012. Αυτό ισοδυναμεί με μείωση 38.3 εκατομμυρίων δικαιωμάτων κάθε χρόνο. Ο γραμμικός συντελεστής μείωσης καθορίζεται σύμφωνα με τους στόχους δράσης για το κλίμα το έτος 2020, από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Από το 2021 έως το 2030, το ανώτατο όριο δικαιωμάτων θα υπόκειται σε ετήσιο γραμμικό συντελεστή μείωσης 2.2 %.

Μετά από κάθε χρόνο, μια εταιρεία οφείλει να παραδώσει τα δικαιώματα που αντιστοιχούν στους τόνους εκπομπής της, διαφορετικά επιβάλλονται υψηλά πρόστιμα. Για παράδειγμα, εάν μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εκπέμπει 1000 τόνους διοξείδιο του άνθρακα σε ένα έτος, τότε είναι υποχρεωμένη να παραδώσει 1000 δικαιώματα εκπομπής. Εάν μια εταιρεία μειώσει τις εκπομπές της, μπορεί να διατηρήσει τα εφεδρικά δικαιώματα

για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών της ή αλλιώς να τα πουλήσει σε άλλη εταιρεία που δεν διαθέτει δικαιώματα. Η εμπορία των εκπομπών άνθρακα προσφέρει ευελιξία που διασφαλίζει τη μείωση τους, ενώ το κόστος για τις εταιρείες είναι μικρότερο. Μια ισχυρή τιμή άνθρακα προωθεί επίσης τις επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την μείωση των εκπομπών. Οι εκπομπές από εγκαταστάσεις, που καλύπτονται από το ETS, μειώθηκαν κατά περίπου 35 % μεταξύ 2005 και 2019. Η εισαγωγή του αποθεματικού σταθερότητας της αγοράς (Market Stability Reserve), δηλαδή ο μηχανισμός που καθιέρωσε η Ένωση το 2015 για τη μείωση του πλεονάσματος δικαιωμάτων εκπομπών στην αγορά άνθρακα και τη βελτίωση της ανθεκτικότητας του EU ETS σε μελλοντικά σοκ, το 2019 οδήγησε σε υψηλότερη και πιο ισχυρή τιμή άνθρακα. Η τιμή αυτή συνέβαλε στη διασφάλιση ετήσιας μείωσης των εκπομπών κατά 9 % το 2019, με μείωση 14.9 % στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και μείωση κατά 1.9 % στη βιομηχανία. Επίσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει μεριμνήσει για την βοήθεια της βιομηχανίας και του τομέα της ενέργειας, ώστε να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της καινοτομίας και των επενδύσεων της μετάβασης χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, μέσω πολλών μηχανισμών χρηματοδότησης χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

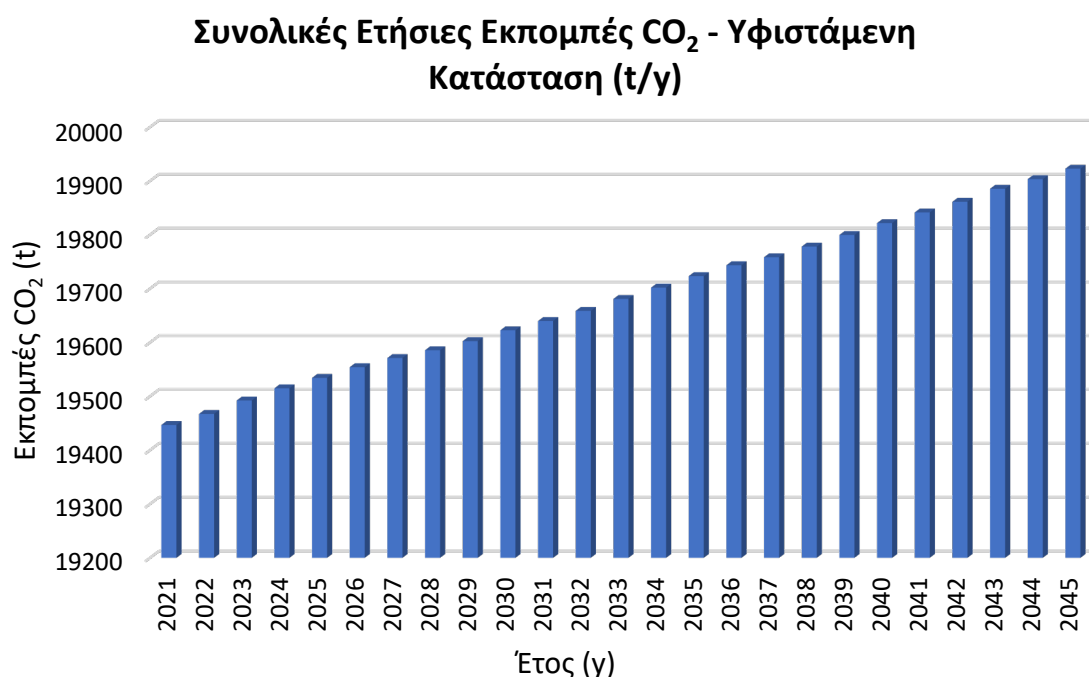
Έτσι λοιπόν, η Ευρωπαϊκή Ένωση δημιούργησε μια αγοροπωλησία «αδειών» εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, αντί να επιβάλλει για παράδειγμα πρόστιμα στις επιχειρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο, η αγορά αυτορυθμίζει την τιμή της κάθε «άδειας», με βάση τον κανόνα της προσφοράς και της ζήτησης, ενώ παράλληλα επιβάλλονται υψηλά πρόστιμα σε όσους δεν ακολουθούν αυτή τη διαδικασία και συνεχίζουν να εκπέμπουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από αυτό για το οποίο έχουν πληρώσει. Προφανώς, η τιμή του κάθε ενός δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου άνθρακα, είναι μικρότερη από το αντίστοιχο πρόστιμο που επιβάλλεται. Βέβαια, η τιμή έχει αυξητική τάση, ώστε να ωθεί τις επιχειρήσεις προς καθαρές τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

5.4.2 Εκπομπή Διοξειδίου του Άνθρακα από τον ΤΣΠ της Σκύρου

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, γίνεται υπολογισμός των εκπομπών και σύγκριση ανάμεσα στις εκπομπές άνθρακα κατά την λειτουργία του ΥΣ, καθώς και κατά την υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή από την ικανοποίηση του συνόλου των ενεργειακών απαιτήσεων του νησιού από την ΔΕΗ. Θεωρείται ότι ένας τόνος άνθρακα, εκπέμπεται από την παραγωγή 0.82 MWh ενέργειας. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά στην πραγματικότητα.

Έτσι, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των συνολικών τόνων διοξειδίου του άνθρακα, που εκπέμπονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του ΤΣΠ της ΔΕΗ στη Σκύρο. Με βάση την υφιστάμενη κατάσταση, όπου το σύνολο των ενεργειακών αναγκών του νησιού

καλύπτεται από τον ΤΣΠ, οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για κάθε έτος, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.30.

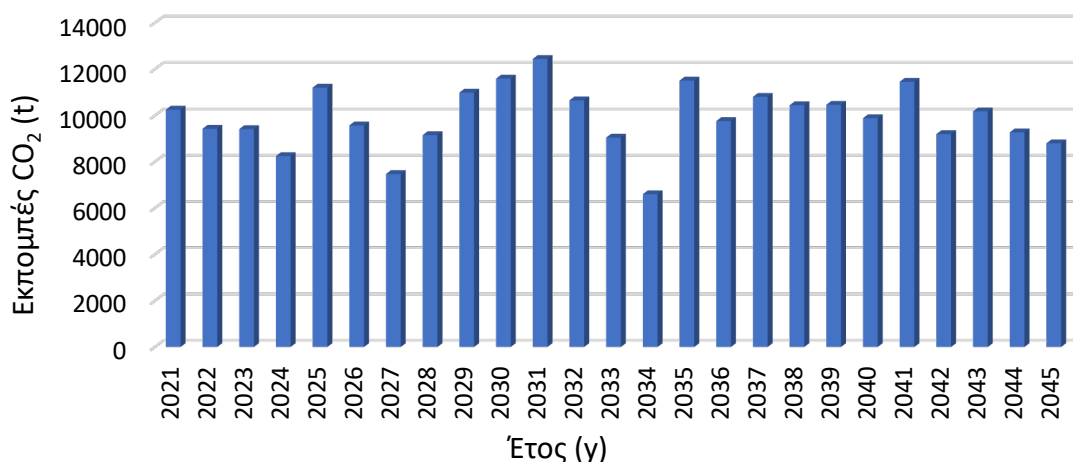


Σχήμα 5.30 - Ετήσιες Εκπομπές CO₂, Υφιστάμενη Κατάσταση

Όπως είναι λογικό, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζουν ετήσια αύξηση, ανάλογη με την αύξηση των ενεργειακών αναγκών του νησιού κάθε έτος. Ο συνολικός αριθμός ανέρχεται σε 492 χιλιάδες τόνους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, έως το τελευταίο έτος ζωής του συστήματος, το 25^ο. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν, ότι με βάση την υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση της Σκύρου, τα επόμενα 25 έτη η ΔΕΗ θα κληθεί να αντιμετωπίσει τεράστιο πρόβλημα, οικονομικό και κοινωνικό, λόγω των εκπομπών άνθρακα.

Από την άλλη, η λειτουργία του ΥΣ που μελετάται στην παρούσα εργασία, μειώνει αισθητά την παραγωγή του τοπικού σταθμού παραγωγής της ΔΕΗ και ταυτόχρονα τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Στο σχήμα 5.31, παρουσιάζονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τον ΤΣΠ του νησιού, για την περίπτωση της λειτουργίας του ΥΣ. Η σύγκριση ανάμεσα στις δύο καταστάσεις, καθιστά σαφή την αναγκαιότητα του ΥΣ. Η ανώτατη τιμή εκπομπών άνθρακα από τον ΤΣΠ της ΔΕΗ, κατά την λειτουργία του ΥΣ, απέχει αρκετά από το να ξεπεράσει την κατώτατη τιμή εκπομπών κατά την υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας. Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την λειτουργία του ΥΣ, ανέρχονται σε 248 χιλιάδες τόνους, δηλαδή είναι σχεδόν οι μισές, σε σχέση με την λειτουργία μόνο του τοπικού σταθμού. Στον πίνακα 5.6, παρουσιάζονται τα τέσσερα βασικότερα στατιστικά στοιχεία για τις δύο περιπτώσεις.

Συνολικές Ετήσιες Εκπομπές CO₂ - Υβριδικό Σύστημα (t/γ)

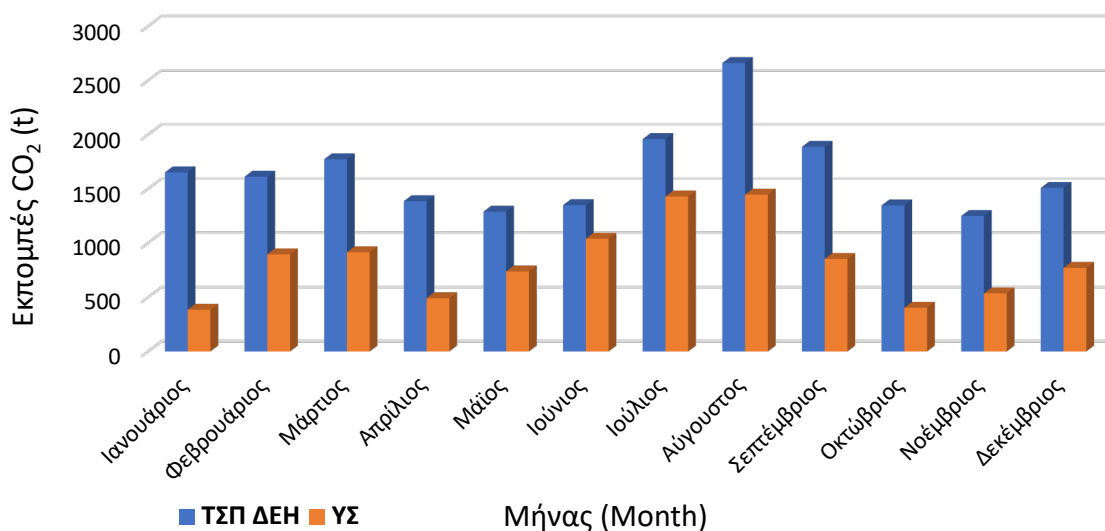


Σχήμα 5.31 - Ετήσιες Εκπομπές CO₂, ΥΣ

Πίνακας 5.6 - Στατιστικά Στοιχεία Σύγκρισης Εκπομπών

Στατιστικά Ετήσιων Εκπομπών	ΤΣΠ	ΥΣ
Ελάχιστη Τιμή (t)	19446.7	6597.5
Μέγιστη Τιμή (t)	19922.7	12439.5
Μέση Τιμή (t)	19684.4	9910.0
Τυπική Απόκλιση (t)	143.94	1337.06

Μέσες Μηνιαίες Εκπομπές CO₂ ανά Ενεργειακή Κατάσταση (t/month)



Σχήμα 5.32 - Μέσες Μηνιαίες Εκπομπές CO₂ ανά Περίπτωση Λειτουργίας ΤΣΠ

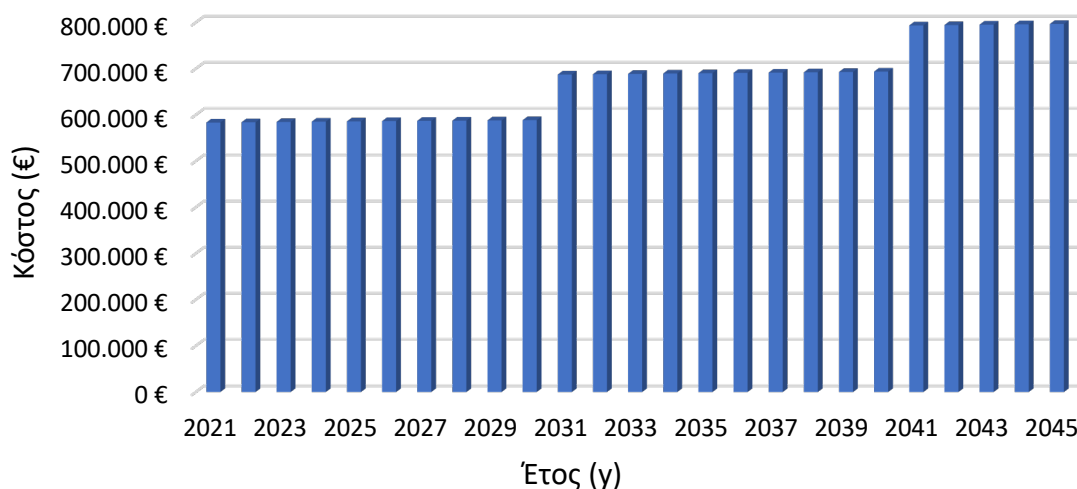
Στο σχήμα 5.32, παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση, όσο και στην περίπτωση λειτουργίας του ΥΣ. Η μηνιαία διακύμανση των εκπομπών άνθρακα ακολουθεί, όπως είναι λογικό, την μηνιαία διακύμανση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι προφανές, πως στην περίπτωση του ΥΣ οι εκπομπές είναι κατά πολύ μικρότερες από την τωρινή κατάσταση. Χαρακτηριστικά, για το μήνα Οκτώβριο, η αποκλειστική λειτουργία του τοπικού σταθμού παραγωγής της ΔΕΗ επιφέρει 1348 τόνους εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή έναν τόνο παραπάνω από ότι εκπέμπει ο σταθμός κατά την λειτουργία του ΥΣ για τον μήνα Αύγουστο, με τη μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας.

5.4.3 Δαπάνες για τα Δικαιώματα Εκπομπής Διοξειδίου του Άνθρακα από τον ΤΣΠ της Σκύρου

Σύμφωνα με την εμπορία εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Union Emissions Trading System), η ΔΕΗ, ως επιχείρηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καλείται να συμμορφωθεί με το σύστημα που περιγράφεται στην ενότητα 5.4.1 «Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Emissions Trading System)». Συνεπώς, η ΔΕΗ αγοράζει δικαιώματά εκπομπής άνθρακα, ώστε να μην χρειαστεί να πληρώσει τα βαρύτερα πρόστιμα λόγω των εκπομπών της σε άνθρακα. Επίσης, έχει την δυνατότητα να πουλάει αυτά τα δικαιώματα σε άλλες επιχειρήσεις ίδιας δραστηριότητας, αν καλύπτεται από λιγότερα δικαιώματα εκπομπής, ή να τα διατηρήσει ως περίσσειμά για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών. Η τιμή των δικαιωμάτων είναι προϊόν που λειτουργεί ανάλογα με τα χρηματιστηριακά προϊόντα, δηλαδή περιέχει στοχαστικότητα και επηρεάζεται από πάρα πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, η υγειονομική κρίση λόγω του ιού Covid – 19, επέφερε μείωση στην τιμή. Σε μια κατάσταση όμως, όπου η παγκόσμια οικονομία λειτουργεί σε συνθήκες κανονικότητας, είναι σίγουρο πως η τιμή του ενός δικαιώματος εκπομπής ενός τόνου άνθρακα θα παρουσιάσει σταθερή αυξητική τάση. Αυτό ισχύει στο απόλυτο, από την στιγμή που το προϊόν αυτό αποτελεί εργαλείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την μείωση των εκπομπών από αέρια του θερμοκηπίου. Αποτελεί ουσιαστικά το μέσο για να επιτύχει η Ένωση τις δεσμεύσεις της και να εφαρμόσει τις πολιτικές της. Έτσι, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, θεωρούνται τρεις διαφορετικές τιμές δικαιωμάτων για τα 25 έτη λειτουργίας του συστήματος. Δυστυχώς, δεν είναι εφικτό να γίνει ακριβέστερη πρόβλεψη της ημερήσιας τιμής σε βάθος 25 ετών. Θεωρείται η τιμή 30 € ανά τόνο για τα πρώτα 10 χρόνια της λειτουργίας, η οποία είναι περίπου η σημερινή, και στην συνέχεια προστίθεται αύξηση 5 € κάθε δεκαετία. Συνεπώς, η ανώτατη τιμή του δικαιώματος που χρησιμοποιείται, αντιστοιχεί στην τελευταία πενταετία της λειτουργίας και είναι 40 €/t. Η θεώρηση αυτή ίσως είναι συντηρητική, από την στιγμή που αναμένεται να μειωθούν με μεγαλύτερο ετήσιο γραμμικό συντελεστή (2.2 %) τα συνολικά διαθέσιμα δικαιώματα που κυκλοφορούν στις αγοροπωλησίες, αυξάνοντας έτσι και περισσότερο την αξία τους. Με βάση λοιπόν αυτή τη θεώρηση, υπολογίζονται τα συνολικά έξοδα για τον τοπικό σταθμό παραγωγής του νησιού, λόγω των αδειών εκπομπής άνθρακα. Θεωρείται ότι η επιχείρηση αγοράζει σε κάθε χρονικό βήμα τα απολύτως απαραίτητα δικαιώματα εκπομπής και δεν δημιουργεί συνεπώς κάποιο

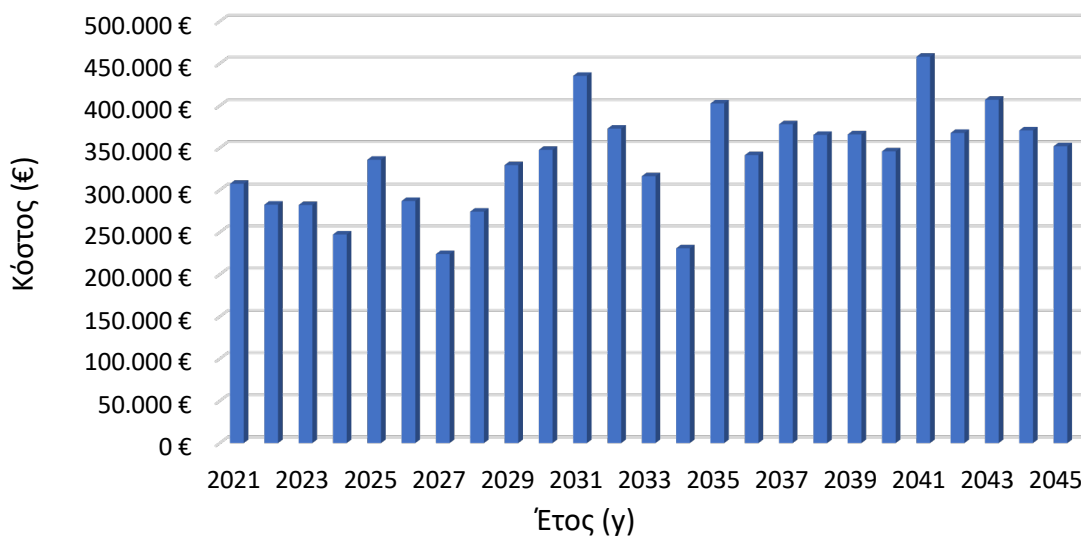
περίσσειμα για μελλοντική χρήση. Μια τέτοια προσομοίωση δεν αφορά την παρούσα μελέτη, ενώ εξάλλου αποτελεί και πρόβλημα απόφασης, το οποίο δεν μπορεί να λυθεί προκαταβολικά έως και 25 έτη νωρίτερα. Έτσι, η ΔΕΗ αγοράζει κάθε φορά ακριβώς το δικαίωμα που αντιστοιχεί στους τόνους άνθρακα που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Στα σχήματα 5.33 και 5.34, παρουσιάζεται το συνολικό κόστος αγοράς των δικαιωμάτων για τις δύο περιπτώσεις λειτουργίας του σταθμού, για όλα τα έτη ζωής του έργου.

Συνολικό Κόστος Αγοράς Δικαιωμάτων - Υφιστάμενη Κατάσταση (€/γ)



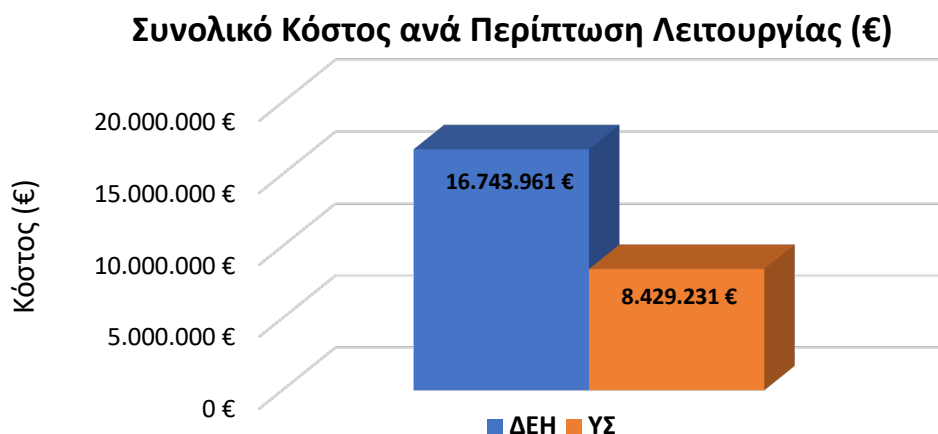
Σχήμα 5.33 - Συνολικό Κόστος Δικαιωμάτων Εκπομπής CO₂, Υφιστάμενη Κατάσταση

Συνολικό Κόστος Αγοράς Δικαιωμάτων - Υβριδικό Σύστημα (€/γ)



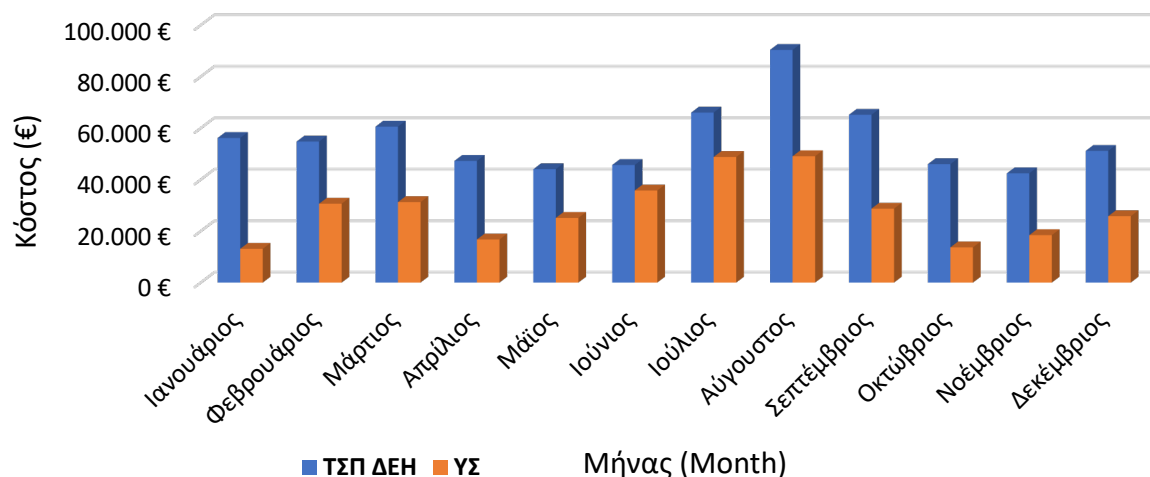
Σχήμα 5.34 - Συνολικό Κόστος Δικαιωμάτων Εκπομπής CO₂, ΥΣ

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.33, το συνολικό κόστος αγοράς αυξάνεται για κάθε έτος σύμφωνα με την αύξηση των εκπομπών από το Σχήμα 5.30. Επίσης, παρατηρείται μια αύξηση κάθε δεκαετία, η οποία προφανώς οφείλεται στην αύξηση της τιμής του κάθε δικαιώματος. Στο Σχήμα 5.34, φαίνεται ξεκάθαρα ότι για το 7^ο και το 14^ο έτος της προσομοίωσης, στα οποία παράγεται και η περισσότερη αιολική ενέργεια, το συνολικό κόστος μειώνεται αισθητά. Η σύγκριση ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις λειτουργίας αποδεικνύει ότι με την λειτουργία του ΥΣ μειώνονται τα δικαιώματα που απαιτούνται, ώστε να αποφευχθεί η επιβολή προστίμων. Στο Σχήμα 5.35, παρουσιάζεται το συνολικό ποσό που απαιτείται για την αγορά των δικαιωμάτων εκπομπής για όλο τον κύκλο ζωής του έργου, στις δύο περιπτώσεις λειτουργίας του τοπικού σταθμού παραγωγής της ΔΕΗ. Η διαφορά είναι αρκετά σημαντική, με το ΥΣ να χρειάζεται περίπου το μισό ποσό για την πληρωμή των δικαιωμάτων εκπομπής άνθρακα. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο κόστη, αποτελεί κέρδος για την ΔΕΗ, καθώς παρουσιάζει μειωμένα έξοδα. Η ΔΕΗ είναι η επιχείρηση που εκπέμπει τους ρύπους. Συνεπώς, για το χρονικό διάστημα στο οποίο το ελληνικό κράτος παραχωρεί το δικαίωμα εκμετάλλευσης σε ιδιώτη, η παραπάνω διαφορά αποτελεί κέρδος για τον ίδιο.



Σχήμα 5.35 - Σύγκριση Συνολικού Κόστους ανά Περίπτωση Λειτουργίας ΤΣΠ

Μέσο Μηνιαίο Κόστος ανά Ενεργειακή Κατάσταση (€/month)



Σχήμα 5.36 – Σύγκριση Μέσου Μηνιαίου Κόστους ανά Περίπτωση Λειτουργίας ΤΣΠ

Στο σχήμα 5.36, παρουσιάζεται το μέσο μηνιαίο κόστος από την αγορά των αδειών εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου του σταθμού. Το συγκεκριμένο σχήμα παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον, καθώς δείχνει πως προκύπτει μεγάλη διαφορά στις μηνιαίες χρηματοροές εσόδων – εξόδων για την επιχείρηση. Ακόμα και τον μήνα Αύγουστο, με την μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η διαφορά είναι πάνω από 50 %.

6 Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα

6.1 Συμπεράσματα

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας, που ακολουθείται για την εφαρμογή ενός Υβριδικού Συστήματος με την συμμετοχή ΑΠΕ. Αρχικά, παρουσιάζονται συνοπτικά τα ΥΣ, οι ΑΠΕ και η διαδικασία της αφαλάτωσης, που χρησιμοποιούνται στο παρόν τεχνικό έργο. Στη συνέχεια, αναλύεται η διαδικασία μόρφωσης του μοντέλου προσομοίωσης του έργου, το οποίο λαμβάνει χώρα στο νησί της Σκύρου. Η μελέτη του ΥΣ γίνεται ως προς την κάλυψη των υδρευτικών, αρδευτικών και ενεργειακών αναγκών του νησιού. Η μοντελοποίηση του τεχνικού έργου περιλαμβάνει την συλλογή και, στη συνέχεια, ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων, την εκτίμηση των αναγκών, καθώς και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό.

Μέσω της συνοπτικής παρουσίασης των ΥΣ, εξάγονται κάποια γενικά συμπεράσματα:

- Η απροσδιόριστη, ως προς το χρόνο και την ποσότητα, παραγωγή ενέργειας των ΑΠΕ, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που διέπουν τις συμβατικές μονάδες παραγωγής και το ενδεχόμενο εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων, έχει οδηγήσει στην έρευνα και την ανάπτυξη των ΥΣ.
- Η νησιωτική Ελλάδα, ενδείκνυται για την εγκατάσταση και την λειτουργία αιολικών πάρκων, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού αιολικού δυναμικού που τη διέπει.
- Η αφαλάτωση αποτελεί μια σοβαρή λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας των ελληνικών νησιών, ιδιαίτερα κατά την θερινή τουριστική περίοδο.
- Τα ΥΣ μπορούν να εγκατασταθούν ως ανεξάρτητα συστήματα, αλλά και να ενταχθούν σε υπάρχοντες σταθμούς παραγωγής, βασιζόμενα σε συμβατικές μορφές ενέργειας, εφόσον πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες παρεμβάσεις.
- Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα, σε τοπικό επίπεδο, της εγκατάστασης ΥΣ συνοψίζονται στη σημαντική προσφορά απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας όλη τη διάρκεια του χρόνου, με αποφυγή διακοπών ρεύματος.

Μέσω του μοντέλου προσομοίωσης της εν λόγω εργασίας, προέκυψαν τα ακόλουθα ειδικά συμπεράσματα:

- Ο πληθυσμός της Σκύρου αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες λόγω του τουρισμού. Στην παρούσα εργασία, γίνεται παραδοχή μικρής σταθερής γεωμετρικής αύξησης του πληθυσμού ετησίως, τόσο των κατοίκων όσο και των παραθεριστών/τουριστών, για την ασφαλέστερη διαστασιολόγηση του έργου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των υδρευτικών και ενεργειακών αναγκών.

- Στο νησί λειτουργεί αρδευτικό φράγμα, ωφέλιμου όγκου 1000000 m³. Σε αυτήν την κατασκευή, προστίθενται δύο ΥΗΕ, αιολικό πάρκο, μια δεξαμενή θαλασσινού νερού, ένας αντλητικός σταθμός και μια νέα μονάδα αφαλάτωσης, ώστε να συνδυαστούν όλες μαζί και με τον ΤΣΠ Σκύρου να αποτελέσουν ένα ΥΣ.
- Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης του ΥΣ αποτελούν φυσικά φαινόμενα, τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα και εποχικότητα, όπως για παράδειγμα ο άνεμος και η βροχόπτωση. Για αυτό το λόγο, είναι επιτακτική η ανάγκη για την καλύτερη δυνατή εκτίμηση και πρόβλεψη των μεγεθών αυτών. Συνίσταται η χρήση πιθανοθεωρητικών και στοχαστικών μεθόδων, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των φυσικών αυτών φαινομένων.
- Η πλήρης κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης από τη λειτουργία του ΥΣ, με την αξιοπιστία να ανέρχεται στο 99,99 %, καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.
- Η λειτουργία του αιολικού πάρκου στο όρος Κόχυλας, έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη πάνω από το 60 % της απαίτησης για ηλεκτρική ενέργεια στο νησί, για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.
- Η σημασία του αιολικού δυναμικού του νησιού, στην εύρυθμη και αποτελεσματική λειτουργία του ΥΣ.
- Από την ανάλυση κόστους – οφέλους, προκύπτει ότι για χαμηλές τιμές πώλησης της ενέργειας και του αφαλατωμένου νερού, η επένδυση κρίνεται βιώσιμη, ενώ για υψηλότερες τιμές το έργο παρουσιάζει μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον.
- Η λειτουργία του ΥΣ που μελετάται στην παρούσα εργασία, μειώνει σχεδόν κατά το ήμισυ την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, συγκεκριμένα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), στην ατμόσφαιρα.
- Το συνολικό κόμιστρο, το οποίο καλείται να πληρώσει η ΔΕΗ από την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, κατά την λειτουργία του ΥΣ, είναι σχεδόν το μισό από το αντίστοιχο κόμιστρο λόγω της υφιστάμενης λειτουργίας του ΤΣΠ.

6.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξάγει ορισμένα συμπεράσματα, βάσει της μεθοδολογίας και τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος που ακολουθούνται. Ωστόσο, προκύπτουν καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης, κάποια ζητήματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης και έρευνας. Η επιπλέον αυτή διαδικασία, επιφέρει τη βελτίωση του έργου και αποτελεί την ουσία της εξέλιξης της γνώσης.

Αρχικά, η εφαρμογή της παρούσας μεθοδολογίας δύναται να εφαρμοστεί και σε άλλα ελληνικά νησιά, τα οποία είτε είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ, είτε όχι, καλύπτουν τις ανάγκες τους από αυτόνομες συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Επίσης, εξέλιξη της παρούσας μελέτης αποτελεί η διασύνδεση της Σκύρου, είτε με γειτονικά νησιά, είτε με την Ηπειρωτική Ελλάδα. Στην περίπτωση αυτή, προτείνεται η αύξηση της συνολικής ισχύος του ΥΣ, ώστε το νησί να είναι ικανό να εξάγει, πλέον, ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο της ΔΕΗ. Με βάση το αιολικό δυναμικό του νησιού, η εγκατάσταση αρκετών παραπάνω ανεμογεννητριών συνεπάγεται υψηλό κέρδος για τον διαχειριστή του έργου, ο οποίος για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ο Δήμος της Σκύρου.

Τέλος, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη της μεθοδολογίας που ακολουθείται στην εργασία με μια σημαντική διαφορά. Όλες οι ανάγκες του νησιού, δηλαδή η ύδρευση, η άρδευση και η ενέργεια να θεωρηθούν και να μελετηθούν ως στοχαστικά μεγέθη. Έτσι, αναπτύσσονται χρονοσειρές για τις ζητήσεις του νησιού, οι οποίες περιγράφουν και προβλέπουν με πιο ρεαλιστικό τρόπο τις πραγματικές ανάγκες του τόπου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελάκης Α. Ν., Τεχνολογίες Αφαλάτωσης: Η εμπειρία των Ελληνικών ΔΕΥΑ, Ένωση ΔΕΥΑ, Λάρισα, 2015.

Αναγνωστοπούλου Μ. και Μπούσμπουρας Δ., «Επιπτώσεις των αιολικών πάρκων στα πουλιά», Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία, 2008.

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων, “Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Τοπικού Σταθμού Παραγωγής (ΤΣΠ) Σκύρου”, 2005.

Ευστρατιάδης Α., Κουτσογιάννης Δ., Μαμάσης Ν., «Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα», 8^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ακαδημαϊκό έτος 2018-19.

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

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

Κουτσογιάννης Δ., «Στατιστική Υδρολογία», Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.

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

Λεμονής Α., “Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Εφαρμογής Υβριδικού Συστήματος για την Κάλυψη Υδατικών και Ενεργειακών Αναγκών στη Νήσο Λέρο”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 2020.

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

Μιμίκου Μ. Α., Μπαλτάς Ε. Α., Τεχνική Υδρολογία, Παπασωτηρίου Εκδόσεις, 2018.

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

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

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

Παναγούλια Δ. και Δήμου Γ., Εισαγωγή στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2000.

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

Πεχλιβανίδου Σ., “Η Γεωμορφολογία της νήσου Σκύρου και η επίδραση της στις χρήσεις γης”, Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, 2007.

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

Σαπουνά - Σακελλαράκη, Ε., “Σκύρος”, Υπουργείο Πολιτισμού, Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων και Απαλλοτριώσεων, Αθήνα, 1997.

Σικαλιά – Τράκου Γ.Α., «Μελέτη Χωροθέτησης Αιολικού Πάρκου στη νήσο Σκύρο», ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2015.

Σκρουφούτα Σ., “Διερεύνηση Διαστασιολόγησης Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ για τη Διασφάλιση των Ενεργειακών και Υδατικών Αναγκών στο Νησί της Καρπάθου”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2020.

Σκύρος Ναυτική Εταιρεία (ΣΝΕ).

Υπουργείο Ανάπτυξης και Τουρισμού, «Μονάδα Αφαλάτωσης Δήμου Σκύρου Δυναμικότητας 2000 Κ.Μ. Πόσιμου Νερού την Ημέρα», Αθήνα, 2016.

Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωργίας, Οι υδατικές ανάγκες των αρδευόμενων καλλιεργειών, Έκδοση 9, 2010.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

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

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

Mimikou M.A., Baltas E.A., and Tsihrintzis V.A., (2016), Hydrology and Water Resource Systems Analysis, CRC Press-Taylor & Francis Group.

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

Petrakopoulou F. et al., “Simulation and analysis of a stand-alone solar-wind and pumped-storage hydropower plant”, 2016.

Petrakopoulou F. et al., “Simulation and evaluation of a hybrid concentrating-solar and wind power plant for energy autonomy on islands”, 2016.

Petrakopoulou F., “Current Energy Use on Skyros: Statistical, Economic and Environmental Analyses”, GENERGIS – Green Energy for Islands, 2015.

Petrakopoulou F., “Demographics, Geography, Economy and Energy Statistics of Skyros”, GENERGIS – Green Energy for Islands, 2015.

Ιστοσελίδες

Ανάλυση Κόστους Οφέλους <https://www.euretirio.com/aposvesi-depreciation/>
Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση ΦΙΛΟΤΗΣ (<https://filotis.itia.ntua.gr/>)
Διάταγμα Υπουργείου Γεωργίας 1992 http://goodagro.org/docs/1992_Apofasi_Penman.pdf
Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) <http://www.hnms.gr/emv/el/>
Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία <https://www.statistics.gr/>
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) <http://www.cres.gr/cres/index.html>
Νόμος 3468/2006 https://www.kodiko.gr/nomologia/document_navigation/11708/nomos-3468-2006
Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) (<https://geo.rae.gr/>)
Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Emissions Trading System) https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en
Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/ARTICLES/033/%D7%C1%D1%D4%C7%D3%20%D3%C5%C9%D3%CC%C9%CA%C7%D3%20%C5%D0%C9%CA%C9%CD%C4%D5%CD%CF%D4%C7%D4%C1%D3.htm
Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Σκύρου <https://globalwindatlas.info/>
FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 <http://www.climasouth.eu/sites/default/files/FAO%2056.pdf>
Top 10 Wind Turbine Manufacturers 2019 — Wind Supplier Analysis <https://energyacuity.com/blog/2019-top-10-wind-turbine-manufacturers>