



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΚΑΛΥΨΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ  
ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΑΞΟΥΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ  
ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ**

**Κριστιάνο Ντεμίρη**

**Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ**

Αθήνα, Ιούλιος 2024

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΚΑΛΥΨΗ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΑΞΟΥΣ ΜΕ  
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ**

**Κριστιάνο Ντεμίρη**

**Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ**

Αθήνα, Ιούλιος 2024

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

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Ολοκληρώνοντας την παρούσα Διπλωματική Εργασία, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου ως προς τον κ. Ευάγγελο Μπαλά, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και επιβλέποντα της εργασίας, για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής καθώς και για την αξιολόγηση και παροχή συμβουλών για την βελτίωση αυτής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Μπαλά, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, τον κ. Αντρέα Ευστρατιάδη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και τον κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ που υπήρξαν μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει στον υποψήφιο διδάκτωρ Παπαθανασίου Αθανάσιο, για τον χρόνο που αφιέρωσε, τις συμβουλές του και την συνεχή βοήθεια του η οποία ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς μου και την κοπέλα μου που πάντα ήταν εκεί για εμένα σε κάθε μου βήμα. Χωρίς την στήριξη τους δεν θα ήμουν εδώ σήμερα.

Ιούλιος 2024

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	iv
Abstract .....	vi
<b>1. Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά στοιχεία .....	1
1.2 Αντικείμενο της εργασίας .....	1
1.3 Δομή της εργασίας.....	2
<b>2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....</b>	<b>4</b>
2.1 Εισαγωγή Υβριδικά Συστήματα.....	4
2.2 Πλεονεκτήματα των Υβριδικών Συστημάτων.....	5
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα υβριδικά συστήματα.....	6
2.3.1 Αιολική ενέργεια .....	6
2.3.2 Ηλιακή ενέργεια.....	11
2.3.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια .....	13
2.4 Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο .....	16
<b>3. Αφαλάτωση .....</b>	<b>20</b>
3.1 Γενικά στοιχεία .....	20
3.2 Αντίστροφη Ώσμωση .....	22
3.3 Ενέργεια για αφαλάτωση .....	23
<b>4. Υδρογόνο .....</b>	<b>25</b>
4.1 Γενικά στοιχεία .....	25
4.2 Αποθήκευση και μεταφορά .....	26
4.3 ΑΠΕ και υδρογόνο.....	27
<b>5. Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης .....</b>	<b>29</b>
5.1 Παξοί.....	29
5.2 Υποδομές .....	31
5.3 Καθεστώς προστασίας περιοχής.....	31
5.3.1 Βιότοπος <i>Corine</i> .....	32
5.3.2 Βιότοπος <i>Natura</i> .....	34
<b>6. Μεθοδολογία – Υπολογισμοί.....</b>	<b>36</b>
6.1 Τεχνική περιγραφή του έργου .....	36
6.2 Εκτίμηση αναγκών ύδρευσης.....	36
6.3 Εκτίμηση αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας .....	39
6.4 Μοντέλο ΑΓ και μετατροπή ανεμολογικών δεδομένων σε ηλεκτρική ενέργεια .....	41
6.5 Μονάδα αφαλάτωσης .....	45

<b>6.6 Μονάδα αντλησιοταμίευσης</b> .....	48
<b>6.7 Μονάδα παραγωγής υδρογόνου</b> .....	50
<b>6.8 Σενάρια – Αποτελέσματα ανάλυσης</b> .....	51
6.8.1 Σενάριο 1 .....	51
6.8.2 Σενάριο 2 .....	55
6.8.3 Σενάριο 3 .....	60
6.8.4 Ανάλυση ευαισθησίας – Σύγκριση σεναρίων .....	65
<b>7. Οικονομική αξιολόγηση έργου</b> .....	69
7.1 Οικονομικές έννοιες .....	69
7.2 Υπολογισμός συνολικού κόστους κατασκευής έργου .....	71
7.3 Αξιολόγηση Επένδυσης .....	74
<b>8. Συμπεράσματα</b> .....	78
8.1 Σύνοψη .....	78
8.2 Μελλοντική έρευνα .....	79
<b>Βιβλιογραφικές αναφορές</b> .....	81

## Περίληψη

Στα περισσότερα νησιά της Ελληνικής Επικράτειας, συμπεριλαμβανομένων των Παξών, οι ενεργειακές ανάγκες των κατοίκων καλύπτονται κυρίως από αυτόνομους ενεργειακούς σταθμούς, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, ή μέσω σύνδεσης με το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας. Αυτή η πρακτική όχι μόνο επιβαρύνει τη ρύπανση του περιβάλλοντος αλλά καθιστά τα νησιά εξαρτημένα ενεργειακά από απομακρυσμένες περιοχές για την παροχή ενέργειας. Για να επιτευχθεί η σταδιακή ενεργειακή απεξάρτηση των νησιών και να αντιμετωπιστεί η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, μπορεί να αξιοποιηθεί το πλούσιο δυναμικό των νησιών σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Για την αποτελεσματική αξιοποίηση των ΑΠΕ, είναι σημαντική η συμβολή της αποθήκευσης ενέργειας, διασφαλίζοντας έτσι την ενεργειακή αυτονομία και τη βιώσιμη ανάπτυξη των νησιών.

Στους Παξούς, όπως και στα περισσότερα νησιά της Ελλάδας, παρατηρείται έλλειψη υδατικών πόρων και το νερό του δικτύου δεν είναι πόσιμο, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση εμφιαλωμένου νερού. Μια βιώσιμη λύση αποτελεί η αφαλάτωση.

Εξετάζεται η κατασκευή ενός Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ. Το έργο αυτό μπορεί να δώσει λύσεις σε οξύτατα προβλήματα όπως η λειψυδρία, η αστάθεια των ηλεκτρικών δικτύων και η ενεργειακή αυτονομία. Το έργο θα περιλαμβάνει δύο ανεμογεννήτριες (ΑΓ), μια μονάδα αφαλάτωσης, μια μονάδα αντλησιοταμίευσης και μια μονάδα παραγωγής υδρογόνου. Οι δύο ανεμογεννήτριες θα ηλεκτροδοτούν τον οικισμό, παρέχοντας το 30% της ενέργειας απευθείας στο δίκτυο, ενώ το υπόλοιπο 70% θα χρησιμοποιείται για άντληση, αφαλάτωση και παραγωγή υδρογόνου.

Όταν υπάρχει περίσσεια αιολικής ενέργειας, αυτή χρησιμοποιείται για άντληση και παραγωγή υδρογόνου. Σε περιπτώσεις έλλειψης ενέργειας, ο υδροστρόβιλος και το υδρογόνο παράγουν επιπλέον ενέργεια για να καλύψουν τις ανάγκες. Η μονάδα αντλησιοταμίευσης και η μονάδα παραγωγής υδρογόνου στοχεύουν στην επίλυση των ζητημάτων αποθήκευσης και ελεγχόμενης διανομής της παραγόμενης καθαρής αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ.

Αυτά τα έργα δεν έχουν ακόμη διαδοθεί ευρέως, επομένως η ανάλυσή τους θα παρέχει πολύτιμες γνώσεις για την αποθήκευση και τη ρυθμιζόμενη διανομή της παραγόμενης

καθαρής ενέργειας. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτά τα έργα είναι φιλικά προς το περιβάλλον και αποτελούν μια σημαντική ευκαιρία για την επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας.

Για να μελετηθεί η λειτουργία του υβριδικού συστήματος, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης στο Excel. Πρώτα, υπολογίστηκαν οι ανάγκες σε νερό και ηλεκτρική ενέργεια με βάση τα δεδομένα του μόνιμου πληθυσμού και των τουριστών. Οι ταχύτητες του ανέμου από τον τοπικό μετεωρολογικό σταθμό μετατράπηκαν σε αιολική ενέργεια. Εξετάστηκαν τρία σενάρια για να κατανοηθεί η λειτουργία της εγκατάστασης και να εξαχθούν συμπεράσματα: το πρώτο βασίζεται αποκλειστικά στην αντλησιοταμίευση, το δεύτερο στη μέθοδο του υδρογόνου, και το τρίτο συνδυάζει και τις δύο μεθόδους. Για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος, έγινε ανάλυση κόστους-οφέλους, ώστε να καθοριστεί η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης και η δυνατότητα ρεαλιστικής εφαρμογής της.

Συνολικά, σε όλα τα σενάρια παρατηρείται ότι οι απαιτήσεις για το νερό καλύπτονται πλήρως. Όσον αφορά την ενεργειακή πλευρά, το τρίτο σενάριο επιδεικνύει την υψηλότερη απόδοση, καλύπτοντας το 87% των ηλεκτρικών αναγκών ετησίως. Το πρώτο σενάριο ακολουθεί με ποσοστό κάλυψης 80 %, ενώ το χαμηλότερο επίπεδο κάλυψης παρατηρείται στο δεύτερο σενάριο, με 75%. Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση των δύο μεθόδων, παρατηρείται ότι η αντλησιοταμίευση φθάνει το 70%, ενώ η μέθοδος του υδρογόνου φτάνει το 30%.



## Abstract

On most of the islands of the Greek territory, including Paxos, the energy needs of the inhabitants are covered mainly by autonomous energy plants, which produce electricity through the consumption of fossil fuels or through connection to the mainland grid. This practice not only increases environmental pollution but also makes the island's energy dependent on remote areas for energy supply. To achieve the gradual energy decoupling of the islands and to address the decline in fossil fuel reserves, the islands' rich Renewable Energy Sources (RES) can be exploited. For the effective utilisation of RES, the contribution of energy storage is important, thus ensuring energy autonomy and sustainable development of the islands.

In Paxos, as in most Greek islands, there is a lack of water resources and the water in the network is not drinkable, making it necessary to use bottled water. Desalination is a viable solution.

The construction of a Hybrid Renewable Energy System (HRES) is under consideration. This project can provide solutions to acute problems such as water scarcity, instability of the electricity grids and energy autonomy. The project will include two wind turbines (WT), a desalination plant, a pumped storage plant and a hydrogen production plant. The two WT will electrify the settlement, providing 30% of the energy directly to the grid, while the remaining 70% will be used for pumping, desalination and hydrogen production.

When there is excess wind energy, it is used for pumping and hydrogen production. In cases of energy shortage, the hydro turbine and hydrogen will produce additional energy to meet the needs. The pumped storage and hydrogen production plant aims to solve the issues of storage and controlled distribution of the clean wind energy produced by the turbines.

These projects have not yet been widely spread, so their analysis will provide valuable insights into the storage and regulated distribution of the clean energy produced. It is also important to mention that these projects are environmentally friendly and represent an important opportunity to achieve energy autonomy.

To study the operation of the hybrid system, a simulation model in Excel was used. First, the water and electricity needs were calculated based on the data of the resident population

and tourists. Wind speeds from the local weather station were converted into wind energy. Three scenarios were examined to understand the operation of the installation and draw conclusions: the first is based solely on pumped storage, the second on the hydrogen method, and the third combines both methods. For the economic evaluation of the system, a cost-benefit analysis was carried out to determine the economic viability of the investment and its realistic feasibility.

Overall, in all scenarios it is observed that the water requirements are fully covered. On the energy side, the third scenario shows the highest efficiency, covering 87% of the electricity needs per year. The first scenario follows with a coverage rate of 80%, while the lowest level of coverage is observed in the second scenario, with 75%. Regarding the energy efficiency of the two methods, it is observed that pumped storage reaches 70%, while the hydrogen method reaches 30%.

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά στοιχεία

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω ανεξέλεγκτης αύξησης πληθυσμού και βιοτικού επιπέδου. Η ζήτηση αυτή έχει αναδείξει την ανάγκη για πιο φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους παραγωγής ενέργειας, καθώς η καύση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιείται τόσα χρόνια σαν κύρια μέθοδος αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Επιπλέον όμως υπάρχει και φόβος εξάντλησης τους. Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που προκύπτει από την εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων είναι πολυδιάστατες και επηρεάζουν διάφορες πτυχές της ζωής μας, με βασικές την άνοδο της στάθμης της θάλασσας συνδυαστικά με τη τήξη των πάγων, αλλά και τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις έντονες βροχοπτώσεις που εμφανίζονται όλο και συχνότερα σε ορισμένες περιοχές αλλά και έντονους καύσωνες και περιόδους ξηρασίας σε άλλες. Επιπλέον, τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία καθώς και η κοινωνία και οικονομία μας.

Βασικό πυλώνα προς ένα πιο βιώσιμο ενεργειακά μέλλον αποτελούν οι ΑΠΕ (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδραυλική ενέργεια, βιομάζα, ενέργεια από τη θάλασσα, γεωθερμική ενέργεια). Οι ΑΠΕ αποτελούν εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση καθώς είναι μη ορυκτές και δεν απαιτούνται ενεργητικές παρεμβάσεις μειώνοντας την εξάρτηση μας από περιορισμένους και ρυπογόνους ενεργειακούς πόρους. Δυστυχώς καθώς έχουν μικρό δείκτη απόδοσης (τάξεως 30% ή και λιγότερο), ακόμα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας σε μεγάλα αστικά κέντρα. Λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτελούν τα Υβριδικά Συστήματα (ΥΣ) ΑΠΕ που σε νησιά όπως τους Παξούς που έχουν μεγάλη ενεργειακή δυναμική μπορεί να τα κάνουν ενεργειακά ανεξάρτητα και αυτόνομα.

## 1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί μια βιβλιογραφική παρουσίαση των Υβριδικών Έργων (ΥΕ) και της μεθόδου ασφαλήτωσης καθώς και η αξιολόγηση ενός Υβριδικού Ενεργειακού Συστήματος (ΥΕΣ) στους Παξούς, μια μικρή συστάδα νησιών κοντά στην Κέρκυρα, το οποίο θα περιλαμβάνει ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο με δύο ανεμογεννήτριες (ΑΓ), δύο δεξαμενές θαλασσινού νερού, ένα υδροηλεκτρικό σταθμό με υδροστρόβιλο, ένα αντλιοστάσιο και μια

μονάδα αφαλάτωσης προσομοιώνοντας τη λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τους κανόνες και τους περιορισμούς που ορίζονται από τη μελέτη μας. Η εργασία αυτή αυτοσκοπεί στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και συμπεριφοράς ενός τέτοιου συστήματος εκμεταλλευόμενοι τις διάφορες μορφές ενέργειας που συμμετέχουν στην παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα στόχος είναι να αξιολογήσει την αξιοπιστία αυτού του συστήματος ως προς την εξυπηρέτηση απαιτήσεων νερού για ύδρευση.

### 1.3 Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια τα περιεχόμενα των οποίων περιγράφονται στη συνέχεια. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στις ΑΠΕ και στα ΥΣ.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια παρουσίαση όλων των μορφών των ΑΠΕ και περιγραφή της ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3, γίνεται μια συνοπτική κατηγοριοποίηση των μεθόδων αφαλάτωσης, με ιδιαίτερη βάση στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη και θα εξεταστεί στο πλαίσιο αυτής της εργασίας.

Ακολούθως, στο Κεφάλαιο 4, γίνεται μια περιγραφή της μεθόδου παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας μέσω του υδρογόνου.

Στο Κεφάλαιο 5, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης στην περιοχή μελέτης που είναι οι Παξοί. Εξετάζονται από στοιχεία διοικητικά, ιστορικά, καθεστώτος προστασίας περιοχής, χρήσεων γης, μέχρι μορφολογικά, κλιματολογικά, τεχνικών υποδομών, υδροδότησης.

Στο Κεφάλαιο 6, παρέχεται η λεπτομερής περιγραφή των συνιστωσών του ΥΕ και η ανάλυση της εσωτερικής λειτουργίας του. Επιπρόσθετα, δημιουργούνται πίνακες πληθυσμού, ζήτησης ηλεκτρικής ενέργεια, ύδρευσης. Στη συνέχεια, γίνεται η προσομοίωση του μοντέλου σύμφωνα με διάφορα σενάρια χρήσης της διαθέσιμης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της λειτουργίας και διασύνδεσης της μονάδας αφαλάτωσης και το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με το επίπεδο διακινδύνευσης για κάθε σενάριο.

Στο Κεφάλαιο 7 γίνεται ανάλυση κόστους – οφέλους, προκειμένου να γίνει μια οικονομική αξιολόγηση του έργου και μια σύγκριση των αναμενόμενων οφελών από το προτεινόμενο ΥΣ .

Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 παρατίθενται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω βιβλιογραφική επισκόπηση και την ανάλυση του έργου και δίνονται τα ερεθίσματα για την περαιτέρω έρευνα.

## 2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 2.1 Εισαγωγή Υβριδικά Συστήματα

Η ασταθής προσφορά ενέργειας από τις ΑΠΕ σε σχέση με την ποσότητα και τον χρόνο, καθώς και η μεταβλητότητα στην τιμή των ορυκτών καυσίμων, είναι κρίσιμοι παράγοντες που οδήγησαν στην έρευνα και ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων. Η αστάθεια αυτή οφείλεται στην απρόβλεπτη φύση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, που αποτελούν δύο από τις κυρίαρχες ΑΠΕ. Παράλληλα οι ορυκτοί πόροι εξαντλούνται και υπόκεινται σε οικονομικούς, γεωπολιτικούς και τεχνικούς παράγοντες. Τα ΥΣ ανταποκρίνονται σε αυτές τις προκλήσεις, προσφέροντας μια ισορροπημένη λύση που επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση των ΑΠΕ με τη χρήση αποθηκευτικών μέσων (ταμιευτήρας σε υψόμετρο, συσσωρευτές ενέργειας κ.α.).

Το ΥΕΣ αναφέρεται σε συστήματα που χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα από ένα καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να συνδυάσει μια συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τουλάχιστον μια μορφή ΑΠΕ, αποθηκευτικές διατάξεις, συστήματα εποπτείας και έλεγχο, καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου. Επομένως, τα ΥΣ αποτελούν εναλλακτική επιλογή προς τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Βρετός, 2010).

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

1. Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.
2. Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το δίκτυο ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν

απορροφάται στο δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

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

## 2.2 Πλεονεκτήματα των Υβριδικών Συστημάτων

Η ανάπτυξη των ΥΣΕ αποσκοπεί στην βέλτιστη αξιοποίηση των διαφόρων στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ, όπως ΑΓ, φωτοβολταϊκά κλπ. Η ενέργεια που παράγουν είναι ομαλή και κατάλληλης ποιότητας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, καθώς η διάθεση της είναι πλήρως ελεγχόμενη. Τα ΥΣ μπορούν να ενσωματωθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες που βασίζονται στο πετρέλαιο μετά από αναγκαίες παρεμβάσεις στο υπάρχον σύστημα ή ακόμα και να αναπτυχθούν σαν αυτόνομα, καινούργια συστήματα σε μικρά ή μεγάλα δίκτυα ενέργειας. Έτσι προσφέρουν μια αποδοτική και βιώσιμη λύση για την ενέργεια, ενσωματώνοντας τα θετικά των ΑΠΕ σε ένα ενοποιημένο σύστημα.

Τα ΥΣ ενεργειακής παραγωγής που ενσωματώνουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, λειτουργούν με στόχο την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Αυτό το καθιστά οικονομικό, ειδικά σε περιοχές που είναι απομακρυσμένες από το κεντρικό δίκτυο, όπως αγροτικές περιοχές και μη διασυνδεδεμένα ελληνικά νησιά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όπου η σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο είναι αντιοικονομική, τα ΥΣ αποτελούν αξιόπιστη εναλλακτική. Επιπλέον, η αποδοτικότητά τους και η αξιοπιστία τους τα καθιστούν ιδανικά για χρήση σε περιόδους διακοπής παροχής ενέργειας.

Εδώ δεν θα μπορούσαν να μην αναφερθούν τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν ως προς την ταχύτητα εγκατάστασης των μονάδων τους, την χρήση περιβαλλοντικά φιλικών ΑΠΕ καθώς και το σταθερό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Σαραφιανός κ.α., 2009).

Ωστόσο, τα αναφερόμενα πλεονεκτήματα ενός ΥΣ εξαρτώνται άμεσα από τα χαρακτηριστικά του τόπου στον οποίο θα κατασκευαστούν και θα εγκατασταθούν και από τον τρόπο λειτουργίας τους.

Το υπό μελέτη ΥΣΕ στους Παξούς αναμένεται να έχει τα εξής οφέλη:

1. Σταθερή παροχή ηλεκτροδότησης και αποφυγή μερικών ή ολικών black-out στο νησί.
2. Κατά την ανέγερση και τη λειτουργία του έργου, προκύπτει η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.
3. Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τη μείωση της λειτουργίας του τοπικού σταθμού παραγωγής.
4. Εξασφάλιση σημαντικών ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης.
5. Παραγωγή ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

Σαφώς, είναι πολύ πιθανό να προκύψουν και αναπόφευκτα προβλήματα κατά την λειτουργία του ΥΣ, όπως δηλαδή κατά πόσο ο υδροστρόβιλος έχει την απαιτούμενη ταχύτητα απόκρισης, ώστε να παρακολουθεί πλήρως τις μεταβολές της αιολικής παραγωγής του ΥΣ που αφορούν την αξιοπιστία συνεργασίας υδροστρόβιλου – ΑΓ αλλά και προβλήματα που αφορούν την αισθητική μορφολογία και αλλοίωση του φυσικού τοπίου από την κατασκευή του ΥΣ. Ωστόσο, στο ισοζύγιο θετικών αρνητικών μπορεί εύκολα κανείς να καταλάβει ότι τα θετικά υπερτερούν.

## 2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα υβριδικά συστήματα

Ως ΑΠΕ ορίζονται οι μη ορυκτές πηγές ενέργειας, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Αυτές είναι η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από την θάλασσα και η ωσμωτική ενέργεια. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι, σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως καύση για την εκμετάλλευσή τους. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι καθώς πρόκειται για καθαρές πηγές ενέργειας δεν παράγουν διοξείδιο του άνθρακα και τοξικά απόβλητα, συνεπώς δεν συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Θεωρούνται συχνά ως η αρχή της επίλυσης των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

### 2.3.1 Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευσή του ανέμου και έχει ονομαστεί έτσι από τον Αίολο, θεό του ανέμου της ελληνικής μυθολογίας. Η

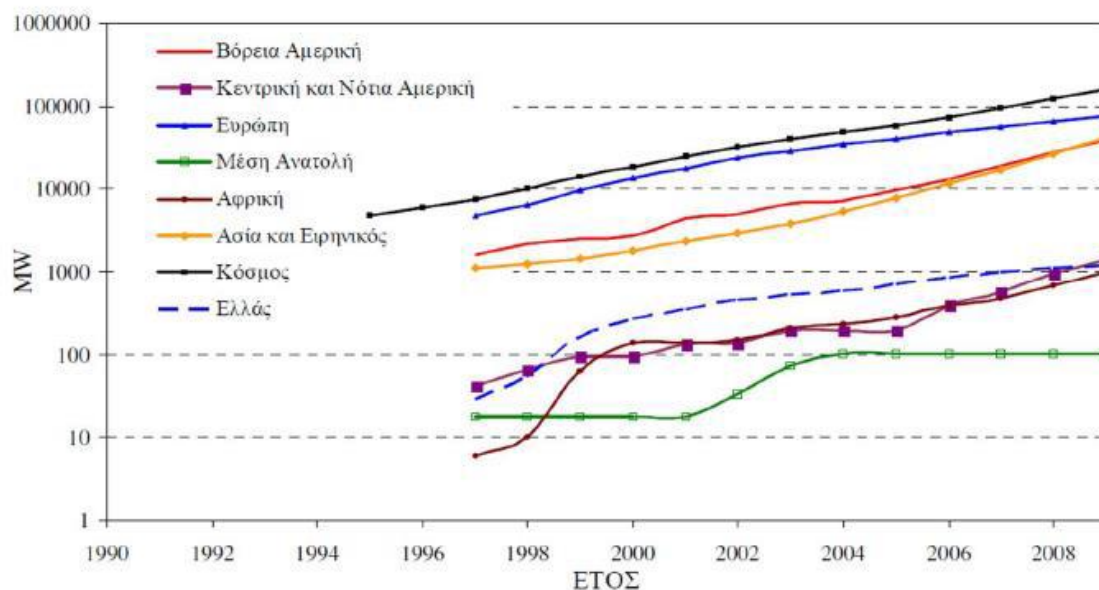


αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της εντοπίζεται στη ναυσιπλοΐα με τη χρήση των ιστίων (πανιά) στα καράβια. Αργότερα ξεκίνησε να αξιοποιείται και στη ξηρά με τη χρήση των ανεμόμυλων που βοηθούσαν στην άλεση των δημητριακών και στην άντληση του νερού. Για την εκμετάλλευση των ανέμων και όπως παλιά έτσι και σήμερα, χρησιμοποιούνται ανεμόμυλοι, απλά σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σαν μια εναλλακτική πιο οικονομική και πιο φιλική προς το περιβάλλον. Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1887 στη Σκωτία από τον καθηγητή James Blyth από το Anderson's College της Γλασκόβης.

Η αναζήτηση και η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού αποτελούν μια στροφή προς μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή προσέγγιση. Η ελεύθερη, άφθονη και ανεξάντλητη φύση της αιολικής ενέργειας την καθιστά μια πολλά υποσχόμενη πηγή, ανεξάρτητη από τα ορυκτά καύσιμα. Η χρήση εξελιγμένης τεχνολογίας στις ΑΓ επιτρέπει τη γρήγορη συναρμολόγηση και εγκατάσταση τους, ενώ το χαμηλό λειτουργικό κόστος τις καθιστά ανταγωνιστική επιλογή. Έτσι, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αντικατοπτρίζει μια σύγχρονη προσέγγιση προς την ενεργειακή παραγωγή, συνδυάζοντας αποτελεσματικότητα, οικονομία και σεβασμό προς το περιβάλλον.

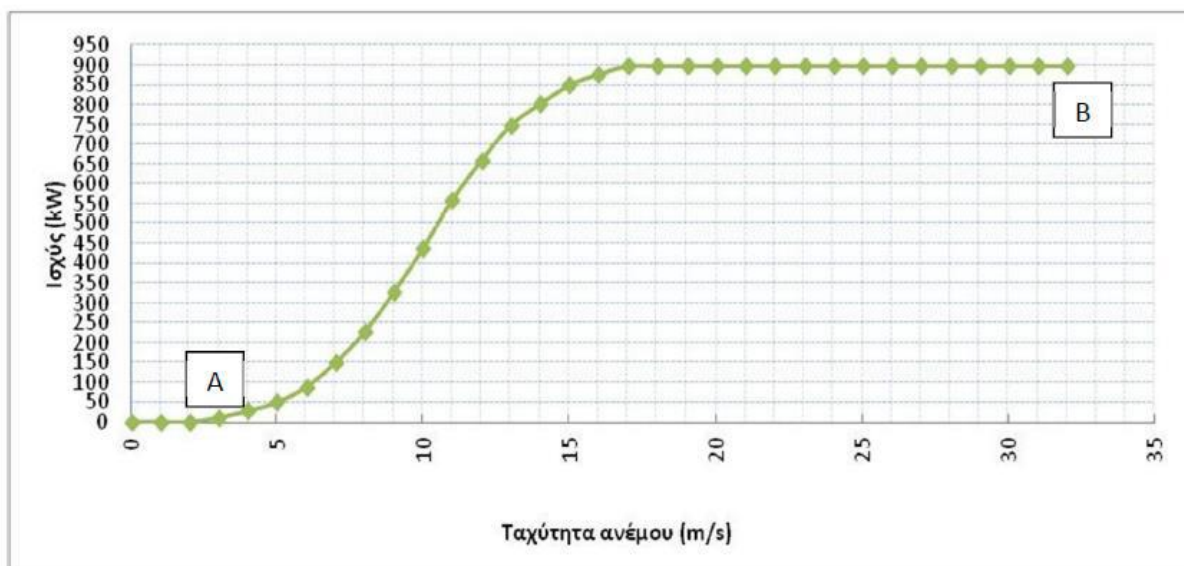
Το βασικό πρόβλημα της απρόβλεπτης και έντονης διακύμανσης στην παραγόμενη ισχύ από τις ΑΓ αποτελεί πρόκληση για τη σταθερότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ η εξέλιξη της τεχνολογίας αντιμετωπίζει αυτό το ζήτημα, παράλληλα όμως αυξάνει το κόστος απόκτησης των συστημάτων. Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, ο θόρυβος και η οπτική όχληση αποτελούν προκλήσεις, όμως, η τεχνολογική πρόοδος βελτιώνει σημαντικά αυτά τα θέματα. Το κριτήριο της οπτικής όχλησης είναι υποκειμενικό και εξαρτάται από την αισθητική κάθε ατόμου. Παράλληλα, η προστασία της πανίδας, όπως η αποφυγή πρόσκρουσης πουλιών στις ΑΓ, είναι σημαντική, ιδίως κατά την εγκατάσταση σε περιοχές με προστατευόμενη φύση.

Η χρήση της αιολικής ενέργειας φαίνεται να παρουσιάζει μια αυξητική τάση σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1.



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

Για τον υπολογισμό της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ΑΓ χρειάζεται η καμπύλη ισχύος της, στην οποία δίνεται η σχέση ισχύος της ΑΓ ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.



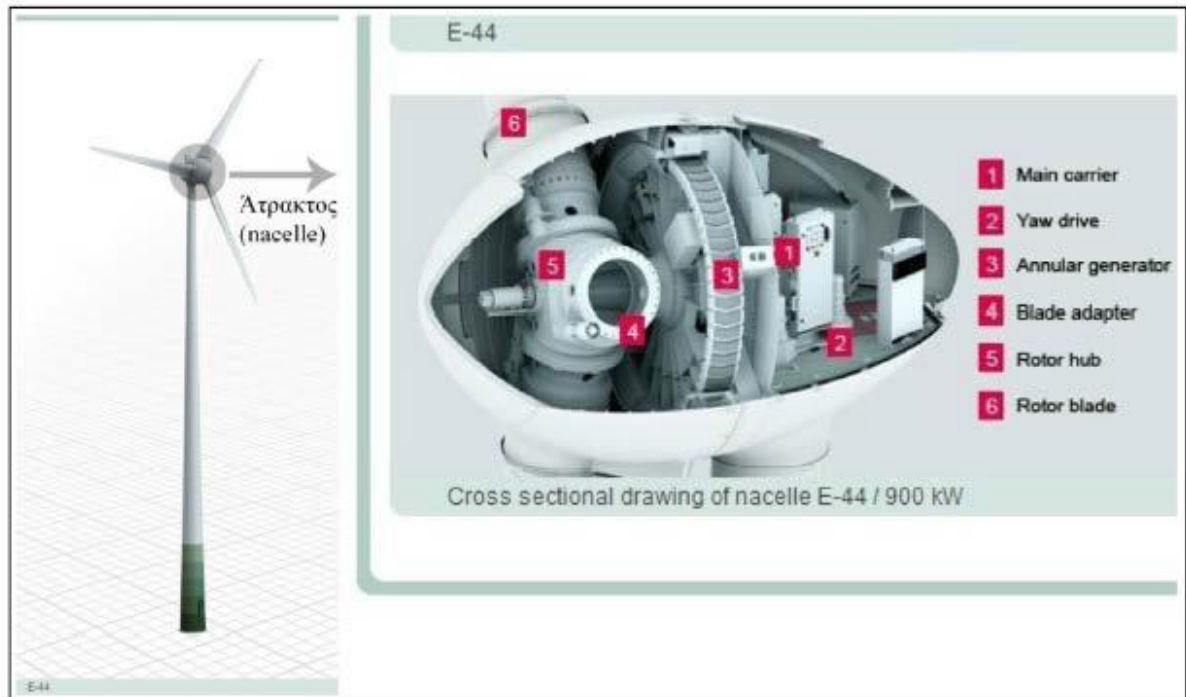
**Σχήμα 2.2** Καμπύλη ισχύος - ταχύτητας ανέμου της ΑΓ Enercon E44 - 900 kW (Πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.).

Από το Σχήμα 2.2, διακρίνουμε δύο χαρακτηριστικά σημεία: το Α, το οποίο παρουσιάζει την ταχύτητα που η γεννήτρια ξεκινάει την παραγωγή ρεύματος, και το σημείο Β, στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου για τη συγκεκριμένη ΑΓ θεωρείται απαγορευτική για τη συνέχιση της

περιστροφής των πτερωτών, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος καταστροφής της. Η καμπύλη ισχύος μιας ΑΓ παρέχεται από τον κατασκευαστή και συνήθως εκτιμάται εμπειρικά μέσω μετρήσεων στο πεδίο, προκαλώντας αβεβαιότητες σχετικά με τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στις πτέρυγες. Γενικά, ο βαθμός απόδοσης μιας ΑΓ κυμαίνεται περίπου στο 35% της θεωρητικής ισχύος που αναμένεται.

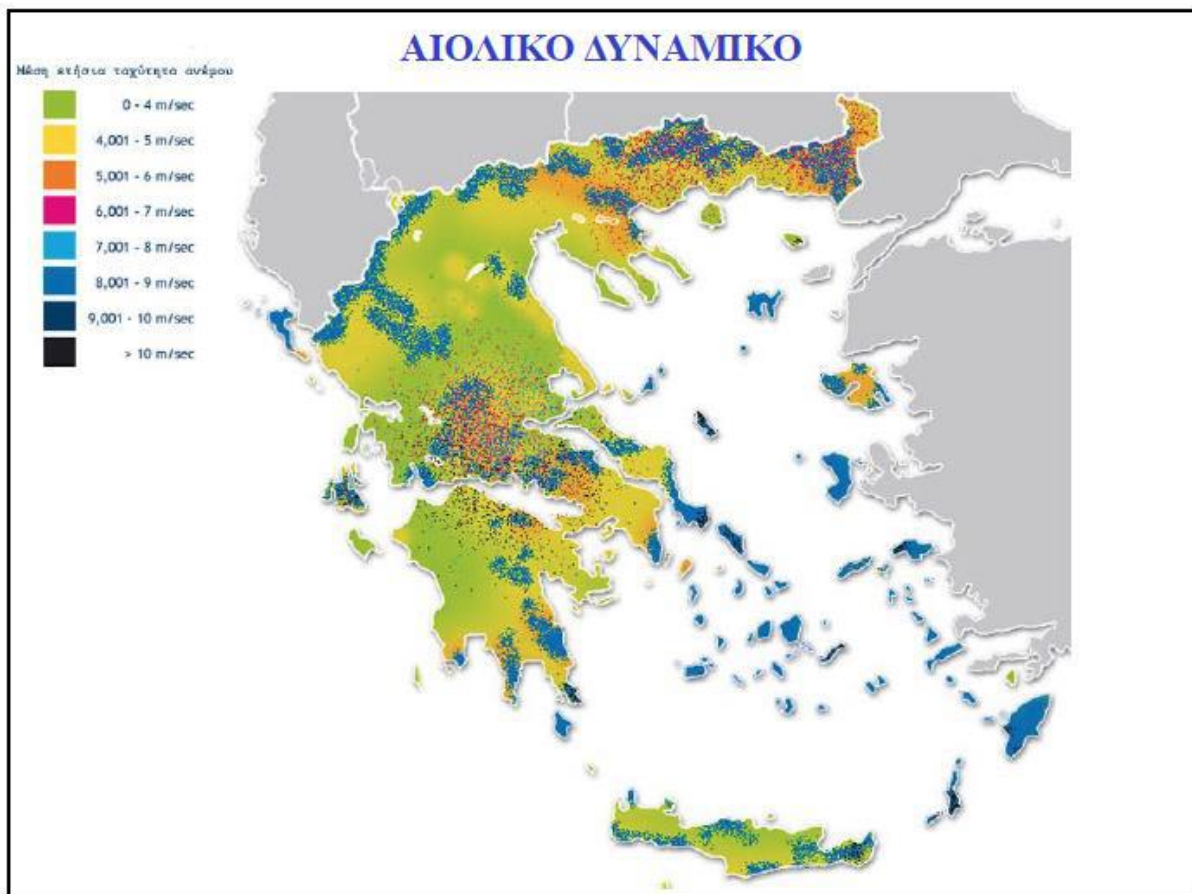
Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μία ΑΓ παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5 και είναι τα εξής (Μπαλάρας, 2006):

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



**Σχήμα 2.3** Αριστερά η εικόνα της ΑΓ Enercon E44 - 900 kW και δεξιά τα μηχανικά υποσυστήματα της ατράκτου (Πηγή: Μπαλάρας, 2006).

Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, η προοπτική για επιπλέον ενσωμάτωση των ΑΓ στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής είναι εξαιρετικά ευνοϊκή, λαμβάνοντας υπόψη το αιολικό δυναμικό της χώρας, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου.



**Σχήμα 2.4** Αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε m/s)  
(Πηγή: ΚΑΠΕ, 2013).

### 2.3.2 Ηλιακή ενέργεια

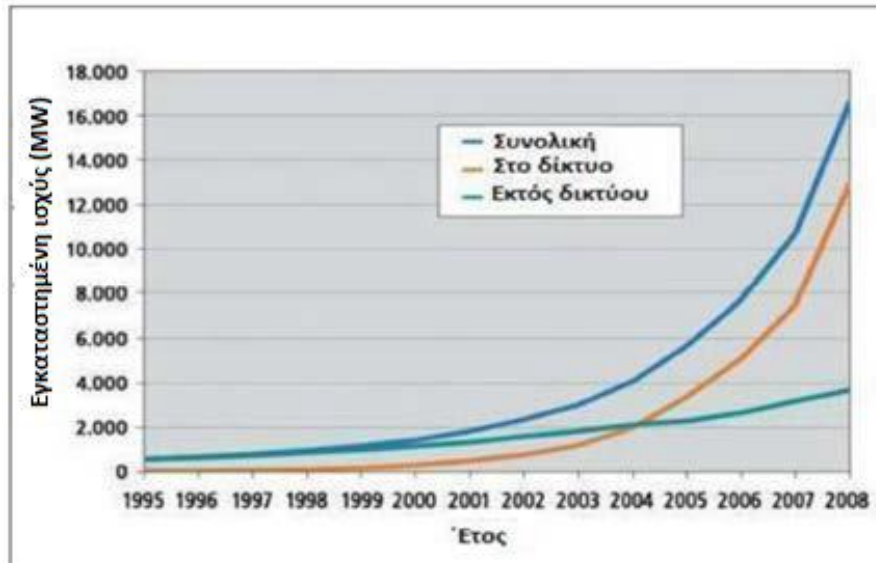
Ως ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε στο σύνολο διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Ανάμεσα σε αυτές περιλαμβάνονται το φως ή η φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα, καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Σήμερα, τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενέργεια περιλαμβάνουν το ηλεκτρικό πλαίσιο, γνωστό και ως φωτοβολταϊκό, και το θερμικό πλαίσιο, που είναι γνωστό ως ηλιακός συλλέκτης ή ηλιακός θερμοσίφωνας. Οι φωτοβολταϊκοί μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ οι ηλιακοί συλλέκτες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται στη θέρμανση νερού ή χώρων, και οι εφαρμογές τους εκτείνονται από ηλιακούς θερμοσίφωνες σε μεμονωμένα νοικοκυριά έως ηλιακούς φούρνους και τμήματα ηλιακών πύργων που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση μεγάλων κτιρίων ή ακόμη και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, εκμεταλλεύονται την ηλιακή

ενέργεια για να καλύψουν διάφορες ενεργειακές ανάγκες με φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους.

Τα συστήματα φωτοβολταϊκών μετατρέπουν μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η τεχνολογία αυτή εμφανίστηκε τη δεκαετία του '60, αρχικά για διαστημικές εφαρμογές, και αργότερα εξαπλώθηκε παγκοσμίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε ιδιωτικά σπίτια, τόσο στις στέγες όσο και σε προσόψεις μεγάλων κτιρίων. Μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο ή να αποτελούν μέρος υβριδικών συστημάτων, προσφέροντας βιώσιμη ενέργεια και περισσότερες επιλογές για την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής δυναμικής.

Τα ηλεκτρικά πλαίσια, γνωστά και ως φωτοβολταϊκά συστήματα, παρουσιάζουν ορισμένα θετικά χαρακτηριστικά. Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν εκπέμπουν ρύπους κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης και προσφέρουν ευελιξία σε διάφορες εφαρμογές, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε μεγάλη όσο και σε μικρή κλίμακα συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν και αρνητικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Το υψηλό κόστος εγκατάστασής τους αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα, ενώ η απόδοσή τους κυμαίνεται συνήθως σε ποσοστό μεταξύ 13% και 20%, το οποίο θεωρείται σχετικά χαμηλό. Παρά τα παραπάνω, με την εξέλιξη των επιχειρησιακών προγραμμάτων που στοχεύουν στη διεύρυνση των ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, έχει παρατηρηθεί αύξηση των εγκαταστάσεων παγκοσμίως (Ρίππη, 2013). Σε χώρες με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, όπως η Ελλάδα, αυτά τα συστήματα μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό πόρο για την παραγωγή βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας.



**Σχήμα 2.5** Χρονική εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών (MW) παγκοσμίως (Πηγή: Σαραφινός και Σειραγάκης, 2009).

### 2.3.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια λέγεται η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του τρεχούμενου νερού με σκοπό, κυρίως, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των υδροστροβίλων παραγωγής ενέργειας.

Η παγκόσμια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί σημαντικό ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής, εκτιμώντας ότι ανέρχεται στο 16.6% των 18930 TWh παγκοσμίως. Στην Ελλάδα, η συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ισχύος ανέρχεται στο 19%, καθιστώντας τη μία από τις κύριες πηγές εγχώριας ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια συνδυάζεται συχνά με ΑΠΕ, αποτελώντας βέλτιστη επιλογή λόγω του υψηλού βαθμού ενεργειακής απόδοσης (περίπου 85%) και της σταθερής παραγωγής χωρίς διακυμάνσεις.

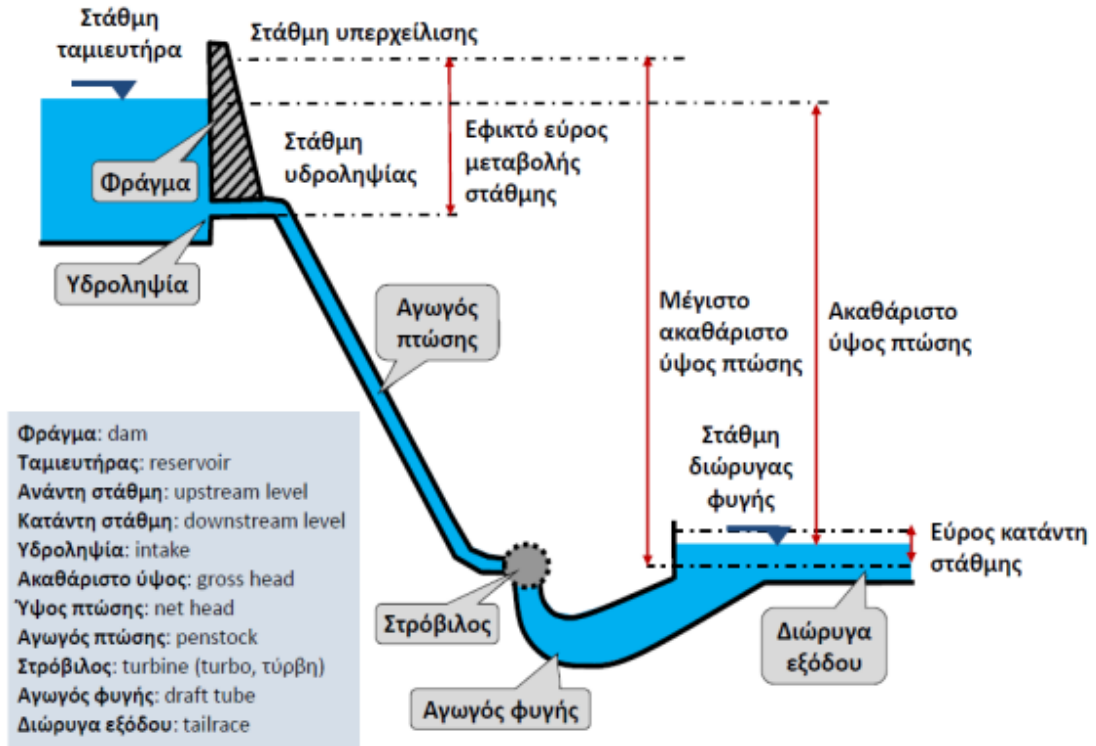
Επιπλέον, η δυνατότητα των υδροηλεκτρικών έργων να αντιμετωπίζουν άμεσα τις αιχμές ζήτησης, σε συνδυασμό με την ευελιξία στην παραλαβή και απόρριψη του φορτίου, καθιστά την τεχνολογία αυτή αποτελεσματική. Ειδικά σε περιοχές με μορφολογία ευνοϊκή για την εγκατάσταση υδροηλεκτρικών έργων, ο συνδυασμός με ανανεώσιμες πηγές αποτελεί ιδανική επιλογή. Επιπλέον, η συνδυαστική χρήση υδροηλεκτρικών έργων με συστήματα ΑΠΕ, όπως ο συνδυασμός με το σύστημα άντλησης ταμίευσης, εξασφαλίζει την απορρόφηση της απρόβλεπτης παραγωγής των ΑΠΕ. Ωστόσο, δεν πρέπει να

παραβλέπουμε τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν τα υδροηλεκτρικά έργα στο περιβάλλον, στη χλωρίδα, την πανίδα και την αισθητική της περιοχής.

Το υδροηλεκτρικό έργο αποτελείται από βασικές συνιστώσες που συνεργάζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κεντρικός παράγοντας αποτελεί το φράγμα ή ο ταμιευτήρας νερού, ο οποίος διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αποθήκευση του νερού, καθώς και στον καθορισμό του ύψους υδατόπτωσης, επηρεάζοντας άμεσα την απόδοση του υδροστροβίλου. Η περιοχή υδροληψίας είναι ο χώρος όπου απομακρύνονται τα ογκώδη απορρίμματα, επιτυγχάνοντας την ομαλή είσοδο του νερού στο σύστημα. Ο αγωγός πτώσης παίζει καίριο ρόλο στη μεταφορά του νερού προς τους υδροστρόβιλους, ενώ ο υδροηλεκτρικός σταθμός φιλοξενεί τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για τη μετατροπή της υδροκινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, ο αγωγός φυγής επιστρέφει το εξερχόμενο νερό πίσω στο φυσικό περιβάλλον. Αυτές οι συνιστώσες, σε συνδυασμό, δημιουργούν ένα λειτουργικό και αποδοτικό υδροηλεκτρικό σύστημα που συμβάλλει στην παραγωγή καθαρής ενέργειας.

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός των υδραυλικών έργων αποτελείται κυρίως από τις αντλίες και τον υδροστρόβιλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Η αντλία προσδίδει μηχανική ενέργεια στη ροή του νερού, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ανοδική του πορεία και τελικά η άντλησή του. Ενώ ο υδροστρόβιλος απορροφά την υδραυλική ενέργεια του νερού προκειμένου να τη μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια κατά την περιστροφική του κίνηση και στη συνέχεια μέσω γεννητριών να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια (Στάμος, 2009).





**Σχήμα 2.6** Κύρια χαρακτηριστικά των υδροηλεκτρικών έργων (Πασσιάς, 2019).

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

$$I = g * Q * H_{man} * \eta_t \text{ για υδροστρόβιλο,} \quad (2.1)$$

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

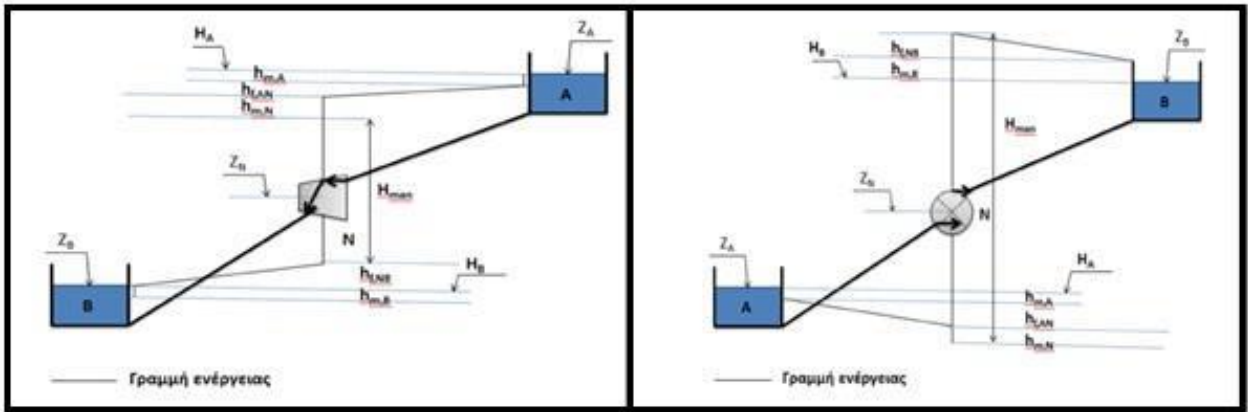
όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας  $9.81 \text{ m/s}^2$ ,  $Q$  η παροχή στον αγωγό πτώσης ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_{man}$  το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστροβίλου (m) και  $\eta_t$ ,  $\eta_p$  οι συντελεστές βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου που λαμβάνεται ίσος με 0.90 και της αντλίας με 0.69 αντίστοιχα.

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

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

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

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



**Σχήμα 2.7** Αριστερά η λειτουργία ενός υδροστρόβιλου και δεξιά μιας αντλίας (Πηγή: Στάμου, 2009).

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

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

όπου  $f$  ο συντελεστής τριβών Darcy που λαμβάνεται ίσος με 0.012,  $L$  το μήκος του αγωγού ( $m$ ),  $D$  η διάμετρος του αγωγού ( $m$ ),  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας  $9.81 \text{ m/s}^2$  και  $V$  η ταχύτητα του νερού στον αγωγό, η οποία δίνεται από τη σχέση

$$V = Q * \frac{D}{\pi} * r^2 \quad (2.6)$$

όπου  $Q$  η παροχή σχεδιασμού του αγωγού ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) και  $r$  η ακτίνα του αγωγού ( $m$ ).

## 2.4 Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο

Είναι γνωστό ότι η αιολική ενέργεια είναι οικονομικά συμφέρουσα και φιλική προς το περιβάλλον. Ωστόσο, η περιορισμένη διαθέσιμη έκταση στη στεριά για την εγκατάσταση ΑΓ καθιστά τα υπεράκτια αιολικά πάρκα μια ελκυστική εναλλακτική λύση.

Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε το 1991 στη Δανία. Το αγρόκτημα κατασκευάστηκε σε 2 έως 5 μέτρα νερού και διέθετε 11 ΑΓ που παρείχαν ηλεκτρική ενέργεια σε περισσότερα από 2000 σπίτια. Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν γίνει πολλές επενδύσεις για την ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Χώρες όπως η Δανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία, η Κίνα και η Ολλανδία πρωτοστατούν στην υπεράκτια

αιολική ενέργεια, με αρκετά πάρκα να λειτουργούν ήδη και πολλά άλλα να βρίσκονται υπό κατασκευή.

Σε αντίθεση με τα χερσαία αιολικά πάρκα, τα θαλάσσια αιολικά πάρκα εκμεταλλεύονται τις ισχυρότερες και πιο σταθερές θαλάσσιες ανέμους, προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη απόδοση. Πιο συγκεκριμένα, καθώς υπάρχει ανοιχτός χώρος άρα έχει και ανώτερη ποιότητα αέρα που συμβάλλει σε υψηλότερα επίπεδα παραγωγικότητας.

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τον καθορισμό της δημιουργίας ενός Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου (ΘΑΠ) είναι η τοποθεσία εγκατάστασης του. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της τοποθεσίας παρατίθενται παρακάτω (Μυλωνάκης, 2023):

- Ένταση του ανέμου, θέλουμε η μέση ταχύτητα να είναι ικανοποιητική καθώς αυτό θα κρίνει αν η κατασκευή του ΘΑΠ είναι βιώσιμη.
- Το βάθος της θάλασσας, παίζει το πιο σημαντικό ρόλο όσον αφορά την δυσκολία κατασκευής. Πλέον υπάρχει δυνατότητα κατασκευής μέχρι και σε βάθος 300 m με πλωτό σύστημα, αλλά το ιδανικό βάθος είναι μέχρι τα 50 m που μπορεί να γίνει και πάκτωση του πυλώνα της ΑΓ λύση που αποτελεί την πιο τεχνολογικά ώριμη. Οι μέθοδοι φαίνονται στο Σχήμα 2.8 ενδεικτικά.
- Η απόσταση από τα βασικά λιμάνια, καθώς είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι για την κατασκευή ενός ΘΑΠ ένα λιμάνι θα λειτουργήσει ως κέντρο για ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής.
- Περιοχές που περιορίζουν την τοποθέτηση ΘΑΠ. Τέτοιες περιοχές αποτελούν περιοχές NATURA/CORINE, περιοχές στρατιωτικής άσκησης, περιοχές αλιείας, απόσταση μικρότερη από 3 km από την ακτή.
- Άποψη του κοινού, θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την πορεία που ακολουθεί το έργο, εξαιτίας της οπτικής όχλησης και του θορύβου που δημιουργείται.

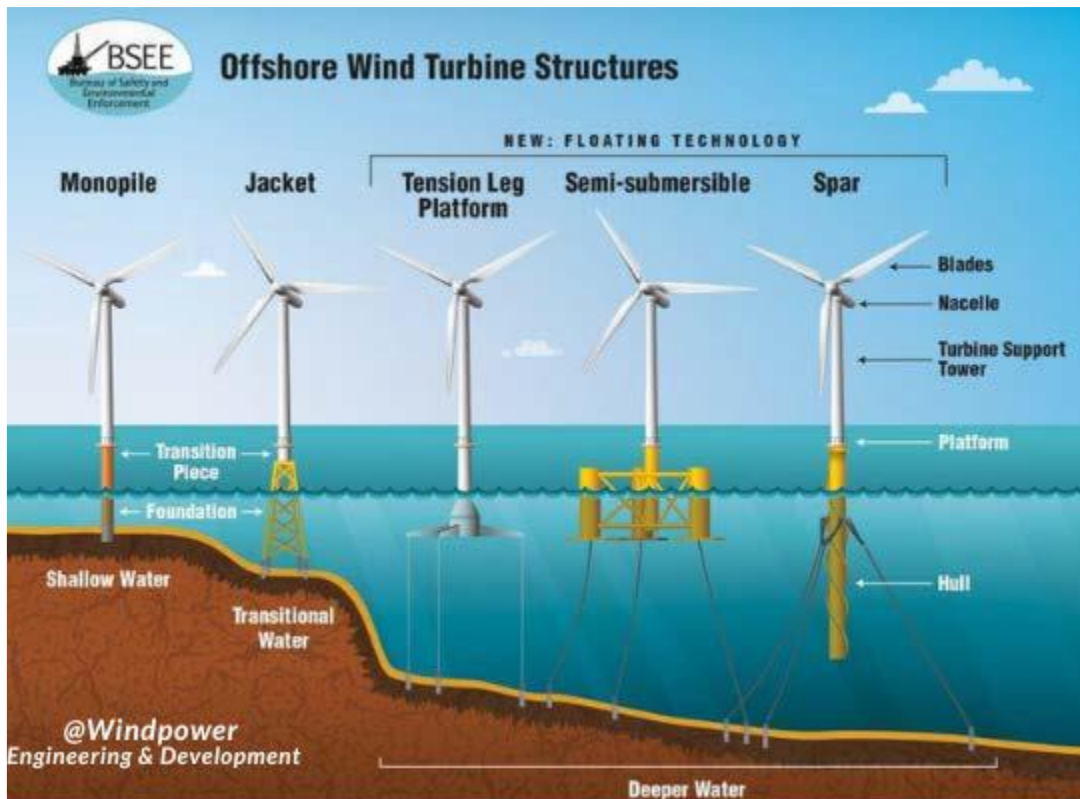
Αυτό καθιστά απαραίτητο τον σχεδιασμό θαλάσσιας χωροταξίας που θα κατανέμει με λογικό τρόπο τις θαλάσσιες εκτάσεις, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες.

Όσον αφορά τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι κύριες επιπτώσεις που απασχολούν είναι οι επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον και στα πτηνά (Βλησίδη, 2022).

- Τα πουλιά συνήθως προσαρμόζονται στην παρουσία των ΑΓ, ενώ τα αποδημητικά πουλιά πετούν σε μεγαλύτερα ύψη, αποφεύγοντας τις συγκρούσεις. Η ελαχιστοποίηση των θανάτων μπορεί να επιτευχθεί με αποφυγή χωροθέτησης αιολικών πάρκων στις μεταναστευτικές διαδρομές και την υπόγεια τοποθέτηση καλωδιώσεων.
- Το υδάτινο περιβάλλον περιλαμβάνει οργανισμούς που ζουν μέσα ή πάνω στα ιζήματα του βυθού. Οι infauna είναι θαλάσσια ζώα και βακτήρια στα ιζήματα, ενώ οι epifauna είναι ζώα προσκολλημένα σε τραχείες επιφάνειες. Κατά την εγκατάσταση των ΘΑΠ, δημιουργούνται νέες αποικίες οργανισμών, προσελκύνοντας ψάρια και μεταβάλλοντας την ισορροπία του οικοσυστήματος. Η κατασκευή του ΘΑΠ αυξάνει την θολότητα του νερού, επηρεάζοντας αρνητικά την θαλάσσια βλάστηση, λόγω μειωμένης πρόσληψης φωτός, αλλά αυτό είναι προσωρινό και περιορίζεται στη διάρκεια των κατασκευαστικών εργασιών.

Η επένδυση ενός σημαντικού χρηματικού ποσού είναι απαραίτητη για την κατασκευή και εγκατάσταση ΑΓ, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου προορίζεται για έρευνα και ανάλυση των πιθανών τοποθεσιών για την τοποθέτηση των ΑΓ.

Το 2009, ο Kaiser σε μια προσπάθεια αντιστάθμισης των ΘΑΠ με των χερσαίων εξήγαγε το συμπέρασμα ότι το κόστος της εγκατάστασης, αλλά και λειτουργίας και συντήρησης των θαλάσσιων είναι περίπου 20% υψηλότερο από ότι των χερσαίων. Επιπλέον, το κόστος συντήρησης ενός γερανού σε ένα πλοίο είναι από 5 έως 10 φορές μεγαλύτερο από το κόστος συντήρησης ενός γερανού στη ξηρά.



Σχήμα 2.8 Ενδεικτικοί τρόποι εγκατάστασης θαλάσσιας ΑΓ ([www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement](http://www.bsee.gov/what-we-do/renewable-energy/renewable-energy-policy-statement), n.d.)

### 3. Αφαλάτωση

#### 3.1 Γενικά στοιχεία

Αφαλάτωση ονομάζεται η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια/λίμνες και υπεραλατούχα διαλύματα (άλμη).

Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό. Η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Όπως είναι γνωστό το 97.5% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη.

Η μείωση των βροχοπτώσεων, οι ακραίες μετεωρολογικές μεταβολές και η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων είναι μερικοί παράγοντες που οδήγησαν πολλές χώρες στον κόσμο σε αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ύδρευσης.

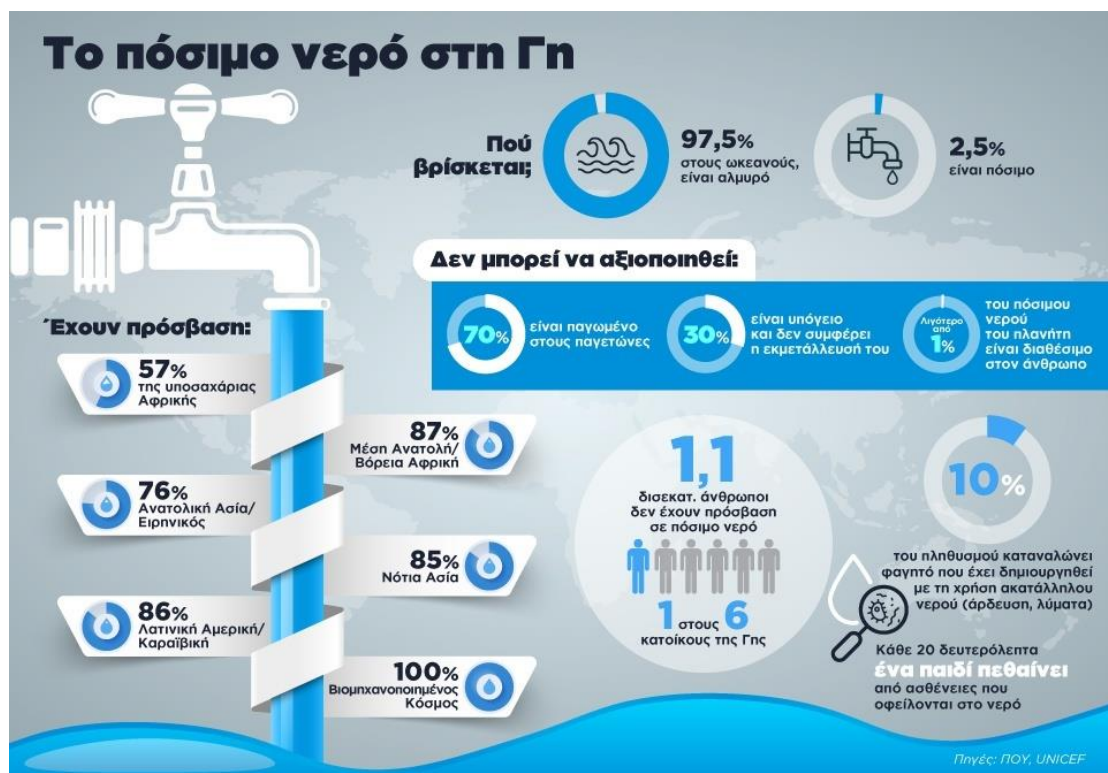
Ιστορικά, η έννοια της αφαλάτωσης χρονολογείται από τους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς του 4<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα, οι οποίοι την πραγματοποιούσαν με την εξάτμιση θαλασσινού νερού, όπως περιγράφει ο Αριστοτέλης. Επιπλέον, υπάρχει αναφορά σε αφαλάτωση σε ένα έργο από Άραβα συγγραφέα του 8<sup>ου</sup> αιώνα, το οποίο βασίζεται στην απόσταξη του νερού.

Κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, με την εξέλιξη της ατμοπλοΐας, η ανάγκη για μεγάλες ποσότητες ύδατος για τις ατμομηχανές επέβαλε την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, προκειμένου να αποφεύγεται η ταχεία διάβρωση των μηχανημάτων. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση νερού εκδόθηκε στην Αγγλία το 1869. Η σημασία αυτής της ανακάλυψης είναι εμφανής από το γεγονός ότι την ίδια χρονιά, οι Άγγλοι εγκατέστησαν τον πρώτο μεγάλο αφαλατωτικό σταθμό στο Άντεν για το στόλο τους. Ο πρώτος μεγάλος βιομηχανικός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού νερού για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930.

Από το 1970, ξεκίνησε η λειτουργία μεγάλων βιομηχανικών εγκαταστάσεων αφαλάτωσης σε διάφορες περιοχές, όπως οι ΗΠΑ, η Ρωσία, το Μεξικό, η Μέση Ανατολή, και παράλιες χώρες, όπως η Σαουδική Αραβία (24% της παγκόσμιας χρήσης), το Κουβέιτ, η Αίγυπτος, αλλά και το Ισραήλ. Στον δυτικό κόσμο, η Ισπανία είναι ο μεγαλύτερος χρήστης αυτής της μεθόδου, ξεκινώντας μαζική χρήση αφαλάτωσης στα Κανάρια Νησιά. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης στην Ευρώπη βρίσκεται σήμερα στο Καρμπονέρας της Νότιας Ισπανίας.

Οι κύριες μέθοδοι αφαλάτωσης που βρήκαν ευρεία εφαρμογή, έχουν πλήρως δοκιμαστεί και διατίθενται στο εμπόριο τα τελευταία 40 χρόνια περίπου, είναι η εξάτμιση (απόσταξη), οι ιοντικές μέθοδοι και η αντίστροφη ώσμωση.

Από τις παραπάνω μεθόδους, η πιο διαδεδομένη είναι η αντίστροφη ώσμωση ή reverse osmosis (ΑΩ ή RO), η οποία βρίσκει τη μεγαλύτερη εφαρμογή, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, της καταλληλότητας της για σύνδεση με ΑΓ ή φωτοβολταϊκά και της υψηλής παραγωγικότητας ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης (Μυσίρης, 2015).



Σχήμα 3.1 Απεικόνιση του πόσιμου νερού στον κόσμο (Γρίβα, 2022).

### 3.2 Αντίστροφη Ώσμωση

Η ΑΩ είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί πίεση για να απομακρύνει τα άλατα από το θαλασσινό νερό, παράγοντας έτσι πόσιμο νερό. Κατά τη διαδικασία αυτή, το θαλασσινό νερό πιέζεται μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης, η οποία επιτρέπει τη διέλευση μόνο του νερού, αφήνοντας πίσω τα άλατα. Ασκώντας εξωτερική πίεση πάνω στο θαλασσινό νερό, μπορεί να αναστραφεί η ώσμωση, με αποτέλεσμα το αφαλατωμένο νερό να περνά από τη μεμβράνη. Αυτή η μέθοδος απαιτεί λιγότερη ενέργεια συγκριτικά με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης και μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες κλίμακες, από μεγάλες εγκαταστάσεις μέχρι οικιακές χρήσεις. Παράδειγμα εφαρμογής είναι η εγκατάσταση στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, όπου το μεγάλο ποσοστό των υδατικών αναγκών καλύπτεται από αφαλατωμένο νερό.

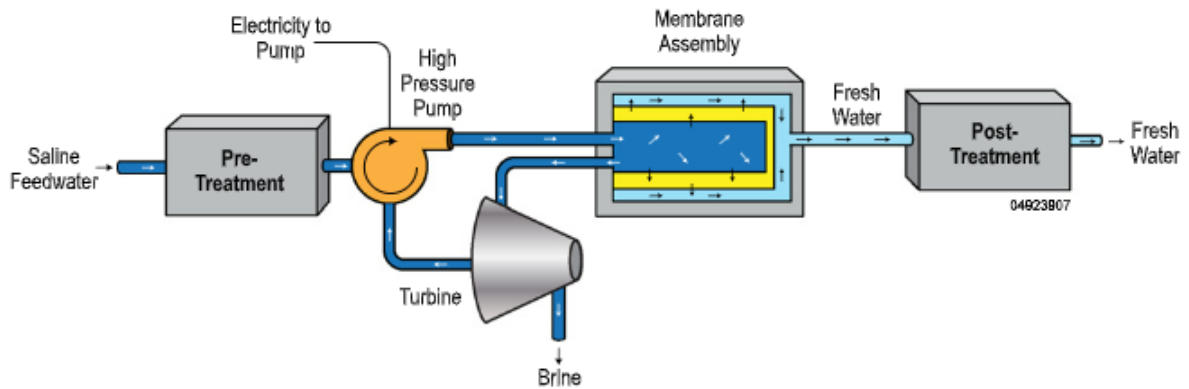
Το φαινόμενο της ΑΩ εφαρμόζεται στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Συγκεκριμένα, η ωσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού είναι 27 ατμόσφαιρες (atm). Ασκώντας αρκετά μεγάλη εξωτερική πίεση (περίπου 70 atm), η ώσμωση μπορεί να σταματήσει και να αντιστραφεί, οπότε από τη μεμβράνη διέρχεται αφαλατωμένο νερό. 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).

Η ΑΩ αποτελεί την πιο δημοφιλή μέθοδο αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά, χρησιμοποιώντας υψηλή πίεση για την παραγωγή πόσιμου νερού από θαλασσινό. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, υπάρχουν περίπου 50 μονάδες ΑΩ στην Ελλάδα, εξυπηρετώντας δήμους και κοινότητες.

Η μέθοδος ΑΩ διακρίνεται σε τρεις φάσεις: προεπεξεργασία, αντίστροφη ώσμωση και τελική επεξεργασία. Η προεπεξεργασία είναι κρίσιμη για την καθαρότητα των μεμβρανών, ενώ η ΑΩ παράγει καθαρό νερό απαλλαγμένο από άλατα. Τέλος, η τελική επεξεργασία προετοιμάζει το νερό για διανομή, χρησιμοποιώντας χημικά για τη σταθεροποίηση.

Συνολικά, η ΑΩ αποτελεί μια αποδοτική και αποτελεσματική μέθοδο αφαλάτωσης, ιδανική για χρήση σε διάφορες κλίμακες, από μεγάλες εγκαταστάσεις μέχρι οικιακές χρήσεις.





**Σχήμα 3.2** Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης (Al-Karaghoulι and Kazmerski, 2013).

### 3.3 Ενέργεια για αφαλάτωση

Ανάμεσα στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι περιοχές με ανάγκη παραγωγής πόσιμου νερού με μέθοδο της αφαλάτωσης, η έλλειψη εύκολης πρόσβασης σε ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα σοβαρό εμπόδιο. Αυτές οι περιοχές, που συχνά είναι απομονωμένες και απροσπέλαστες, όπως τα περισσότερα ελληνικά νησιά, συνήθως δεν είναι συνδεδεμένες σε ένα ισχυρό δίκτυο παροχής ενέργειας. Αυτό οδηγεί σε συχνή αδυναμία κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των μονάδων αφαλάτωσης, καθώς τα τοπικά δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρής ισχύος και δεν μπορούν να ανταποκριθούν σε όλες τις απαιτήσεις του δικτύου.

Ωστόσο, παράλληλα με την προσπάθεια για διείσδυση των ΑΠΕ στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στον συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Αυτός ο συνδυασμός έχει ως στόχο τη μείωση του ενεργειακού κόστους και, συνεπώς, του κόστους του αφαλατωμένου νερού. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα από πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι υπάρχουν προβλήματα όταν τα συστήματα αφαλάτωσης συνδέονται με ΑΠΕ, όπως η αδυναμία ασφαλούς παροχής ενέργειας και η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια αναδεικνύεται ως μια πιθανή λύση σε αυτό το πρόβλημα σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό. Σε αυτές τις περιοχές, η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την αφαλάτωση, όσο και για την κάλυψη των ενεργειακών

αναγκών των κατοίκων. Ωστόσο, οι διακυμάνσεις στην παραγωγή αιολικής ενέργειας μπορεί να οδηγήσουν σε διακυμάνσεις στην ποσότητα του αφαλατωμένου νερού.

Η συνδυασμένη χρήση των υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ με μονάδες αφαλάτωσης στα νησιά, όπως η Λέρος, μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική λύση. Με την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και τη συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τα ΥΣ ΑΠΕ, επιτυγχάνεται η εξασφάλιση ενέργειας τόσο για την αφαλάτωση όσο και για τις καθημερινές ανάγκες των κατοίκων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το σύστημα στο Λαύριο, όπου συνδυάζεται η ηλιακή ενέργεια με την αιολική ενέργεια, παρέχοντας σταθερή παροχή νερού μέσω της αφαλάτωσης.

Συνεπώς, η εν λόγω προσέγγιση μπορεί να αποτελέσει μια ικανοποιητική λύση για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από απομόνωση και δυσκολία στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής αφαλατωμένου νερού. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογικής προσέγγισης μπορεί να αποδειχθεί καίριας σημασίας για την αειφορία και την ανάπτυξη των απομονωμένων περιοχών, όπως τα νησιά, που αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα ενεργειακής κάλυψης.

## 4. Υδρογόνο

### 4.1 Γενικά στοιχεία

Το υδρογόνο, ως αμέταλλο χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 1 και σύμβολο "H", αποτελεί το πιο ελαφρύ και απλό στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Στη φυσική του μορφή, εμφανίζεται ως άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, ενώ μπορεί να παρουσιάζεται και σε μορφή υδρογονάνθρακα σε διάφορες χημικές ενώσεις. Ανακαλύφθηκε το 1766 από τον Cavendish και αποτελεί σημαντικό συστατικό του Σύμπαντος, με εκτίμηση πως αποτελεί πάνω από το 90% του αριθμού των υπαρχόντων χημικών στοιχείων και το 75% της μάζας του. Η χρήση του υδρογόνου είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλούς τομείς, όπως στη βιομηχανία, την ενέργεια και τις μεταφορές, καθώς και στην έρευνα για εναλλακτικές πηγές καθαρής ενέργειας.

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αρχικό υλικό, καύσιμο, μέσο μεταφοράς ενέργειας και μέσο αποθήκευσης ενέργειας. Παράγεται συνεχώς από πηγές όπου δεν παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το υδρογόνο είναι το εργαλείο που επιτρέπει την αποθήκευση περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας από την περίσσεια. Όταν καίγεται το υδρογόνο, τα προϊόντα που προκύπτουν είναι θερμότητα και νερό.

Το υδρογόνο προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η χρήση του ως πηγή ενέργειας δεν προκαλεί την εκπομπή αέριων του θερμοκηπίου, καθώς η καύση του δημιουργεί μόνο καθαρό νερό. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή άλλων αερίων, όπως υγρά καύσιμα, ενώ έχει υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας από τις μπαταρίες. Αυτό επιτρέπει τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες και έχει υψηλή θερμική αξία. Επομένως, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών άνθρακα από τις βιομηχανικές διαδικασίες. Είναι ωστόσο σημαντικό να σημειωθεί ότι η καύση του υδρογόνου μπορεί να γίνει εκρηκτική, εάν δεν τηρούνται ορισμένες προφυλάξεις και συνθήκες.

Υπάρχουν διαφορετικές μορφές υδρογόνου, οι οποίες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με αυτές. Συνήθως, το υδρογόνο κατηγοριοποιείται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα χρωματικής

αναφοράς. Κάποιες από τις κύριες κατηγορίες είναι το πράσινο, το τirkουάζ ή γαλάζιο, το μπλε και το γκρι.

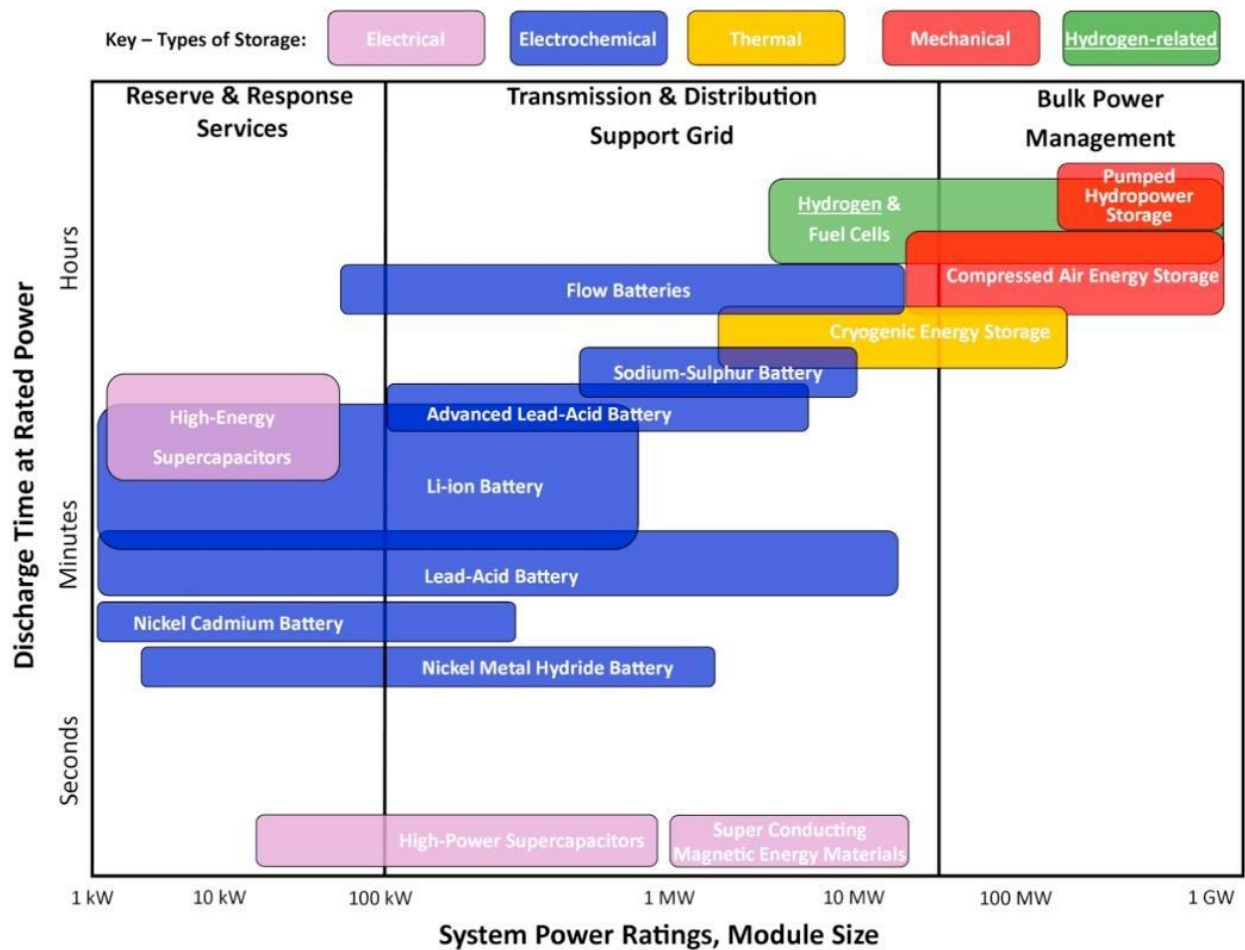
## 4.2 Αποθήκευση και μεταφορά

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί ως αέριο με συμπίεση (φιάλες υψηλής πίεσης), ως υγρό κρυοσκοπικά (κρυογονικές δεξαμενές) και ως στερεό δεσμευμένο σε διάφορες στερεές ενώσεις (χημικά).

Το υδρογόνο αποθηκεύεται σε τρεις κύριες μορφές: ως αέριο υπό πίεση, ως υγρό κάτω από κρυογονικές συνθήκες και ως στερεό δεσμευμένο σε επιλεγμένες χημικές ενώσεις.

Η πρώτη μέθοδος αποθήκευσης είναι η χρήση πεπιεσμένου αερίου, που το υδρογόνο πιέζεται σε υψηλές πιέσεις και αποθηκεύεται σε δεξαμενές υψηλής πίεσης. Αυτό το συμπίεσμένο υδρογόνο, γνωστό και ως HPGH<sub>2</sub>, απαιτεί ενέργεια για τη συμπίεσή του και μπορεί να αποθηκευτεί σε διάφορα είδη δεξαμενών, όπως χαλύβδινους κυλίνδρους ή συνθετικούς κυλίνδρους με επένδυση για την αποφυγή διαρροών.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η αποθήκευση σε υγρή μορφή, όπου το υδρογόνο ψύχεται κάτω από τη θερμοκρασία του βρασμού του και αποθηκεύεται ως υγρό σε κρυογονικές δεξαμενές. Αυτή η διαδικασία απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας, λόγω του χαμηλού θερμικού επιπέδου του υδρογόνου, αλλά προσφέρει ασφαλή αποθήκευση με μικρό κίνδυνο διαρροής. Τέλος, η τρίτη μέθοδος είναι η χημική αποθήκευση, που το υδρογόνο δένεται χημικά με επιλεγμένες ενώσεις ή υλικά. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στο υδρογόνο να απορροφηθεί και να αποθηκευτεί με ασφάλεια μειώνοντας τους κινδύνους διαρροής. Η μεταφορά του υδρογόνου είναι κρίσιμη λόγω της σημασίας του ως πηγής ενέργειας, και ο τρόπος μεταφοράς του ποικίλλει ανάλογα με την τεχνολογία αποθήκευσης. Χρησιμοποιούνται αγωγοί, πλοία και οχήματα, ενώ για μεγάλες αποστάσεις επιλέγεται η μεταφορά σε μορφή υγρού υδρογόνου. Οι αγωγοί μπορούν να έχουν μεγάλες διαστάσεις και υψηλό κόστος, με το υγρό υδρογόνο να απαιτεί σημαντική ενέργεια για τη μεταφορά του. Τα οχήματα και τα πλοία είναι εξοπλισμένα με κινητές δεξαμενές για τη μεταφορά μικρών ποσοτήτων, με ειδικούς μηχανισμούς για την ασφάλεια και την αποφυγή υπερθέρμανσης ή υπερφόρτωσης. Η υγρή μορφή προσφέρει πλεονεκτήματα ως προς την ποσότητα και την ενέργεια που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο όγκο.



**Σχήμα 4.1** Σύγκριση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας όσον αφορά το μέγεθος των μονάδων σε MW και το χρόνο αποφόρτισης (Møller et al., 2017).

### 4.3 ΑΠΕ και υδρογόνο

Μια εγκατάσταση ενός συστήματος ΑΠΕ είναι δυνατό να παράγει υδρογόνο από την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας. Με την εγκατάσταση μιας κυψελίδας καυσίμου, η οποία χρησιμοποιεί ως καύσιμο το αποθηκευμένο οξυγόνο είναι δυνατό να παραχθεί και πάλι ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνεται μια σταθερή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξ ολοκλήρου από ΑΠΕ (Parathanasiou et al., 2024).

Για την παραγωγή 1 kg υδρογόνου απαιτούνται 9 kg νερού υψηλής καθαρότητας και 60 kWh ενέργειας σε μια τυπική μονάδα ηλεκτρόλυσης (Rievaj et al., 2019). Για την υγροποίηση του υδρογόνου, δηλαδή τη μετατροπή του σε υγρή φάση, απαιτούνται 13–15 kWh/kg για μια μεγάλη εγκατάσταση (Wijayanta et al., 2019). Το υδρογόνο έχει θερμότητα δύναμη 33.3–39.4 kWh/kg στους 25°C και σε πίεση 1 atm (World Nuclear

Association). Όταν το υδρογόνο συμπιέζεται στα 700 bar, η ενεργειακή του πυκνότητα γίνεται 1.556 kWh/m<sup>3</sup> (Møller et al., 2017).

## 5. Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης

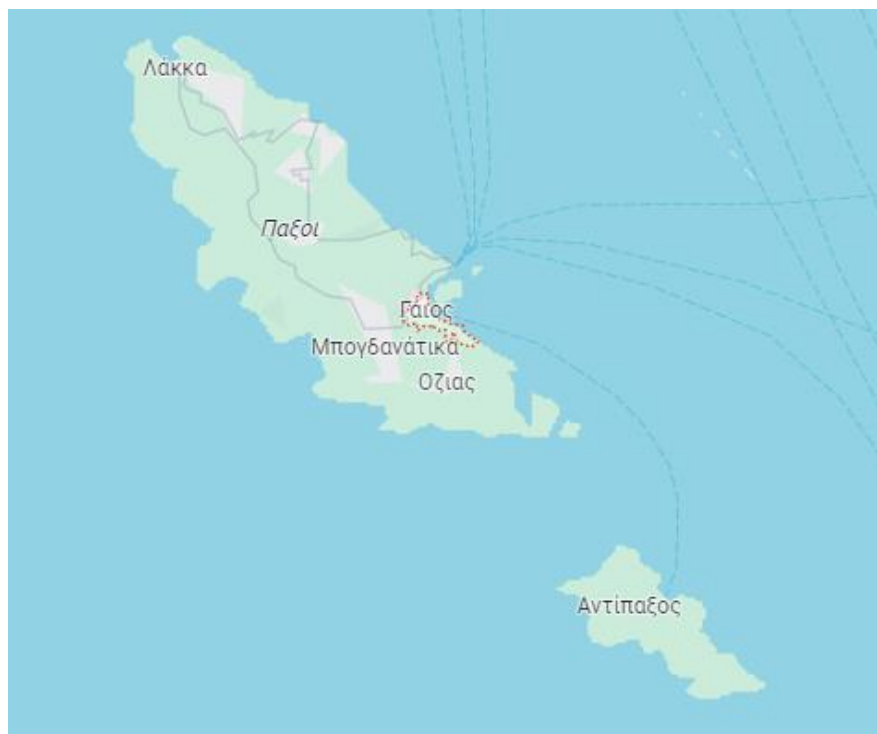
### 5.1 Παξοί

Οι Παξοί (και οι Αντίπαξοι) γεωγραφικά ανήκουν στα Επτάνησα, στο Ιόνιο Πέλαγος και διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα της Κέρκυρας. Η τοποθεσία τους είναι γύρω στα 11 km νότια της Κέρκυρας και 13 km από τις Ηπειρώτικες ακτές. Η πρωτεύουσα τους είναι ο γραφικός Γαίος. Ο πληθυσμός τους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), είναι 2419 κάτοικοι . Η έκταση τους είναι 25322 km<sup>2</sup>.

Η ιστορία των Παξών είναι βαθιά συνδεδεμένη με την ιστορία της Ελλάδας και της Μεσογείου, με πλούσια παράδοση που εκτείνεται από την αρχαιότητα μέχρι τη σύγχρονη εποχή έχοντας πρωτοαναφερθεί από τον Όμηρο.

Κατά την διάρκεια της ιστορίας τους, οι Παξοί πέρασαν σε διάφορες κυριαρχίες συμπεριλαμβανομένων των Ρωμαίων, των Βυζαντινών, των Βενετών και των Οθωμανών.

Σήμερα αποτελούν ένα δημοφιλή προορισμό, συνδυάζοντας καθαρά νερά και όμορφες παραλίες με παραδοσιακή αρχιτεκτονική και πολιτιστική κληρονομιά.



**Σχήμα 5.1** Το σύμπλεγμα των Παξών (Πηγή: <https://www.google.com/maps/>).

## Μορφολογικά – Κλιματικά στοιχεία

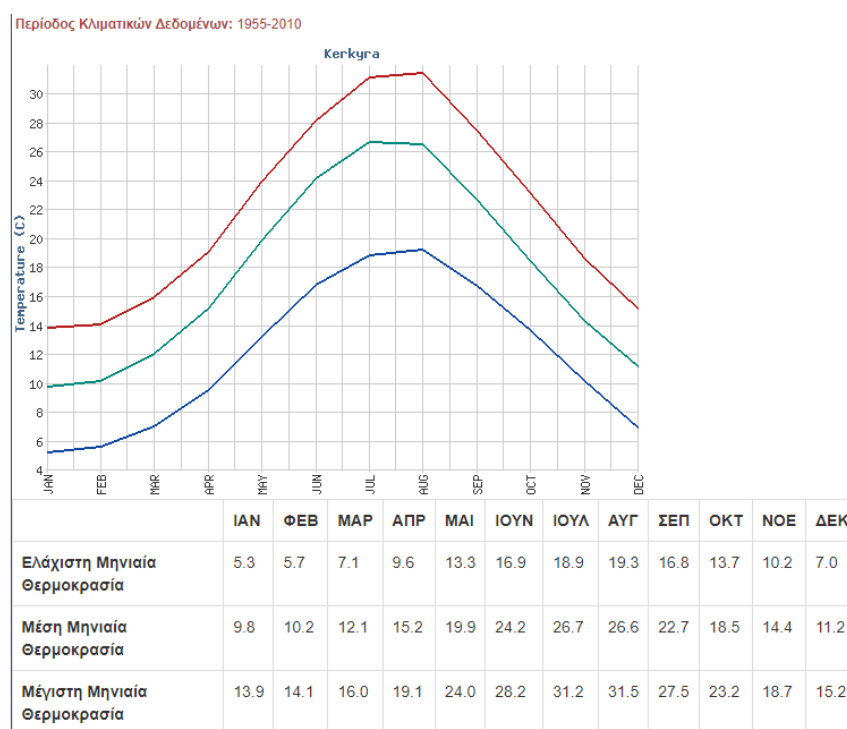
- *Μορφολογικά*

Το ανάγλυφο του νησιού σχηματίζει λόφους. Οι ακτές τους χωρίζονται σε δύο τμήματα, τη δυτική πλευρά που είναι πιο απότομη και σχηματίζονται σπηλιές και γκρεμοί και την ανατολική πλευρά που είναι πιο ομαλή. Αποτελούνται από ασβεστολιθικά πετρώματα και οι παραλίες που έχουν σχηματιστεί έχουν μικρά βότσαλα και καταγάλανα νερά.

- *Κλιματικά στοιχεία*

Η παρουσία του Ιόνιου Πελάγους προσφέρει ακόμα και στα θερμά τους καλοκαίρια μια αίσθηση δροσιάς. Έχουν μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια.

Η περιοχή των Παξών είναι ενδιάμεσος μεταναστευτικός προορισμός για πουλιά και περιλαμβάνεται στον κατάλογο ΣΠΠΕ «Σημαντική περιοχή για τα πουλιά της Ελλάδας».



**Σχήμα 5.2** Κλιματικά δεδομένα κοντινότερου σταθμού (Κέρκυρας).

(Πηγή:[http://www.emy.gr/emy/el/climatology/climatology\\_city?perifereia=Ionian%20Islands&poli=Kerkyra](http://www.emy.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=Ionian%20Islands&poli=Kerkyra)).



## 5.2 Υποδομές

- *Οδικό δίκτυο*

Οι Παξοί χαρακτηρίζονται από ένα αξιοπρεπές οδικό δίκτυο που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του νησιού όσον αφορά τους μόνιμους κατοίκους αλλά και τουρίστες κατά την θερινή περίοδο. Το οδικό δίκτυο αποτελείται από κύριους δρόμους που συνδέουν τα κεντρικά τους σημεία αλλά και μικρότερες οδούς που οδηγούν σε παραθαλάσσια σημεία και τουριστικούς προορισμούς.

Υπάρχουν τοπικά λεωφορεία και ταξί για να εξυπηρετηθούν οι κάτοικοι και οι επισκέπτες, αλλά και η επιλογή για ενοικίαση οχήματος για περισσότερη ελευθερία συνήθως των επισκεπτών.

- *Υδρευση και υδροδότηση*

Το νησί λαμβάνει το νερό του κυρίως από δύο λιμνοδεξαμενές, μία στο ΔΔ του Γάιου και μια στο βόρειο μέρος του νησιού στη Λάκκα. Οι λιμνοδεξαμενές γεμίζουν με βρόχινο νερό, νερό από χειμάρρους και περιττό νερό από τις μονάδες αφαλάτωσης. Επιπλέον, διαθέτουν μονάδες αφαλάτωσης με ονομαστική ικανότητα παραγωγής 2250 m<sup>3</sup> ημερησίως, οι οποίες εξυπηρετούνται κυρίως από τις λιμνοδεξαμενές. Το νησί δεν διαθέτει αγροτικές καλλιέργειες ή ΑΓ, αλλά πολλές κατοικίες χρησιμοποιούν στέρνες για την οικιακή κατανάλωση. Οι παροχές νερού που παρέχονται από το δίκτυο του δήμου καλύπτουν σχεδόν τις 3000 κατοικίες.

## 5.3 Καθεστώς προστασίας περιοχής

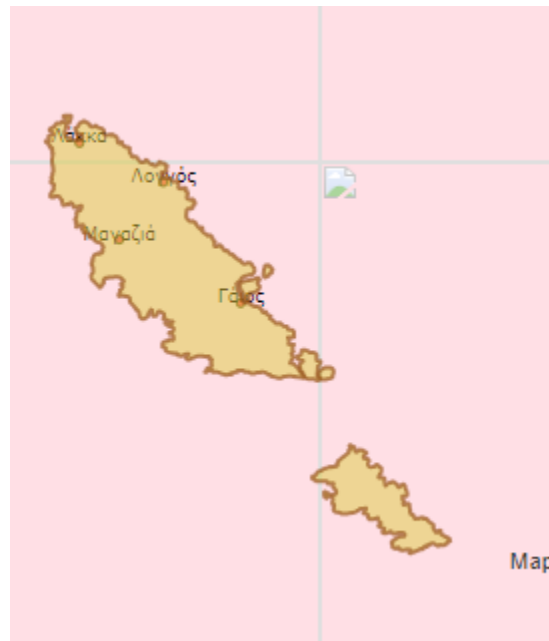
Οι σημαντικοί βιότοποι διακρίνονται για την παρουσία ειδών της ελληνικής χλωρίδας και πανίδας που βρίσκονται υπό απειλή. Αυτές οι απειλές μπορεί να οφείλονται στον κίνδυνο εξαφάνισης, στην ευάλωτη κατάσταση λόγω μικρού πληθυσμού ή στην κατάσταση κινδύνου. Παρόλο που οι βιότοποι και ο οικολογικός πλούτος της ελληνικής φύσης παραμένουν σε πολύ καλή κατάσταση συγκριτικά με άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Η περιοχή των Παξών, σύμφωνα με βάση δεδομένων για την ελληνική φύση ΦΙΛΟΤΙΣ (<https://filotis.itia.ntua.gr/>) δεν περιλαμβάνει Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ),

αλλά ολόκληρο το νησί αποτελεί βιότοπο Corine και βιότοπους Natura, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3 και Σχήμα 5.4.

### 5.3.1 Βιότοπος Corine

Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο βιότοπος Corine με κωδική ονομασία «Νήσοι Παξοί και Αντίπαξοι – Α00010226».



**Σχήμα 5.3** Βιότοπος Corine «Νήσοι Παξοί και Αντίπαξοι – Α00010226» (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/A00010226/>).

#### Γενικά στοιχεία

**Όνομα:** Νήσοι Παξοί και Αντίπαξοι

**Κωδικός Τόπου:** Α00010226

**Κύριος Χαρακτήρας:** Βιότοπος

**Διοικητική Υποδιαίρεση:** Νομός Κέρκυρας

**Συνολική έκταση (ha):** 3005.02

**Χερσαία Έκταση (ha):** 1000

**Συνολική περίμετρος (km):** 60.9

**Μέγιστο Υψόμετρο (m):** 100

#### Χαρακτηριστικά

**Περιγραφή του τόπου:** Δύο μεγάλα γυμνά νησιά, νότια της Κέρκυρας μαζί με κάποιες μικρότερες νησίδες.

**Κατάσταση τόπου:** Καλή

**Τάση κατάστασης τόπου:** Αργή υποβάθμιση

### Αξίες

**Σχόλια για τις αξίες:** Σημαντικά νησιά για την παρουσία της Μεσογειακής Φώκιας και για τα μεταναστευτικά πουλιά.

### Κίνδυνοι

**Σχόλιο για τις απειλές-διαταραχές :** Παράνομο κυνήγι και αλιεία.

**Προτεραιότητα προστασίας:** Δευτερεύουσα

### Πανίδα και Χλωρίδα

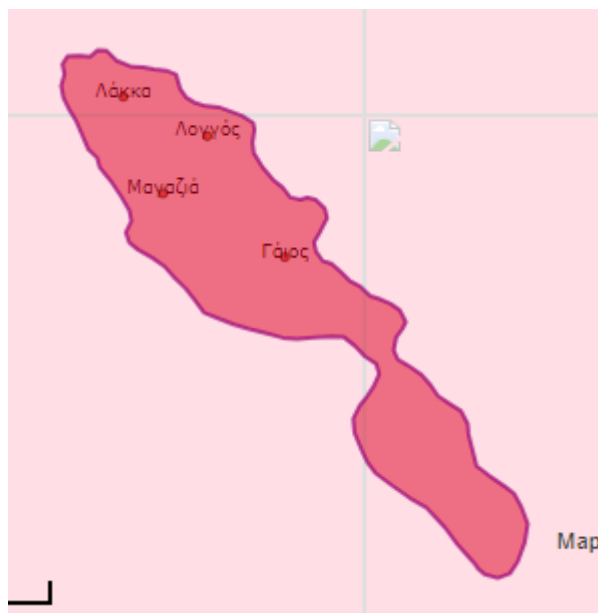
**Αξιόλογα θηλαστικά:** Μεσογειακή φώκια

**Αξιόλογα αμφίβια/ερπετά:** Κερκυραϊκή σαύρα, Γιατρόφιδο, Σαμιαμίδι, Πρασινόσαυρα

**Αξιόλογα Φυτά:** *Acer monspessulanum monspessulanum* (Σφενδάμι του Μονπελιέ), *Alcea setosa*, *Artemisia absinthium*, *Asterolinon linum-stellatum* (Αστερόλινο), *Atriplex hastata* (Ατρίπλεξ ο άστατος), *Borago officinalis* (Μποράτζα (Αγγουρίτσα), *Carpobrotus acinaciformis*, *Carpobrotus edulis*, *Carthamus tinctorius* (Κάρθαμος ο βαφικός), *Centaurea paxorum* (Κενταύρια των Παξών), *Centranthus ruber ruber*, *Clematis flammula* (Αγράμπελη η φλογώδης), *Coleostephus myconis* (Κολεόστεφος η μυκωνίς), *Convolvulus lineatus*, *Erodium malacoides* (Ερωδιός ο μαλακόμορφος), *Erodium moschatum* (Ερωδιός ο μοσχάτος), *Eruca vesicaria*, *Euphorbia pterococca*, *Fumana thymifolia* (Φουμάνα η θυμαρόφυλλη), *Hibiscus syriacus* (Ιβίσκος ο Συριακός), *Hypericum spruneri*, *Ipomoea purpurea*, *Jasminum fruticans* (Γιασεμί το θαμνώδες), *Kickxia commutata commutate*, *Kickxia spuria spuria*, *Laurus nobilis* (Δάφνη), *Limonium antipaxorum*, *Lithodora diffusa*, *Lunaria annua annua*, *Lythrum hyssopifolia*, *Malcolmia maritime*, *Malva cretica cretica*, *Minuartia hybrida hybrida*, *Petrorhagia saxifraga saxifraga*, *Phagnalon rupestre*, *Polygala monspeliaca*, *Polygonum maritimum*, *Ranunculus neapolitanus*, *Ranunculus parviflorus*, *Salsola kali*, *Satureja graeca*, *Scandix pecten-veneris*, *Sedum sediforme*, *Sedum stellatum*, *Senecio bicolor bicolor* (Σενέκιο το δίχρωμο), *Sonchus arvensis arvensis*, *Stachys decumbens*, *Tamarix gallica* (Γαλλικό αρμυρίκι), *Teucrium flavum hellenicum* (Τεύκριο το ελληνικό), *Verbascum blattaria*

### 5.3.2 Βιότοπος Natura

Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται η έκταση που καλύπτει ο βιότοπος Natura με κωδική ονομασία «Νήσοι Παξοί και Αντίπαξοι – GR2230004».



**Σχήμα 5.4** Βιότοπος Natura «Νήσοι Παξοί και Αντίπαξοι – GR2230004» (Πηγή: <https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR2230004/>).

#### Γενικά στοιχεία

**Όνομα:** Νήσοι Παξοί και Αντίπαξοι

**Κωδικός Τύπου:** GR2230004

**Κύριος Χαρακτήρας:** Βιότοπος

**Διοικητική Υποδιάρθρωση:** Νομός Κέρκυρας

**Συνολική έκταση (ha):** 5649.66

**Χερσαία Έκταση (ha):** 3010.49

**Συνολική περίμετρος (km):** 47.9

**Μέγιστο Υψόμετρο (m):** 220

#### Χαρακτηριστικά

**Περιγραφή του τύπου:** Το σύνολο του τοπίου αποτελείται από ασβεστολιθικά νησιά και νησίδες με βραχώδεις ακτές. Οι Παξοί και οι Αντίπαξοι είναι τα μεγαλύτερα και οι Παξοί το μοναδικό κατοικημένο. Η χλωρίδα περιλαμβάνει περίπου 450 είδη, με 65% τυπικά

μεσογειακά στοιχεία. Δύο είδη είναι τοπικά ενδημικά. Η κυρίαρχη βλάστηση είναι αειθαλής θάμνος ή δεντροειδής θάμνος, με συχνές ομάδες κωνοφόρων. Στις βραχώδεις ακτές, αναπτύσσονται φυτά που προσαρμόζονται στις συνθήκες, ενώ στο κεντρικό μέρος παρατηρείται η αποσύνθεση της βλάστησης λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

### Αξίες

**Σχόλιο για τις αξίες:** Η περιοχή περιλαμβάνει τυπική μεσογειακή βλάστηση όπως μακί και φρύγανα, με συστάδες του *Cupressus sempervirens* που υποδηλώνουν κατάλοιπα ενός πρώην δάσους. Δύο ενδημικά φυτικά είδη, η *Centaurea raxorum* και η *Limonium antiraxorum*, θα έπρεπε να περιληφθούν στο Κόκκινο Βιβλίο των Ελληνικών Φυτών. Σημαντικά είδη πανίδας περιλαμβάνουν Φώκιες Μοναχούς και Λαμπρονώτους Δελφίνους, και άλλα ενδιαφέροντα είδη που προστατεύονται σύμφωνα με διαφορετικές συμβάσεις και νομοθεσία. Οι Παξοί, ένας σημαντικός δρόμος μετανάστευσης πουλιών, φιλοξενεί επίσης σημαντικά είδη πουλιών και αγωνίδια θαλάσσης στα νησάκια της περιοχής.

### Κίνδυνοι

**Τρωτότητα:** Τα φυσικά οικοσυστήματα στα νησιά και τα νησάκια της περιοχής θεωρούνται σχετικά σταθερά, αλλά οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνιστούν απειλή, κυρίως κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Η παρενόχληση από τους αλιείς, η παράνομη αλιεία και η ρύπανση των ακτών αποτελούν τους κύριους παράγοντες απειλής για τον μοναχό φώκια, ενώ άλλα είδη της πανίδας χρήζουν ειδικών μέτρων προστασίας, ειδικά οι δελφίνια *Tursiops truncatus*.

### Πανίδα και Χλωρίδα

**Αξιόλογα θηλαστικά :** Μεσογειακή φώκια , Ρινοδέλφιο

**Αξιόλογα αμφίβια/ερπετά:** Κροκοδειλάκι το νταάνιο , Κερκυραϊκή σαύρα, Γιατρόφιδο, Σαμαμίδι, Τρανόσαυρα της Ικαρίας, Πρασινόσαυρα

**Αξιόλογα φυτά:** *Hyoseris radiata*, *Orchis coriophoracoriophora*

## 6. Μεθοδολογία – Υπολογισμοί

### 6.1 Τεχνική περιγραφή του έργου

Το έργο που εξετάζουμε περιλαμβάνει δύο δεξαμενές: η μία βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας και η άλλη σε μεγαλύτερο υψόμετρο (150 m), στον Γαίο. Επιπλέον, υπάρχει ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο με δύο ΑΓ 900 kW, μια μονάδα αφαλάτωσης ικανή να επεξεργάζεται 2500 m<sup>3</sup> νερού ημερησίως, ένα αντλητικό σταθμό με 10 αντλίες ισχύος 500 kW για την άντληση νερού, είτε απευθείας από τη θάλασσα είτε μετά από αφαλάτωση, ανάλογα με το συγκεκριμένο σενάριο που θα συζητηθεί αργότερα, ένας υδροηλεκτρικός σταθμός 4 MW και μια μονάδα παραγωγής υδρογόνου δυναμικότητας 300 kg/ημέρα.

Οι δύο ΑΓ παράγουν ανανεώσιμη ενέργεια, ενώ η αποθήκευση ενέργειας επιτυγχάνεται με την τεχνική της αντλησιοταμίευσης. Αυτό σημαίνει ότι η κινητική ενέργεια του νερού και του υδρογόνου αποθηκεύεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με την καύση υδρογόνου.

Όταν η ζήτηση ενέργειας στο νησί υπερβαίνει την παραγωγή, χρησιμοποιείται η αποθηκευμένη ενέργεια στις μονάδες αποθήκευσης.

### 6.2 Εκτίμηση αναγκών ύδρευσης

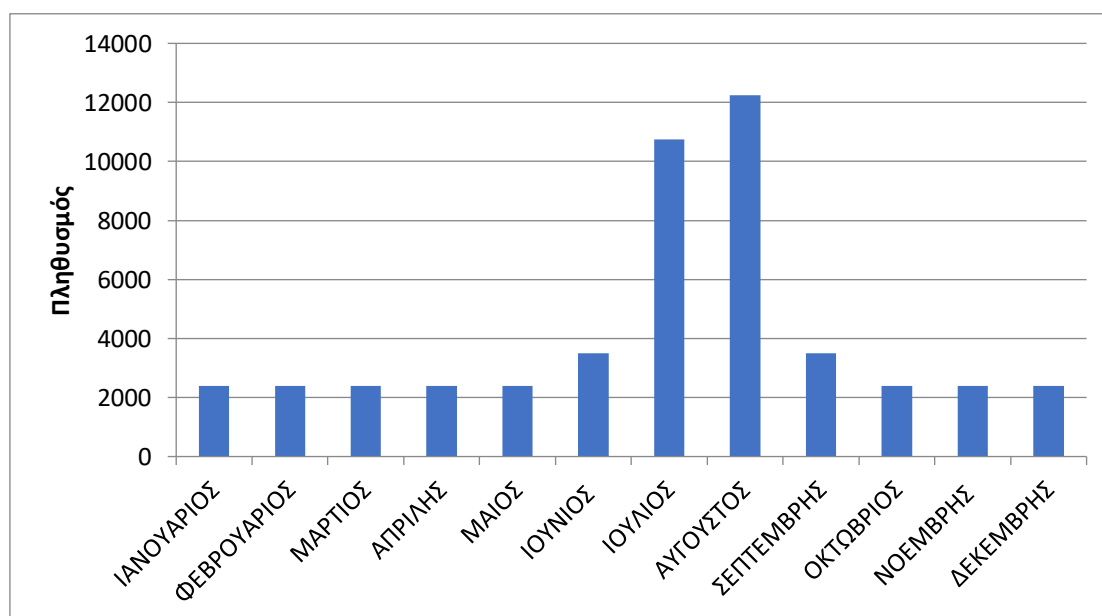
Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΕΛΣΤΑΤ το νησί, κατά την μη τουριστική περίοδο, έχει 2400 άτομα, δηλαδή μόνιμους κάτοικους. Κατά την τουριστική περίοδο, σύμφωνα με στοιχεία από τον Δήμο Παξών (1η Ιουλίου-31η Αυγούστου), ο αριθμός αυτός ανέρχεται μέχρι και στους 12250.

Δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία για τις μηνιαίες διακυμάνσεις του πληθυσμού. Μετά από επικοινωνία με τον μηχανικό του Δήμου των Παξών, προσεγγίστηκαν οι μηνιαίες διακυμάνσεις όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1 με το συνολικό πληθυσμό ανά μήνα.

**Πίνακας 6.1** Πληθυσμός νησιού με βάση στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ.

ΜΗΝΑΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΤΟΥΡΙΣΤΕΣ	ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΜΑΡΤΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΜΑΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΙΟΥΝΙΟΣ	2400	1100	0	3500
ΙΟΥΛΙΟΣ	2400	6100	2250	10750
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2400	7600	2250	12250
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2400	1100	0	3500
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	2400	0	0	2400
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	2400	0	0	2400

Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζονται οι παραπάνω τιμές του συνόλου του πληθυσμού ανά μήνα. Εμφανίζονται οι μήνες με τη μεγαλύτερη προσέλευση, οι οποίοι είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.



**Σχήμα 6.1** Μέση μηνιαία διακύμανση πληθυσμού με βάση στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ.

Οι τυπικές τιμές κατανάλωσης νερού στην Ελλάδα για οικιακή χρήση μόνιμων κατοίκων είναι 150–200 L/ημέρα/κάτοικο, για οικιακή χρήση παραθεριστών είναι 200–250 L/ημέρα/κάτοικο και για τουριστική χρήση είναι 250–350 L/ημέρα/κάτοικο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2019).

Για τους μόνιμους κάτοικος λαμβάνεται η τιμή 200 L/ημέρα/κάτοικο = 0.2 m<sup>3</sup>/ημέρα/κάτοικο και για τους επιπλέον κατοίκους, οι οποίοι αφορούν τους παραθεριστές και τους τουρίστες, λαμβάνεται η τιμή 300 L/ημέρα/κάτοικο = 0.3 m<sup>3</sup>/ημέρα/κάτοικο

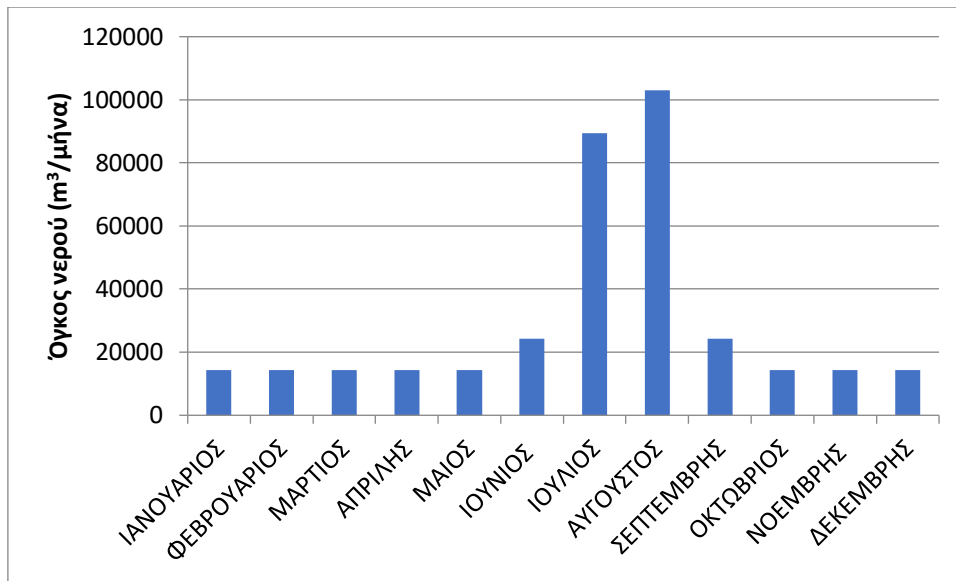
Από τον Πίνακα 6.2 προκύπτουν οι ανάγκες ύδρευσης κατά ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση. Παρατηρείται ότι οι υψηλότερες μηνιαίες ανάγκες για νερό είναι 103050 m<sup>3</sup>/μήνα ή 3435 m<sup>3</sup>/ημέρα και αντιστοιχούν στον Αύγουστο. Οι χαμηλότερες τιμές είναι 14400 m<sup>3</sup>/μήνα ή 480 m<sup>3</sup>/ημέρα και αντιστοιχούν από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Απρίλιο.

**Πίνακας 6.2** Ανάγκες ύδρευσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.

<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>ΖΗΤΗΣΗ 3ΩΡΟΥ (m<sup>3</sup>)</b>	<b>ΗΜΕΡΙΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m<sup>3</sup>/ημέρα)</b>	<b>ΜΗΝΙΑΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m<sup>3</sup>/μήνα)</b>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	60	480	14405
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	60	480	14401
ΜΑΡΤΙΟΣ	60	480	14404
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	60	480	14405
ΜΑΙΟΣ	60	480	14390
ΙΟΥΝΙΟΣ	101	810	24302
ΙΟΥΛΙΟΣ	373	2982	89448
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	429	3432	102955
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	101	810	24305
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	60	480	14412
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	60	480	14400
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	60	480	14398
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ</b>			<b>341828</b>

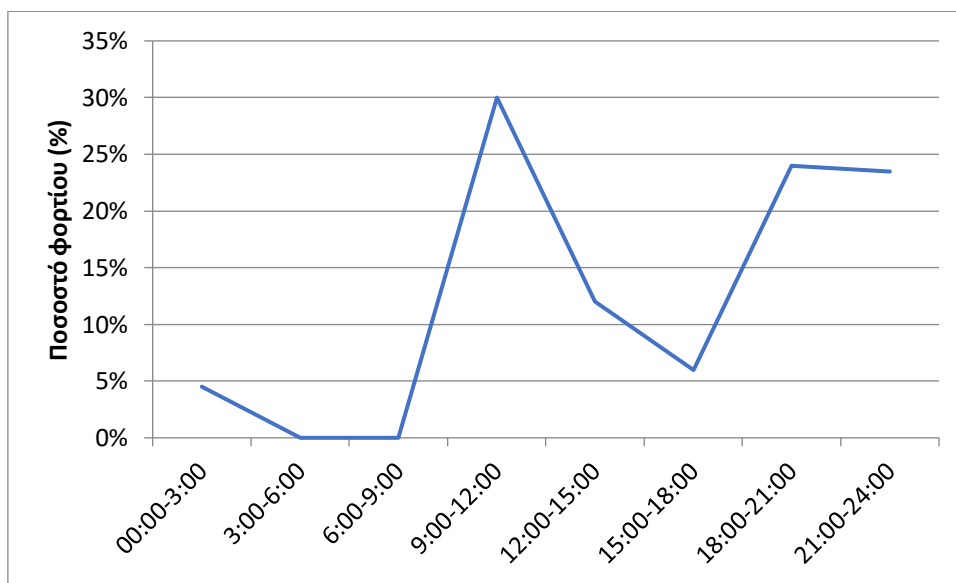
Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζονται γραφικά οι παραπάνω τιμές του Πίνακα 6.2 της μηνιαίας ζήτησης ύδρευσης.





**Σχήμα 6.2** Μέση μηνιαία διακύμανση αναγκών ύδρευσης.

Στο Σχήμα 6.3 προκύπτει η ημερήσια διακύμανση της ζήτησης νερού για ύδρευση.

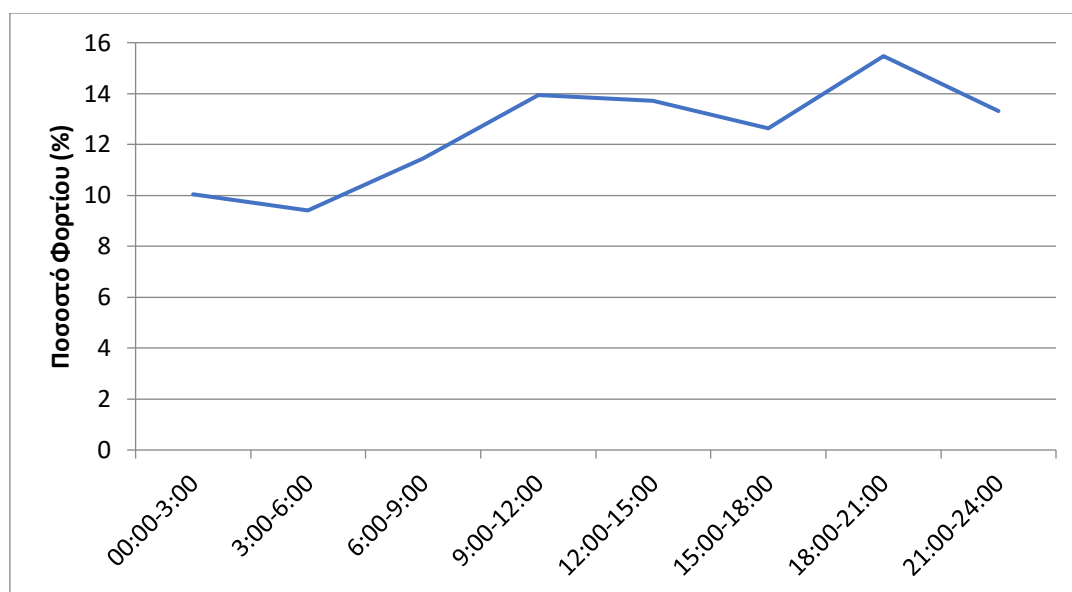


**Σχήμα 6.3** Ημερήσια διακύμανση ζήτησης νερού για ύδρευση (Ευστρατιάδης κ.ά., 2017).

### 6.3 Εκτίμηση αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας

Βάσει πληροφοριών από το Δήμο Παξών, που είχαν συλλεχθεί από τον ΔΕΔΔΗΕ Κέρκυρας, όπου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 6.3 που παρουσιάζει την ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh και στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζεται μια γραφική αναπαράσταση της μέσης μηνιαίας διακύμανσης της ζήτησης.

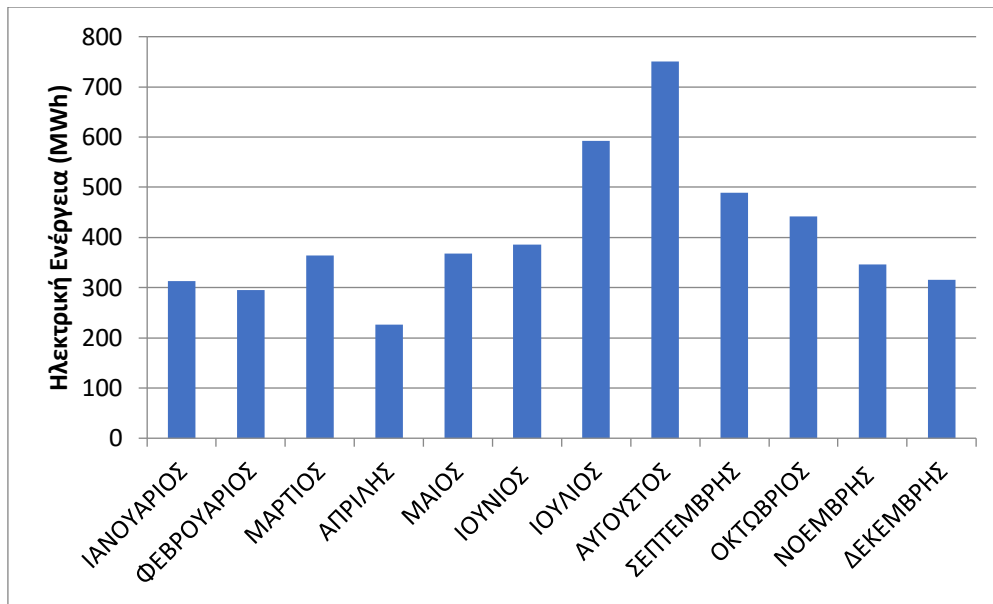
Στο Σχήμα 6.4 προκύπτει η ημερήσια διακύμανση της ζήτησης νερού για ύδρευση.



**Σχήμα 6.4** Ημερήσια διακύμανση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

**Πίνακας 6.3** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.

<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (MWh)</b>	<b>ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (MWh)</b>
<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	10.44	313.32
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	9.84	295.07
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	12.12	363.45
<b>ΑΠΡΙΛΗΣ</b>	7.55	226.64
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	12.26	367.74
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	12.85	385.41
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	19.73	591.84
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	25.00	750.03
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ</b>	16.30	488.94
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	14.74	442.29
<b>ΝΟΕΜΒΡΗΣ</b>	11.52	345.64
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ</b>	10.51	315.26
<b>ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (MWh)</b>		4885.64



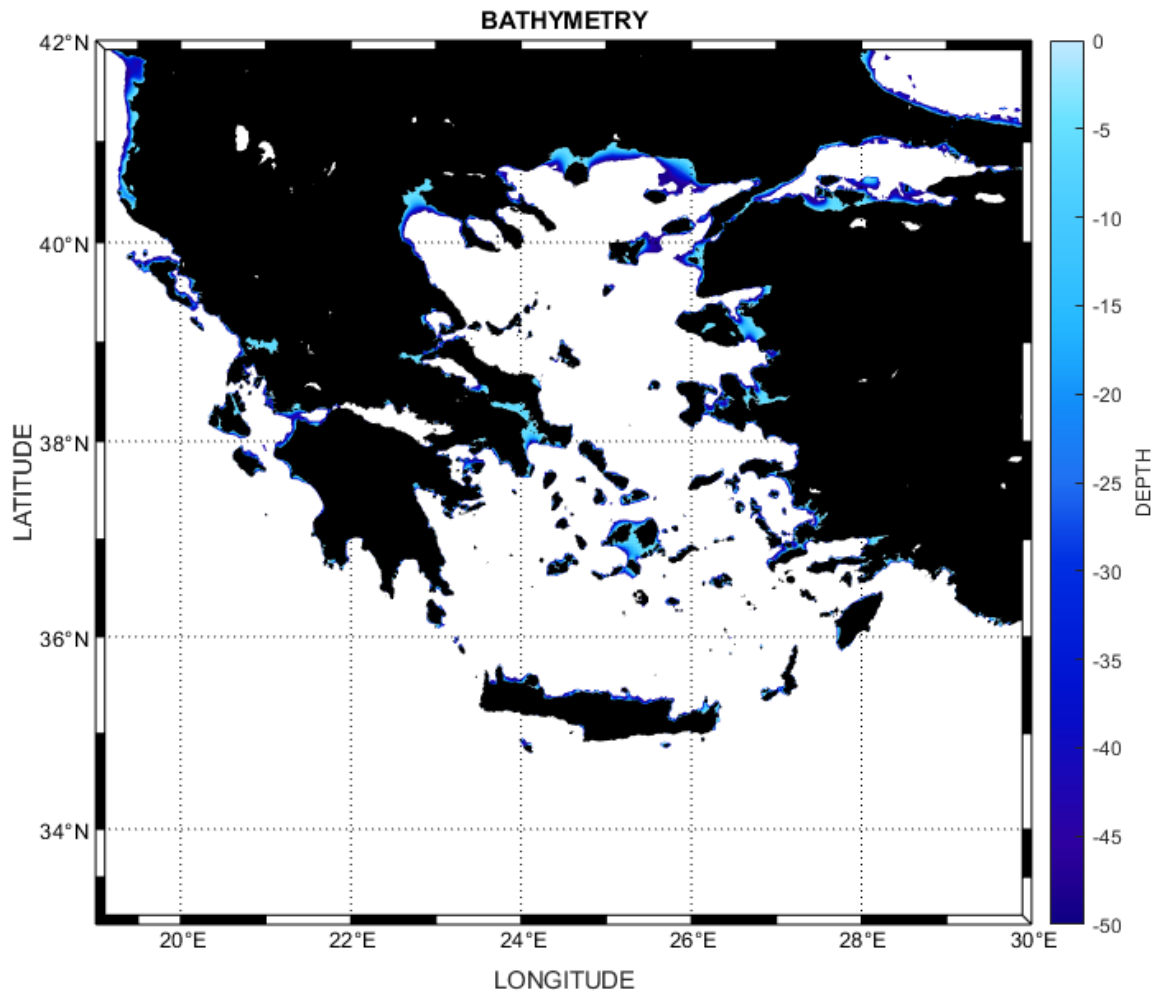
**Σχήμα 6.5** Μέση ετήσια διακύμανση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 6.4 Μοντέλο ΑΓ και μετατροπή ανεμολογικών δεδομένων σε ηλεκτρική ενέργεια

Οι ταχύτητες του ανέμου που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) με τρίωρο βήμα. Οι μετρήσεις κυρίως πραγματοποιούνται στο γειτονικό νησί της Κέρκυρας στην οποία βρίσκεται ο κοντινότερος σταθμός, και καλύπτουν τη χρονική περίοδο από το 2011 έως το 2023. Αρχικά, πρέπει να μετατραπεί η μονάδα της ταχύτητας που χρησιμοποιείται από την ΕΜΥ από knots σε m/s.

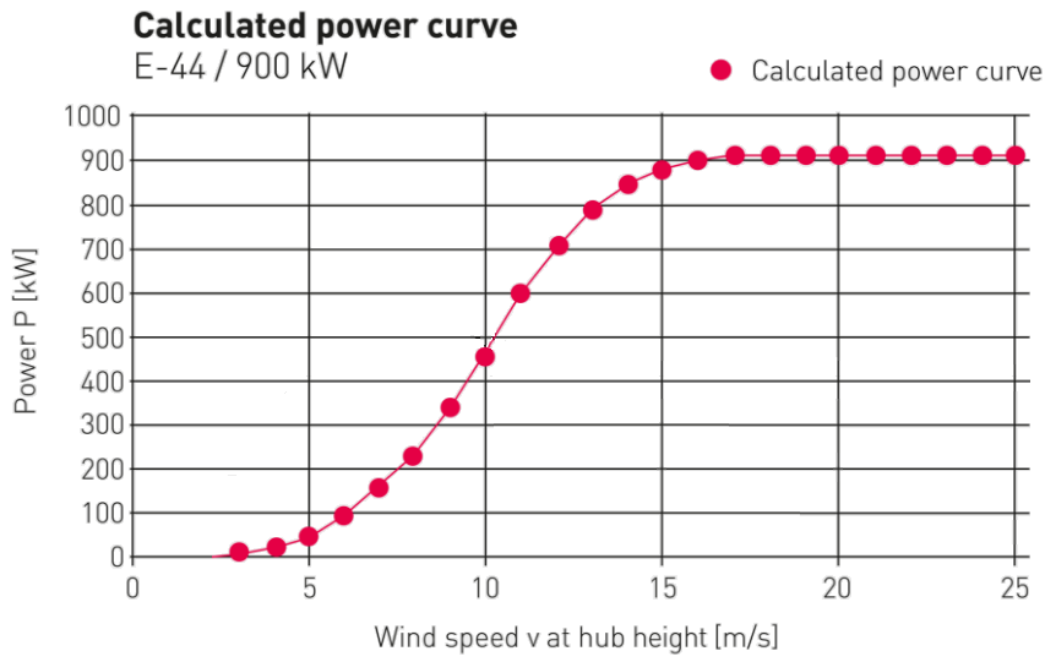
Όσον αφορά την χωροθέτηση των ΑΓ, καθώς το νησί των Παξών, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 5 αποτελεί βιότοπο Natura και Corine, δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση τους σε αυτό. Για αυτό και επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ΘΑΠ.

Όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 2, η επιλογή της τοποθεσίας του ΘΑΠ είναι από τα σημαντικότερα πράγματα με διαφορετικές παραμέτρους και θα χρειαστεί παραπάνω μελέτη και έρευνα για καθοριστεί ακριβώς. Προτείνεται με βασικά κριτήρια το βάθος που φαίνεται στο Σχήμα 6.6 και την απόσταση της ακτής να τοποθετηθούν Βόρεια του νησιού.



**Σχήμα 6.6** Βαθυμετρικός χάρτης με βάθος μέχρι 50m (Μυλωνάκη, 2023).

Το μοντέλο των ΑΓ που θα χρησιμοποιηθούν στην παρακάτω ανάλυση είναι η ΑΓ Enercon 44 με ισχύς 900 kW. Στο Σχήμα 6.7 φαίνεται το διάγραμμα καμπύλης ισχύος της ΑΓ.



**Σχήμα 6.7** Διάγραμμα καμπύλης ισχύος ΑΓ Enercon 44 (Πηγή: <https://www.enercon.de>).

Προκειμένου να υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ΑΓ χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος. Συγκεκριμένα, στην προσπάθεια να εκτιμηθεί μια ικανοποιητική εξίσωση που να δίνει τη τιμή της ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, στο κυρτό τμήμα της καμπύλης ισχύος προσαρμόστηκε μια πολυωνυμική εξίσωση του βαθμού (Μυσίρης, 2015):

$$P = \begin{cases} 0, & u \leq 2 \\ 0.000479 * u^6 - 0.020121 * u^5 + 0.237154 * u^4 - 0.358363 * u^3 - 0.779043 * u^2 + 3.713895 * u, & 2 < u < 17 \\ 900, & u \geq 17 \end{cases} \quad (6.1)$$

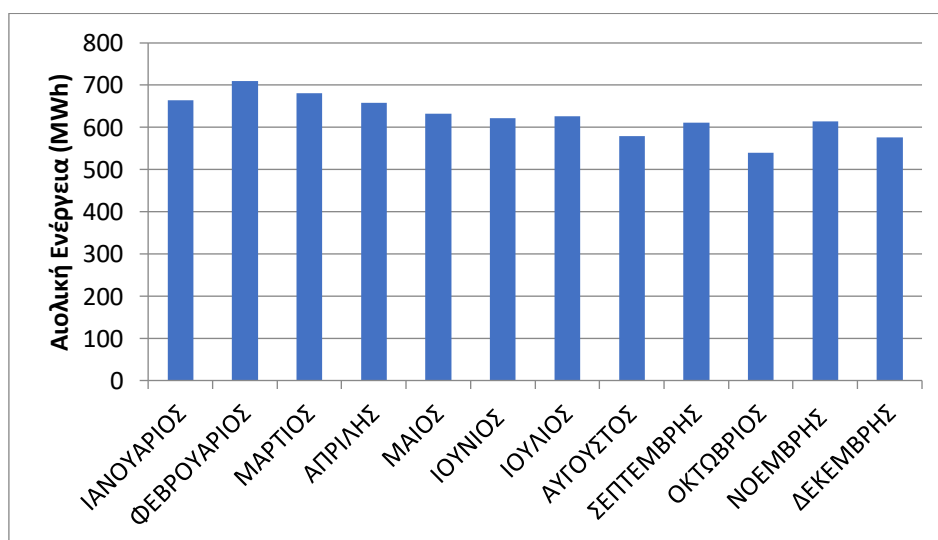
Όπου, P (kW) είναι η ισχύς της ΑΓ και u (m/s) είναι η ταχύτητα του ανέμου.

Στη συνέχεια, η ισχύς που προσδιορίζεται πολλαπλασιάζεται με το χρόνο, τρίωρο βήμα στην περίπτωση εδώ, και στην συνέχεια βρίσκουμε την ημερήσια, μηνιαία και ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στον Πίνακα 6.3 φαίνεται η μέση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το χρονικό διάστημα από 2011 έως 2023.

**Πίνακας 6.4** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε τρίωρη, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.

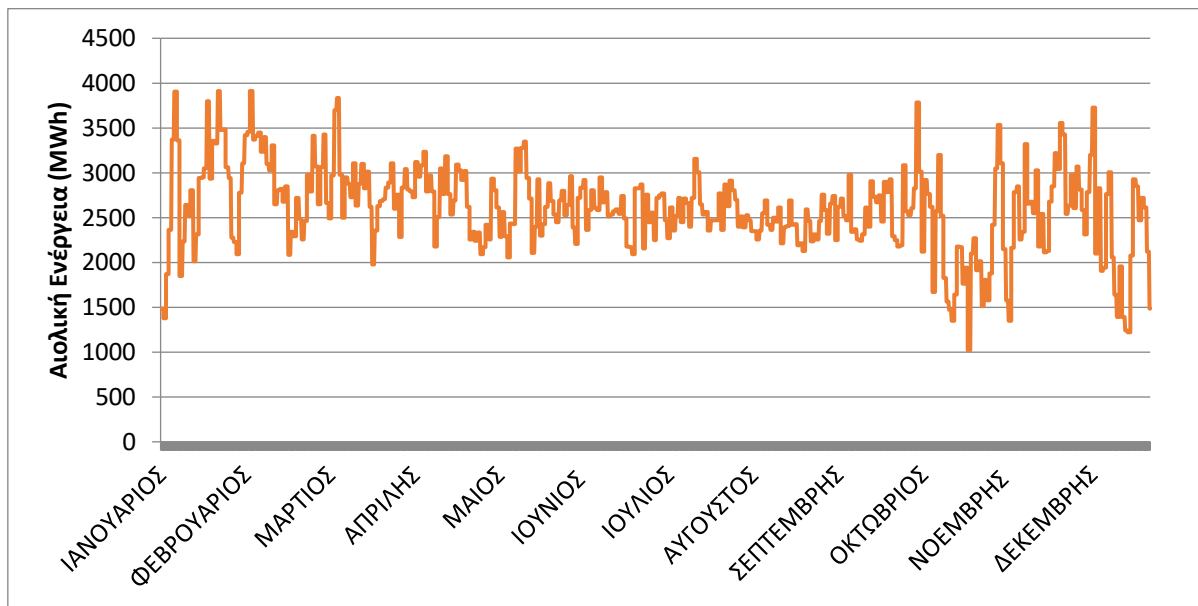
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 3ΩΡΟΥ (MWh)	ΜΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑ (MWh)	ΜΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗΝΙΑΙΑ (MWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2.77	22.15	664.38
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2.96	23.65	709.43
ΜΑΡΤΙΟΣ	2.84	22.71	681.37
ΑΠΡΙΛΗΣ	2.74	21.92	657.46
ΜΑΙΟΣ	2.63	21.06	631.77
ΙΟΥΝΙΟΣ	2.59	20.72	621.47
ΙΟΥΛΙΟΣ	2.61	20.89	626.72
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2.41	19.31	579.33
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ	2.55	20.39	611.61
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	2.25	17.99	539.84
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2.56	20.48	614.32
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2.40	19.20	576.09
<b>ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ</b>			<b>7513.80</b>

Στο γράφημα του Σχήματος 6.7 απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ.



**Σχήμα 6.7** Μέση μηνιαία διακύμανση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο γράφημα του Σχήματος 6.8 απεικονίζεται η ημερήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ, κατά τη διάρκεια ενός έτους.



**Σχήμα 6.8** Ημερήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ.

Η αιολική ενέργεια, η οποία παράγεται από τις ΑΓ, μπορεί να αξιοποιηθεί από τη μονάδα αφαλάτωσης, από το αντλιοστάσιο και από τη μονάδα παραγωγής υδρογόνου, ώστε να αυξηθούν τα οφέλη από τη λειτουργία του ΥΕ.

## 6.5 Μονάδα αφαλάτωσης

Ως μέθοδο αφαλάτωσης επιλέγεται η ΑΩ. Επιλέγεται αυτή η μέθοδος λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της καταλληλότητας της για σύνδεση με φωτοβολταϊκά και ΑΓ. Η ενέργεια η οποία καταναλώνεται για την αφαλάτωση είναι 4–6 kWh/m<sup>3</sup>. Επιλέγεται η τιμή 5 kWh/m<sup>3</sup> για την εγκατάσταση. Η καθημερινή αφαλάτωση ανέρχεται σε 3500 m<sup>3</sup>, ενώ η ετήσια ανέρχεται σε 400000 m<sup>3</sup>. Συνεπώς, η συνολική παραγωγή ενέργειας ανέρχεται σε 2000 MWh ετησίως. Το νερό για αφαλάτωση αντλείται απευθείας από τη θάλασσα.

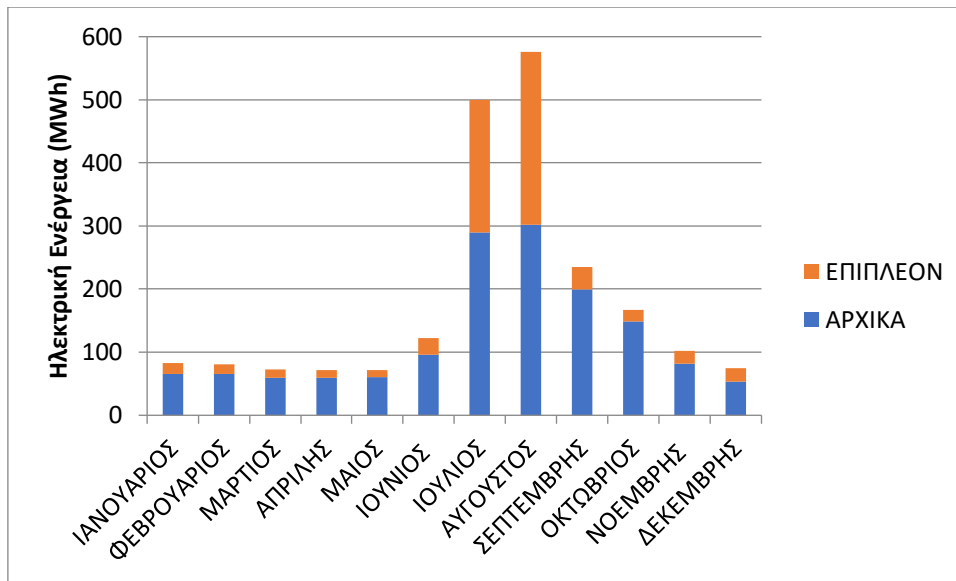
Με την αρχικά διαθέσιμη ενέργεια, αφαλατώνεται το μέγιστο δυνατό ποσό νερού για να καλυφθούν οι ανάγκες ύδρευσης. Εάν υπάρχει επιπλέον ενέργεια, αφαλατώνεται και περισσότερο νερό, προσαρμοζόμενοι στη μέση κατανάλωση νερού τρίωρο. Η επιπλέον αφαλάτωση νερού γίνεται για να ανταποκριθεί σε πιθανές αιχμές ζήτησης και να εξασφαλιστεί διαθέσιμο αφαλατωμένο νερό για την παραγωγή υδρογόνου.

Στον Πίνακα 6.4 υπολογίζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε τρίωρη, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση και στο Σχήμα 6.9 απεικονίζεται η μέση ετήσια διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας για την αφαλάτωση.

**Πίνακας 6.5** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε τρίωρη, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.

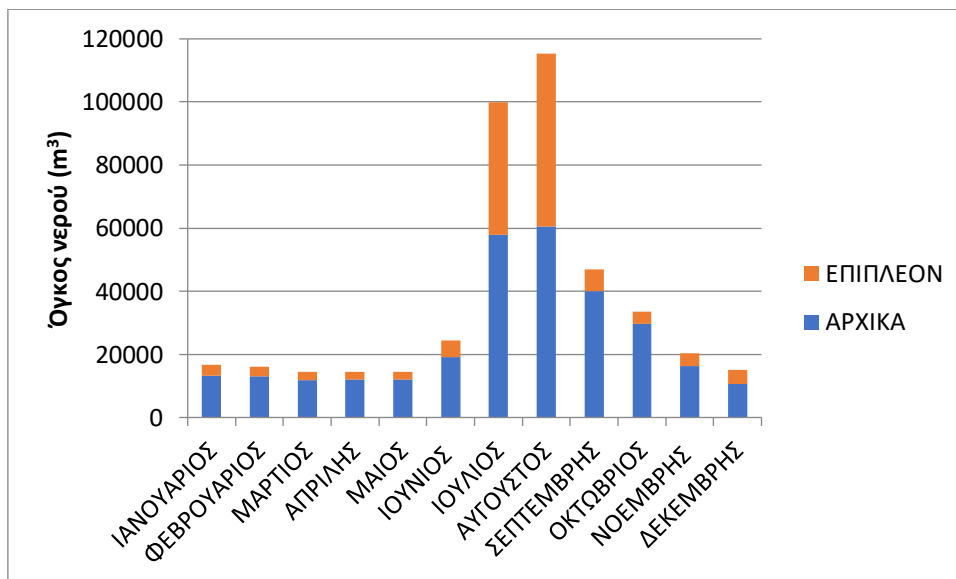
<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 3ΩΡΟΥ (MWh)</b>	<b>ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΜΕΡΙΣΙΑ (MWh)</b>	<b>ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗΝΙΑΙΑ (MWh)</b>
<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΑΠΡΙΛΗΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	0.51	4.05	121.50
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	1.87	14.93	447.75
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	2.15	17.18	515.25
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	0.50	4.05	121.50
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΝΟΕΜΒΡΗΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ</b>	0.30	2.40	72.00
<b>ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>			<b>1782.00</b>





**Σχήμα 6.9** Ετήσια διακύμανση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την αφαλάτωση.

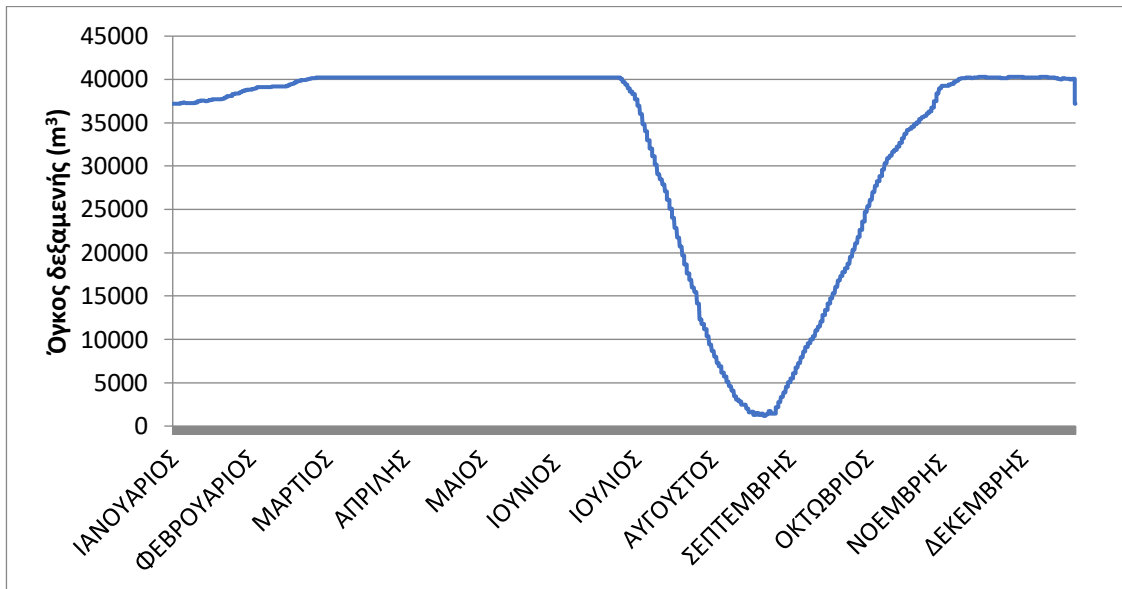
Σε αντιστοιχία με το γράφημα του Σχήματος 6.9, παρουσιάζεται το γράφημα του Σχήματος 6.10 στο οποίο απεικονίζεται η ποσότητα του νερού η οποία αφαλατώνεται ανά μήνα.



**Σχήμα 6.10** Γράφημα στο οποίο απεικονίζεται ο όγκος του νερού ο οποίος αφαλατώνεται ανά μήνα.

Προστίθεται μια επιπλέον δεξαμενή για την αποθήκευση αφαλατωμένου νερού χωρητικότητας 100000 m<sup>3</sup> για την αποθήκευση αφαλατωμένου νερού κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης. Αρχικά, υποτίθεται ότι η δεξαμενή πρέπει να περιέχει 2500 m<sup>3</sup> νερό για να καλύψει αρχικές λειτουργικές ανάγκες. Επιπλέον, το νερό εξάγεται από αυτήν

τη δεξαμενή για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρολύσης. Η δεξαμενή διαμορφώνεται ώστε να εκκενωθεί έτσι ώστε να μη γεμίσει πάνω από 80% της χωρητικότητάς της για λόγους ασφαλείας. Το γράφημα στο Σχήμα 6.18 εικονογραφεί τον μέσο ημερήσιο όγκο της δεξαμενής αφαλατωμένου νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, δείχνοντας σημαντική μείωση κατά τους θερινούς μήνες λόγω αυξημένης ζήτησης.



**Σχήμα 6.11** Ετήσια διακύμανση όγκου της δεξαμενής αφαλατωμένου νερού.

## 6.6 Μονάδα αντλησιοταμίευσης

Το πλεόνασμα αιολικής ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται για να κινήσει τις αντλίες που ανεβάζουν το νερό στον άνω ταμιευτήρα, ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 150 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η σχέση σύμφωνα με την οποία προκύπτει η ισχύς είναι η ακόλουθη:

$$I = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta, \quad (6.2)$$

Όπου,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ),  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) είναι η παροχή,  $H$  (300 m) είναι η υψομετρική διαφορά,  $\eta$  είναι ο συνολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας (0.80) και η ισχύς  $I$  εκφράζεται σε W.

Για την παροχή ισχύει:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (6.3)$$

Όπου,  $V$  ( $m^3$ ) είναι ο όγκος του νερού ο οποίος αντλείται,  $t$  (s) είναι ο χρόνος και η παροχή  $Q$  εκφράζεται σε  $m^3/s$ .

Επομένως, η σχέση (6.4) αντικαθιστώντας την παροχή από τη σχέση (6.3) γίνεται:

$$I = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot H}{t \cdot n}, \quad (6.4)$$

Λύνοντας τη σχέση (6.4) ως προς τον όγκο προκύπτει:

$$V = \frac{I \cdot t \cdot n}{\rho \cdot g \cdot H}, \quad (6.5)$$

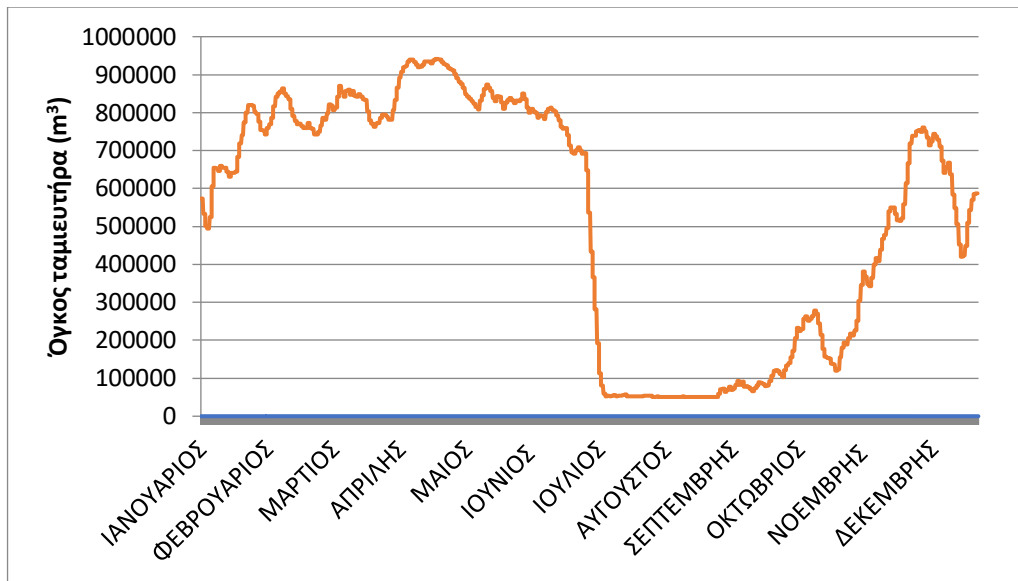
Με βάση τη σχέση (6.5), υπολογίζεται ο όγκος νερού που μπορεί να αντληθεί ανάλογα με την ισχύ. Καθώς για τη λειτουργία μιας αντλίας απαιτείται συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας ανάλογα με την ισχύ της, τοποθετούνται δέκα αντλίες με ισχύ 0,5 MW και με απόδοση 80%. Όταν υπάρχει διαθέσιμο νερό στην άνω δεξαμενή, παράγεται υδροδυναμική ενέργεια από τον υδροστρόβιλο, η οποία εξαρτάται από τη διαφορά υψομετρικών επιπέδων των δύο ταμιευτήρων και τον διαθέσιμο όγκο του άνω ταμιευτήρα. Επιλέγεται η εγκατάσταση υδροστρόβιλου τύπου Pelton, ο οποίος μπορεί να παράγει ενέργεια για συγκεκριμένο εύρος παροχής νερού.

Η σχέση σύμφωνα με την οποία προκύπτει η ισχύς του υδροστρόβιλου είναι η ακόλουθη:

$$I = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot n, \quad (6.6)$$

Όπου,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού ( $1000 \text{ kg}/m^3$ ),  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m}/s^2$ ),  $Q$  ( $m^3/s$ ) είναι η παροχή,  $H$  (300 m) είναι η υψομετρική διαφορά,  $n$  είναι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του υδροστρόβιλου (0.85) και η ισχύς  $I$  εκφράζεται σε W.

Η συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι  $1000000 \text{ m}^3$ , με αρχικό όγκο  $500000 \text{ m}^3$ . Κατά την απελευθέρωση του νερού, έχει ρυθμιστεί να μην αδειάζει λιγότερο από το 5% της χωρητικότητάς του, δηλαδή λιγότερο από  $100000 \text{ m}^3$ , προκειμένου να διατηρείται ένα επιπλέον αποθεματικό νερού για λόγους ασφάλειας. Η επίδραση της βροχής θεωρήθηκε αμελητέα στους υπολογισμούς. Στο Σχήμα 6.13 παρουσιάζεται ο ημερήσιος μέσος όγκος νερού του ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Παρατηρείται ότι κατά τους θερινούς μήνες η στάθμη μειώνεται σημαντικά, καθώς υπάρχει υψηλότερη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια λόγω του τουρισμού.



Σχήμα 6.12 Ετήσια διακύμανση όγκου του άνω ταμιευτήρα.

## 6.7 Μονάδα παραγωγής υδρογόνου

Το υδρογόνο παράγεται εκμεταλλευόμενο την περίσσεια της παραγόμενης αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η μέθοδος της Ηλεκτρόλυσης Πολυμερικής Μεμβράνης - Proton Exchange Membrane (PEM). Το νερό που χρησιμοποιείται για αυτήν τη διαδικασία αντλείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης αφαλατωμένου νερού.

Για την παραγωγή υδρογόνου απαιτούνται μονάδες ηλεκτρόλυσης συνολικής ισχύος 5.5 MW. Η ετήσια παραγωγή υδρογόνου είναι 54000 kg. Για κάθε 1 kg υδρογόνου απαιτούνται 9 kg καθαρού νερού και 0.06 MWh ενέργειας. Παράλληλα με την παραγωγή υδρογόνου, παράγονται 4 kg οξυγόνου. Κάθε χρόνο παράγονται 216000 kg οξυγόνου. Το οξυγόνο δεν χρησιμοποιείται στη μονάδα, αλλά μπορεί να αποθηκευτεί για άλλες χρήσεις, όπως για παράδειγμα ιατρικές.

Ως  $1 \text{ Nm}^3$  ορίζεται η ποσότητα του αερίου όγκου  $1 \text{ m}^3$  σε πίεση 1.01325 bar, υγρασία 0% και θερμοκρασία  $0^\circ\text{C}$ . Για να γίνει η αναγωγή σε οποιεσδήποτε συνθήκες του αερίου πίεσης, θερμοκρασίας και όγκου σε μηδενική υγρασία χρησιμοποιείται η εξίσωση των τέλειων αερίων:

$$(p \cdot V)/T = \text{σταθερό} , \quad (6.7)$$

Όπου,  $p$  (Pa) είναι η πίεση,  $V$  ( $\text{m}^3$ ) είναι ο όγκος και  $T$  (K) είναι η θερμοκρασία.

Για το υδρογόνο ισχύει ότι 1 kg αντιστοιχεί σε 11.1 Nm<sup>3</sup> και για το οξυγόνο ισχύει ότι 1 kg αντιστοιχεί σε 0.7 Nm<sup>3</sup> (Parathanasiou et al., 2024).

Όσον αφορά τις υποδομές αποθήκευσης, κατασκευάζονται δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 200000 kg.

Η απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου τύπου PEM είναι 47.6% (Taner, 2018). Συνεπώς, κατά την καύση 1 kg υδρογόνου, παράγεται ενέργεια 15.9 kWh.

Η διανομή του υδρογόνου γίνεται μέσω περιορισμένου δικτύου και φιαλών.

## 6.8 Σενάρια – Αποτελέσματα ανάλυσης

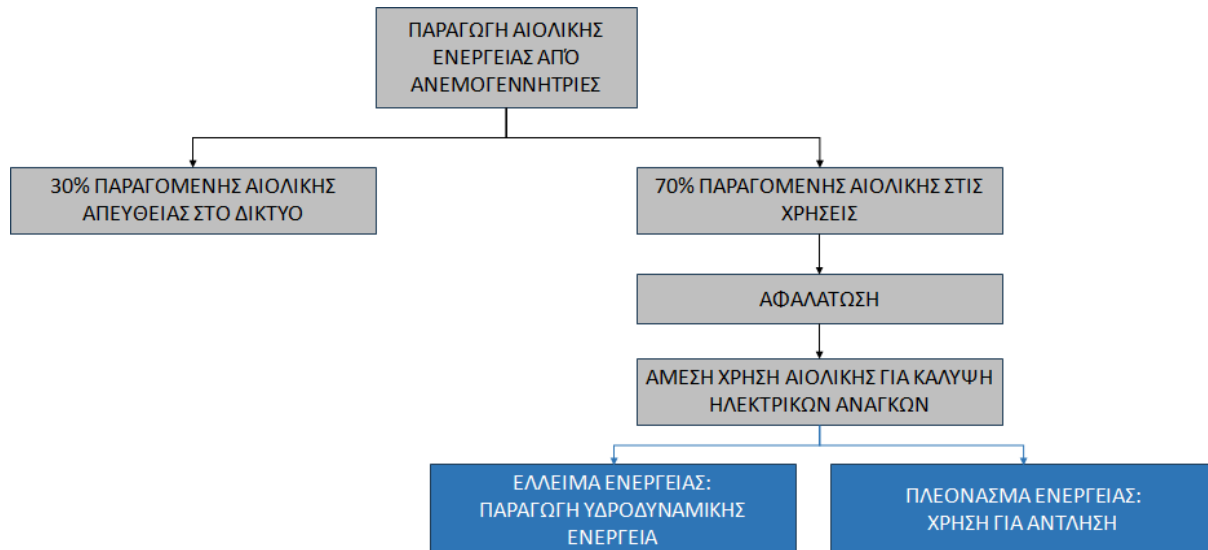
Για να εξεταστεί η λειτουργία και η αποτελεσματικότητα του ΥΣ, πραγματοποιήθηκε ανάλυση διαφόρων προσεγγίσεων ως προς τη λειτουργία του.

Σε όλα τα σενάρια, το 30% της αιολικής ενέργειας που παράγεται από ΑΓ διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο 70% διατίθεται για διάφορους σκοπούς, όπως αφαλάτωση, άντληση νερού και παραγωγή υδρογόνου. Σε κάθε σενάριο όπου υπάρχει αρχικά πλεόνασμα ενέργειας, καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια για την αφαλάτωση όσο το δυνατόν περισσότερου νερού για την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό. Επιπλέον, εάν υπάρχει διαθέσιμο πλεόνασμα ενέργειας, αφαλατώνεται επιπλέον ποσότητα νερού που αντιστοιχεί στη μέση ωριαία κατανάλωση. Αυτή η πρόσθετη αφαλάτωση χρησιμεύει για την αντιμετώπιση περιόδων αιχμής της ζήτησης και τη διασφάλιση της διαθεσιμότητας νερού για σκοπούς παραγωγής υδρογόνου. Επιπλέον, όλα τα σενάρια επιτυγχάνουν πλήρη κάλυψη της ζήτησης νερού. Επιπλέον, σε κάθε σενάριο, οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται χρησιμοποιώντας το πλεόνασμα αιολικής ενέργειας μετά την αφαλάτωση. Η διάκριση μεταξύ των σεναρίων έγκειται στον τρόπο διαχείρισης του πλεονάσματος της αιολικής ενέργειας, συγκεκριμένα στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευσή της.

### 6.8.1 Σενάριο 1

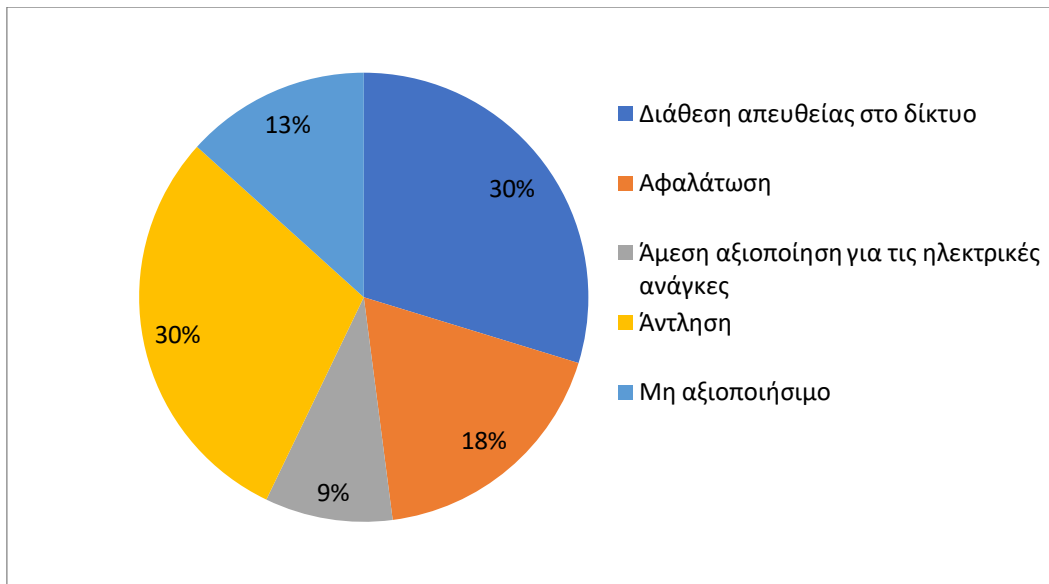
Το 1<sup>ο</sup> σενάριο αφορά την αποκλειστική χρήση της μεθόδου της αντλησιοταμίευσης. Εάν υπάρχει πλεονάζουσα παραγόμενη αιολική ενέργεια, χρησιμοποιείται από τις αντλίες για την ανύψωση του νερού στον ταμιευτήρα. Σκοπός είναι να μη χαθεί η παραγόμενη αιολική

ενέργεια των ΑΓ. Εάν υπάρχει έλλειμμα ενέργειας, απελευθερώνεται νερό από τον ταμιευτήρα και με τη βοήθεια του υδροστρόβιλου παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται προκειμένου να καλυφθούν οι υπόλοιπες ηλεκτρικές ανάγκες. Στο Σχήμα 6.13 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.



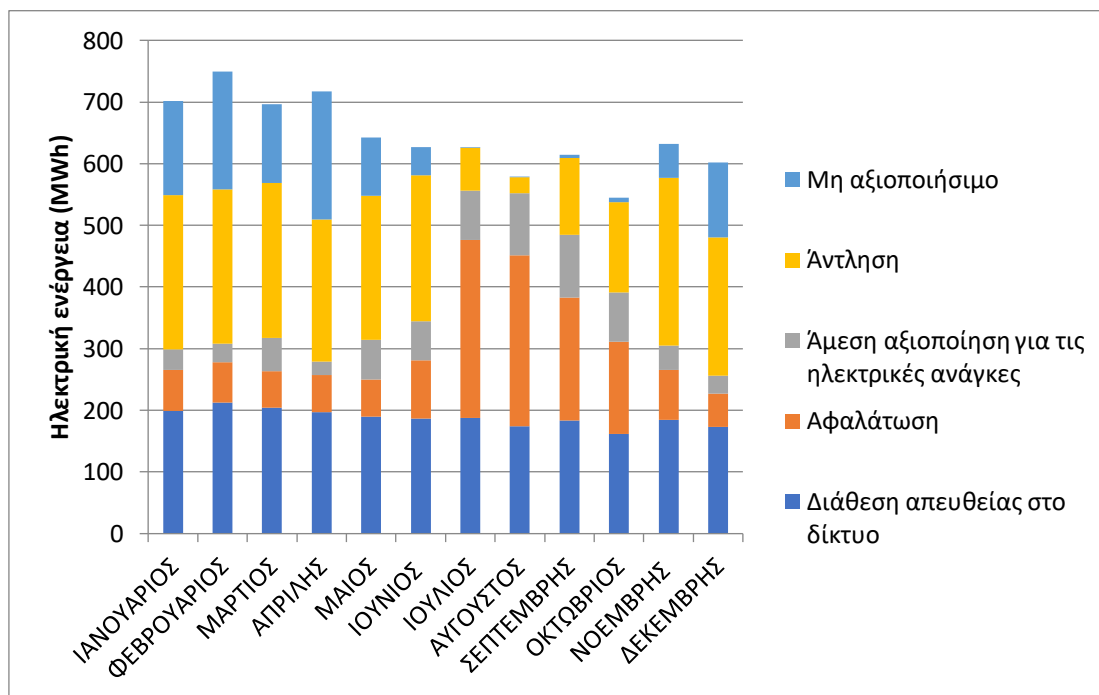
**Σχήμα 6.13** Διάγραμμα ροής για το 1<sup>ο</sup> σενάριο

Η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας για το πρώτο σενάριο παρουσιάζεται στην γραφική απεικόνιση του Σχήματος 6.14 με ετήσια βάση. Το 30% της ενέργειας διατίθεται άμεσα στο δίκτυο, το 18% χρησιμοποιείται για αφαλάτωση, το 9% χρησιμοποιείται άμεσα για τις ηλεκτρικές ανάγκες, το 30% διατίθεται για άντληση και το 13% θεωρείται μη αξιοποιήσιμο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτό το ποσοστό θεωρείται μη αξιοποιήσιμο, είτε λόγω του ότι ο άνω ταμιευτήρας είναι γεμάτος και δεν μπορεί να δεχτεί περισσότερο νερό, είτε επειδή δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα αιολικής ενέργειας για να λειτουργήσουν οι αντλίες.



**Σχήμα 6.14** Πίτα στην οποία απεικονίζεται η κατανομή της παραγόμενης αιολικής ενέργειας ετησίως για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

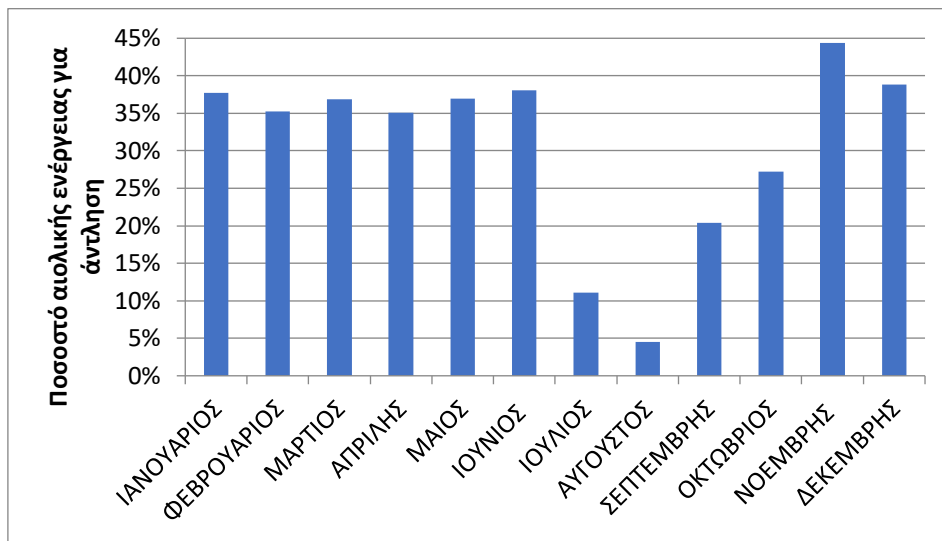
Αναλυτικότερα, ανά μήνα, η χρήση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 6.15.



**Σχήμα 6.15** Χρήση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, ανά μήνα, για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

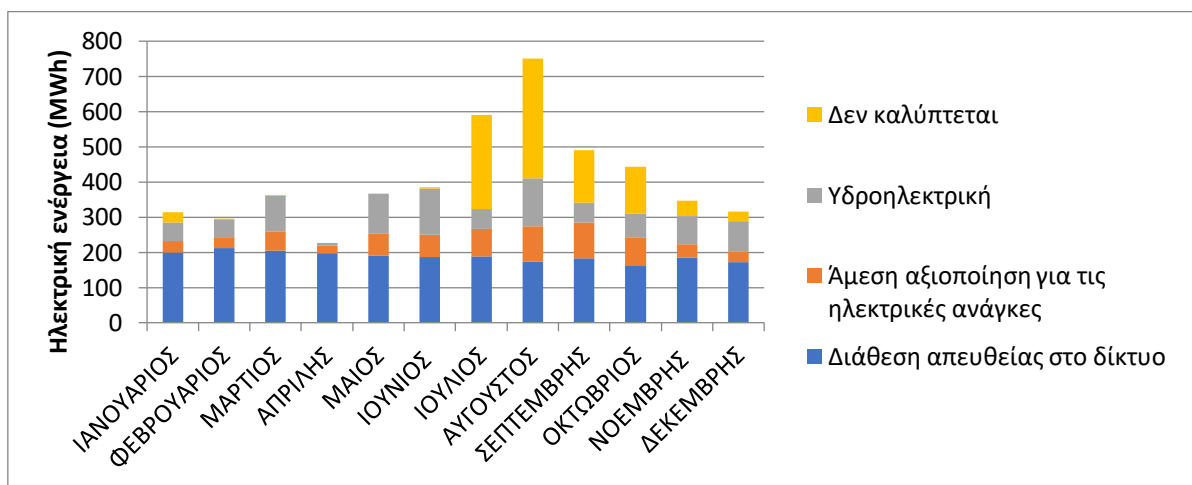
Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 6.16 φαίνεται ανά μήνα το ποσοστό της παραγόμενης αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της άντλησης.

Παρατηρείται ότι ο μήνας με το υψηλότερο ποσοστό είναι ο Νοέμβριος(44%) και με το χαμηλότερο ο Αύγουστος (4%). Ετησίως καταναλώνονται 2327 MWh για την άντληση.



**Σχήμα 6.16** Ποσοστό παραγόμενης αιολικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιείται για την άντληση, ανά μήνα, για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

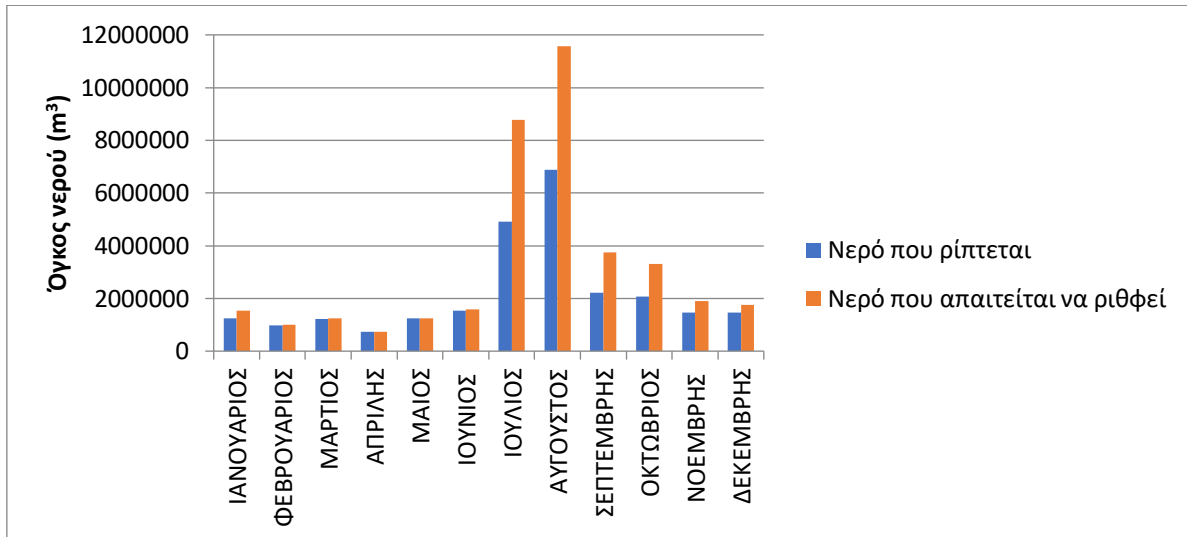
Όσον αφορά τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια στο 1<sup>ο</sup> σενάριο, καλύπτεται συνολικά το 86% των αναγκών κατά την διάρκεια ενός έτους. Αναλυτικότερα το 64% καλύπτεται άμεσα από την παραγόμενη αιολική ενέργεια των ΑΓ και το 22% καλύπτεται από την υδροηλεκτρική ενέργεια και το 14% των ηλεκτρικών αναγκών δεν καλύπτεται. Στο Σχήμα 6.17 παρουσιάζεται η κάλυψη των αναγκών της ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα, σε ετήσια βάση.



**Σχήμα 6.17** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται ανά μήνα η κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.



Στο ιστόγραμμα του Σχήματος 6.18, παρουσιάζεται η μηνιαία ποσότητα του νερού που ρίπτεται από τον ταμιευτήρα και η συνολική ποσότητα του νερού που χρειάζεται να ριφθεί για να καλυφθούν πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες.



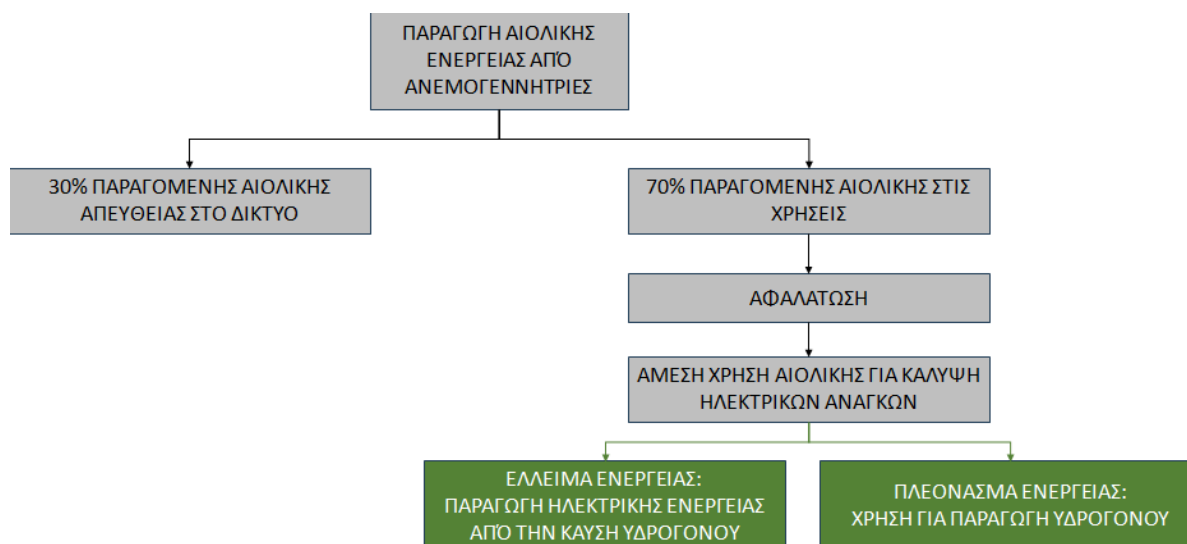
**Σχήμα 6.18** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται ο όγκος του νερού ο οποίος ρίπτεται από τον ταμιευτήρα μηνιαίως και ο όγκος του νερού ο οποίος απαιτείται να ριφθεί συνολικά προκειμένου να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

### 6.8.2 Σενάριο 2

Το 2ο σενάριο αφορά την αποκλειστική χρήση του υδρογόνου, ως μέθοδο αποθήκευσης της πλεονάζουσας παραγόμενης αιολικής ενέργειας.

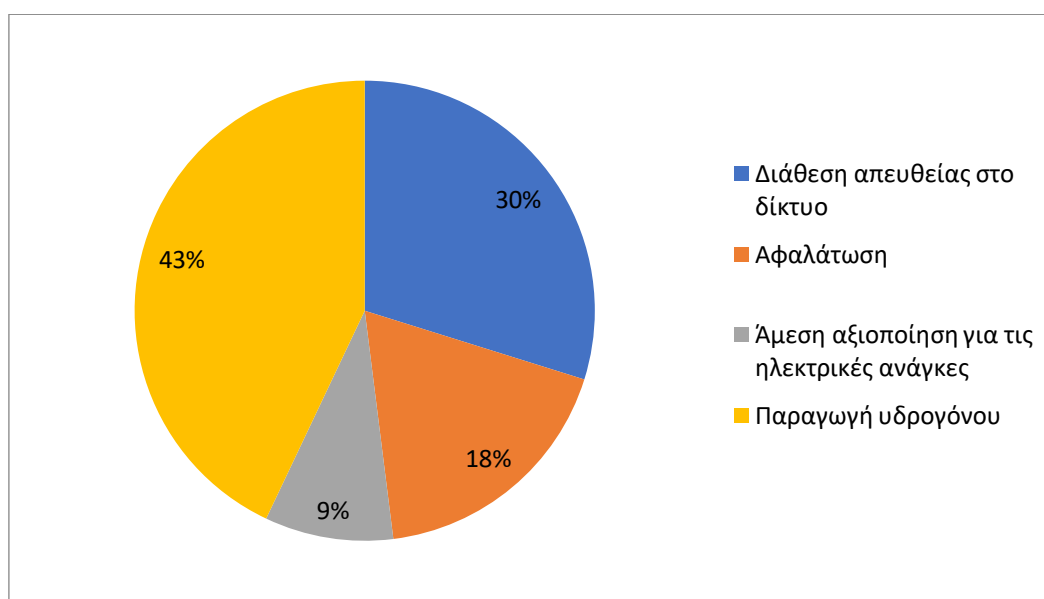
Εάν υπάρχει πλεονάζουσα παραγόμενη αιολική ενέργεια, χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης. Σκοπός είναι να μη χαθεί η παραγόμενη αιολική ενέργεια των ΑΓ.

Εάν υπάρχει έλλειμμα ενέργειας, παράγεται ενέργεια με τη βοήθεια της καύσης του υδρογόνου. Η ενέργεια παράγεται προκειμένου να καλυφθούν οι υπόλοιπες ηλεκτρικές ανάγκες. Στο Σχήμα 6.19 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.



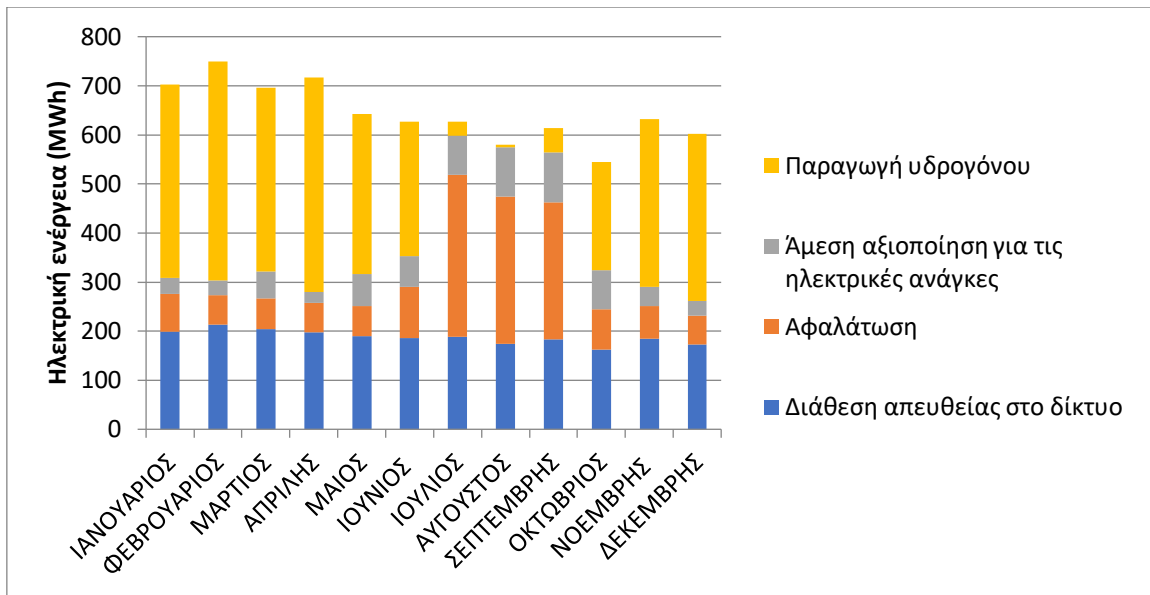
**Σχήμα 6.19** Διάγραμμα ροής για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

Η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας για το 2<sup>ο</sup> σενάριο παρουσιάζεται στην γραφική απεικόνιση του Σχήματος 6.20 με ετήσια βάση. Το 30% της ενέργειας διατίθεται άμεσα στο δίκτυο, το 18% χρησιμοποιείται για αφαλάτωση, το 9% χρησιμοποιείται άμεσα για τις ηλεκτρικές ανάγκες και το 43% διατίθεται για παραγωγή υδρογόνου.



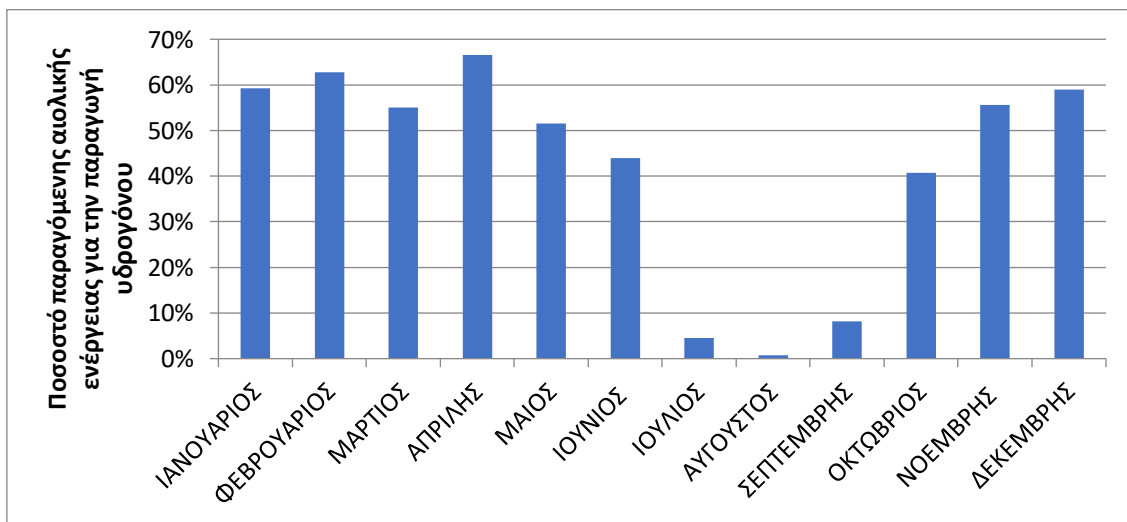
**Σχήμα 6.20** Πίτα στην οποία απεικονίζεται η κατανομή της παραγόμενης αιολικής ενέργειας ετησίως, για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

Αναλυτικότερα, ανά μήνα, η χρήση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 6.21.



**Σχήμα 6.21** Χρήση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, ανά μήνα, για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

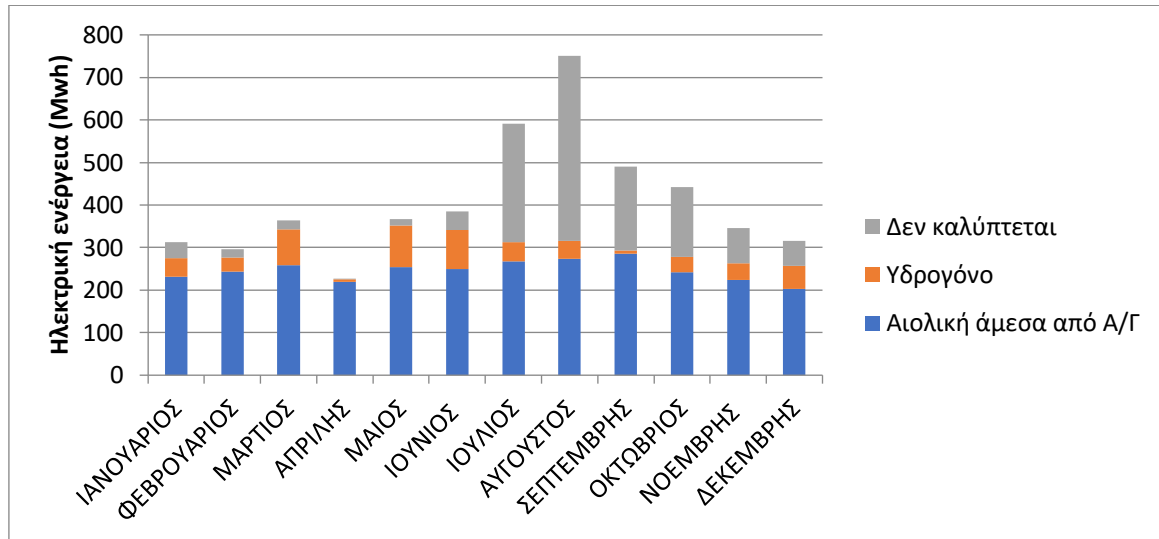
Συγκεκριμένα, το Σχήμα 6.22 παρουσιάζει το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που παράγεται από τις ΑΓ κάθε μήνα, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διαδικασία παραγωγής υδρογόνου. Το ποσοστό αυτό είναι υψηλότερο τον Φεβρουάριο (62%) και χαμηλότερο τον Αύγουστο (1%). Κατά τη διάρκεια ενός έτους, χρησιμοποιούνται συνολικά 3236 MWh ενέργειας για τη διαδικασία παραγωγής υδρογόνου.



**Σχήμα 6.22** Ποσοστό παραγόμενης αιολικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου, ανά μήνα, για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

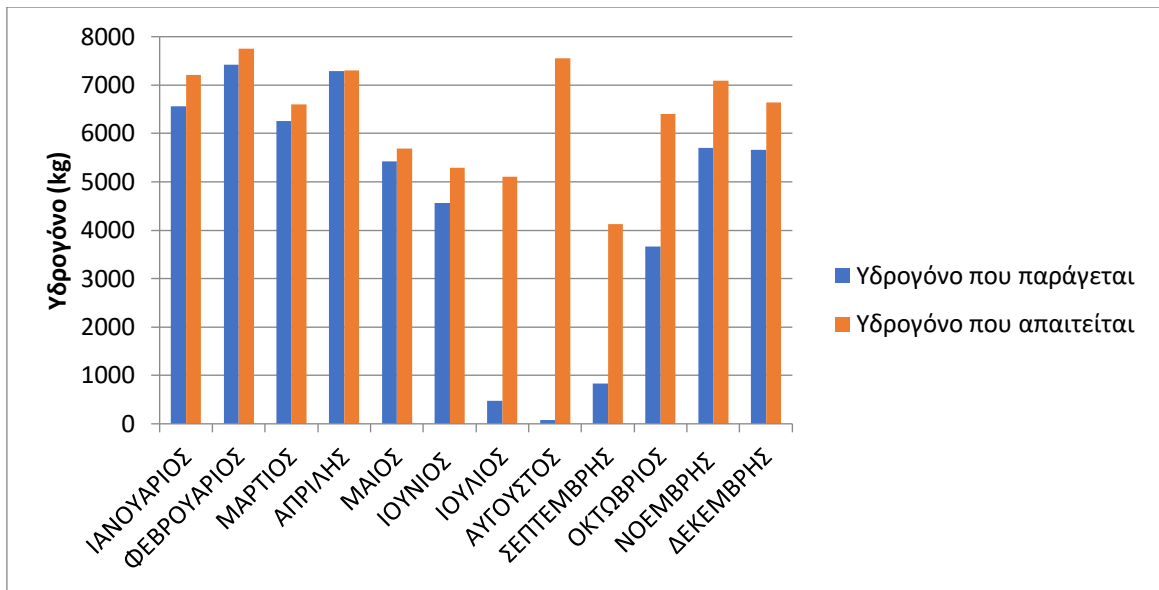
Όσον αφορά τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια στο 2<sup>ο</sup> σενάριο, καλύπτεται συνολικά το 75% των αναγκών κατά την διάρκεια ενός έτους. Άμεσα από την παραγόμενη αιολική

ενέργεια καλύπτεται το 63% και το 12% καλύπτεται από την παραγωγή υδρογόνου. Το 25% δεν καλύπτεται. Στο Σχήμα 6.23 παρουσιάζεται η κάλυψη των αναγκών της ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση.



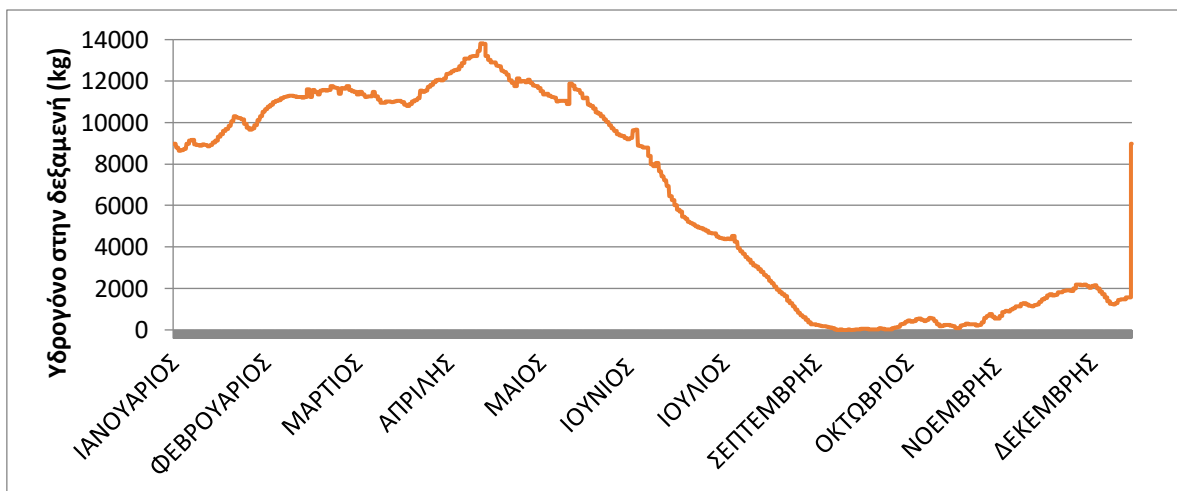
**Σχήμα 6.23** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται ανά μήνα η κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

Μοναδική μέθοδος αποθήκευσης της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας στο συγκεκριμένο σενάριο είναι μέσω της παραγωγής υδρογόνου. Ετησίως παράγονται κατά μέσο όρο 54000 kg υδρογόνου. Για να καλυφθούν πλήρως οι ηλεκτρικές ανάγκες απαιτούνται συνολικά 76000 kg υδρογόνου, δηλαδή επιπλέον 22000 kg υδρογόνου. Αναλυτικότερα, στο Σχήμα 6.31 απεικονίζεται η ποσότητα του υδρογόνου που παράγεται καθώς και η συνολική ποσότητα υδρογόνου η οποία απαιτείται για να καλυφθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια στο 100%.



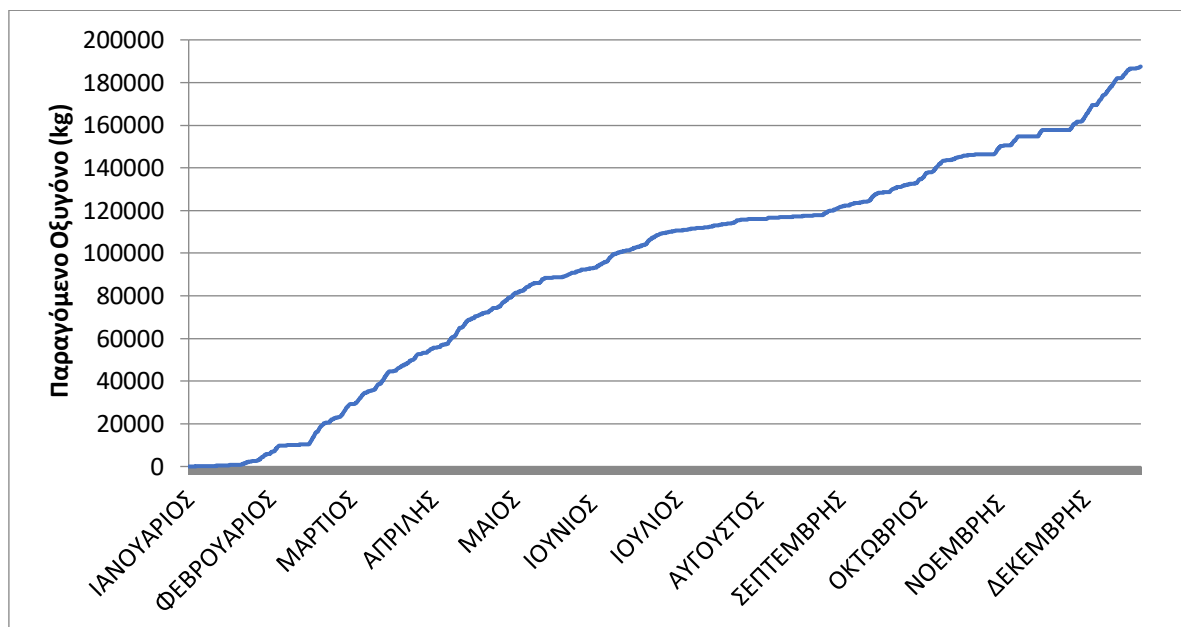
**Σχήμα 6.24** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται το υδρογόνο το οποίο παράγεται μηνιαίως και η ποσότητα η οποία απαιτείται για πλήρη κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας, για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υδρογόνο αποθηκεύεται σε δεξαμενές χωρητικότητας 200000 kg. Στο Σχήμα 6.24 παρουσιάζεται η ποσότητα του μέσου ημερήσιου αποθηκευμένου υδρογόνου σε kg κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όπως είναι λογικό το αποθηκευμένο υδρογόνο είναι σημαντικά λιγότερο τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια λόγω του τουρισμού.



**Σχήμα 6.25** Ετήσια διακύμανση μέσου ημερήσιου όγκου δεξαμενής αποθήκευσης υδρογόνου, για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

Παράλληλα με την παραγωγή του υδρογόνου παράγεται και το οξυγόνο. Παράγονται κατά μέσο όρο 216000 kg οξυγόνου τον χρόνο. Στο Σχήμα 6.26 απεικονίζεται το μέσο ημερήσιο αποθηκευμένο οξυγόνο κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> έτους λειτουργίας της εγκατάστασης.

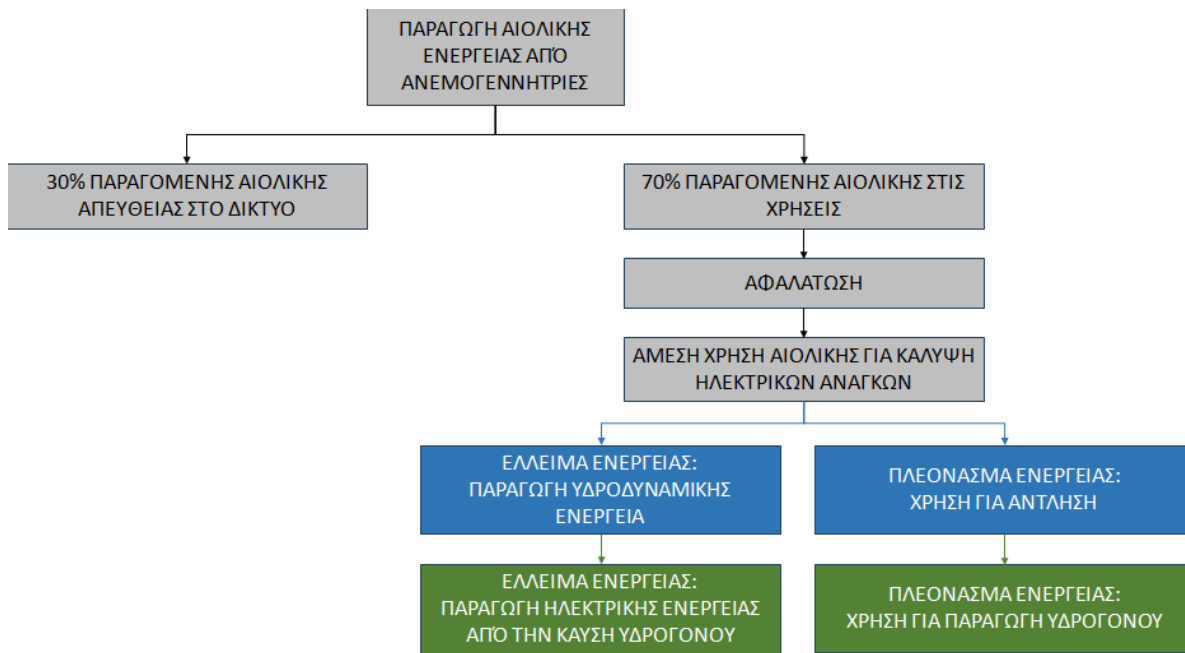


**Σχήμα 6.26** Παραγωγή οξυγόνου κατά το 1<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας της εγκατάστασης, για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

### 6.8.3 Σενάριο 3

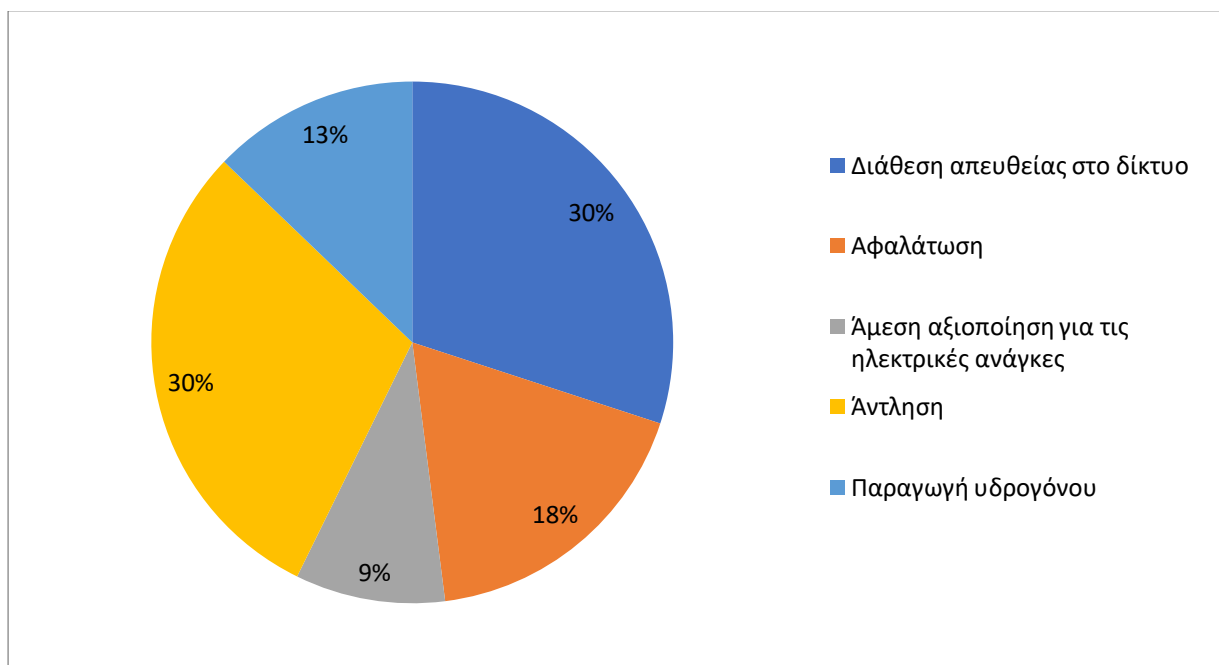
Στο 3<sup>ο</sup> σενάριο εξετάζεται ο συνδυασμός των μεθόδων της αντλησιοταμίευσης και παραγωγής υδρογόνου για την αποθήκευση της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας.

Στην περίπτωση που υπάρχει πλεονάζουσα παραγόμενη αιολική ενέργεια, προτεραιότητα δίνεται στις αντλίες για την ανύψωση του νερού στον ταμιευτήρα. Εάν υπάρχει και επιπλέον πλεονάζουσα αιολική ενέργεια, η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις αντλίες, η ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης. Σκοπός είναι να μη χαθεί η παραγόμενη αιολική ενέργεια των ΑΓ. Στο Σχήμα 6.27 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.



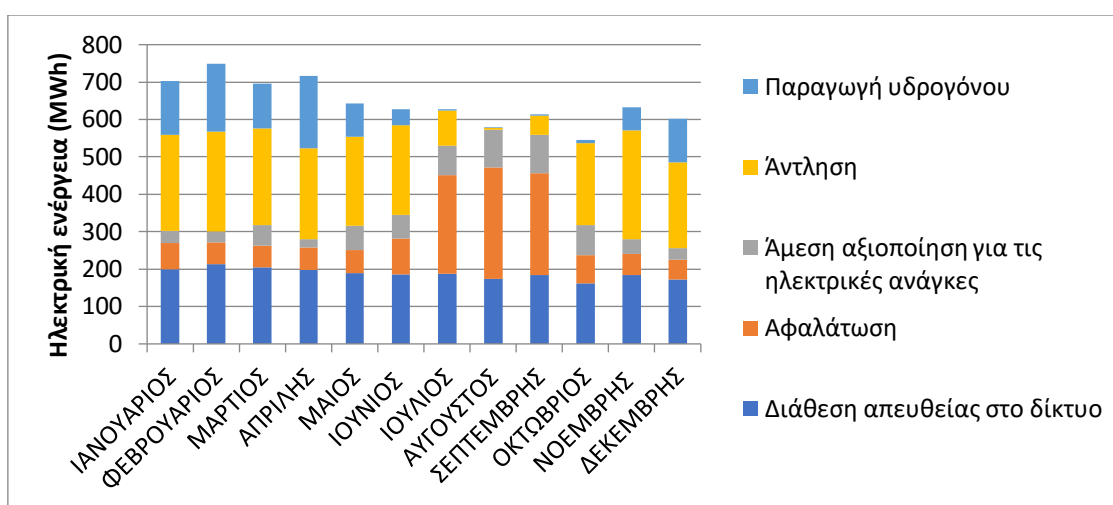
**Σχήμα 6.27** Διάγραμμα ροής για το 3<sup>ο</sup> σενάριο

Στην πίτα του Σχήματος 6.28 παρατίθεται η διαχείριση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ. Το 30% διατίθεται απευθείας στο δίκτυο, το 18% χρησιμοποιείται για αφαλάτωση, το 9% αξιοποιείται άμεσα για τις ηλεκτρικές ανάγκες, το 30% χρησιμοποιείται για άντληση και το 13% διατίθεται για την παραγωγή του υδρογόνου.



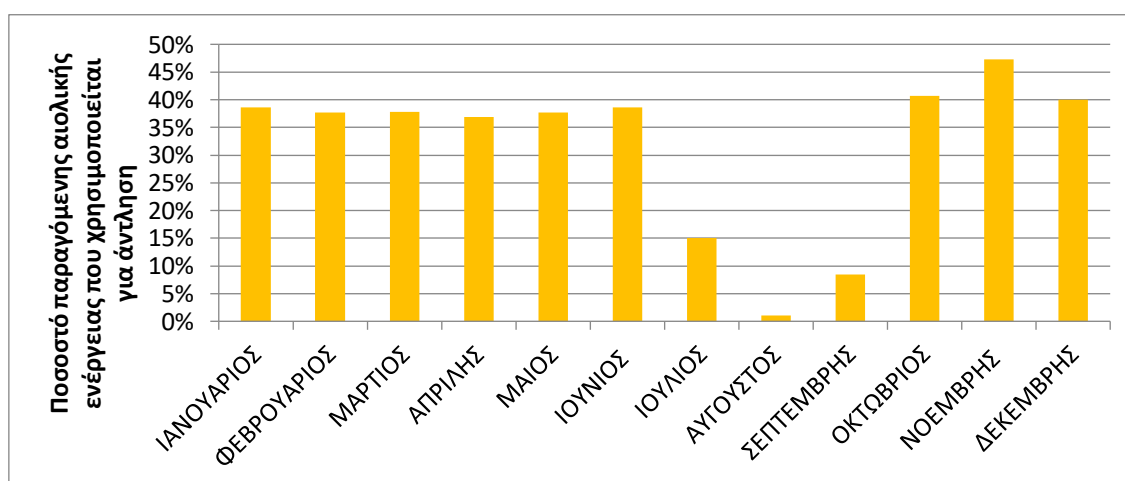
**Σχήμα 6.28** Πίτα στην οποία απεικονίζεται η κατανομή της παραγόμενης αιολικής ενέργειας ετησίως, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

Αναλυτικότερα η χρήση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 6.29.



**Σχήμα 6.29** Χρήση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, ανά μήνα, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

Στο Σχήμα 6.30 φαίνεται ανά μήνα το ποσοστό της παραγόμενης αιολικής ενέργειας από τις ΑΓ, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της άντλησης. Παρατηρείται ότι ο μήνας με το υψηλότερο ποσοστό είναι ο Νοέμβριος (46%) και με το χαμηλότερο ο Αύγουστος (1%). Ετησίως καταναλώνονται 2459 MWh για την άντληση.

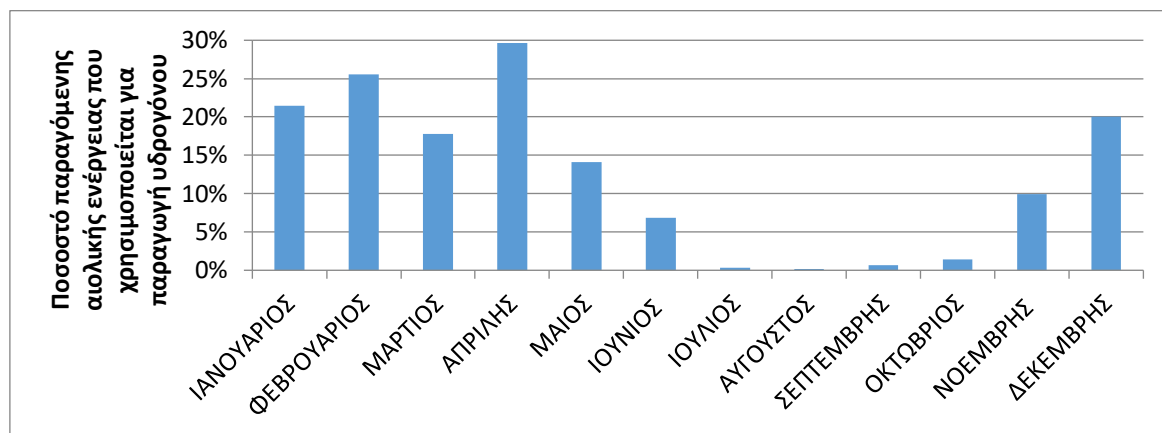


**Σχήμα 6.30** Ποσοστό παραγόμενης αιολικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιείται για την άντληση, ανά μήνα, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

Το Σχήμα 6.31 παρουσιάζει το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που παράγεται από τις ΑΓ κάθε μήνα, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διαδικασία παραγωγής υδρογόνου. Το ποσοστό αυτό είναι υψηλότερο τον Απρίλιο (29%) και χαμηλότερο τον Αύγουστο (0%). Κατά τη

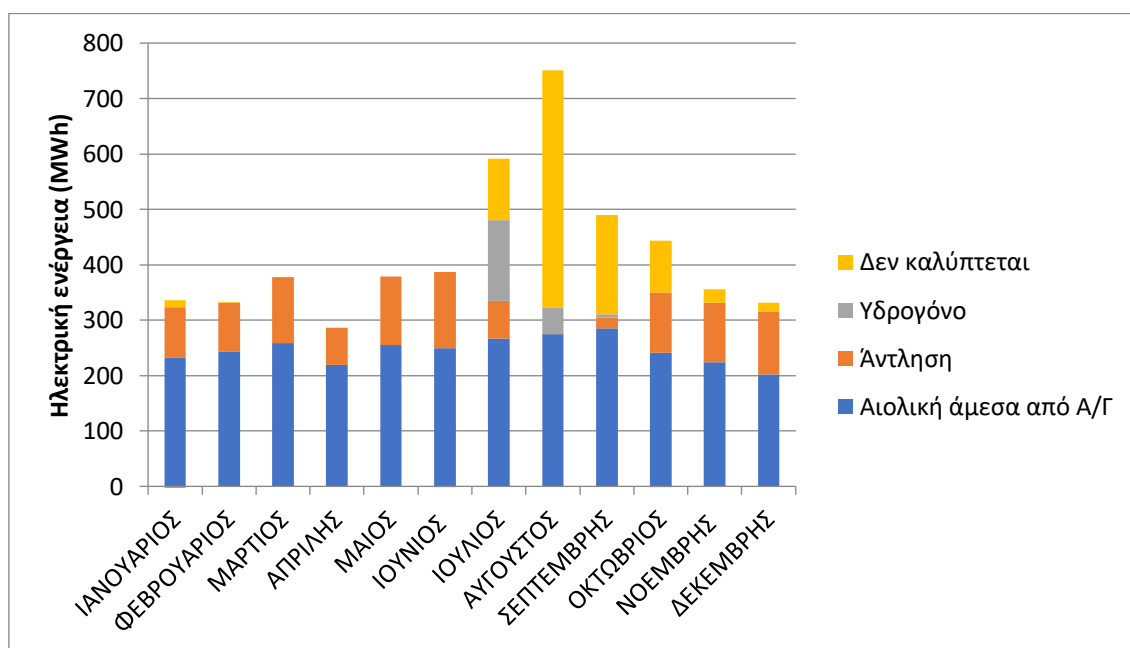


διάρκεια ενός έτους, χρησιμοποιούνται συνολικά 937 MWh ενέργειας για τη διαδικασία παραγωγής υδρογόνου.



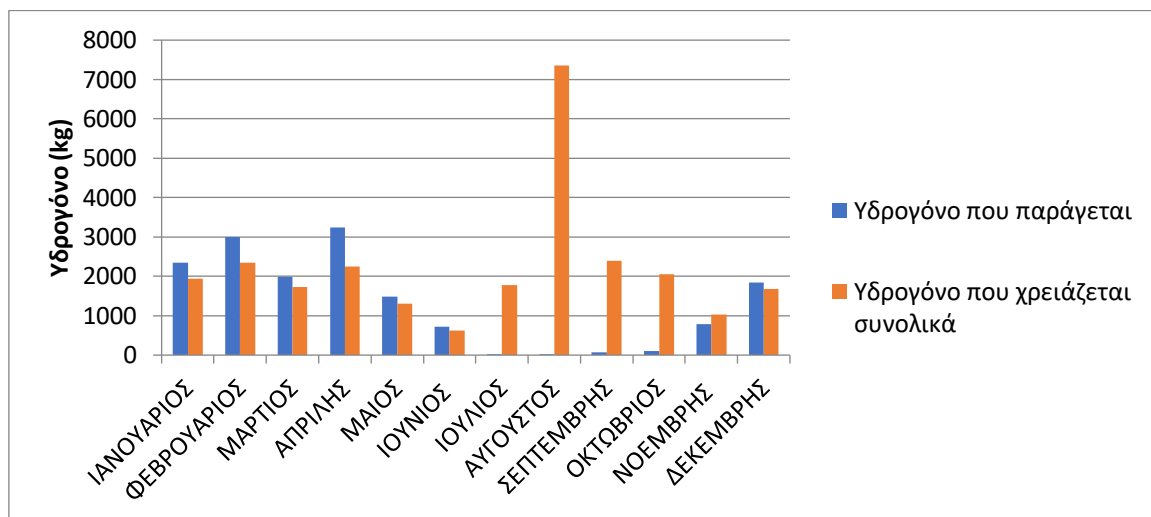
**Σχήμα 6.31** Ποσοστό παραγόμενης αιολικής ενέργειας το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου, ανά μήνα, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

Όσον αφορά τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια στο 3<sup>ο</sup> σενάριο, καλύπτεται συνολικά το 87% των αναγκών κατά την διάρκεια ενός έτους. Άμεσα από την παραγόμενη αιολική ενέργεια καλύπτεται το 60%. Το 22% καλύπτεται από την άντληση, τα 5% από την παραγωγή υδρογόνου και το 13% δεν καλύπτεται. Στο Σχήμα 6.32 παρουσιάζεται η κάλυψη των αναγκών της ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση.



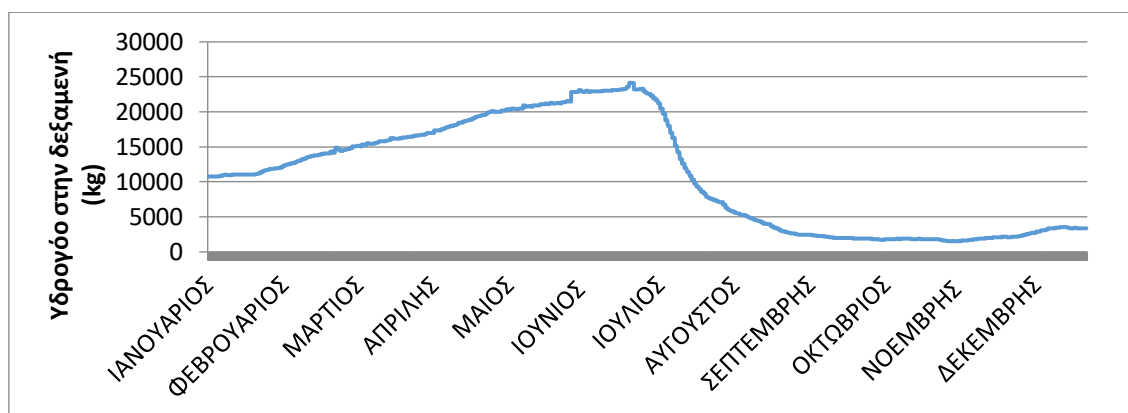
**Σχήμα 6.32** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται ανά μήνα η κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

Ετησίως παράγονται κατά μέσο όρο 15615 kg υδρογόνου. Για να καλυφθούν πλήρως οι ηλεκτρικές ανάγκες απαιτούνται συνολικά 26483 kg υδρογόνου, δηλαδή επιπλέον 10868 kg υδρογόνου. Αναλυτικότερα, στο Σχήμα 6.33 απεικονίζεται η ποσότητα του υδρογόνου που παράγεται καθώς και η συνολική ποσότητα υδρογόνου η οποία απαιτείται για να καλυφθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια στο 100%.



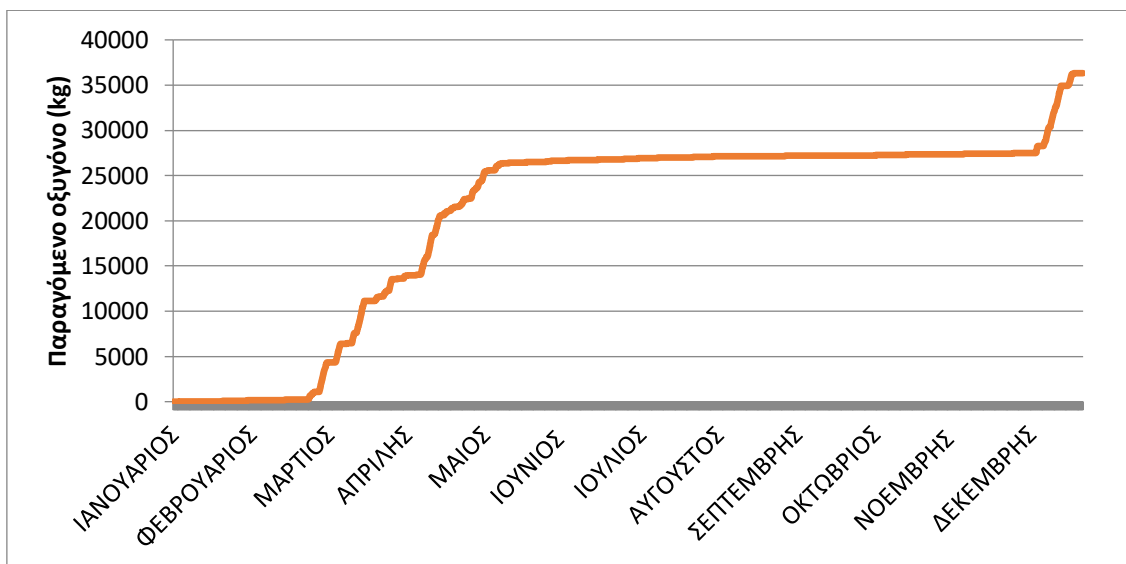
**Σχήμα 6.33** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται το υδρογόνο το οποίο παράγεται και η ποσότητα η οποία απαιτείται για την πλήρη κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας, ανά μήνα, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υδρογόνο αποθηκεύεται σε δεξαμενές χωρητικότητας 200000 kg. Στο Σχήμα 6.34 παρουσιάζεται η ποσότητα του μέσου ημερήσιου αποθηκευμένου υδρογόνου σε kg κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όπως είναι λογικό το αποθηκευμένο υδρογόνο είναι σημαντικά λιγότερο τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια λόγω του τουρισμού.



**Σχήμα 6.34** Ετήσια διακύμανση του μέσου ημερήσιου όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης υδρογόνου, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

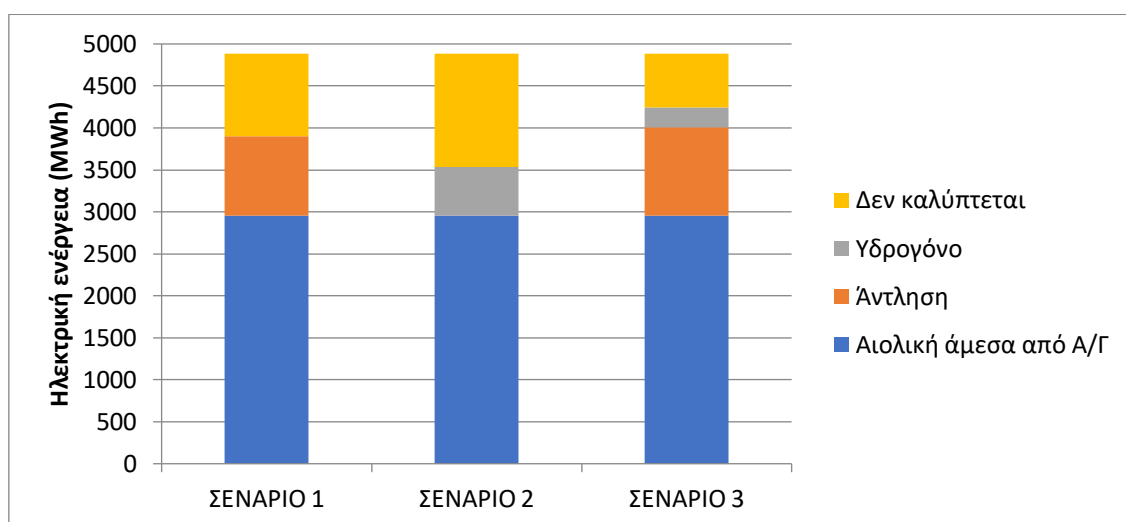
Παράλληλα με την παραγωγή του υδρογόνου παράγεται και το οξυγόνο. Παράγονται κατά μέσο όρο 62460 kg οξυγόνου τον χρόνο. Στο Σχήμα 6.35 απεικονίζεται το μέσο ημερήσιο αποθηκευμένο οξυγόνο κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> έτους λειτουργίας της εγκατάστασης.



**Σχήμα 6.35** Παραγωγή οξυγόνου κατά το 1<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας της εγκατάστασης, για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

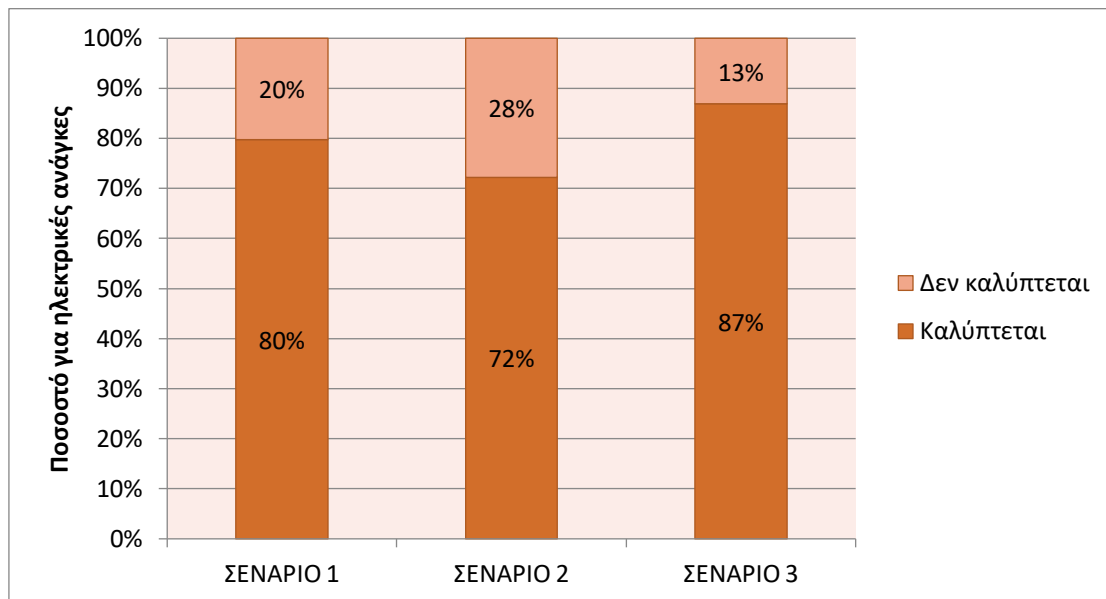
#### 6.8.4 Ανάλυση ευαισθησίας – Σύγκριση σεναρίων

Σε αυτή την ενότητα περιέχονται δεδομένα που συγκρίνουν τα τρία διαφορετικά σενάρια. Όσον αφορά την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών, το 3<sup>ο</sup> σενάριο ξεχωρίζει για το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης. Στο Σχήμα 6.36 παρουσιάζεται αναλυτικά η κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών ετησίως για κάθε ένα από τα τρία σενάρια.



**Σχήμα 6.36** Ιστογράμμο στο οποίο απεικονίζεται ετησίως η κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, για κάθε ένα από τα τρία σενάρια.

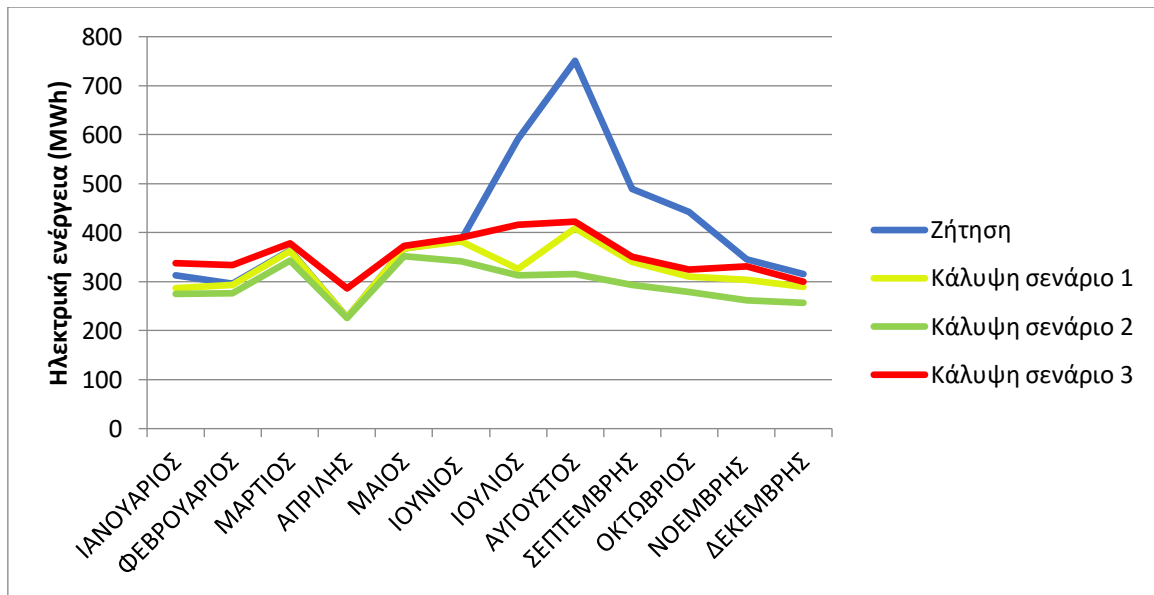
Παρουσιάζεται επίσης το ιστόγραμμα του Σχήματος 6.37 που μας δείχνει το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτεται για κάθε ένα από τα σενάρια.



**Σχήμα 6.37** Ιστόγραμμα στο οποίο απεικονίζεται ετησίως η ποσοστιαία κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, για κάθε ένα από τα τρία σενάρια.

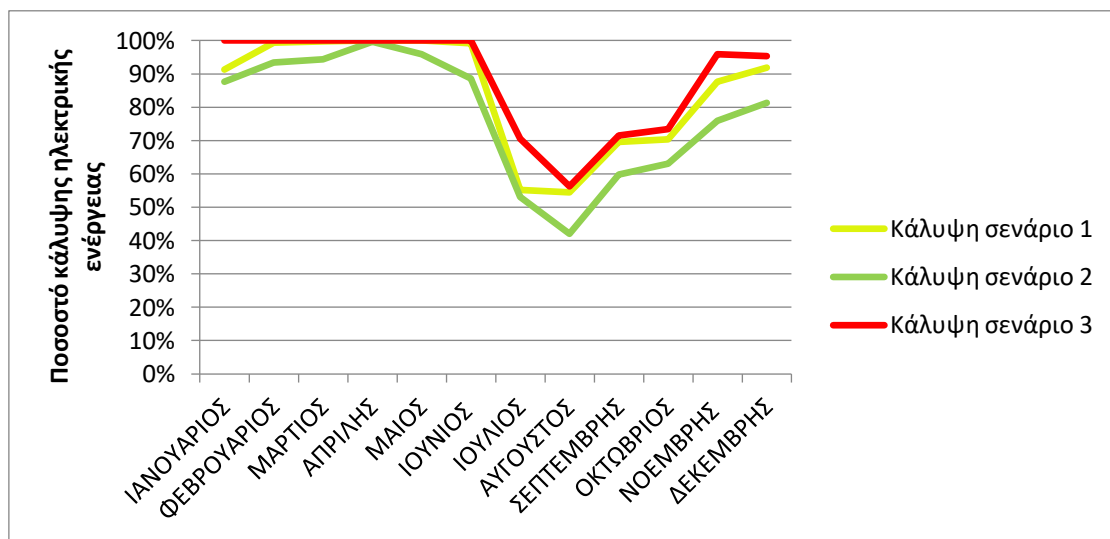
Όσον αφορά την αφαλάτωση, καθώς σε κάθε σενάριο αφαλατώνεται παραπάνω νερό από το απαιτούμενο για τις ανάγκες, όταν υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια, και αποθηκεύεται στην δεξαμενή αφαλατωμένου νερού. Συνεπώς, υπάρχει πλήρης κάλυψη των υδρευτικών αναγκών και για τα τρία σενάρια.

Στο Σχήμα 6.38 παρουσιάζεται ανά μήνα η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και η συνολική κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας από τα 3 σενάρια.



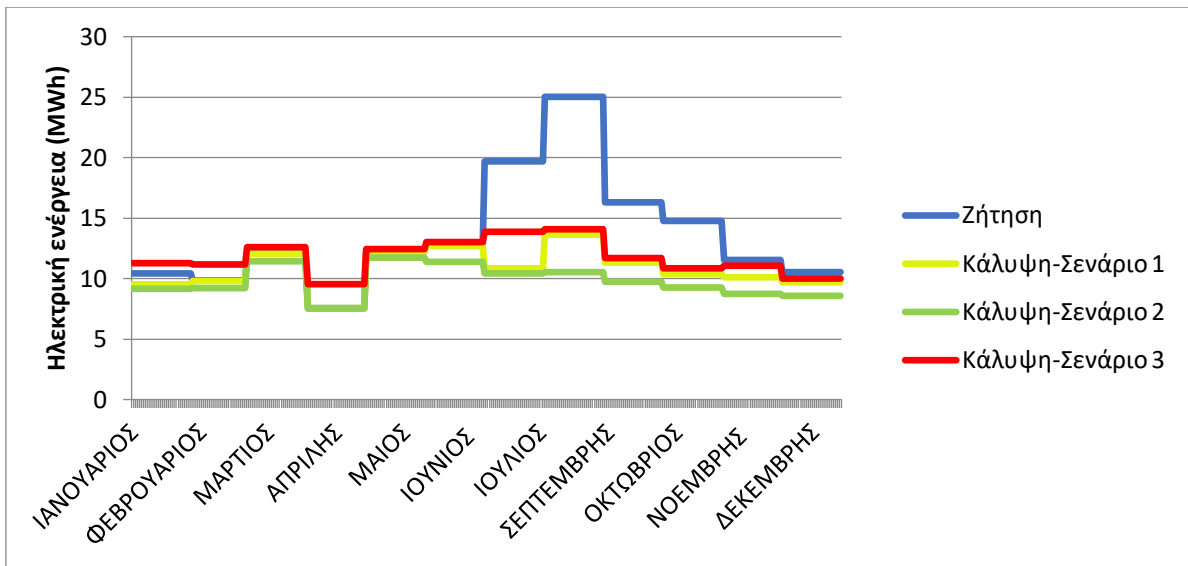
**Σχήμα 6.38** Γράφημα στο οποίο απεικονίζεται ανά μήνα η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η συνολική κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας από τα 3 σενάρια.

Στο Σχήμα 6.39 παρουσιάζεται ανά μήνα το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τα 3 σενάρια.



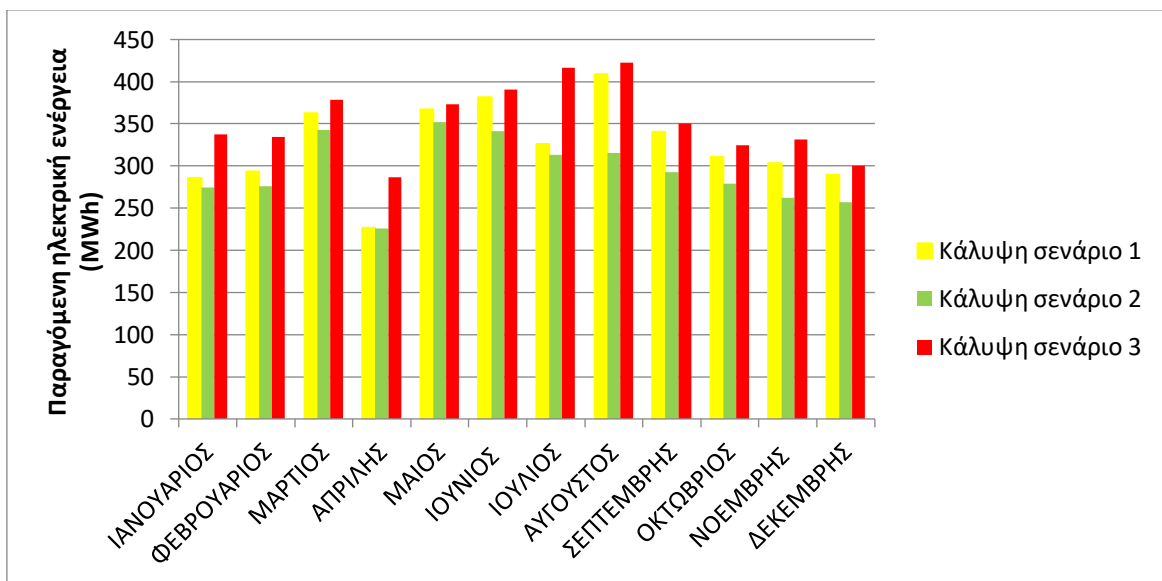
**Σχήμα 6.39** Γράφημα στο οποίο απεικονίζεται ανά μήνα το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας για τα 3 σενάρια.

Στο Σχήμα 6.40 παρουσιάζεται ανά ημέρα η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και η συνολική της κάλυψη από τα τρία σενάρια.



**Σχήμα 6.40** Γράφημα στο οποίο απεικονίζεται ανά ημέρα η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η συνολική κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας από τα 3 σενάρια.

Στο Σχήμα 6.41 συγκρίνονται ποσότητες της επιπλέον παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα τρία σενάρια.



**Σχήμα 6.41** Γράφημα στο οποίο απεικονίζεται ανά μήνα η επιπλέον ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από κάθε ένα από τα τρία σενάρια.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των ετών όσον αφορά τα αποτελέσματα, καθώς δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές.

## 7. Οικονομική αξιολόγηση έργου

Σε αυτό το κεφάλαιο διενεργείται οικονομική αξιολόγηση του έργου, η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση του κόστους και των οφελών του. Η αξιολόγηση αυτή αποσκοπεί στην ποσοτικοποίηση της οικονομικής αξίας του έργου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις συνολικές δαπάνες όσο και τις αναμενόμενες αποδόσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.

### 7.1 Οικονομικές έννοιες

Σε αυτό το έργο, το κεφάλαιο αντιπροσωπεύει την αρχική επένδυση που απαιτείται μέχρι οι εγκαταστάσεις να τεθούν σε λειτουργία και ορίζεται ως οικονομικό αγαθό που μετριέται σε χρηματικούς όρους, ικανό να παράγει άλλα αγαθά ή υπηρεσίες. Ο τόκος, από την άλλη πλευρά, σηματοδοτεί την αύξηση του κεφαλαίου κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου, ενώ το επιτόκιο ποσοτικοποιεί αυτή την απόδοση για μια δεδομένη νομισματική μονάδα εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου. Η χρηματοροή δηλώνει την εισροή και εκροή κεφαλαίων εντός μιας οικονομικής οντότητας, όπως μια επιχείρηση ή ένα νοικοκυριό, σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Οι θετικές χρηματοροές υποδηλώνουν έσοδα, οι αρνητικές υποδηλώνουν έξοδα και οι καθαρές αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μεταξύ των δύο.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) - Net Present Value (NPV) αξιολογεί την αξία μιας επένδυσης προεξοφλώντας όλες τις αναμενόμενες ετήσιες καθαρές χρηματοροές στην παρούσα αξία τους για όλη τη διάρκεια του έργου. Αυτή η μέτρηση βοηθά στη μέτρηση της κερδοφορίας και της βιωσιμότητας της επενδυτικής προσπάθειας.

$$\text{ΚΠΑ} = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{\text{ΚΤΡ}_t}{(1+\varepsilon)^t} \right] - E_0 \quad (7.1)$$

όπου,

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

$\varepsilon$ : το επιτόκιο προεξόφλησης

$n$ : η διάρκεια ζωής του έργου

$t$ : η περίοδος προεξόφλησης

$E_0$ : η αρχική επένδυση

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

$$\text{ΚΠΑ} = 0 = \left[ \sum_{t=1}^v \frac{\text{ΚΤΡ}_t}{(1 + \text{IRR})^t} \right] - E_0 \quad (7.2)$$

Το επιτόκιο προεξόφλησης λαμβάνει υπόψη το ρίσκο που αναλαμβάνει ένας επενδυτής για ένα συγκεκριμένο έργο. Όταν ο IRR είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης, αυτό υποδηλώνει ότι η απόδοση της επένδυσης υπερβαίνει το επιτόκιο προεξόφλησης, επομένως η επένδυση θεωρείται οικονομικά επικερδής και εγκρίνεται. Αντίθετα, όταν ο IRR είναι μικρότερος από το επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται, καθώς η απόδοσή της είναι ανεπαρκής για να καλύψει το ρίσκο του κεφαλαίου. Τέλος, όταν ο IRR είναι ίσος με το επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή και ενδέχεται να μην είναι κερδοφόρα.

Η απόσβεση αναφέρεται στη μείωση της αξίας ενός πάγιου περιουσιακού στοιχείου λόγω παραγόντων, όπως η φυσιολογική φθορά με την πάροδο του χρόνου, η χρήση ή η πρόοδος της τεχνολογίας. Για τον προσδιορισμό της απόσβεσης, πρέπει να γνωρίζει κανείς το αρχικό κόστος επένδυσης, την αναμενόμενη ωφέλιμη ζωή του περιουσιακού στοιχείου και την υπολειμματική του αξία. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού της απόσβεσης, αλλά μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι η μέθοδος της ευθύγραμμης απόσβεσης. Με τη μέθοδο αυτή, ένας σταθερός συντελεστής απόσβεσης εφαρμόζεται ετησίως στην αρχική αξία του περιουσιακού στοιχείου για τον υπολογισμό της δαπάνης απόσβεσης (<https://euretirio.com/aposvesi-depreciation/>).

Σε πρακτικά επενδυτικά σενάρια, το συνολικό κόστος μιας επένδυσης συνήθως δεν καλύπτεται πλήρως μόνο από τα ίδια κεφάλαια του επενδυτή. Αντί αυτού, οι επενδυτές συχνά αναζητούν πρόσθετη χρηματοδότηση από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων επιχορηγήσεων και δανείων από πιστωτικά ιδρύματα. Όταν δανείζονται κεφάλαια, οι επενδυτές επιστρέφουν σταδιακά το δανεισμένο ποσό μαζί με τις χρεώσεις τόκων. Δύο σημαντικές έννοιες σε αυτή τη διαδικασία αποπληρωμής είναι η εξυπηρέτηση του χρέους, η οποία περιλαμβάνει την αποπληρωμή του δανεισμένου κεφαλαίου, και οι τόκοι, οι οποίοι υπολογίζονται με βάση το επιτόκιο του δανείου και το ανεξόφλητο κεφάλαιο. Ουσιαστικά,



οι τόκοι χρησιμεύουν ως αποζημίωση για το κεφάλαιο που παρέχει ο δανειστής. Οι μέθοδοι αποπληρωμής των δανείων συνήθως περιλαμβάνουν, είτε σταθερό επιτόκιο χρέους, είτε σταθερό επιτόκιο, με το δεύτερο να είναι πιο συνηθισμένο. Το επιτόκιο καθορίζεται με τη χρήση συγκεκριμένου τύπου βάσει των όρων και των προϋποθέσεων του δανείου:

$$T.A. = \frac{\varepsilon \cdot (1 + \varepsilon)^v}{(1 + \varepsilon)^v - 1} \cdot K \quad (7.3)$$

όπου,

T.A.: η τοκοχρεωλυτική δόση

$\varepsilon$ : επιτόκιο δανεισμού

$v$ : περίοδοι αποπληρωμής του δανείου (αριθμός δόσεων)

$K$ : κεφάλαιο δανεισμού

## 7.2 Υπολογισμός συνολικού κόστους κατασκευής έργου

Τα κόστη των επιμέρους τμημάτων του έργου, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1, βασίζονται σε εκτιμήσεις, έπειτα από έρευνα κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης αντίστοιχων έργων (Bertsiou, 2018).

**Πίνακας 7.1** Εκτιμώμενες δαπάνες προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού έργου, για κάθε σενάριο.

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Εκτίμηση Δαπανών (€)		
		Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
1	ΜΕΛΕΤΕΣ-ΕΠΙΒΛΕΨΕΙΣ-ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΕΙΣ			
	Αρχιτεκτονική, ηλεκτρολογικομηχανικές μελέτες, αδειοδότηση, επιβλέψεις	100,000	100,000	150,000
2	ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ			
	Διαμόρφωση χώρου, οδοποιία, εξοπλισμός, μεταφορά και εγκατάσταση εξοπλισμού	1,000,000	1,000,000	1,000,000
3	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ			
	Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	500,000	-	500,000
4	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ			
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	1,000,000	-	1,000,000
5	ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΣ			
	Εξοπλισμός υδροστρόβιλου, μεταφορά, εγκατάσταση, αγωγοί μεταφοράς, έργα υποδομής	2,000,000	-	2,000,000
6	ΑΓ			
	Εξοπλισμός ΑΓ Enercon 2 E-44/ 900 kW, μεταφορά, εγκατάσταση, έργα υποδομής	5,400,000	5,400,000	5,400,000
7	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ			
	Ηλεκτρόλυση, κυψέλη καυσίμου, αποθήκευση, αγωγοί, έργα υποδομής	-	1,000,000	1,000,000
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>10,000,000</b>	<b>7,500,000</b>	<b>11,050,000</b>
	<b>ΦΠΑ (24%)</b>	<b>2,400,000</b>	<b>1,800,000</b>	<b>2,652,000</b>
	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ</b>	<b>12,400,000</b>	<b>9,300,000</b>	<b>13,702,000</b>

Επιπλέον, γίνεται εκτίμηση των ετησίων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης για κάθε σενάριο. Οι εκτιμήσεις αναφέρονται στον Πίνακα 7.2.

**Πίνακας 7.2** Εκτιμώμενες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης, για κάθε σενάριο.

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Εκτίμηση Δαπανών (€)		
		Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
1	ΔΙΟΙΚΙΣΗ-ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ			
	Αμοιβή προσωπικού διαχείρισης	100,000	100,000	150,000
2	ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ			
	Συντήρηση, χημικά λειτουργίας και καθαρισμού, αντικατάσταση μεμβρανών	100,000	100,000	100,000
3	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΚΑΙ ΑΓΩΓΟΙ			
	Συντήρηση, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	10,000	-	10,000
4	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ			
	Συντήρηση, αναλώσιμα	10,000	-	10,000
5	ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ			
	Συντήρηση, αναλώσιμα	10,000	-	10,000
6	ΑΓ			
	Συντήρηση, ανταλλακτικά, αναλώσιμα, δαπάνες προσωπικού	60,000	60,000	60,000
7	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ			
	Συντήρηση, αναλώσιμα, λειτουργία	-	150,000	150,000
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	290,000	410,000	490,000
	<b>ΦΠΑ (24%)</b>	69,600	98,400	117,600
	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ</b>	<b>359,600</b>	<b>508,400</b>	<b>607,600</b>

Για να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του έργου, θα υπάρχει μια ομάδα διαχείρισης υπεύθυνη για την καθημερινή παρακολούθηση, την προμήθεια εξοπλισμού, την εκτέλεση της συντήρησης και την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει έναν διαχειριστή έργου και έναν λογιστή. Η λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης και του υδροστροβίλου, καθώς και η επιτόπου συντήρηση, θα πραγματοποιείται από εξειδικευμένους τεχνικούς, με δυνατότητα αντικατάστασης ανάλογα με τις ανάγκες. Επιπλέον, προβλέπεται η χρήση ανυψωτικού μηχανήματος για τη μεταφορά υλικών και την αναπλήρωση χημικών στη μονάδα αφαλάτωσης. Για τις δραστηριότητες αυτές απαιτούνται τρεις τεχνικοί. Για τις ΑΓ προβλέπονται δύο τεχνικοί με εξειδίκευση στη συντήρηση και τον έλεγχο.

### 7.3 Αξιολόγηση Επένδυσης

Στο σημείο αυτό, η επένδυση υποβάλλεται σε αξιολόγηση. Για τη διενέργεια αυτής της αξιολόγησης, είναι απαραίτητο να καθορισθεί το χρονοδιάγραμμα του έργου, το οποίο υποδηλώνει τη διάρκεια κατά την οποία ο τεχνικός εξοπλισμός θα παραμείνει λειτουργικός. Στην προκειμένη περίπτωση, θεωρούμε χρονικό πλαίσιο 25 ετών. Το συνολικό ύψος της επένδυσης ανέρχεται στα 12,400,000 € για το 1<sup>ο</sup> σενάριο, στα 9,300,000€ για το 2<sup>ο</sup> σενάριο και στα 13,702,000 € για το 3<sup>ο</sup> σενάριο. Για το ποσό αυτό θα δοθεί επιχορήγηση κατά 75%, από επιχειρησιακό πρόγραμμα για την προώθηση των ΑΠΕ στα νησιά, θα ληφθεί τραπεζικό δάνειο για το 15% της επένδυσης και η ίδια συμμετοχή θα ανέρχεται στο 10%.

Αναλυτικότερα, για κάθε σενάριο παρουσιάζονται τα όσα στοιχεία αναφέρθηκαν για την επένδυση στον Πίνακα 7.3.

**Πίνακας 7.3** Ανάλυση επένδυσης για κάθε σενάριο.

	Ποσοστό (%)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
<b>Σύνολο επένδυσης (€)</b>	100	12,400,000	9,300,000	13,702,000
<b>Επιχορήγηση (€)</b>	75	9,300,000	6,975,000	10,276,500
<b>Τραπεζικό δάνειο (€)</b>	15	1,860,000	1,395,000	2,055,300
<b>Ιδία συμμετοχή (€)</b>	10	1,240,000	930,000	1,370,200

Όσον αφορά το τραπεζικό δάνειο, η περίοδος αποπληρωμής θεωρείται  $n = 10$  έτη, με σταθερό συντελεστή απόσβεσης 10% και το επιτόκιο προεξόφλησης θεωρείται  $\epsilon = 3\%$  και εφαρμόζεται η μέθοδος των τοκοχρεολυσίων. Σύμφωνα με τη σχέση (7.3), το τοκοχρεολύσιο για κάθε σενάριο υπολογίζεται:

**Πίνακας 7.4** Τοκοχρεολύσιο για κάθε σενάριο.

Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
218,048.74 €	163,536.56 €	240,943.86 €

Η υπολειμματική αξία του έργου θεωρείται μηδενική, διότι γίνεται η παραδοχή ότι το κράτος παραχωρεί δικαίωμα εκμετάλλευσης σε μια ιδιωτική εταιρεία για κάποιο 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 εταιρία (Bertsiou, 2016).

Η αποπληρωμή του δανείου για το 1<sup>ο</sup> σενάριο γίνεται, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.5:

**Πίνακας 7.5** Αποπληρωμή δανείου για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

ΕΤΟΣ	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΤΟΚΟΙ	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΧΡΕΩΛΥΣΙΟΥ
0				1,860,000.00 €
1	218,048.74 €	162,248.74 €	55,800.00 €	1,697,751.26 €
2	218,048.74 €	167,116.20 €	50,932.54 €	1,530,635.05 €
3	218,048.74 €	172,129.69 €	45,919.05 €	1,358,505.36 €
4	218,048.74 €	177,293.58 €	40,755.16 €	1,181,211.78 €
5	218,048.74 €	182,612.39 €	35,436.35 €	998,599.39 €
6	218,048.74 €	188,090.76 €	29,957.98 €	810,508.63 €
7	218,048.74 €	193,733.48 €	24,315.26 €	616,775.15 €
8	218,048.74 €	199,545.49 €	18,503.25 €	417,229.66 €
9	218,048.74 €	205,531.85 €	12,516.89 €	211,697.81 €
10	218,048.74 €	211,697.81 €	6,350.93 €	- 0.00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2,180,487.42 €</b>	<b>1,860,000.00 €</b>	<b>320,487.42 €</b>	

Η αποπληρωμή του δανείου για το 2<sup>ο</sup> σενάριο γίνεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.6:

**Πίνακας 7.6** Αποπληρωμή δανείου για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

ΕΤΟΣ	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΤΟΚΟΙ	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΧΡΕΩΛΥΣΙΟΥ
0				1,395,000.00 €
1	163,536.56 €	121,686.56 €	41,850.00 €	1,273,313.44 €
2	163,536.56 €	125,337.15 €	38,199.40 €	1,147,976.29 €
3	163,536.56 €	129,097.27 €	34,439.29 €	1,018,879.02 €
4	163,536.56 €	132,970.19 €	30,566.37 €	885,908.84 €
5	163,536.56 €	136,959.29 €	26,577.27 €	748,949.54 €
6	163,536.56 €	141,068.07 €	22,468.49 €	607,881.47 €
7	163,536.56 €	145,300.11 €	18,236.44 €	462,581.36 €
8	163,536.56 €	149,659.12 €	13,877.44 €	312,922.25 €
9	163,536.56 €	154,148.89 €	9,387.67 €	158,773.36 €
10	163,536.56 €	158,773.36 €	4,763.20 €	- 0.00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1,635,365.57 €</b>	<b>1,395,000.00 €</b>	<b>240,365.57 €</b>	

Η αποπληρωμή του δανείου για το 3<sup>ο</sup> σενάριο γίνεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.7:

**Πίνακας 7.7** Αποπληρωμή δανείου για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.

ΕΤΟΣ	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΧΡΕΩΛΥΣΙΟ	ΤΟΚΟΙ	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΧΡΕΩΛΥΣΙΟΥ
0				2,055,300.00 €
1	240,943.86 €	179,284.86 €	61,659.00 €	1,876,015.14 €
2	240,943.86 €	184,663.41 €	56,280.45 €	1,691,351.73 €
3	240,943.86 €	190,203.31 €	50,740.55 €	1,501,148.43 €
4	240,943.86 €	195,909.41 €	45,034.45 €	1,305,239.02 €
5	240,943.86 €	201,786.69 €	39,157.17 €	1,103,452.33 €
6	240,943.86 €	207,840.29 €	33,103.57 €	895,612.04 €
7	240,943.86 €	214,075.50 €	26,868.36 €	681,536.54 €
8	240,943.86 €	220,497.76 €	20,446.10 €	461,038.77 €
9	240,943.86 €	227,112.70 €	13,831.16 €	233,926.08 €
10	240,943.86 €	233,926.08 €	7,017.78 €	- 0.00 €
ΣΥΝΟΛΟ	2,409,438.60 €	2,055,300.00 €	354,138.60 €	

**Πίνακας 7.8** Ποσότητες αφαλατωμένου νερού και ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες παράγονται ετησίως.

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Αφαλατωμένο νερό (m <sup>3</sup> /έτος)	367,795	367,795	367,795
Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/έτος) (Ποσοστό κάλυψης)	3,836,000 (80%)	3,500,000 (72%)	4,176,000 (87%)

Η ΚΠΑ της επένδυσης μηδενίζεται για ορισμένες τιμές πώλησης του αφαλατωμένου νερού και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε σενάριο. Σε αυτή την περίπτωση, ο IRR ισούται με το επιτόκιο προεξόφλησης ( $\epsilon$ ), καθιστώντας την επένδυση οριακά αποδεκτή. Στον Πίνακα 7.9 παρουσιάζονται οι τιμές πώλησης για το νερό και την ηλεκτρική ενέργεια σε κάθε σενάριο, όπου η ΚΠΑ είναι μηδενική.

**Πίνακας 7.9** Τιμές πώλησης αφαλατωμένου νερού και ηλεκτρικής ενέργειας για την περίπτωση μηδενικής ΚΠΑ.

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Τιμή πώλησης αφαλατωμένου νερού (€/m <sup>3</sup> )	2.69	2.35	3.58
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)	0.16	0.12	0.24

Το 2020, η τιμή του νερού στη Παξούς ήταν 3 €/m<sup>3</sup> και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 0.19 €/kWh. Για να μην υπάρξουν αυξήσεις στα πάγια έξοδα των κατοίκων, ο Δήμος μπορεί να καλύψει τη διαφορά στην τελική τιμή πώλησης του αφαλατωμένου νερού και της

ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συντελεστής φορολογίας των καθαρών κερδών έχει οριστεί στο 35%.

## 8. Συμπεράσματα

### 8.1 Σύνοψη

Η χρήση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτός του το έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αντιμετωπίζει και πρόβλημα της εξάντλησής τους. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα και να επιτευχθεί υψηλότερη αποδοτικότητα, χρησιμοποιούνται ΥΣ ΑΠΕ. Στην Ελλάδα, είναι εφικτή η εγκατάσταση ΥΣ βασισμένων στην αιολική ενέργεια, λόγω του υψηλού δυναμικού αιολικής ενέργειας που διαθέτει η χώρα. Τέτοια συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα ή να ενσωματωθούν σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εγκατάσταση ΥΣ μπορεί να έχει ορισμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον, αλλά τα οφέλη τους συνήθως αντισταθμίζουν αυτές τις επιπτώσεις. Συχνά, αυτά τα έργα ενσωματώνονται ομαλά στο περιβάλλον και συμβάλλουν στη βελτίωσή του.

Η αφαλάτωση παίζει ζωτικό ρόλο σε περιοχές όπου η λειψυδρία αποτελεί επιτακτικό ζήτημα. Μεταξύ της ποικιλίας των διαθέσιμων τεχνικών αφαλάτωσης, η ΑΩ αναδεικνύεται ως η κορυφαία επιλογή λόγω της ενεργειακής της απόδοσης, της συμβατότητάς της με τις ηλιακές και αιολικές εγκαταστάσεις ενέργειας και της ικανότητάς της να παράγει σημαντικές ποσότητες αφαλατωμένου νερού.

Όσον αφορά το υδρογόνο, μπορεί να παραχθεί μέσω ΑΠΕ χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης. Η καύση του υδρογόνου παράγει ενέργεια χωρίς να προκαλεί εκπομπές επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα, κάνοντάς το μια καθαρή μέθοδο αποθήκευσης ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπλέον, μπορεί να μεταφερθεί μέσω αγωγών και φορτηγών.

Στους Παξούς, κατά τους θερινούς μήνες, ο τουρισμός επηρεάζει σημαντικά τις ανάγκες για ύδρευση και ηλεκτρική ενέργεια. Η πληθυσμιακή αύξηση του νησιού κατά τους θερινούς μήνες είναι τετραπλάσια σε σχέση με τον υπόλοιπο χρόνο. Η ικανοποίηση των υδρευτικών αναγκών γίνεται μέσω της αφαλάτωσης. Η χρήση μιας μεγάλης δεξαμενής αφαλάτωσης επιτρέπει την αποθήκευση επιπλέον ποσότητας αφαλατωμένου νερού, κάτι που διασφαλίζει πλήρη κάλυψη των υδατικών αναγκών σε όλα τα σενάρια.

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές ανάγκες, σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> σενάριο, στο οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά η παραγωγή υδρογόνου ως μέθοδος παρατηρείται το χαμηλότερο ποσοστό



κάλυψης των αναγκών με ποσοστό κάλυψης 72% σε ετήσια βάση. Ακολουθεί το 1<sup>ο</sup> σενάριο, με αποκλειστική χρήση αντλησιοταμίευσης με ποσοστό 80%. Τέλος, η υψηλότερη κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών επιτυγχάνεται για την συνδυαστική χρήση των δύο μεθόδων, αντλησιοταμίευση και παραγωγή υδρογόνου, με ποσοστό 87% σε ετήσια βάση.

Η ενεργειακή απόδοση των δύο μεθόδων διαφέρει σημαντικά. Για την αντλησιοταμίευση, η αναλογία της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας από τον υδροστρόβιλο προς την αιολική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την άντληση είναι 70%. Ωστόσο, για τη μέθοδο του υδρογόνου, η ενεργειακή απόδοση, δηλαδή η αναλογία της ενέργειας που παράγεται από την καύση του υδρογόνου προς εκείνη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του υδρογόνου, είναι μόνο 30%. Συνεπώς, η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης φαίνεται να είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τη μέθοδο του υδρογόνου.

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι στους περιορισμούς που επιβάλλονται στην αποθήκευση ενέργειας. Στη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης, υπάρχουν δύο σημαντικοί περιορισμοί. Ο πρώτος είναι ότι οι αντλίες απαιτούν συγκεκριμένη ενέργεια για να ξεκινήσουν τη λειτουργία τους, η οποία είναι το λιγότερο ίση με την ισχύ τους. Ο δεύτερος περιορισμός είναι ότι ο ταμιευτήρας έχει μια συγκεκριμένη χωρητικότητα, οπότε σε περιπτώσεις όπου είναι γεμάτος, δεν είναι δυνατή η περαιτέρω άντληση νερού. Αντίθετα, στη μέθοδο του υδρογόνου, δεν υπάρχουν τέτοιοι περιορισμοί, εφόσον υπάρχει επαρκής χωρητικότητα για την αποθήκευση του υδρογόνου.

Η εγκατάσταση ενός ΥΣ ΑΠΕ στους Παξούς αποτρέπει τις διακοπές ηλεκτροδότησης και μειώνει τις εκπομπές αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα, ιδίως κατά τους θερινούς μήνες με την αυξημένη ζήτηση ενέργειας.

## 8.2 Μελλοντική έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προκύπτουν ερωτήματα που απαιτούν περαιτέρω έρευνα και μελέτη στο μέλλον. Καταρχάς συνίσταται η εφαρμογή της παρούσας μεθοδολογίας και σε άλλα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, αλλά ακόμη και σε νησιά που είναι διασυνδεδεμένα με το Ηπειρώτικο δίκτυο της ΔΕΗ.

Επιπλέον, η χρήση πιο ακριβή δεδομένων θα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρουσα. Αυτά τα δεδομένα θα περιελάμβαναν τις ακριβείς ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία και τα πρότυπα ανέμου.

Θα είναι καλό να εξεταστεί και η δυνατότητα συνδυασμού των ΑΠΕ με άλλες πηγές ενέργειας, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά, με στόχο την αύξηση της παραγωγής ενέργειας.

Το υδρογόνο έχει την προοπτική να λειτουργήσει ως σημαντική λύση για την αποθήκευση ενέργειας. Ως καύσιμο, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων μηδενικών εκπομπών αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα

Τέλος, η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών πληθυσμού, αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης και άρδευσης, με σκοπό την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών για την απόκριση του ΥΣ, καθώς και ανάλογη μελέτη κόστους οφέλους για τα πιθανά μελλοντικά αποτελέσματα.

## Βιβλιογραφικές αναφορές

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Βλησιδίη, Μ., *Η Θαλάσσια Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα, ΔΙΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ*, 2022.

Βρεττός, Ε., *Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ – Συσσωρευτών – Υδρογόνου*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Π. Κοσιέρης και Χ. Μακρόπουλος, *Υδρευτικές καταναλώσεις*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

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

Μαμάσης, Ν., Α. Ευστρατιάδης και Β. Τσουκαλά, *Θαλάσσια ενέργεια*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαμάσης, Ν., Α. Ευστρατιάδης και Β. Τσουκαλά, *Θαλάσσια ενέργεια*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαμάσης, Ν., Α. Ευστρατιάδης και Δ. Κουτσογιάννης, *Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

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

Μπαλτάς, Ε., *Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 460 σελίδες, 2013.

Μπουτσίκου, Ε., και Α. Δραγανίνος, *Αφαλάτωση και συνοδά έργα*, Μονάδα Οργάνωσης και Διαχείρισης Αναπτυξιακών Προγραμμάτων (ΜΟΥ).

Μυλωνάκης, Μ., *Πολυπαραμετρική Αξιολόγηση Περιοχών των Ελληνικών Θαλασσών για Εγκατάσταση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2023.

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

Πασσιάς, Η., *Υδροηλεκτρική Ενέργεια*, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πελοπόννησος.

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

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

Τζεκάκης, Γ., *Υβριδικά Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Θάλασσα και κτιτήρια χωροθέτησης τους*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Al-Karaghoul, A., and L. Kazmerski, *Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 24, Pages 343-356, ISSN 1364-0321.

Bertsiou, M., E. Feloni, D. Karpouzou and E. Baltas, *Water management and electricity output of a Hybrid Renewable Energy System (HRES) in Fournoi Island in Aegean Sea*, Renewable Energy, Volume 118, Pages 790-798, ISSN 0960-1481.

Møller, K., T. Jensen, E. Akiba, and H. Li, *Hydrogen - A sustainable energy carrier*, Progress in Natural Science: Materials International, Volume 27, Issue 1, Pages 34-40, ISSN 1002-0071.

Papathanasiou, A., Bertsiou, M., Baltas, E., *Pumped-storage hydropower and hydrogen storage for meeting water and energy demand through a hybrid renewable energy system*, Athens 2024.

Rievaj, V., J. Gaňa, and F. Synák, *Is hydrogen the fuel of the future?*, Transportation Research Procedia, Volume 40, Pages 469-474, ISSN 2352-1465.

Snyder B., Kaiser J. M., *“Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy”*, 2008.

Wijayanta, A., T. Oda, C. Purnomo, T. Kashiwagi, and M. Aziz, *Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: Comparison review*,

International Journal of Hydrogen Energy, Volume 44, Issue 29, Pages 15026-15044, ISSN 0360-3199.

Enercon: <https://www.enercon.de/>

European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/>

Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ):

<https://www.admie.gr/agora/enimerotika-deltia/mesostathmiki-timi-agoras>

Γεωπληροφοριακός χάρτης Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας: <http://www.rae.gr/geo/>

ΔΕΗ Ανανεώσιμες: <https://www.ppcr.gr/>

Δήμος Παξών: [https://www.paxi.gr/web/index.php/home/0/1/0/dhmos\\_paxon.html](https://www.paxi.gr/web/index.php/home/0/1/0/dhmos_paxon.html)

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ): <http://www.hnms.gr/>

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ): <https://www.statistics.gr/>

Θεματικοί Χάρτες Εκτίμησης του Τεχνικά και Οικονομικά Εκμεταλλεύσιμου Δυναμικού της Αιολικής Ενέργειας στον Ελληνικό Χώρο από το ΚΑΠΕ:

<http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>

Μετεωρολογικός σταθμός Γουβιών, Κέρκυρας: <https://penteli.meteo.gr/stations/kerkyra/>

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ): <https://www.rae.gr/>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας:

<https://ypen.gov.gr/energeia/ape/technologies/aioliki/>

Φιλότης, Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση: <http://filotis.itia.ntua.gr/>