



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη του ΣΗΕ της Ικαρίας και του προς ανέγερση Υβριδικού  
Σταθμού της Ικαρίας, ανάπτυξη του νομοθετικού πλαισίου  
ένταξης του σταθμού στο νησί**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ-ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ ΜΙΧΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέποντες : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος

Αθήνα, Ιούλιος 2013





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη του ΣΗΕ της Ικαρίας και του προς ανέγερση Υβριδικού  
Σταθμού της Ικαρίας, ανάπτυξη του νομοθετικού πλαισίου  
ένταξης του σταθμού στο νησί**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ-ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ ΜΙΧΟΠΟΥΛΟΥ

**Επιβλέπων :**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21<sup>η</sup> Ιουλίου 2013.

.....  
Καραγιαννόπουλος  
Κωνσταντίνος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Θεοδώρου Νικόλας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Τσαραμπάρης  
Παναγιώτης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....  
Ελένη-Μαργαρίτα Μιχοπούλου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών  
Ε.Μ.Π.

Copyright © Ελένη-Μαργαρίτα Μιχοπούλου, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Ικαρίας καθώς και του Υβριδικού Σταθμού να αναμένεται να ολοκληρωθεί στο νησί αυτό. Αναλύονται οι ήδη εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής ενέργειας καθώς και οι συνθήκες ολοκλήρωσης του έργου του υβριδικού σταθμού. Δίνεται μεγάλη βάση στο πολύπλοκο νομοθετικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί με στόχο την ένταξη ενός νέου υβριδικού σταθμού σε ένα απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, γίνεται μία προσπάθεια καθορισμού του προφίλ συμπεριφοράς του παραγωγού ενέργειας στον οποίο ανήκει ο νέος υβριδικός σταθμός με στόχο να συμμορφωθεί στις απαιτήσεις της νομοθεσίας αλλά και να μεγιστοποιήσει το κέρδος του.

Αρχικά γίνεται μια ανασκόπηση στο θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα υβριδικά συστήματα, καθώς και την μέθοδο της αντλησιοταμίευσης. Η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης εκμεταλλεύεται τον συνδυασμό παραγωγής ενέργειας από αιολικά πάρκα και την αποθήκευσή της σε περίπτωση περίσσιας ανέμου στη μορφή ύδατος, με την χρήση αντλιών. Η βασική αρχή λειτουργίας των υβριδικών συστημάτων είναι αρκετά απλή: Όταν η διαθέσιμη αιολική ισχύς υπερβαίνει το επίπεδο ισχύος που μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα, τότε η πλεονάζουσα αιολική ενέργεια, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα χανόταν, αποθηκεύεται αντλώντας νερό στον άνω ταμιευτήρα. Αυτή η ενέργεια ανακτάται επακόλουθα όταν η ικανότητα διείσδυσης υπερβαίνει τη διαθέσιμη αιολική ισχύ (π.χ. ώρες αιχμής φορτίου). Επιπλέον, γίνεται η περιγραφή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Ικαρίας και του νέου υβριδικού σταθμού και στη συνέχεια αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο ένταξης υβριδικών σταθμών στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Στη συνέχεια περιγράφονται όλοι οι δυνατοί τρόποι λειτουργίας του υβριδικού σταθμού και αυτός που τελικά θα ακολουθήσει ο παραγωγός ενέργειας. Τέλος αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη όσον αφορά τις καταστάσεις λειτουργίας του ΣΗΕ της Ικαρίας μετά την ένταξη του νέου υβριδικού σταθμού.



# Λέξεις κλειδιά

ΣΗΕ Ικαρίας, Υβριδικός Σταθμός Ικαρίας, Νομοθετικό πλαίσιο ένταξης  
Υβριδικού Σταθμού σε μη διασυνδεδεμένο νησί, Εγγυημένη Ισχύς, Εγγυημένη  
Ενέργεια, Άντληση, Αιολική ενέργεια

# Abstract

The scope of the current thesis is the study of the electrical system of island Ikaria and the hybrid station that is about to be completed. Details of the already installed power stations of the island are given, as well as the conditions of completion of the hybrid station project. The complicated set of distributed laws concerning the operation of a hybrid station in island mode is analysed. Finally the operation profile of the hybrid station of Ikaria is determined in order to follow the set of laws and to maximize the profits of the station.

In the beginning theoretical informations about the renewable sources of energy and the hybrid systems, as well as the pump storage method, are provided. The pump storage method takes advantage of the combination of producing energy from wind parks and storing it, in case of energy of excess of production, in the form of water with the use of pumps. The basic principal of operation of the hybrid systems is rather simple: Whenever the available wind power is over the level of power that the system can use the the excess of wind energy, which in other case would be lost, is stored by pumping water to the upper tank. This energy is retrieved when the possible penetration exceeds the available wind power (i.e. in hours of peak load). Furthermore, the electrical system of island of Ikaria and the hybrid station is described and the legislative framework of the integration of the hybrid stations in the non- interconnected islands.

Also, all the possible ways of operation of the hybrid station are described and the one that the energy producer will finally choose. In the end, the basic conclusions derived from this thesis are mentioned concerning the operation modes of electrical system of Ikaria, in the sequel of the integration of the new hybrid station.



## **Key words**

Electrical System of Ikaria, Hybrid Station of Ikatia, Legislation framework of integrating a hybrid station in a non-interconnected island, Guaranteed Power, Guaranteed energy, Pumping, Wind Energy

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Abstract .....	8
Περιεχόμενα .....	10
Ευρετήριο Εικόνων .....	13
Ευρετήριο Πινάκων .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή .....	15
1.1 Παρούσα κατάσταση των ΑΠΕ γενικά και της αιολικής ενέργειας στον κόσμο .....	15
1.2 Η κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα .....	18
1.3 Χαρακτηριστικά Παραγωγής Ενέργειας στα Ελληνικά Νησιά (Απομονωμένα Συστήματα) – Περιορισμοί διεισδυσης αιολικής παραγωγής.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υβριδικοί Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας.....	25
2.1 Έννοια Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής.....	25
2.2 Λειτουργία Υβριδικών Συστημάτων.....	26
2.3 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενός ΥΒΣ .....	28
2.4 Βελτίωση της ποιότητα ενέργειας με τη χρήση Α/Γ .....	30
2.5 Η κατάσταση στην Ελλάδα .....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Το νησί της Ικαρίας.....	33
3.1 Παρουσίαση του Αυτόνομου Συστήματος Παραγωγής Ικαρίας	33
3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συμβατικών μονάδων ΤΣΠ Ικαρίας....	34
3.3 Αιολικό Σύστημα.....	36
3.4 Δίκτυο Διανομής.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ρυθμιστικό πλαίσιο διαχείρισης και λειτουργίας ενός ΥΒΣ	39
4.1 Γενικές Αρχές Σχεδιασμού Αγοράς.....	39
4.1.1 Ορολογία.....	40

4.1.2	Γενικές Αρχές Προγραμματισμού ενός υβριδικού σταθμού	41
4.2	Προγραμματισμός ενός ΜΔΝ.....	44
4.3	Εσωτερική λειτουργία του ΥΒΣ.....	49
4.3.1	Προσφορά Ενέργειας.....	49
4.3.2	Δήλωση Απορροφόμενης Ενέργειας .....	50
4.3.3	Λειτουργίας του ΥΒΣ .....	51
4.3.4	Ισοζύγιο Ισχύος του ΥΒΣ .....	52
4.4	Τιμολόγηση του ΥΒΣ.....	54
4.4.1	Γενικές αρχές τιμολόγησης ΥΒΣ .....	54
4.4.2	Κανόνες τιμολόγησης ΥΒΣ.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:	Υβριδικός Σταθμός Ικαρίας.....	60
5.1	Εισαγωγή.....	60
5.2	Περιγραφή έργου .....	61
5.2.1	Γενικά χαρακτηριστικά του έργου .....	61
5.2.2	Οικονομικά στοιχεία .....	64
5.3	Τεχνικά στοιχεία του ΥΒΣ .....	65
5.4	Γραμμές Διασύνδεσης 20 kV .....	66
5.5	Άδεια παραγωγής ενέργειας.....	66
5.6	Λειτουργία ΥΒΣ Ικαρίας.....	73
5.6.1	Τρόποι παραγωγής.....	73
5.6.2	Δυνατότητες λειτουργίας .....	74
5.6.3	Παραγωγική ικανότητα του Έργου.....	75
5.6.4	Ανάληψη φορτίου από το Έργο .....	76
5.6.5	Κατανομή φορτίου στους σταθμούς του Έργου .....	77
5.6.6	Θέματα ευστάθειας του συστήματος της Ικαρίας .....	78
5.6.7	Προβλεπόμενη επάρκεια του Έργου.....	78
5.7	Βασικά σενάρια λειτουργίας μονάδων .....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:	Σημασία του Υβριδικού Έργου της Ικαρίας.....	82

6.1	Εισαγωγή.....	82
6.2	Κριτήρια για την προτεραιότητα λειτουργίας των μονάδων παραγωγής και των αιολικών πάρκων .....	82
6.3	Συμμετοχή ενός Υβριδικού Σταθμού στην επίλυση του ΚΗΕΠ .	83
6.4	Ενεργειακοί Υπολογισμοί του Υβριδικού σταθμού.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:	Συμπεράσματα .....	87

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1-1 Ποσοστιαία κατανομή προέλευσης της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ το 2011 .....	16
Εικόνα 1-2 : Παγκόσμια Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς από το 1995, Πηγή: EurObserver 2012 .....	17
Εικόνα 1-3 Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά Ήπειρο.....	17
Εικόνα 2-1 Νησιωτικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο οποίο είναι εγκατεστημένος υβριδικός σταθμός.....	28
Εικόνα 3-1 Ανάγλυφο και γεωγραφική θέση Ικαρίας.....	33
Εικόνα 3-2 Τοπικός σταθμός παραγωγής Ικαρίας .....	34
Εικόνα 3-3 Ανεμογεννήτρια Enercon E-40 στο Περδίκι .....	37
Εικόνα 3-4 Αναχωρήσεις των τριών γραμμών μέσης τάσης από τον ΤΣΠ .....	39
Εικόνα 4-1 Υπολογισμός προστίμου που αντιστοιχεί σε έναν ΥΒΣ σε περίπτωση αστοχίας του.....	58
Εικόνα 5-1: Διάγραμμα και χαρακτηριστικά του έργου.....	61
Εικόνα 5-2: Κατασκευή άνω Δεξαμενής.....	62
Εικόνα 5-3: Χάρτης του νησιού με τις περιοχές που βρίσκονται όλα τα τμήματα του ΥΒΣ της Ικαρίας .....	63

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1-1 Μέτρα επίτευξης στόχων νέας ευρωπαϊκής πολιτικής στον τομέα παραγωγής ενέργειας .....	19
Πίνακας 1-2 Σύνθεση της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας τα τελευταία χρόνια (στοιχεία από ΔΕΣΜΗΕ και ΔΕΗ/ΔΔΝ) .....	20
Πίνακας 1-3 Συμβολή των επιμέρους τεχνολογιών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδος για το έτος 2007 (στοιχεία ΡΑΕ).....	20
Πίνακας 3-1 Εγκατεστημένες μονάδες στο ΤΣΠ Ικαρίας .....	34
Πίνακας 3-2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά μονάδων .....	36
Πίνακας 5-1: Η ισχύς του Υβριδικού Ενεργειακού Έργου .....	65
Πίνακας 5-2: Υψομετρικά στοιχεία του έργου. [20] .....	65

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

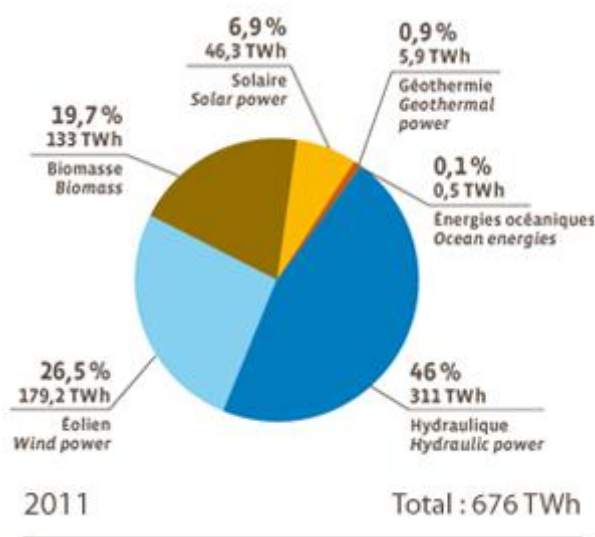
Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο γίνεται αρχικά μία ανασκόπηση της ενέργειας που προέρχεται από αιολική παραγωγή παγκοσμίως και πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα. Αναλύονται στη συνέχεια τα βασικά χαρακτηριστικά των απομονωμένων συστημάτων και οι κύριοι λόγοι περιορισμού της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής σε αυτά. Επίσης, παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση ηλεκτροπαραγωγής στα Ελληνικά νησιά καθώς και οι περιορισμοί διείσδυσης της αιολικής παραγωγής στο ενεργειακό ισοζύγιο των νησιών. Τέλος, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας προσδιορισμού της μέγιστης διείσδυσης αιολικής ισχύος σε ένα αυτόνομο δίκτυο η οποία και αποτελεί σημαντικό εργαλείο στη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας.

## 1.1 Παρούσα κατάσταση των ΑΠΕ γενικά και της αιολικής ενέργειας στον κόσμο

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται παγκοσμίως μια τάση για ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας. Με τον όρο ΑΠΕ περιλαμβάνονται οι παρακάτω :

- Η αιολική ενέργεια, η οποία αξιοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.
- Η ηλιακή ενέργεια, η οποία αξιοποιείται μέσω των φωτοβολταϊκών γεννητριών μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και μέσω των ηλιακών συλλεκτών με τη συγκέντρωση υψηλών θερμοκρασιών και εν τέλει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα μικρά υδροηλεκτρικά, τα οποία εκμεταλλεύονται τα υδάτινα ρεύματα και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.
- Η γεωθερμική ενέργεια η οποία αναφέρεται στην θερμότητα του εδάφους της γης και αξιοποιείται με κατάλληλες διατάξεις, όταν υπάρχουν συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες.
- Η βιομάζα, η οποία αναφέρεται σε γεωργικά αλλά και δασικά υπολείμματα, από τα οποία μπορεί με ειδική κατεργασία να εξαχθούν καύσιμα.
- Οι κυψέλες καυσίμου, οι οποίες με τη χρήση ηλεκτρολυτών και διάφορων διατάξεων μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- Η ενέργεια των θαλασσιών κυμάτων, της οποίας η αξιοποίηση βρίσκεται, ακόμη, σε φάση έρευνας ώστε να μετατρέπεται η κινητική τους ενέργεια σε ηλεκτρική [1].

Από εντελώς ανύπαρκτη μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και πρακτικά στάσιμη μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας (ΑΠΕ) στον κόσμο, μαζί με τα βιοκαύσιμα (αιθανόλη). Στην Εικόνα 1-1 φαίνεται η προέλευση της παραγόμενης παγκόσμιας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το 2011. Η τεχνολογική πρόοδος που σημειώθηκε στον τομέα των ανεμογεννητριών ήταν ένας βασικός παράγοντας που ευθύνεται για την ανωτέρω αύξηση της παραγωγικής ικανότητας.



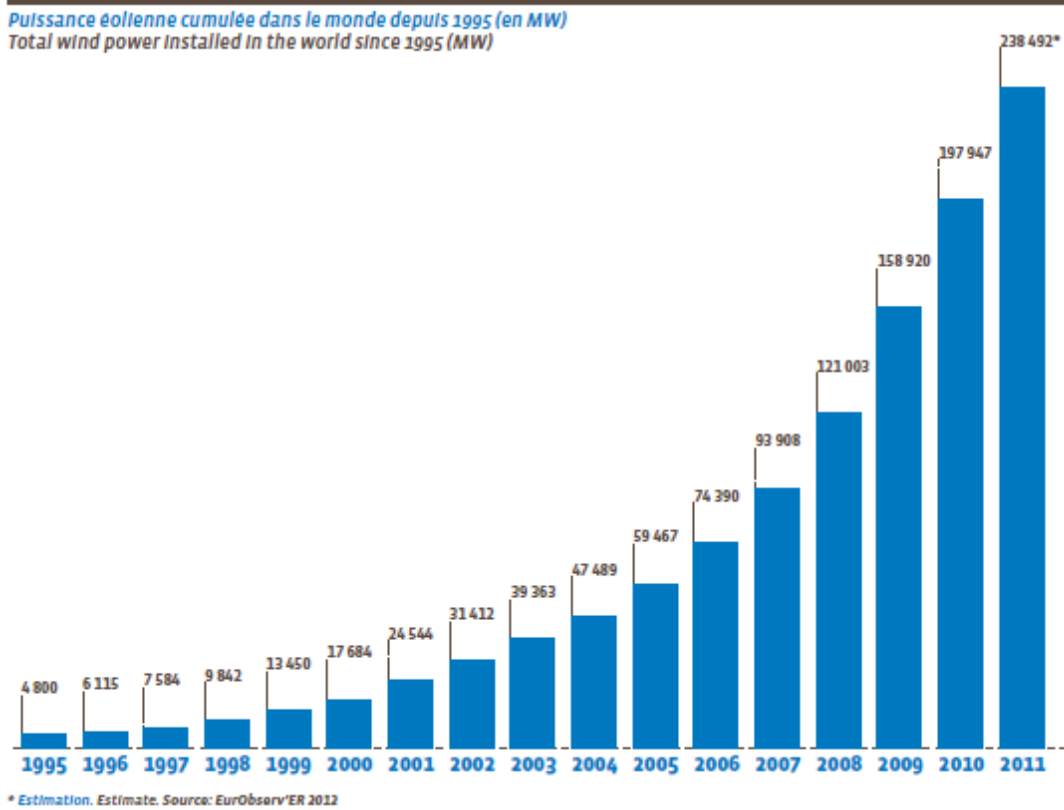
**Εικόνα 1-1** Ποσοστιαία κατανομή προέλευσης της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ το 2011

Στα τέλη του 2011 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας ανερχόταν στα 238 GW περίπου, μια άνοδος κατά 180 GW από το 2000. Περίπου 41 GW προστέθηκαν το 2011 μόνο. Κατά τα τελευταία δύο χρόνια, παρατηρείται σημαντική μετατόπιση της καινοτομίας από την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική προς την Ασία, η οποία έχει αναδειχθεί πλέον ο παγκόσμιος ηγέτης όσον αφορά την εγκατάσταση νέου δυναμικού αιολικής ενέργειας. Το 2011 η Κίνα εγκατέστησε 18 GW αιολικής ενέργειας, φέρνοντας το σύνολο εγκατεστημένης ισχύος στα 63 GW, που αντιπροσωπεύει το 26,4% της παγκόσμιας αιολικής ενέργειας. Την ίδια περίοδο οι ΗΠΑ εγκατέστησαν 6,8 GW αιολικής ενέργειας, ανεβάζοντας το συνολικό δυναμικό στα 47 GW που αντιπροσωπεύει το 19,7% της παγκόσμιας αγοράς. Η Ινδία έρχεται τρίτη σε νέες εγκαταστάσεις, με 3 GW, αλλά κατατάσσεται πέμπτη με 16 GW συνολικής ισχύος (6,7% της παγκόσμιας αιολικής ενέργειας). Η ΕΕ στο σύνολό της εγκατέστησε 9,6 GW αιολικής ενέργειας το 2011, ανεβάζοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ σε 94 GW. Αυτό είναι λίγο πάνω από το 6% του δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής της ΕΕ[2]. Στην Εικόνα 1-2 φαίνεται η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη αιολική ισχύς από το 1995 έως το 2011.

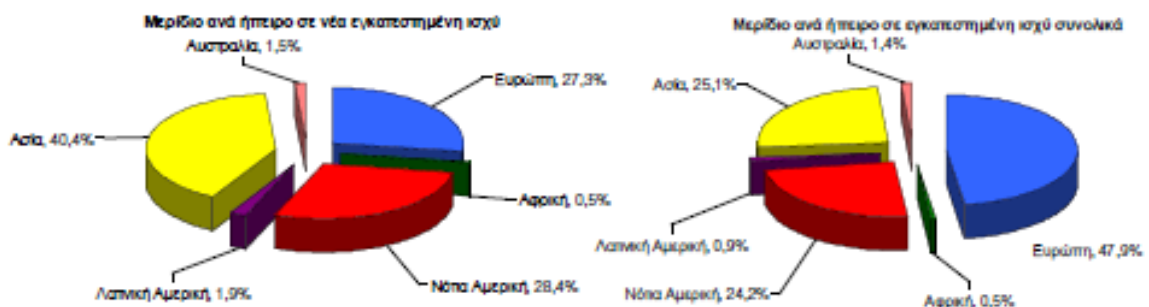
Παρά την παγκόσμια οικονομική κρίση των τελευταίων ετών, οι επενδύσεις σε νέα αιολικά πάρκα (Α/Π) παρουσίασαν σημαντική άνοδο, υπερβαίνοντας κάθε προσδοκία. Όλα τα εγκατεστημένα Αιολικά Πάρκα ανά τον κόσμο, είναι σε



θέση πλέον να παράγουν 340 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, ετησίως, ποσότητα που αντιστοιχεί στην συνολική ζήτηση της Ιταλίας που ισοδυναμεί με το 2% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρισμού. Οι ΗΠΑ βρίσκονται σταθερά στη πρώτη θέση εγκατεστημένης ισχύος αιολικών, η Κίνα στη δεύτερη και η Γερμανία στη τρίτη. Η Ασία κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο νέων εγκαταστάσεων (40,4%), ενώ ακολουθεί η Νότια Αμερική (28,4%) και η Ευρώπη στη τρίτη θέση (27,3%) (Εικόνα 1-3) [3].



**Εικόνα 1-2 :** Παγκόσμια Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς από το 1995, Πηγή: EurObserv'ER 2012



**Εικόνα 1-3** Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά Ήπειρο

Οι λόγοι που παρατηρείται αυτή η αύξηση εστιάζονται στην επάρκεια συμβατικών πηγών, στην ασφάλεια εφοδιασμού και στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. Πιο συγκεκριμένα, οι ραγδαίες κλιματικές αλλαγές, που αποτελούν τις βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της συνεχούς κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, ώθησαν τις ανεπτυγμένες τεχνολογικά και οικονομικά χώρες στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) οι ΑΠΕ αποτελούν βασική προτεραιότητα, όπως φαίνεται και στο θεσμικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα, η αρχή έγινε το 1997 με τη Λευκή Βίβλο «Ενέργεια για το Μέλλον» για την προστασία του περιβάλλοντος και ακολούθησε το 2000 το Green Paper «Στρατηγική για την Ασφάλεια της παροχής Ενέργειας» για την ανεξαρτησία του ενεργειακού εφοδιασμού. Στα πλαίσια αυτά εντάσσεται και το Πρωτόκολλο του Κιότο που υπογράφηκε το Δεκέμβριο του 1997 από τα Ηνωμένα Έθνη για την Κλιματική Αλλαγή, όπου ορίστηκε ο στόχος της μείωσης των εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑΤΘ) στην ΕΕ κατά 8% το 2008-12 από τα επίπεδα του 1990. Τέλος, πρόσφατη είναι η ψήφιση της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, [4], σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπου θεσπίστηκε ο δεσμευτικός στόχος του 20-20-20 για το έτος 2020, δηλαδή συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20% και μείωση των εκπομπών ΑΤΘ επίσης κατά 20%.

## **1.2 Η κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα ως κράτος-μέλος της ΕΕ, εντάσσεται στη συνολική προσπάθεια της ΕΕ για αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, με την Οδηγία 2001/77/ΕΚ, [5], προβλεπόταν για την Ελλάδα ενδεικτικός στόχος συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περιλαμβανομένης της υδραυλικής ενέργειας των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, σε ποσοστό 20.1% της εγχώριας ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας κατά το έτος 2010. Ο στόχος αυτός ήταν συμβατός με τις διεθνείς δεσμεύσεις της χώρας που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κιότο. Το Πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπει για την Ελλάδα συγκράτηση του ποσοστού αύξησης, κατά την περίοδο 2008-2012, του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλων αερίων που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 25%, σε σχέση με το έτος-βάση 1990. Επιπλέον, με τη ψήφιση της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ, [4], ο νέος στόχος για τη χώρα μας ως προς τη συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ανέρχεται στο 18% (Πίνακας 1-1) [6]. Στα πλαίσια αυτά ψηφίστηκε και ο Νόμος 3851/4.6.2010, [7], όπου συγκεκριμενοποιούνται οι στόχοι της Ελλάδας για το 2020, σύμφωνα με τους οποίους η συμμετοχή των

ΑΠΕ θα πρέπει να αυξηθεί κατά 20% στην τελική κατανάλωση ενέργειας και κατά 40% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

<b>Τεχνολογία</b>	<b>Διασυνδεδεμένο ΣΗΕ το 2020 (GW)</b>	<b>Νησιωτικό ΣΗΕ το 2020 (GW)</b>
<b>Λιγνιτικοί ΑΗΣ</b>	4	
<b>Συνδυασμένοι Κύκλοι ΦΑ</b>	5,4	
<b>Αεροστρόβιλοι ΦΑ</b>	0,75	
<b>Πετρελαϊκοί Φυσικού Αερίου</b>		1,3
		0,8
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ</b>	10,15	2,1
<b>Μεγάλοι ΥΗΣ</b>	3,7	
<b>Αιολικά Πάρκα</b>	5,5	0,8
<b>ΜΥΗΣ</b>	0,2	
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	0,6	
<b>Βιοαέριο</b>	0,2	
<b>Βιομάζα</b>	0,2	0,2
<b>Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας</b>	0,1	
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΕ</b>	10,5	1
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	20,65	3,1

**Πίνακας 1-1** Μέτρα επίτευξης στόχων νέας ευρωπαϊκής πολιτικής στον τομέα παραγωγής ενέργειας

Η συνεισφορά των ΑΠΕ στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο είναι της τάξης του 5,6% σε επίπεδο συνολικής ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης και της τάξης του 17,7% σε επίπεδο εγχώριας πρωτογενούς ενέργειας [8]. Αυτή τη στιγμή η συνεισφορά των ΑΠΕ στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο είναι της τάξης του 12%, εκ των οποίων το 4% από αιολικά και το 6% από μεγάλα υδροηλεκτρικά. Στον

Πίνακας 1-2 δίνεται η σύνθεση της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας τα τελευταία χρόνια, ενώ στον Πίνακας 1-3 παρουσιάζεται ενδεικτικά η συμβολή των επιμέρους τεχνολογιών ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή της χώρας για το έτος 2007.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ	2004		2005		2006		2007		2008		2009	
	ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)
ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ	32.491.449	58,01	32.056.619	55,39	29.165.171	49,20	31.092.884	50,78	29.870.292	48,20	30.541.596	51,71
Φ.Α	8.037.615	14,35	7.944.623	13,73	10.169.096	17,16	13.211.449	21,58	13.331.748	21,51	9.377.185	15,88
ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΗ	7.134.965	12,74	7.915.036	13,68	8.104.041	13,67	8.266.934	13,50	8.598.394	13,87	6.629.516	11,22
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	4.158.925	7,43	4.573.747	7,90	5.619.663	9,48	2.020.771	3,30	1.777.256	2,87	4.568.730	7,74
ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ	10.317	0,02	14.395	0,02	9.114	0,02	34.028	0,06	34.792	0,06	144.122	0,24
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ-ΕΞΑΓΩΓΕΣ	2.820.579	5,04	3.780.910	6,53	4.202.388	7,09	4.354.191	7,11	5.613.967	9,06	4.367.697	7,40
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΕ	1.355.913	2,42	1.586.758	2,74	2.003.573	3,38	2.251.488	3,68	2.749.563	4,44	3.433.510	5,81
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΕ-ΥΗΕ	5.514.838	9,85	6.160.505	10,65	7.623.236	12,86	4.272.259	6,98	4.526.819	7,30	8.002.240	13,55
ΣΥΝΟΛΟ	56.009.763		57.872.088		59.273.046		61.231.745		61.976.012		59.062.356	

**Πίνακας 1-2** Σύνθεση της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας τα τελευταία χρόνια (στοιχεία από ΔΕΣΜΗΕ και ΔΕΗ/ΔΔΝ)

	Παραγωγή από ΑΠΕ το 2007 (GWh)						Συνολική Κατανάλωση το 2007 (MWh)	Συμμετοχή ΑΠΕ (%)
	Μεγάλα Υδρ/κά	Μικρά Υδρ/κά	Αιολικά	Βιομάζα/Βιοαέριο	Φ/Β	Συνολικά		
Διασυνδεδεμένο	2021	223	1333	156	0	3733	55253	6.76%
ΜΔΝ	0	0	541	0	0	541	5535	9.77%
Σύνολο	2021	223	1874	156	0	4274	60789	7.03%

**Πίνακας 1-3** Συμβολή των επιμέρους τεχνολογιών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδος για το έτος 2007 (στοιχεία ΡΑΕ)

Η εγκατεστημένη ισχύς Α/Π ανέρχεται στα 1.022 MW (2008) (από αυτά περίπου τα 750 MW τροφοδοτούν το διασυνδεδεμένο δίκτυο) συνεισφέροντας περίπου 2.500 GWh ενέργειας ετησίως στην ηλεκτρική κατανάλωση της χώρας. Ο στόχος για το 2020, είναι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των Α/Π να φθάσει τα 6.000-8.000 MW. Με τα σημερινά δεδομένα και βάσει εκτιμήσεων της ΡΑΕ, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα και οι λοιπές ΑΠΕ πλην αιολικών (μικρά υδροηλεκτρικά, Φ/Β, γεωθερμία, βιομάζα, κλπ.) δεν αναμένεται να συνεισφέρουν πέραν του 10%. Τις μεγαλύτερες προοπτικές ανάπτυξης και συνεισφοράς στην επίτευξη των εθνικών στόχων παρουσιάζει η αιολική ενέργεια, εξαιτίας της διαθεσιμότητας της πρωτογενούς πηγής, αλλά κυρίως λόγω της τεχνολογικής ωριμότητας και του χαμηλού κόστους αξιοποίησής της συγκριτικά με άλλες μορφές ΑΠΕ.

### **1.3 Χαρακτηριστικά Παραγωγής Ενέργειας στα Ελληνικά Νησιά (Απομονωμένα Συστήματα) – Περιορισμοί διεισδυσης αιολικής παραγωγής**

Σε περιπτώσεις Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) που δεν είναι εφικτή η διασύνδεση, το δίκτυο καλείται να λειτουργεί αυτόνομα. Τέτοια συστήματα συναντώνται ευρέως σε ελληνικά νησιά, όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης στο Εθνικό δίκτυο. Στο Αιγαίο υφίστανται σήμερα περισσότερα από 50 νησιά, μη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα. Αυτά τα νησιωτικά συστήματα, απομονωμένα ή διασυνδεδεμένα μεταξύ τους σε ομάδες, παρουσιάζουν αιχμή φορτίου από μερικές εκατοντάδες kW μέχρι περίπου 700 MW στην περίπτωση της Κρήτης, όπου έχουμε και το πιο μεγάλο απομονωμένο ΣΗΕ. Οι κύριες διαφορές των αυτόνομων ενεργειακά συστημάτων σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ενέργειας είναι οι εξής:

- Τα αυτόνομα συστήματα είναι πιο επιρρεπή σε απότομες μεταβολές του φορτίου με αποτέλεσμα οι επιμέρους διατάξεις του πρέπει να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε αυτές.
- δεν υπάρχει η δυνατότητα κατανομής του φορτίου που πραγματοποιείται στο διασυνδεδεμένο σύστημα, δηλαδή μία ζήτηση φορτίου μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα σταθμό παραγωγής που βρίσκεται μακριά γεωγραφικά από το σημείο ζήτησης. Λόγω της γεωγραφικής απομόνωσης των αυτόνομων συστημάτων, πρέπει να παράγεται επιτόπου η απαιτούμενη ενέργεια.
- Ο συντελεστής φορτίου είναι συνήθως, σχετικά με το μέγεθος του συστήματος, αρκετά χαμηλός. Αυτό οφείλεται στην υψηλή ζήτηση που παρουσιάζεται κάποιες μέρες τον χρόνο και χαμηλής ζήτησης τον υπόλοιπο. Ο χαμηλός συντελεστής φορτίου προϋποθέτει και αυξημένο ενεργειακό απόθεμα, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε υψηλό επενδυτικό κόστος [9].
- Εξαιτίας του συγκεντρωτικού χαρακτήρα της παραγωγής, μειώνεται η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές, ιδιαίτερα σε καταναλωτές που είναι απομακρυσμένοι από το σημείο παραγωγής της ενέργειας.

Η παραγωγή ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά βασίζεται κυρίως στους Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής (ΑΣΠ). Το καύσιμο που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το πετρέλαιο που όμως είναι ιδιαίτερα ακριβό αλλά προτιμάται λόγω της εύκολης μεταφοράς του με πλοίο. Συγκρινόμενα με τον λιγνίτη που χρησιμοποιείται στην ηπειρωτική Ελλάδα, το κόστος του πετρελαίου για ισοδύναμη θερμαντική αξία είναι πολλαπλάσιο. Τα χαρακτηριστικά των νησιών επιβάλλουν μικρή σχετικά κατανάλωση, άλλα εκτεταμένο δίκτυο διανομής. Επιπλέον τους περισσότερους μήνες η παραγωγή υπολειτουργεί σε σχέση με το καλοκαίρι. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά

των ΑΣΠ συνιστούν ασύμφορη την εγκατάσταση και την λειτουργία τους, σε σχέση με το ηπειρωτικό σύστημα, αλλά δεν παύουν να είναι αναγκαία.

Η συνεισφορά των αιολικών συστημάτων είναι πολύ μικρή παρά το υψηλό αιολικό δυναμικό που παρατηρείται στα ελληνικά νησιά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τοπική ζήτηση ενέργειας είναι σχετικά μικρή, καθώς και στη στοχαστική συμπεριφορά του ανέμου που συνεπάγεται τη μη-σταθερή, και εν μέρει απρόβλεπτη παροχή ισχύος από τα αιολικά, που έχει οδηγήσει στην επιβολή περιορισμών διείσδυσης της αιολικής ενέργειας για λόγους προστασίας του ηλεκτρικού δικτύου. Σύμφωνα με τη νομοθεσία, ο διαχειριστής ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπεται να απορρίπτει την αιολική ενέργεια όταν αυτή δεν μπορεί να απορροφηθεί (π.χ. τις ώρες χαμηλής ζήτησης με ταυτόχρονα μεγάλη αιολική παραγωγή). Αυτοί οι περιορισμοί είναι δύο, ο περιορισμός του τεχνικού ελαχίστου και ο δυναμικός περιορισμός που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των συμβατικών πετρελαϊκών μονάδων (τεχνικά ελάχιστα λειτουργίας και ταχύτητα ανάληψης φορτίου) [10].

Οι προσπάθειες ευρύτερης αξιοποίησης των ΑΠΕ και ιδιαίτερα της Αιολικής Ενέργειας, στα αυτόνομα δίκτυα των νησιών, παρά το γεγονός του θαυμάσιου Αιολικού Δυναμικού που επικρατεί στην περιοχή τον Αιγαίου, δεν είχαν μέχρι σήμερα τα επιθυμητά αποτελέσματα, διότι από την αρχή της εγκατάστασής τους έγινε προσπάθεια προσαρμογής της λειτουργίας των Α/Γ στις ιδιαιτερότητες των πετρελαϊκών μονάδων των ΑΣΠ. Έτσι, οι Α/Γ έπαιζαν βοηθητικό ρόλο με συνέπεια η οικονομική διείσδυση των παραδοσιακών Α/Γ στα νησιά, οι οποίες χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες σταθερών στροφών μέχρι σήμερα να μένει σε ποσοστά κάτω του 10%. Αυτό συμβαίνει διότι οι Α/Γ αυτές είναι ανελαστικές στην λειτουργία τους και λόγω των στιγμιαίων διακυμάνσεων της ισχύος τους δυσχεραίνουν σε μεγάλο βαθμό την συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα ιδιαίτερα τις περιόδους μειωμένης ζήτησης.

Επιπλέον, η εγκατάσταση παραδοσιακών Α/Γ μεγάλου σχετικά μεγέθους από ιδιώτες επενδυτές στα νησιά επιδεινώνει ακόμη περισσότερο την συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα λόγω των σχετικά αυξημένων στιγμιαίων διακυμάνσεων της ισχύος τους, βλέπε διάγραμμα 1, και έχει σαν συνέπεια να κάνει τη λειτουργία των πετρελαϊκών μονάδων ακόμη πιο αντιοικονομική (αυξημένη ειδική κατανάλωση, μεγαλύτερη καταπόνηση του εξοπλισμού, συχνότερες βλάβες, παροχή σχετικά μεγαλύτερης αέργου ισχύος λόγω μείωσης της ενεργού ισχύος τους κλπ.).

Από τεχνικής πλευράς όλα δείχνουν ότι οι πετρελαϊκές μονάδες έχουν εξαντλήσει τα περιθώρια και τις δυνατότητες οικονομικότερης παροχής Η/Ε στα αυτόνομα δίκτυα. Η εξήγηση είναι απλή και βρίσκεται στο γεγονός του χαμηλού βαθμού απόδοσης της μεθόδου μετατροπής της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε Η/Ε και των άλλων δυσχερειών που προαναφέρθηκαν. Αυτός είναι εξάλλου και ο λόγος που οι πετρελαϊκοί σταθμοί με τα σημερινά

δεδομένα δεν αποσβένονται ποτέ. Κατά συνέπεια κάθε προσπάθεια βελτίωσης της συνεργασίας των Α/Γ με τις πετρελαϊκές μονάδες ή προσαρμογής της λειτουργίας τους σε αυτές με διατήρηση του κυρίαρχου ρόλου των πετρελαϊκών μονάδων στα αυτόνομα συστήματα των νησιών δεν θα είχε επιτυχία. Έπρεπε λοιπόν να αναζητηθούν άλλες μέθοδοι ριζικής αντιμετώπισης της ανορθόδοξης και ενεργοβόρου αυτής εξέλιξης.

Φυσικό επακόλουθο της πολύχρονης εμπειρίας και των εξειδικευμένων γνώσεων από τη μια μεριά, που αποκτήθηκαν σταδιακά και είναι συσσωρευμένες στο διάσπαρτο στελεχιακό δυναμικό της ΔΕΗ και της συστηματικής ανάλυσης των παραπάνω προβλημάτων, εμποδίων και οικονομικών λειτουργικών στοιχείων από την άλλη ήταν η έρευνα, η ανάπτυξη και η εφαρμογή κατάλληλων για κάθε περίπτωση υβριδικών συστημάτων. Βασικό κριτήριο σχεδιασμού των συστημάτων αυτών ήταν η εξασφάλιση ευστάθειας στο δίκτυο όταν διακόπτεται η λειτουργία όλων των πετρελαϊκών μονάδων. Με λίγα λόγια οι Α/Γ έπρεπε να γίνουν βασική πηγή ενέργειας. Επιπλέον η χρήση Α/Γ μεταβλητών στροφών με δυνατότητα ταχείας ρύθμισης ενεργού και παροχή άεργου ισχύος τους λύνει τα προβλήματα στην πηγή τους πριν δηλαδή παρουσιαστούν και συμβάλει καθοριστικά στην εξασφάλιση ευστάθειας του δικτύου. Έτσι αποφεύγονται επενδύσεις πρόσθετου εξοπλισμού αντιστάσεων απόρριψης φορτίου και το κυριότερο δυσάρεστα για τους καταναλωτές μεταβατικά φαινόμενα και αστάθειας του δικτύου. Στις περιπτώσεις τέλος που είναι δυνατό να προσαρμοστεί η στοχαστική εμφάνιση της Αιολικής Ενέργειας στη ζήτηση μέσω ενδιάμεσης μεσοπρόθεσμης (της τάξης μερικών 24ώρων) αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες για μικρά συστήματα, λιμνοδεξαμενές και παραγωγή υδρογόνου για μεγαλύτερα κλπ.) τότε η οικονομική διείσδυση της Αιολικής Ενέργειας στα αυτόνομα δίκτυα μπορεί να ξεπεράσει ποσοστά της τάξης του 90%. Υβριδικά συστήματα ΑΠΕ του είδους αυτού που προέκυψαν σαν αποτέλεσμα πολυετών προσπαθειών και αναζητήσεων είναι το αντικείμενο της εν λόγω εργασίας και περιγράφονται συνοπτικά στην συνέχεια.

Το υψηλό κόστος παραγωγής των Αυτόνομων Σταθμών Παραγωγής, η εξάρτηση από το πετρέλαιο που έχει απρόβλεπτες διακυμάνσεις στη τιμή του και υπάρχει κίνδυνος εξάντλησής του σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα καθώς και οι περιβαλλοντικοί προβληματισμοί έχουν αποτελέσει ισχυρά κίνητρα για την αυξανόμενη αξιοποίηση του δυναμικού των ΑΠΕ των νησιών τις τελευταίες δεκαετίες, με την αιολική ενέργεια να αποτελεί μια πιθανή λύση. Όσο τα νησιά παραμένουν μη διασυνδεδεμένα, ως μόνη άμεση και πρακτική λύση για την επίτευξη υψηλής διείσδυσης ΑΠΕ παρουσιάζεται η αποθήκευση της αιολικής ενέργειας (που αλλιώς θα απορριπτόταν λόγω των τεχνικών περιορισμών των συμβατικών μονάδων) και η εν συνεχεία αξιοποίησή της μέσω ελεγχόμενων μονάδων παραγωγής.

Τέτοια συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι τα υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν ανανεώσιμη και συμβατική παραγωγή με διατάξεις αποθήκευσης.

Με τον όρο Υβριδικός Σταθμός (ΥΒΣ) εννοούμε το συνδυασμένο σταθμό, που αποτελείται από ένα ή περισσότερα Α/Π και διατάξεις αντλησιοταμίευσης.

Η εξασφάλιση της ευστάθειας και της ασφάλειας σε ένα απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί έργο σημαντικά δυσκολότερο από ότι στα διασυνδεδεμένα συστήματα. Τούτο προκύπτει εξαιτίας του ότι τα απομονωμένα ενεργειακά συστήματα χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες ιδιαιτερότητες:

- τις συχνά απαντούμενες έντονες διακυμάνσεις στη ζήτηση ισχύος
- τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των θερμοηλεκτρικών γεννητριών του συστήματος παραγωγής (τεχνικά ελάχιστα, ρυθμός ανάληψης φορτίου, κλπ)
- την αδυναμία υποστήριξης τους από άλλα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.) μέσω έγχυσης ισχύος σε καταστάσεις ανάγκης (emergency states) ή ακραίες καταστάσεις (in extremis states)
- τη σημαντική διείσδυση μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) μη εγγυημένης παραγωγής ισχύος.

Ειδικότερα για τον ελλαδικό χώρο, το σύνολο των απομονωμένων ενεργειακών νησιωτικών συστημάτων στηρίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε αυτόνομους πετρελαϊκούς σταθμούς παραγωγής. Η σημαντική διείσδυση Α.Π.Ε. μη εγγυημένης παραγωγής ισχύος στα συστήματα αυτά, και ειδικότερα αιολικής ισχύος, δυσχεραίνει σημαντικά τη διατήρηση της ευστάθειας και της ασφάλειάς τους. Ωστόσο, η διείσδυση Α.Π.Ε. στα ελληνικά απομονωμένα ενεργειακά συστήματα, επιβάλλεται για διάφορους λόγους, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- η επίτευξη των εθνικών στόχων του Κιότο
- η απεξάρτηση από τη χρήση εισαγόμενων πρωτογενών μορφών ενέργειας
- η μείωση του κόστους παραγωγής.

Η επίτευξη των ανωτέρω στόχων αντιπαρατίθεται με την ανάγκη της ασφαλούς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Ο περιορισμός της διείσδυσης μη εγγυημένης ισχύος Α.Π.Ε. στα απομονωμένα ενεργειακά συστήματα προκύπτει ως αναπόφευκτη συνέπεια.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υβριδικοί Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας

## 2.1 Έννοια Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής

Για να δώσουμε έναν ορισμό για τους υβριδικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούμε τον ορισμό που διατυπώνεται στον νόμο υπ' αριθμόν 3468 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), Κεφάλαιο 2, άρθρο 2, παράγραφος 25. «Υβριδικός Σταθμός είναι κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

- I. Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή Α.Π.Ε..
- II. 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.
- III. Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού ΑΠΕ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.»

Με την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να αποκομίσουμε πολλαπλά οφέλη. Συμβάλλουν στην μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες έχουν αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε την μείωση της εκπομπής, στην ατμόσφαιρα, των 6 αερίων τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>). Σημαντικό, επίσης, πλεονέκτημα των ΑΠΕ είναι η αποκέντρωση του συστήματος ενέργειας εξαιτίας της γεωγραφικής τους διασποράς. Κάτι τέτοιο έχει σαν αποτέλεσμα την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε περιφερειακό και

τοπικό επίπεδο με αποτέλεσμα, την ανακούφιση των συστημάτων υποδομής και τον περιορισμό των απωλειών κατά την μεταφορά ενέργειας. Σαν συνέχεια των παραπάνω, μπορούμε να αναφέρουμε την αναζωογόνηση των οικονομικά και κοινωνικά ασθενέστερων περιοχών μέσω των επενδύσεων. Δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, με διαφορετικές λύσεις για διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες (για παράδειγμα χρήση ηλιακής ενέργειας για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, χρήση αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή κ.ά.). Συνεισφορά στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων. Σημαντικό επιπλέον είναι πως, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες.

## 2.2 Λειτουργία Υβριδικών Συστημάτων

Ο ΥΒΣ περιλαμβάνει ένα ή και περισσότερα Α/Π (που αποτελεί τη μη ελεγχόμενη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ), έναν (Υδροηλεκτρικό Σταθμό) ΥΗΣ, και το σύστημα αποθήκευσης, δηλαδή ένα αντλιοστάσιο ένας ή δύο αγωγοί και δύο ταμιευτήρες. Το ή τα Α/Π μπορεί να μην είναι εγκατεστημένο/α απαραίτητα στην ίδια ή σε κοντινή τοποθεσία με τα υπόλοιπα μέρη. Οι διάφορες υπομονάδες του ΥΒΣ (Α/Π, ΥΗΣ, αντλιοστάσιο) συνδέονται απ' ευθείας στο δίκτυο με ανεξάρτητους μετρητές ενέργειας. Η κάτω και άνω δεξαμενή του ΥΒΣ τοποθετούνται σε επαρκή υψομετρική διαφορά που εξασφαλίζει υδραυλικό ύψος μερικών εκατοντάδων μέτρων (συνήθως περισσότερα από 300 m), και η χωρητικότητά τους εξαρτάται από το διαθέσιμο αυτό ύψος και τις απαιτήσεις αποθήκευσης ενέργειας του ΥΒΣ. Ένας ΥΒΣ μπορεί να διαθέτει ανεξάρτητο αγωγό προσαγωγής και κατάθλιψης μεταξύ άνω και κάτω δεξαμενής και ξεχωριστές εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής παραγωγής και άντλησης, κάτι που εξασφαλίζει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης παραγωγής και άντλησης. Στην Εικόνα 2.1 απεικονίζεται ένα νησιωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, στο οποίο εκτός από τον συμβατικό σταθμό παραγωγής (συνήθως Diesel) και των αιολικών πάρκων, εγκαθίσταται επιπλέον, υβριδικός σταθμός παραγωγής.

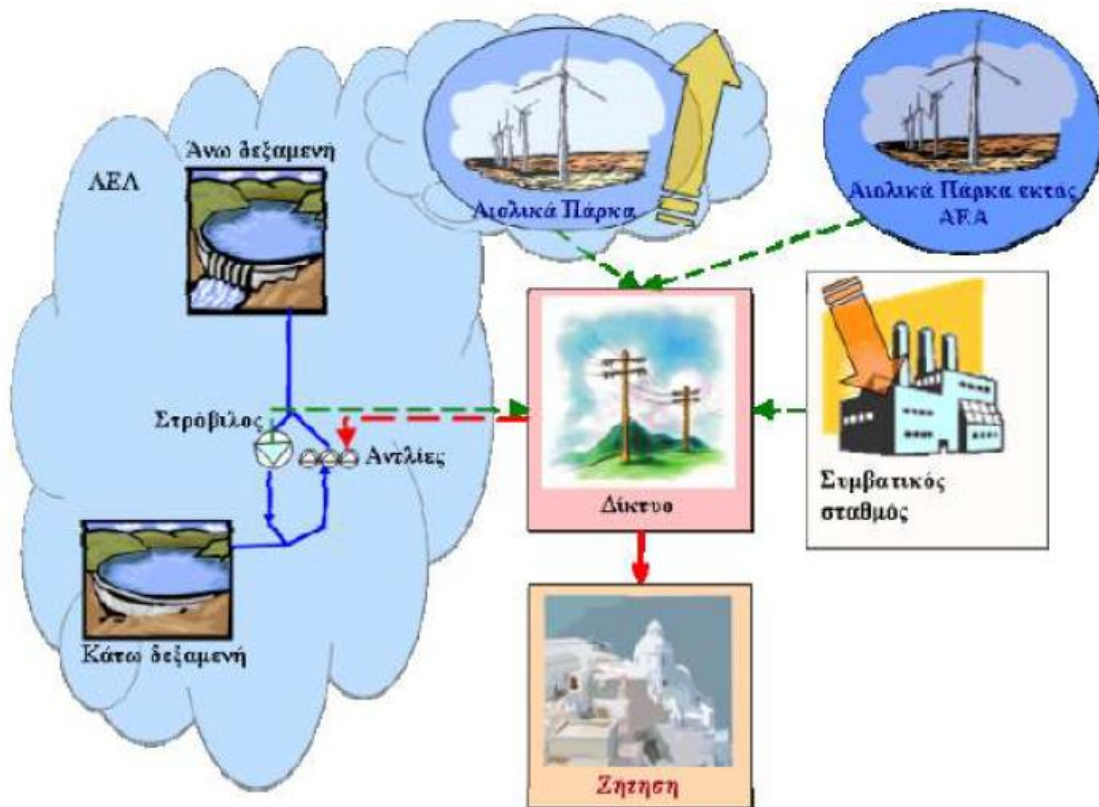
Η φιλοσοφία των υβριδικών συστημάτων στηρίζεται στην αποθήκευση της περίσσειας αιολικής ενέργειας που δεν καταναλώνεται από το δίκτυο η οποία επιτυγχάνεται μέσω άντλησης νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στον άνω. Το αποθηκευμένο νερό παράγει ενέργεια μέσω του Υδροηλεκτρικού Σταθμού τις ώρες αιχμής και καταλήγει πίσω στον κάτω ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα, κατά

την λειτουργία του συστήματος μπορούν να εμφανιστούν οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- *Λειτουργία υδροστρόβιλων:* Η αποθηκευμένη υδραυλική ενέργεια στην άνω δεξαμενή μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των υδροστρόβιλων. Α/Π και αντλίες είναι εκτός λειτουργίας.
- *Αντλησιοαιολική συνεργασία:* Η παραγόμενη αιολική ισχύς αξιοποιείται πλήρως για άντληση και αποθήκευση ενέργειας στην άνω δεξαμενή. Οι υδροστρόβιλοι είναι εκτός λειτουργίας.
- *Άντληση από το δίκτυο:* Λειτουργία και πάλι των αντλιών, οι οποίες όμως τώρα απορροφούν ενέργεια από το δίκτυο αντί για την αιολική του ΥΒΣ.

Επίσης είναι δυνατές και οι ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας:

- *Λειτουργία μόνο του Α/Π:* Το Α/Π του ΥΒΣ εγχέει ενέργεια απ' ευθείας στο δίκτυο, χωρίς ταυτόχρονη άντληση. Είναι μια κατάσταση λειτουργίας που αναμένεται να συμβαίνει ελάχιστες φορές σε κορεσμένα νησιά.
- *Υδροαιολική συνεργασία:* Η ισχύς του Α/Π του ΥΒΣ υποκαθιστά ισχύ υδροστρόβιλων στην παροχή της κατανεμόμενης ισχύος του ΥΒΣ, όπως αυτή καθορίζεται από το αυτόματο σύστημα ρύθμισης της παραγωγής (AGC) των μονάδων του νησιού. Με αυτόν τον τρόπο η αιολική ισχύς διατίθεται απ' ευθείας στο δίκτυο, αποφεύγοντας έτσι τις απώλειες στα συστήματα αποθήκευσης. Επίσης, αυτή η λειτουργική κατάσταση θα είναι αρκετά πιθανή σε ΥΒΣ μονού αγωγού όταν θα λειτουργούν οι υδροστρόβιλοι, καθώς τότε η άντληση δεν είναι δυνατή.
- *Ταυτόχρονη παραγωγή και άντληση:* Ένας συνδυασμός των δύο πρώτων καταστάσεων λειτουργίας. Παράλληλα με τους υδροστρόβιλους (των οποίων η ισχύς μπορεί να υποκαθίσταται από αιολική, στο πλαίσιο της υδροαιολικής συνεργασίας), λειτουργούν και οι αντλίες που αξιοποιούν την αιολική ισχύ του ΥΒΣ για αποθήκευση νερού στην άνω δεξαμενή. Αυτή η κατάσταση λειτουργίας προϋποθέτει την ύπαρξη ξεχωριστών υδραυλικών μηχανών για παραγωγή και άντληση και έχει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της αιολικής ισχύος ακόμη και όταν παράγουν οι υδροστρόβιλοι, κάτι που είναι αρκετά σημαντικό δεδομένου ότι οι υδροστρόβιλοι μπορεί να είναι σε λειτουργία αρκετές ώρες την ημέρα (συνήθως 4-8 ώρες, αλλά ορισμένες φορές πολύ περισσότερες). [11]



**Εικόνα 2-1** Νησιωτικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο οποίο είναι εγκατεστημένος υβριδικός σταθμός

Η εκμετάλλευση των απορριπτόμενων ποσοτήτων ενέργειας μέσω ενός υβριδικού μπορεί να οδηγήσει σε αξιόλογη αύξηση διείσδυσης της αιολικής ενέργειας ή και γενικότερα στην αύξηση της συνεισφοράς ΑΠΕ σε αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα. Οι αυξημένες περικοπές της αιολικής ενέργειας περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό με την μέθοδο της αποθήκευσης, ενώ παράλληλα η αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος αυξάνεται με τη συνεισφορά εγγυημένων ποσοτήτων ενέργειας (επί καθημερινής βάσεως κατά τις ώρες αιχμής) μέσω του ΥΒΣ που αποτελεί μια ελεγχόμενη μονάδα παραγωγής με δυνατότητα άμεσης απόκρισης και παροχής πρόσθετων υπηρεσιών σταθεροποίησης του ηλεκτρικού δικτύου (ρύθμιση συχνότητας και ισχύος). Παράλληλα, τα περισσότερα νησιά υποφέρουν από έλλειψη νερού.

## 2.3 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενός ΥΒΣ

Η επιδίωξη της αύξησης των επιπέδων διείσδυσης του ανέμου στα ηλεκτρικά συστήματα, και συγκεκριμένα στις περιπτώσεις απομονωμένων νησιωτικών ηλεκτρικών δικτύων, απαιτεί την υλοποίηση κατάλληλων μεθόδων

αποθήκευσης της ενέργειας. Αυτή η απαίτηση συχνά επιβάλλεται μέσω τεχνικών περιορισμών στις συμβατικές μονάδες παραγωγής, καθώς και μέσω περιορισμών ευστάθειας όταν αντιμετωπίζουμε πηγές που έχουν έντονες τυχαίες διακυμάνσεις, όπως είναι η αιολική ενέργεια. Όταν το μέγεθος του συστήματος ισχύος αυξάνει πέρα από λίγες εκατοντάδες kW, τότε η αποθήκευση σε μπαταρίες και άλλα τέτοια παρόμοια μέσα αποθήκευσης ενέργειας παύουν να είναι τεχνικά και οικονομικά ελκυστικά, αφήνοντας την αντλησιοταμίευση ως τη μοναδική εφαρμόσιμη και βιώσιμη λύση. Αυτά τα συστήματα απαιτούν έναν σταθμό συστημάτων αντλιών/στροβίλων και δύο ευμεγέθους ταμιευτήρες νερού, με κατάλληλο κάθετο διαχωρισμό, τυπικά της τάξης των μερικών εκατοντάδων μέτρων.

Η χρήση υβριδικών αιολικών-υδροηλεκτρικών συστημάτων για παραγωγή ισχύος σε νησιά ή άλλες μη διασυνδεδεμένες περιοχές φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας, αλλά και της διείσδυσης του ανέμου στο δίκτυο [12]. Για μικρά νησιά με χαμηλή εγκατεστημένη ισχύ, η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης φαίνεται να είναι ο πλέον ελπιδοφόρος τρόπος για την εκμετάλλευση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού σε υψηλό βαθμό διείσδυσης. Σε μεγαλύτερα νησιά, μια τέτοια ενεργειακή μονάδα θα μπορούσε να αντικαταστήσει μια ή περισσότερες βασικές θερμικές μονάδες, καθιστώντας έτσι την επένδυση πιο επικερδή. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της μονάδας αντλησιοταμίευσης είναι η δυνατότητα χρήσης του αποθηκευμένου στους ταμιευτήρες νερού για σκοπούς ύδρευσης και άρδευσης του νησιού, καθώς και για προστασία από τις πυρκαγιές. Επιπλέον, η λειτουργία ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος θα είναι σημαντική για την αντιμετώπιση των αναμενόμενων κλιματικών αλλαγών, είτε βελτιώνοντας την ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου (πως αντιμετωπίζονται οι κλιματικές αλλαγές με τη βελτίωση της ευστάθειας του δικτύου), είτε ενσωματώνοντας μια μονάδα αφαλάτωσης για παραγωγή καθαρού πόσιμου νερού στο νησί.

Τα οφέλη της αντλησιοταμίευσης στη δυναμική ασφάλεια του συστήματος εκδηλώνονται κυρίως στις αιχμές του συστήματος, στη στρεφόμενη εφεδρεία, στα αποθέματα έκτακτης ανάγκη, στη ρύθμιση της συχνότητας και στις διαδικασίες. Καθώς η αγορά ενέργειας αναδιαμορφώνεται, οι μονάδες αντλησιοταμίευσης θα αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό της αγοράς ανεξάρτητα ως μια οικονομική οντότητα.

Η μέθοδος ποσοτικής αποτίμησης του οφέλους κατά τη διάρκεια των αιχμών, και την εξοικονόμηση άνθρακα χρησιμοποιεί ευρέως διαδεδομένες αρχές ισοδύναμης αποτίμησης. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των ήδη υπάρχοντων μονάδων παραγωγής ισχύος, αυτή η υπόθεση χρησιμοποιεί το σύστημα που περιλαμβάνει μονάδα αντλησιοταμίευσης ως το βασικό σχέδιο, και το σύστημα που χρησιμοποιεί θερμικές μονάδες παραγωγής για να αντικαταστήσουν τις αντλησιοταμιευτικές μονάδες ως αναπληρωματικό σχέδιο. Οι διαφορές των δύο σχεδίων είναι τα οφέλη που προκύπτουν όσον αφορά τις αιχμές και την εξοικονόμηση άνθρακα από την αντλησιοταμίευση. Οι παράγοντες-κλειδιά για να εκτιμηθεί το κέρδος βασίζονται στο ότι το αναπληρωματικό σχέδιο θα είναι ισοδύναμο με το βασικό σχέδιο στις

παρακάτω όψεις. Πρώτον, το αναπληρωματικό σύστημα θα μπορεί να προσφέρει στο δίκτυο την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Δεύτερον, θα μπορεί να ρυθμίζει τις διαφορές μεταξύ ανώτερου και κατώτερου σημείου να είναι οι ίδιες. Τρίτον, κάθε μονάδα παραγωγής θα μπορεί να λειτουργεί συντεταγμένα με την κάθε άλλη. Τέταρτον, θα μπορεί να εγγυηθεί το βέλτιστο του όλου συστήματος. Πέμπτον, λειτουργεί συστηματικά και έχει την ίδια αξιοπιστία με το βασικό σύστημα.

Με τη συνεχή παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσαν να μειωθούν οι διαφορές που παρουσιάζονται στο δίκτυο μεταξύ της βάσης και της αιχμής της ζήτησης. Ειδικά αφού η μονάδα αντλησιοταμίευσης τεθεί σε λειτουργία, θα μπορούσε αυτή να αναλάβει τις αιχμές ζήτησης του ηλεκτρικού δικτύου αντί να τις αναλάβουν οι υψηλού κόστους θερμικές μονάδες και να μειωθεί έτσι η κατανάλωση καυσίμου του συστήματος. Έτσι θα μπορούσε να ανακουφιστεί το δίκτυο από το βάρος των θερμικών μονάδων παραγωγής, και έτσι να λειτουργεί κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες, να βελτιωθεί ο βαθμός χρήσης και η απόδοση λειτουργίας των θερμικών μονάδων, καθώς και να μειωθεί η κατανάλωση άνθρακα. Το κέρδος θα προκύψει από την εξοικονόμηση άνθρακα και θα φέρει σημαντικό δυνατό κέρδος στις θερμικές μονάδες παραγωγής.

## **2.4 Βελτίωση της ποιότητα ενέργειας με τη χρήση Α/Γ**

Δύο είναι τα σημαντικά σημεία στα οποία αποσκοπεί η χρήση συστήματος αντλησιοταμίευσης. Το πρώτο σημείο είναι η αποκοπή των ακροτάτων ισχύος. Τα συνήθη τεχνικά ελάχιστα ισχύος αυξάνουν με την άντληση και την αποθήκευση ενέργειας ενώ τα ημερήσια μέγιστα παραλαμβάνονται από τις υδροστροβιλικές μονάδες. Έτσι οι μονάδες παραγωγής μπορούν να ρυθμιστούν να λειτουργούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό απόδοσής τους με προφανή αποτελέσματα στην εξοικονόμηση καυσίμου για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ.

Το δεύτερο σημαντικό σημείο είναι η δυνατότητα διείσδυσης μονάδων μη εγγυημένης ισχύος, όπως τα αιολικά πάρκα σήμερα. Η δυνατότητα αυτή συμβάλλει τα μέγιστα στην απρόσκοπτη διείσδυσης των αιολικών συστημάτων με προφανή, σημαντική μείωση των απαιτούμενων καυσίμων ή άλλων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας δεν έχει εφαρμοστεί πλατιά αν και η χρηματοοικονομική διαχείριση τέτοιων έργων έχει παρουσιάσει ελκυστικά αποτελέσματα για επενδύσεις. Οι λόγοι είναι πολλοί, ο βασικότερος από αυτούς είναι η συγκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλους σταθμούς, πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερους αυτών των

σταθμών μη εγγυημένης ισχύος (συνήθως αιολικών). Η ραγδαία ανάπτυξη αιολικών σταθμών σε περιοχές όπου το δίκτυο είναι ασθενές και σε απομονωμένα συστήματα, οδηγεί στη διαχείριση της ισχύος σε τοπικό και όχι μόνο επίπεδο για την άρση των προβλημάτων που θεραπεύονται μέσω της γρήγορης αποθήκευσης και, κυρίως, απολαβής ενέργειας, κύριο χαρακτηριστικό των αντλησιοταμιευτήρων.

Τα απομονωμένα ασθενή δίκτυα, σε απομακρυσμένες περιοχές, παρουσιάζουν προβλήματα ποιότητας ισχύος, προβλήματα που μεγαλώνουν με τη διείσδυση αιολικών πάρκων μεγάλης ισχύος σε σχέση με τις τοπικές καταναλώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές, η αποθήκευση αμβλύνει τα προβλήματα αυτά, μεγαλώνοντας τη δυνατότητα διείσδυσης στο δίκτυο αιολικών σταθμών. Οι αντλησιοταμιευτήρες που εξυπηρετούν τέτοιες περιπτώσεις, μπορούν να έχουν ισχύ της τάξης μεγέθους των τοπικών φορτίων ή και μεγαλύτερη και επιτρέπουν τη βέλτιστη διαχείριση τόσο του αιολικού δυναμικού όσο και του ευρύτερου δικτύου μεταφοράς και διανομής.

## **2.5 Η κατάσταση στην Ελλάδα**

Ο ορισμός της παραγωγής ισχύος από υβριδικά συστήματα πρόσφατα έγινε ξεκάθαρος στην Ελλάδα, και τέτοιου είδους εγκαταστάσεις αναμένεται να κερδίσουν έδαφος λόγω της ευνοϊκής τιμολογιακής πολιτικής σε σχέση με τις υπόλοιπες μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η πρώτη υβριδική αιολική-υδροηλεκτρική μονάδα στην Ελλάδα θα κατασκευαστεί από τη ΔΕΗ στο νησί της Ικαρίας.

Η βασική αρχή λειτουργίας των υβριδικών συστημάτων είναι αρκετά απλή: Όταν η διαθέσιμη αιολική ισχύς υπερβαίνει το επίπεδο ισχύος που μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα (τυπικά περιόδους χαμηλής ζήτησης-υψηλού ανέμου), τότε η πλεονάζουσα αιολική ενέργεια, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα χανόταν, αποθηκεύεται αντλώντας νερό στον άνω ταμιευτήρα. Αυτή η ενέργεια ανακτάται επακόλουθα όταν η ικανότητα διείσδυσης υπερβαίνει τη διαθέσιμη αιολική ισχύ (π.χ. ώρες αιχμής φορτίου).

Η πολιτική λειτουργίας των υβριδικών σταθμών μπορεί στην πράξη να είναι πιο περίπλοκη από την προαναφερθείσα αρχή. Για παράδειγμα, εάν εφαρμόζεται ένα σύστημα πολλαπλής τιμολογιακής πολιτικής, με υψηλότερη τιμή ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου, υπάρχει ένα επιπλέον οικονομικό ενδιαφέρον για τον ιδιοκτήτη/διαχειριστή του υβριδικού συστήματος, για να παρέχει υπηρεσίες με βάση τα επίπεδα του φορτίου, δηλαδή άντληση σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και παραγωγής σε περιόδους υψηλής ζήτησης φορτίου. Επιπλέον, η ενέργεια που αποθηκεύεται στον άνω ταμιευτήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για να εξασφαλίσει την

ικανότητα του συστήματος να παράγει ενέργεια ακόμα και σε περιπτώσεις που δεν έχει καθόλου άνεμο, παρέχοντας έτσι ένα βαθμό μη εξάρτησης από το υβριδικό σύστημα, που το αιολικό πάρκο από μόνο του δεν έχει. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερος δελεαστικό για τους χειριστές του συστήματος, οι οποίοι είναι τυπικά συντηρητικοί, και διατηρούν στρεφόμενες εφεδρείες, για να εξασφαλίσουν την μη ύπαρξη φαινομένων απώλειας φορτίου. Επιπρόσθετα, η ελεγχόμενη υδροηλεκτρική ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαλείψει την ποικιλότητα της αιολικής ισχύος, η οποία φαίνεται να ανησυχεί τους χειριστές των συμβατικών θερμικών μονάδων.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Το νησί της Ικαρίας

## 3.1 Παρουσίαση του Αυτόνομου Συστήματος Παραγωγής Ικαρίας

Η Ικαρία ηλεκτροδοτείται από το Αυτόνομο Σύστημα Παραγωγής (ΑΣΠ) Ικαρίας. Το ΑΣΠ της Ικαρίας βασίζεται στον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής Ικαρίας (ΤΣΠ). Πρόκειται για έναν θερμικό σταθμό της ΔΕΗ, με στρεφόμενες εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης, που λειτουργούν με πετρέλαιο. Ο σταθμός βρίσκεται 1 χλμ δυτικά της πρωτεύουσας Αγίου Κηρύκου, στη νότια πλευρά του νησιού. Στις εγκαταστάσεις του περιλαμβάνει τις μηχανές παραγωγής, συστήματα δεξαμενών, ένα παραθαλάσσιο αντλιοστάσιο, εξοπλισμό μέσης τάσης, αποθήκες και μηχανουργεία. Επίσης εκεί στεγάζεται το Κέντρο Έλεγχου και Ενέργειας (ΚΕΕ) του συστήματος του νησιού. Κάθε μηχανή καλείται μονάδα ή Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (Η/Ζ), γιατί συνδυάζει ένα πετρελαιοκινητήρα και μια ηλεκτρογεννήτρια. Οι πετρελαϊκές μονάδες έχουν απόδοση μέχρι 40% ή 50% και εκκινούν γρήγορα σε σχέση με άλλου είδους θερμικές μηχανές, αλλά με μειονέκτημα το ακριβό καύσιμο.



**Εικόνα 3-1** Ανάγλυφο και γεωγραφική θέση Ικαρίας

## 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συμβατικών μονάδων ΤΣΠ Ικαρίας



**Εικόνα 3-2** Τοπικός σταθμός παραγωγής Ικαρίας

Ακολουθεί πίνακας με τις εγκατεστημένες μονάδες και τα χαρακτηριστικά τους, όπως καταγράφονται στα ημερήσια δελτία σταθμού του ΤΣΠ για τον Δεκέμβριο του 2010.

Αρ.	Τύπος	Ειδική Κατανάλωση (gr/kWh)	Ονομαστική Ισχύς (kW)	Αποδιδόμενη Ισχύς (kW)	Διαθέσιμη Ισχύς (kW)	Τεχνικό Ελάχιστο (kW)
1	FIAT B308ESS	244,8	975	750	750	250
2	FIAT B308ESS	243,6	975	750	750	250
3	SULZER 12 ATV 25		2260	2260	2000	1050
4	FIAT B308ESS	267,1	975	750	750	250
5	FIAT B308ESS	256,4	975	750	750	250
6	CKD 627 5B8S	264,7	1280	1100	950	250
7	CKD 627 5B8S	262,4	1280	1100	950	250
8	SULZER 12 ATV 25	207,64	3104	2900	2800	1400
9	SACM V12DS HR 240	226,7	1200	700	700	300
10	SACM V12DS HR 240	226,7	1200	700	700	300
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			14224	11760	11100	

**Πίνακας 3-1** Εγκατεστημένες μονάδες στο ΤΣΠ Ικαρίας

Η ονομαστική ισχύς είναι το σημείο λειτουργίας με την μέγιστη απόδοση και την μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Είναι πολύ κοντά στη μέγιστη θεωρητική ισχύ που μπορεί να φτάσει μια μονάδα. Η αποδιδόμενη ισχύς είναι η πραγματική ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται εκείνη την στιγμή, με την ιδιοκατανάλωση της μονάδας. Η συνολική ονομαστική ισχύς όλων των εγκατεστημένων μονάδων ανέρχεται γύρω στα 14 MW, και φτάνει τα 15 ή 16 MW μαζί με τις ενοικιαζόμενες. Η μέγιστη ισχύς που η μονάδα επιτρέπεται να λειτουργήσει στην πράξη, φαίνεται στην στήλη “αποδιδόμενη” και εκτιμάται έτσι ώστε να προληφθούν ζημιές. Πρακτικά αυτή η μέγιστη ισχύς περιορίζεται από τις μηχανικές καταπονήσεις που υφίστανται οι μηχανές, οι οποίες αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης βλαβών. Η διαθέσιμη είναι η ωφέλιμη ισχύς χωρίς την ιδιοκατανάλωση. Όταν οι μονάδες λειτουργούν κάτω από υψηλό ηλεκτρικό φορτίο ζήτησης, αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις στο εσωτερικό τους, για να υπερνικηθεί η αντίδραση και να παραχθεί η απαιτούμενη ισχύς. Οι ροπές αυτές καταπονούν τα κινούμενα μηχανικά μέρη. Η θερμοκρασία είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στην εμφάνιση βλαβών, αφού επιδεινώνει τις τριβές, λόγω διαστολών, και επιπλέον μειώνει την αντοχή των μετάλλων και υποβαθμίζει τις ιδιότητες των λιπαντικών. Επομένως η διαθέσιμη ισχύς περιορίζεται και από την θερμοκρασία λειτουργίας, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από την δυνατότητα ψύξης. Έτσι, η διαθέσιμη ισχύς μειώνεται το καλοκαίρι, όπου η ψύξη γίνεται δυσκολότερη. Επίσης, εκτός από το μέγιστο, υπάρχει πρακτικά και ένα ελάχιστο όριο στην διαθέσιμη ισχύ, που υπαγορεύεται εμπειρικά από την καλή λειτουργία των μονάδων. Κάτω από αυτό το όριο αποφεύγεται η λειτουργία των μηχανών, γιατί όταν δουλεύουν χωρίς φορτίο αντιμετωπίζουν προβλήματα στο σύστημα τροφοδοσίας τους και ελλειπή ανάφλεξη. Το όριο της κάθε μονάδας εξαρτάται από το μέγεθος της, την κατάστασή της, το είδος καύσιμου που καίει και την ποιότητα του, και φαίνεται στην στήλη “τεχνικό ελάχιστο”.

Όλες οι παραπάνω μηχανές είναι “μικρές”, τετράχρονες, και τα κατασκευαστικά τους στοιχεία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Αρ.	Τύπος	Κινητήρας	Κύλινδροι	Έτος κατασκευής	Χώρα κατασκευής	Γεννήτρια
1	FIAT B308ESS	Fiat	8	1957	Ιταλία	Savigliano
2	FIAT B308ESS	Fiat	8	1957	Ιταλία	Savigliano
3	SULZER 12 ATV 25	Sulzer – Cegielski	12, διάταξης “V”	2005	Πολωνία	AVK
4	FIAT B308ESS	Fiat	8	1957	Ιταλία	Savigliano
5	FIAT B308ESS	Fiat	8	1957	Ιταλία	Savigliano
6	CKD 627 5B8S	CKD - Skoda	8	1990	Τσεχία	Leroy-Somer
7	CKD 627 5B8S	CKD - Skoda	8	1990	Τσεχία	Leroy-Somer
8	SULZER 12 ATV	Sulzer –	12, διάταξης “V”	2005	Πολωνία	AVK

	25	Cegielski				
<b>9</b>	SACM V12DS HR 240	SACM	12, διάταξης "V"	1975	Γαλλία	SACM
<b>10</b>	SACM V12DS HR 240	SACM	12, διάταξης "V"	1976	Γαλλία	SACM

**Πίνακας 3-2** Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά μονάδων

Οι μονάδες μπορούν να καίνε πετρέλαιο τύπου ντήζελ ή τύπου μαζούτ. Γενικά το μαζούτ (*"βαρύ πετρέλαιο"* ή *"εξωτερικής καύσης"*) αποτελείται από τα βαριά υποπροϊόντα της απόσταξης του αργού (ακατέργαστου) πετρελαίου. Είναι φθηνό, αλλά έχει μεγάλη πυκνότητα. Απαιτεί θέρμανση για τη χρήση του ώστε να αυξηθεί η ρευστότητά του. Όλος ο σταθμός χρησιμοποιεί ατμό για να θερμαίνει δεξαμενές αποθήκευσης και σωληνώσεις. Επίσης, το μαζούτ χρειάζεται να καθαριστεί από στερεά κατάλοιπα πριν τροφοδοτηθεί στις μονάδες και για αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες. Το μαζούτ διακρίνεται σε κατηγορίες ανάλογα με την πυκνότητά του, ή την περιεκτικότητά του σε θείο, που σπντελεί στην λίπανση, αλλά επιβαρύνει τα καυσαέρια. Ο ΤΣΠ βρίσκεται υπό αναβάθμιση, ώστε εκτός από μαζούτ υψηλού θείου, να καίει χαμηλού θείου. Αντίθετα το ντήζελ (*"ελαφρύ πετρέλαιο"* ή *"εσωτερικής καύσης"*) είναι καθαρότερο προϊόν της απόσταξης, με καλή ρευστότητα. Αναφλέγεται ευκολότερα, καίγεται καθαρότερα αλλά η τιμή του είναι ακριβότερη. Το ντήζελ τροφοδοτείται εύκολα, μόνο με αντλίες ή ακόμη και με την βαρύτητα. Κάθε μονάδα του σταθμού μπορεί να κάψει είτε ντήζελ, είτε μαζούτ. Εξαιρέση αποτελούν οι μονάδες αρ. 6, 7, 9 και 10, οι οποίες δεν διαθέτουν σύστημα με προθερμαντή, οπότε λειτουργούν συνεχώς μόνο με ντήζελ. Όλες οι μονάδες όμως κατά την εκκίνηση, αλλά και κατά την σβέση τους, λειτουργούν υποχρεωτικά μόνο με ντήζελ.

### 3.3 Αιολικό Σύστημα

Στο νησί υπάρχει εγκατεστημένη μία σύγχρονη ανεμογεννήτρια (Α/Γ) οριζοντίου άξονα, της εταιρίας Enercon, γερμανικής κατασκευής, τύπου E-40, ονομαστικής ισχύος 600 kW. Εγκαταστάθηκε το 2004 στο ύψωμα Κεφάλια, στο χωριό Περδίκι, σε υψόμετρο 596 m. Είναι διασυνδεδεμένη απευθείας στο δίκτυο μέσης τάσης. Ανήκει σε ιδιώτη επενδυτή (Αντώνης Λακιάς), Κατά το παρελθόν υπήρξε και ένα πιλοτικό Αιολικό Πάρκο (Α/Π) της ΔΕΗ στην γειτονική θέση Φυρινάσπα. Περιελάμβανε 7 ασύγχρονες ανεμογεννήτριες, ελληνικής κατασκευής, 55 kW η καθεμία, σύνολο 385 kW. Σταδιακά εγκαταλείφθηκε και βρίσκεται εκτός λειτουργίας από το 2006.

Υπάρχουν μήνες του χρόνου με υψηλό αιολικό δυναμικό, λόγω εποχιακών ανέμων. Τον Αύγουστο αρκετές ημέρες επικρατούν συνεχείς βορειοανατολικοί άνεμοι (μελτέμια) που όμως το βράδυ έχουν την τάση να ελαττώνονται. Το χειμώνα εμφανίζονται δυνατοί νοτιάδες. Όμως η παραγόμενη αιολική ενέργεια εξαρτάται και από την υπόλοιπη παραγωγή του συστήματος. Σε περιόδους χαμηλής κατανάλωσης δεν θα μπορεί να απορροφηθεί πάντα όλη η αιολική ενέργεια, γιατί οι διακυμάνσεις στην αιολική ισχύ δεν γίνεται να εξισορροπηθούν από τις υπόλοιπες θερμικές μονάδες που λειτουργούν.



**Εικόνα 3-3** Ανεμογεννήτρια Enercon E-40 στο Περδίκι

Το 2009, η συνεισφορά της αιολικής ενέργειας στην ενέργεια που καταναλώθηκε στο νησί κυμάνθηκε από 6,5% έως 9,5% με μέσο όρο 7,9%, όπως φαίνεται παρακάτω. Όσον αφορά την παραγωγή άεργου ισχύος, γνωρίζουμε ότι η συγκεκριμένη Α/Γ δεν συνεισφέρει παραπάνω στο σύστημα, αφού η εμπορική συμφωνία με την ΔΕΗ αφορά παραγωγή ενέργειας μόνο. Ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σταθερά στο 0,9 και η Α/Γ λειτουργεί χωρητικά χωρίς να αναλαμβάνει επιπλέον άεργο φορτίο. Ένα άλλο

χαρακτηριστικό της εξόδου της Α/Γ είναι η παραγωγή ανώτερων αρμονικών συχνοτήτων στο ρεύμα εξόδου της, λόγω των ηλεκτρονικών ισχύος. Αυτές είναι ανεπιθύμητες στο κοινόχρηστο δίκτυο και αποκόβονται με βαθυπερατά φίλτρα στην έξοδο του inverter, ενώ ελέγχονται περιοδικά από το συνεργείο συντήρησης. Άλλες προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται κατά την σύνδεση με το δίκτυο αφορούν την διακύμανση της τάσης, της συχνότητας, το ρυθμό μεταβολής της παρεχόμενης ισχύος, συμπεριφορά σε βραχυκυκλώματα, κλπ.

### 3.4 Δίκτυο Διανομής

Το δίκτυο διανομής της νήσου Ικαρίας είναι ακτινικό και περιλαμβάνει τρεις (3) γραμμές που αναχωρούν από τον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής του Αγ. Κήρυκου όπως φαίνεται στα σχέδια, οι οποίες είναι:

- α. **Γραμμή «Αγ. Κήρυκος» 15 kV** (Γραμμή R210), κατά μήκος της ακτής στην πλευρά του Αγ. Κήρυκου.
- β. **Γραμμή «Καραβόσταμο - Εύδηλος» 15 kV** (Γραμμή R220), μέχρι τον Εύδηλο, πάνω στην οποία είναι συνδεδεμένες όλες οι ανεμογεννήτριες.
- γ. **Γραμμή «Χρυσόστομος-Καρκινάγρι» 15 kV** (Γραμμή R230), η οποία τροφοδοτεί ολόκληρη την περιοχή δυτικά του Εύδηλου.



**Εικόνα 3-4** Αναχωρήσεις των τριών γραμμών μέσης τάσης από τον ΤΣΠ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ρυθμιστικό πλαίσιο διαχείρισης και λειτουργίας ενός ΥΒΣ**

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η πολιτική διαχείρισης και η εσωτερική λειτουργία ενός ΥΒΣ, όπως έχει διαμορφωθεί από τα υπάρχοντα ρυθμιστικά πλαίσια που έχουν συνταχτεί. Οι πολιτικές βασίζονται στο υφιστάμενο νομικό πλαίσιο για τους υβριδικούς παραγωγούς σε ΜΔΝ:

- Νόμος 3468/2006, [13],
- Κανονισμός Αδειών Παραγωγής, [14],
- Κείμενο Δημόσιας Διαβούλευσης της ΡΑΕ (8/2008), όπου τίγονται θέματα και εξειδικεύονται αρχές λειτουργίας, διαχείρισης και τιμολόγησης των ΥΒΣ σε ΜΔΝ, [15],
- Κώδικας Διαχείρισης Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών που βρίσκεται σε στάδιο Δημόσιας Διαβούλευσης από τη ΡΑΕ, [16]

### **4.1 Γενικές Αρχές Σχεδιασμού Αγοράς**

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται αναφορά στις γενικές αρχές σχεδιασμού της αγοράς ενός μη διασυνδεδεμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

### 4.1.1 Ορολογία

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των όρων που χρησιμοποιούνται στο ρυθμιστικό πλαίσιο που καθορίζει τη λειτουργία και τον προγραμματισμό ενός υβριδικού σταθμού.

*Ημέρα Κατανομής:* Είναι η περίοδος 24 ωρών με βάση την οποία διενεργείται ο προγραμματισμός λειτουργίας όλου του παραγωγικού δυναμικού του συστήματος. Η Ημέρα Κατανομής ξεκινάει τα μεσάνυχτα 00:00 της ημέρας που αφορά και ολοκληρώνεται τα μεσάνυχτα της επόμενης 24:00. Κάθε Ημέρα Κατανομής προγραμματίζεται ανεξάρτητα και αποτελεί την βάση υπολογισμού των εκκαθαρίσεων.

*Ώρα Κατανομής:* Είναι η περίοδος μιας ώρας σε κάθε Ημέρα Κατανομής

*Εγγυημένη Ισχύς – Ενέργεια Υβριδικού Σταθμού:* Η Εγγυημένη Ισχύς είναι η μέγιστη ισχύς παραγωγικού δυναμικού των ελεγχόμενων μονάδων παραγωγής ΥΒΣ την οποία εγγυάται ότι μπορεί να παρέχει ημερησίως ο ΥΒΣ για προκαθορισμένο αριθμό ωρών πλήρους λειτουργίας του σταθμού. Η Εγγυημένη Ενέργεια συνίσταται στην ισοδύναμη ενέργεια πλήρους φόρτισης των ελεγχόμενων μονάδων ΥΒΣ στην Εγγυημένη Ισχύ για προκαθορισμένο (στους όρους της οικείας άδειας παραγωγής) σύνολο ωρών ημερησίως. Η Εγγυημένη Ισχύς ή και η Εγγυημένη Ενέργεια του ΥΒΣ μπορεί να αλλάζει ετησίως, με σχετική τροποποίηση της άδειας παραγωγής του ΥΒΣ.

*Πρόβλεψη Παροχής Εγγυημένης Ενέργειας ΥΒΣ:* Η απαίτηση από το Διαχειριστή απόδοσης του συνόλου ή μέρους της Εγγυημένης Ισχύος και Ενέργειας, ανά ώρα Κατανομής, σύμφωνα και με την οικεία άδεια παραγωγής του ΥΒΣ. Η απαίτηση αυτή γνωστοποιείται σε κάθε παραγωγό ΥΒΣ την προηγούμενη ημέρα της Ημέρας Κατανομής με βάση τις ανάγκες του συστήματος, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του αρμόδιου Διαχειριστή και τις διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης ΜΔΝ (Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων).

*Δήλωση Διαθεσιμότητας ΥΒΣ:* Η δήλωση του παραγωγού ΥΒΣ προς τον αρμόδιο διαχειριστή για την ενέργεια που μπορεί να διαθέσει σε μία Ημέρα Κατανομής ο ΥΒΣ. Πραγματοποιείται μια ημέρα πριν από κάθε ημέρα κατανομής και μπορεί να επικαιροποιείται μία μόνη φορά εντός της Ημέρας Κατανομής.



*Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας από το Δίκτυο:* Η δήλωση από παραγωγό ΥΒΣ προς τον αρμόδιο Διαχειριστή σχετικά με την επιθυμητή ενέργεια που ζητά να απορροφήσει από το Δίκτυο ο ΥΒΣ σε μια Ημέρα Κατανομής για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσής του, προκειμένου να ανταποκριθεί στην παροχή Εγγυημένης Ενέργειας. Η δήλωση αυτή, εφόσον είναι αναγκαία, επιτρέπεται μόνο στην περίπτωση που ο αρμόδιος Διαχειριστής έχει προηγουμένως ζητήσει την παροχή της Εγγυημένης Ενέργειας από τον ΥΒΣ, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης ΜΔΝ, και μόνο για την ποσότητα της αναγκαίας ενέργειας που κρίνεται απαραίτητο να απορροφηθεί, με βάση την ως άνω απαίτηση του Διαχειριστή.

*Όριο μέγιστης δυνατής απορρόφησης ενέργειας από το Δίκτυο – Ημερήσιο Περιθώριο Απορρόφησης από το Δίκτυο από ΥΒΣ:* Είναι η μέγιστη συνολική ενέργεια ανά Ώρα Κατανομής, που μπορεί να απορροφηθεί από το Δίκτυο σε μια Ημέρα Κατανομής, με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων (ιδίως των βάσης) του συστήματος και της καμπύλης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος κατά την ίδια Ημέρα Κατανομής. Το Ημερήσιο Περιθώριο Απορρόφησης από το Δίκτυο αφορά το σύνολο των ΥΒΣ κάθε συστήματος και κατανέμεται ισότιμα στους ΥΒΣ αυτούς, με βάση την Εγγυημένη Ενέργειά τους.

*Τίμημα Διαθεσιμότητας Ισχύος ΥΒΣ:* Το τίμημα ανά MW Εγγυημένης Ισχύος ΥΒΣ, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του νόμου 3468/2006 και του σχετικού Κανονισμού Αδειών.

*Τίμημα Παραγωγής Ενέργειας από ΥΒΣ:* Το τίμημα ανά MWh παρεχόμενης ηλεκτρικής Ενέργειας από ΥΒΣ, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του νόμου 3468/2006 και του σχετικού Κανονισμού Αδειών. Διακρίνεται σε τίμημα ανά MWh παρεχόμενης ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ απ'ευθείας στο Δίκτυο (μετά από τυχόν συμψηφισμό με την απορροφούμενη από το Δίκτυο Ενέργεια) και σε τίμημα ανά MWh παρεχόμενης ενέργειας από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής του ΥΒΣ.

*Τίμημα Απορρόφησης Ενέργειας από το Δίκτυο:* Το τίμημα ανά MWh απορροφούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το Δίκτυο, για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης ΥΒΣ, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του νόμου 3468/2006 και του σχετικού Κανονισμού Αδειών.

#### **4.1.2 Γενικές Αρχές Προγραμματισμού ενός υβριδικού σταθμού**

Ο προγραμματισμός λειτουργίας όλου του παραγωγικού δυναμικού ενός συστήματος γίνεται σε ημερήσια βάση, για κάθε Ημέρα Κατανομής. Σκοπός του Κυλιόμενου Ημερίσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΚΗΕΠ) είναι ο προσδιορισμός σε ημερήσια βάση, της ένταξης και της παραγωγής ενέργειας των κατανεμόμενων μονάδων παραγωγής, για την ασφαλή κάλυψη της ζήτησης κάθε ηλεκτρικού συστήματος ΜΔΝ, με την τήρηση των προβλεπόμενων περιορισμών ασφαλείας και των λειτουργικών κανόνων κάθε Συστήματος ΜΔΝ. Ο ΚΗΕΠ διενεργείται, πριν την έναρξη κάθε ημέρας κατανομής για ολόκληρη την Ημέρα Κατανομής (Α΄ και Β΄ Περίοδος ΚΗΕΠ), και επικαιροποιείται μια φορά κατά τη διάρκεια της ημέρας κατανομής στη οποία αφορά (Β΄ Περίοδος ΚΗΕΠ). Παρακάτω αναλύονται οι αρχές προγραμματισμού ενός ΥΒΣ σε σχέση με τη λειτουργία όλου του υπόλοιπου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με το Άρθρο 63 του Κώδικα Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, [16], ένας ΥΒΣ κατατάσσεται στην κατηγορία των κατανεμόμενων μονάδων παραγωγής καθώς θεωρούνται σαν πλήρως ελεγχόμενο ΑΠΕ. Η συμμετοχή ενός ΥΒΣ στην αγορά γίνεται στη βάση της προσφερόμενης ημερήσιας ενέργειας από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής που διαθέτει. Αυτή η μονάδα είναι συνήθως ο υδροηλεκτρικός σταθμός. Ένας ΥΒΣ πρέπει να υποβάλλει προσφορά ημερήσιας ενέργειας παραγωγής, η οποία θα μεταφράζεται σε προγραμματισμό παραγωγής των ελεγχόμενων μονάδων αξιοποίησης της αποθηκευμένης ενέργειας από τον Διαχειριστή του συστήματος του νησιού. Ο Διαχειριστής για λόγους ασφάλειας εφοδιασμού δύναται να απαιτήσει μέρος ή το σύνολο της εγγυημένης ισχύος και ενέργειας ΥΒΣ. Ο Διαχειριστής πρέπει να διασφαλίζει την κατά προτεραιότητα διάθεση της προσφερόμενης ενέργειας του ΥΒΣ, κατά τρόπο που θα προσαρμόζεται στην ημερήσια καμπύλη φορτίου, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο τεχνικό και οικονομικό αποτέλεσμα για την λειτουργία του συστήματος. Κατ' εξαίρεση επιτρέπεται σε παραγωγό από ΥΒΣ να επικαιροποιήσει τη δήλωση Διαθεσιμότητας του σταθμού του μία μόνο φορά εντός της Ημέρας Κατανομής (π.χ. στις 12:00), για δήλωση μόνο όμως πρόσθετης παραγωγής έως ένα ποσοστό της Εγγυημένης Ενέργειας (π.χ. 30-50%). Στην περίπτωση αυτή ο Διαχειριστής επιστρέφει επικαιροποιημένο πρόγραμμα παραγωγής στον παραγωγό.

Κάθε ΥΒΣ προκειμένου να αποδώσει την εγγυημένη ισχύ και ενέργεια όταν αυτή απαιτείται από τον Διαχειριστή, έχει το δικαίωμα να απορροφήσει ενέργεια από το δίκτυο, προκειμένου να γίνει η πλήρωση του ταμιευτήρα. Ο Διαχειριστής θα πρέπει να διασφαλίζει τη κατανομή της ζητούμενη ενέργειας στη διάρκεια της ημέρας, λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ των αποθηκευτικών μονάδων κάθε ΥΒΣ, σύμφωνα με την οικεία άδεια παραγωγής, κατά τρόπο που θα προσαρμόζεται στην ημερήσια καμπύλη φορτίου, ώστε να

επιτυγχάνεται το βέλτιστο τεχνικό και οικονομικό αποτέλεσμα για την λειτουργία του συστήματος. Ο Διαχειριστής θα καθορίζει σε ετήσια βάση το όριο (ή τη μεθοδολογία προσδιορισμού) της μέγιστης δυνατής ισχύος και ενέργειας απορρόφησης από το Δίκτυο σε ημερήσια βάση που θα προορίζονται για τους υβριδικούς σταθμούς, βάσει οικονομικών και τεχνικών κριτηρίων που σχετίζονται με τις δυνατότητες των συμβατικών μονάδων του συστήματος, το προφίλ της ζήτησης και τους όρους τιμολόγησης της ενέργειας που απορροφούν από το Δίκτυο οι ΥΒΣ για την παροχή της εγγυημένης ισχύος τους. Με βάση το όριο αυτό, για κάθε ημέρα κατανομής, θα προκύπτει το μέγιστο ημερήσιο περιθώριο απορρόφησης ενέργειας από το Δίκτυο ανά ώρα και συνολικά.

Οι κανόνες λειτουργίας εφαρμόζονται ισότιμα σε όλους τους ΥΒΣ. Όπου προκύπτει θέμα επιμερισμού, εφαρμόζεται πρακτική αναλογική με βάση τα εγγυημένα μεγέθη ΥΒΣ.

Ένας ΥΒΣ σαν κατανεμόμενη μονάδα υποχρεούται να παρέχει Επικουρικές Υπηρεσίες σύμφωνα με τα Καταχωρημένα Τεχνικά Χαρακτηριστικά, τους όρους των σχετικών Συμβάσεων, τις δηλώσεις διαθεσιμότητας και τις Εντολές Κατανομής. Επικουρικές υπηρεσίες είναι οι υπηρεσίες που απαιτούνται για την ασφαλή λειτουργία του Συστήματος ΜΔΝ και για τη διασφάλιση της ποιότητας παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο αναλυτικός ορισμός κάθε Επικουρικής Υπηρεσίας, ο τρόπος μέτρησης και η διαδικασία ποσοτικού και ποιοτικού ελέγχου τους από τον Διαχειριστή καθορίζονται στο Εγχειρίδιο ΚΗΕΠ και Κατανομής σύμφωνα με τους εκάστοτε ισχύοντες διεθνείς κανονισμούς του ENTSO-E, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες λειτουργίας κάθε συστήματος ΜΔΝ. Διακρίνονται οι ακόλουθες Επικουρικές Υπηρεσίες:

- α) Εφεδρεία Πρωτεύουσας Ρύθμισης,
- β) Εφεδρεία Δευτερεύουσας Ρύθμισης,
- γ) Εφεδρεία Τριτεύουσας Ρύθμισης – Στρεφόμενη και Μη Στρεφόμενη,
- δ) Ρύθμιση Τάσης,
- ε) Επανεκκίνηση του Συστήματος
- στ) Ψυχρή Εφεδρεία

Οι επιμέρους Επικουρικές Υπηρεσίες (α) έως και (γ) αναφέρονται συνοπτικά ως Επικουρικές Υπηρεσίες Ρύθμισης Συχνότητας ή Εφεδρείες Ενεργού Ισχύος. Οι πιο συνήθεις επικουρικές υπηρεσίες που παρέχει ένας ΥΒΣ είναι οι Εφεδρείες Ενεργού Ισχύος για τη ρύθμιση της συχνότητας και Ρύθμιση Τάσης σε ένα Σύστημα ΜΔΝ.

## 4.2 Προγραμματισμός ενός ΜΔΝ

Παρακάτω ακολουθεί η πολιτική διαχείρισης ενός μη διασυνδεδεμένου συστήματος με ενταγμένο έναν ΥΒΣ, πολιτική που βασίζεται στον 24ωρο προγραμματισμό λειτουργίας του συστήματος παραγωγής του νησιού. Η υλοποίηση του προγραμματισμού λειτουργίας περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα, [17]:

### **Βήμα 1<sup>ο</sup> : Απαίτηση Εγγυημένης Ισχύος και Ενέργειας από τον ΔΜΔΝ**

Ο Διαχειριστής του ΜΔΝ (ΔΜΔΝ) μπορεί να απαιτήσει από τον Διαχειριστή του ΥΒΣ (ΔΥΒΣ) ένα συγκεκριμένο ποσό εγγυημένης ισχύος και ενέργειας ( $P_G$  και  $E_G$ ) για το επόμενο 24ωρο, εφόσον κρίνει ότι αυτό είναι σκόπιμο ή απαραίτητο, ώστε να καλυφθεί αξιόπιστα η προβλεπόμενη ζήτηση.

Δηλαδή, η ημερήσια παροχή εγγυημένης ισχύος και ενέργειας από τον ΥΒΣ καθορίζεται με βάση τις πραγματικές (ημερήσιες) ανάγκες του συστήματος, αντί να είναι ένα δεδομένο ποσό ενέργειας, σταθερό για όλες τις ημέρες του έτους. Ο καθορισμός της απαιτούμενης ανά ημέρα ενέργειας και ισχύος από τον ΥΒΣ είναι αποκλειστικό δικαίωμα και ευθύνη του ΔΜΔΝ με στόχο τη διασφάλιση της κάλυψης της ζήτησης και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος του νησιού.

Ο προσδιορισμός της επιθυμητής εγγυημένης ενέργειας πρέπει να βασιστεί στο γεγονός ότι ο Διαχειριστής του ΜΔΝ έχει την υποχρέωση να απορροφά κατά προτεραιότητα την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις μονάδες ΑΠΕ όλων των κατηγοριών περιλαμβανομένων και των μονάδων παραγωγής υβριδικών σταθμών, καθώς και από τις μονάδες ΣΗΘΥΑ, έναντι των συμβατικών μονάδων, με την επιφύλαξη της ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος ΜΔΝ. Στο πλαίσιο αυτό, η ως άνω προτεραιότητα δεν ισχύει για την τεχνικά ελάχιστη παραγωγή των συμβατικών μονάδων υποχρεωτικής ένταξης (must-run), όπως αυτές έχουν καθορισθεί για κάθε Σύστημα ΜΔΝ, καθώς και για τυχόν παραγωγή συμβατικών μονάδων που είναι αναγκαίες για την κάλυψη Επικουρικών Υπηρεσιών, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν από τις μονάδες ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ.

Με βάση τα παραπάνω η Εγγυημένη Ενέργεια που θα απαιτήσει ο Διαχειριστής ισοδυναμεί στις περισσότερες των περιπτώσεων με την εγγυημένη ισχύ πολλαπλασιαζόμενη με το πλήθος ωρών παροχής εγγυημένης ισχύος, σύμφωνα με τους όρους της οικείας άδειας παραγωγής εκάστου σταθμού.

### **Βήμα 2<sup>ο</sup> : Προσφορά Ενέργειας από τον ΔΥΒΣ**

Ο ΔΥΒΣ λαμβάνοντας υπόψη τον ωφέλιμο (διαθέσιμο) όγκο νερού στην άνω δεξαμενή του στο τέλος της ημέρας, καθώς ενδεχομένως και την προβλεπόμενη παραγωγή του Α/Π του ΥΒΣ για το επόμενο 24ωρο, υποβάλλει

**Προσφορά Ενέργειας ( $E_o$ )**, δηλαδή δήλωση παραγωγής για έγχυση ενέργειας στο δίκτυο, τουλάχιστον ίση με την απαιτηθείσα ως εγγυημένη από τον ΔΜΔΝ ( $E_G$ ).

### **Βήμα 3<sup>ο</sup> : Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας από τον ΔΥΒΣ**

Αν η προς έγχυση ενέργεια που αναφέρεται στη **Δήλωση Προσφοράς Ενέργειας**, υπολείπεται της ποσότητας ενέργειας σε MWh, που είναι ισοδύναμη με την εγγυημένη ισχύ πολλαπλασιαζόμενη με το πλήθος ωρών παροχής εγγυημένης ισχύος, σύμφωνα με τους όρους της οικείας άδειας παραγωγής εκάστου σταθμού, εφεξής οριζόμενη ως Εγγυημένη Ενέργεια, υποβάλλεται από τον Παραγωγό Προκαταρκτική **Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας** για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης του σταθμού του, προκειμένου να διαθέσει συνολικά, για τον χρονικό ορίζοντα της ημέρας κατανομής, την ενέργεια αυτή, αν απαιτηθεί από τον διαχειριστή. Η ενέργεια που δηλώνεται με την Προκαταρκτική δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας πρέπει να είναι εύλογη με βάση την απόδοση του ενεργειακού κύκλου λειτουργίας του αποθηκευτικού συστήματος.

Η Προκαταρκτική **Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας  $E_D$**  περιλαμβάνει την αναγκαία ποσότητα ενέργειας σε MWh που πρέπει να απορροφηθεί από το Δίκτυο, συνολικά κατά τη διάρκεια της ημέρας κατανομής, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για παροχή της εγγυημένης ισχύος σύμφωνα με τους όρους της οικείας άδειας αν απαιτηθεί από τον διαχειριστή ΜΔΝ. Η δήλωση αυτή περιλαμβάνει και δεσμευτική δήλωση δυνατότητας απορρόφησης ενέργειας από το Δίκτυο ΜΔΝ ανά Ώρα Κατανομής, στην οποία έχει ενσωματωθεί τυχόν προγραμματισμός των μονάδων απορρόφησης του υβριδικού σταθμού για αποθήκευση ενέργειας από τις μονάδες ΑΠΕ του. Προκειμένου να ελαχιστοποιείται η απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο, η δήλωση απορρόφησης ενέργειας περιορίζεται από το ποσό της ενέργειας που απαιτείται να προστεθεί στην ήδη αποθηκευμένη,  $E_H$ , ώστε να εξασφαλιστεί η παροχή της εγγυημένης,  $E_G$ , συνεπώς:

$$E_D = \max \left\{ 0, \frac{E_G - E_H}{\eta_{P-H}} \right\} \quad (4.1)$$

όπου:

$\eta_{P-H}$  : ο συντελεστής απόδοσης του πλήρους κύκλου άντλησης – παραγωγής του ΥΒΣ

Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας δεν μπορεί να υποβληθεί αν ο ΔΜΔΝ δεν έχει απαιτήσει παροχή εγγυημένης ενέργειας ( $E_G = 0 \Rightarrow E_D = 0$ ). Από την άλλη, όταν ο ΔΥΒΣ υποβάλλει Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας τότε η προσφορά

ενέργειάς του θα πρέπει να είναι αναγκαστικά ίση με την εγγυημένη ( $E_D \neq 0 \Rightarrow E_O = E_G$ ).

Σε περίπτωση αδυναμίας διάθεσης μέρους ή του συνόλου της εγγυημένης ισχύος/ενέργειας υβριδικού σταθμού, σύμφωνα με τους όρους της οικείας άδειας παραγωγής, επιβάλλονται στον Παραγωγό τπυ ΥΒΣ κυρώσεις.

#### **Βήμα 4<sup>ο</sup>: Κατάρτιση Προγράμματος Παραγωγής και Άντλησης του ΥΒΣ από τον ΔΜΔΝ**

Ο ΔΜΔΝ, με βάση την **Προσφορά Ενέργειας** και τη **Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας** του ΥΒΣ, καταρτίζει αντίστοιχα προγράμματα παραγωγής και άντλησης. Η προσφερόμενη ενέργεια του ΥΒΣ προσαρμόζεται στην ημερήσια καμπύλη φορτίου έτσι ώστε να αποκόπτονται/εξομαλύνονται οι αιχμές και να διευκολύνεται και να καθίσταται οικονομικότερη η λειτουργία των συμβατικών μονάδων παραγωγής. Αντίστοιχα, η άντληση από το δίκτυο για εξασφάλιση της εγγυημένης ενέργειας προσαρμόζεται στην κοιλάδα της καμπύλης φορτίου.

Κατά τον καθορισμό του προγράμματος παραγωγής του ΥΒΣ, ο ΔΜΔΝ λαμβάνει υπόψη του τις μέγιστες ισχείς παραγωγής και τα τεχνικά ελάχιστα των υδροστρόβιλων. Επίσης, κατά τον καθορισμό του προγράμματος άντλησης του ΥΒΣ, ο ΔΜΔΝ λαμβάνει υπόψη τις ονομαστικές ισχείς και τα τεχνικά ελάχιστα των αντλιών.

#### **Βήμα 5<sup>ο</sup>: Κατάρτιση Προγράμματος Ένταξης των Συμβατικών Μονάδων από τον ΔΜΔΝ**

Αφού έχει καθοριστεί το πρόγραμμα ένταξης και λειτουργίας των υδροστρόβιλων και αντλιών του ΥΒΣ, ο ΔΜΔΝ πραγματοποιεί από την προηγούμενη ημέρα τον προγραμματισμό ένταξης των συμβατικών μονάδων του συστήματος για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας. Με βάση την πρόβλεψη φορτίου και ένα κατάλληλο ποσοστό εφεδρείας  $\varepsilon$ , τυπικά 10%, η συνολική ικανότητα των συμβατικών μονάδων την  $i$  ώρα του επόμενου 24ώρου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της ισχύος  $P'_{L,i}$ :

$$P'_{L,i} = (1 + \varepsilon) * [(P_{L,i} - P_{PV,i}) + P_{D,i} - P_{E,i}] \quad (4.2)$$

όπου :

$\varepsilon$  : Ο συντελεστής εφεδρειών προσδιορίζεται από τον διαχειριστή ΜΔΝ για κάθε Σύστημα ΜΔΝ λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των Κατανεμόμενων Μονάδων του Συστήματος ΜΔΝ και ειδικότερα τις ικανότητες εφεδρειών ισχύος αυτών, το είδος και τη

γεωγραφική διασπορά των μη κατανεμόμενων μονάδων καθώς και τις ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας του εκάστοτε Συστήματος ΜΔΝ, οι οποίες μπορεί να διαφοροποιούνται ωριαία, μηνιαία ή εποχιακά. Σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής αυτός δεν μπορεί να είναι μικρότερος από 35% ( $C=0,35$ ) με την ως άνω επιφύλαξη της αναγκαιότητας ύπαρξης της εφεδρείας αυτής. Για ορισμένες περιόδους του έτους, η συνολική διάρκεια των οποίων δεν υπερβαίνει το 10% του έτους, και εφόσον δημιουργούνται σημαντικά προβλήματα στην ασφάλεια της λειτουργίας ενός Συστήματος ΜΔΝ, μπορεί ο συντελεστής αυτός να περιοριστεί μέχρι το 25%.

$P_{L,i}$ : η ισχύς του φορτίου που προβλέπεται για την ώρα  $i$

$P_{PV,i}$ : η προβλεπόμενη φωτοβολταϊκή παραγωγή για την ώρα  $i$ . Για τη Φ/Β παραγωγή που εγκαθίσταται στα νησιά δεν προβλέπεται η δυνατότητα επιβολής ορίων (δηλαδή περικοπών ισχύος, όπως στα Α/Π). Συνεπώς τα Φ/Β αντιμετωπίζονται ως ενσωματωμένα στο φορτίο των νησιών.

$P_{D,i}$ : η απορροφούμενη ισχύς από το δίκτυο για άντληση για την ώρα  $i$  από τις συμβατικές μονάδες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

$P_{E,i}$ : η προγραμματισμένη ισχύς παραγωγής του ΥΒΣ για την ώρα  $i$ .

## Βήμα 6: Καθορισμός Ορίων Διείσδυσης των Αιολικών εκτός ΥΒΣ

Ο ΔΜΔΝ υπολογίζει τον περιορισμό τεχνικού ελαχίστου ( $P_{Wmax,T}$ ) και τον δυναμικό περιορισμό διείσδυσης της αιολικής ισχύος ( $P_{Wmax,D}$ ) για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας σύμφωνα με τις σχέσεις (2.2), (2.3) και κοινοποιεί τον αυστηρότερο από τους δύο στους αιολικούς παραγωγούς εκτός ΥΒΣ. Αν ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης αιολικής ισχύος υπερβαίνει την εγκατεστημένη (ή συμφωνημένη) ισχύ των Α/Π, τότε η περίσσεια διατίθεται στο Α/Π του ΥΒΣ.

$$P_{Wmax,T} = (P_{L,i} - P_{PV,i}) + P_{D,i} - \sum C_T \cdot P_{Cn,i} - \sum C_{HT,c} \cdot P_{Hn,i} \quad (4.3)$$

$$P_{Wmax,D} = \sum C_D \cdot P_{Cn,i} + \min[\sum C_{HD} \cdot P_{Hn,i}, (P_{E,i} - \sum C_{HT,c} \cdot P_{Hn,i})] \quad (4.4)$$

$$P_{Wmax,i} = \min(P_{Wmax,T}, P_{Wmax,D}) \quad (4.5)$$

όπου :

- $P_{Cn,i}$  : η ονομαστική ισχύς κάθε συμβατικής μονάδας που προγραμματίζεται για ένταξη την ώρα  $i$
- $P_{Hn,i}$ : ονομαστική ισχύς των υδροστρόβιλων που προγραμματίζονται για ένταξη την ώρα  $i$
- $P_{E,i}$ : η προγραμματισμένη ισχύς παραγωγής του ΥΒΣ για την ώρα  $i$
- $C_T$  : ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου της κάθε συμβατικής μονάδας, % της ονομαστικής της ισχύος
- $C_D$  : το δυναμικό όριο διείσδυσης της κάθε συμβατικής μονάδας, % της ονομαστικής της ισχύος
- $C_{HT,c}$  : το «συμβατικό» τεχνικό ελάχιστο των υδροστρόβιλων, που προκαθορίζεται ως ποσοστό επί της ονομαστικής τους ισχύος. Αντιστοιχεί στο τεχνικό ελάχιστο των υποκαθιστώμενων συμβατικών μονάδων και όχι κατ' ανάγκην στο πραγματικό τεχνικό ελάχιστο των υδροστρόβιλων.
- $C_{HD}$  : το δυναμικό όριο διείσδυσης του κάθε υδροστρόβιλου, % της ονομαστικής του ισχύος, το οποίο
- $P_{Wmax,T}$  : η μέγιστη επιτρεπόμενη αιολική ισχύς την ώρα  $i$  λόγω του περιορισμού τεχνικού ελαχίστου
- $P_{Wmax,D}$  : η μέγιστη επιτρεπόμενη αιολική ισχύς την ώρα  $i$
- $P_{Wmax,i}$ : η μέγιστη επιτρεπόμενη αιολική ισχύς την ώρα  $i$

Όσον αφορά το "συμβατικό" τεχνικό ελάχιστο των υδροστρόβιλων,  $C_{HT,c}$ , αυτό προκαθορίζεται ως ποσοστό επί της ονομαστικής ισχύος τους και αντιστοιχεί στο τεχνικό ελάχιστο των υποκαθιστώμενων συμβατικών μονάδων (π.χ. 40% – 50%) και όχι κατ' ανάγκην στο πραγματικό τεχνικό ελάχιστο των υδροστρόβιλων.

Όσον αφορά το δυναμικό όριο διείσδυσης των υδροστρόβιλων, που καθορίζεται από την ταχύτητα δυναμικής απόκρισής τους, η τιμή του ποικίλει ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υδροηλεκτρικού σταθμού (υψομετρική διαφορά των δύο δεξαμενών, μήκος αγωγών προσαγωγής, ρυθμιστές στροφών κτλ.) του ΥΒΣ. Παρ' ότι οι υδροηλεκτρικές μονάδες παραδοσιακά αντιμετωπίζονται ως μονάδες ταχείας απόκρισης στις αναλύσεις μεγάλων ηλεκτρικών συστημάτων, παραμένει ανοικτό το ζήτημα του κατά πόσο οι υδροστρόβιλοι των ΥΒΣ διαθέτουν την αυξημένη ταχύτητα απόκρισης που είναι αναγκαία στα μικρού μεγέθους νησιωτικά συστήματα, προκειμένου να υποκαθίστανται με ασφάλεια οι συμβατικές μονάδες που πραγματοποιούν την πρωτεύουσα ρύθμιση συχνότητας.



Σχετικά με το δυναμικό όριο διείσδυσης των συμβατικών μονάδων,  $C_D$ , αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων και των ρυθμιστών τους, το είδος και τη γεωγραφική διασπορά των αιολικών πάρκων και τις ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας κάθε συστήματος, τα διατιθέμενα μέσα παρακολούθησης και ελέγχου του συστήματος κλπ. Με βάση την ακολουθούμενη μέχρι σήμερα πρακτική, το δυναμικό όριο διείσδυσης,  $C_D$ , γενικά παίρνει τιμές περί το 30% – 35% της ονομαστικής ισχύος των εν λειτουργία συμβατικών μονάδων.

### 4.3 Εσωτερική λειτουργία του ΥΒΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η λογική με βάση την οποία υποβάλλει την **Προσφορά Ενέργειας** και **Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας** ο Διαχειριστής του ΥΒΣ στο τέλος της προηγούμενης της ημέρας κατανομής, καθώς και τους περιορισμούς οι οποίοι επιβάλλονται. Επιπλέον περιγράφεται η εσωτερική λειτουργία του ΥΒΣ κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου.

#### 4.3.1 Προσφορά Ενέργειας

Ο ΔΥΒΣ στο τέλος κάθε ημέρας, έχοντας υπόψη την ποσότητα των νερών στην άνω δεξαμενή και ενδεχομένως την προβλεπόμενη παραγωγή του Α/Π του για τις επόμενες ώρες, υποβάλλει προσφορά ενέργειας τουλάχιστον ίση με την εγγυημένη ενέργεια που ζητείται από τον ΔΜΔΝ. Εφόσον ο ΔΥΒΣ έχει υποβάλει δήλωση απορρόφησης ενέργειας για να εξασφαλίσει την εγγυημένη ενέργεια του επόμενου 24ώρου, τότε η προσφερόμενη ενέργεια θα είναι υποχρεωτικά ίση με την εγγυημένη ενέργεια.

Η προσφερόμενη ενέργεια γενικά βασίζεται στα διαθέσιμα νερά της άνω δεξαμενής. Δυνητικά, για αύξηση των εσόδων μπορεί να συνεκτιμηθεί και η αναμενόμενη αιολική παραγωγή, γεγονός όμως που εισάγει πολλές αβεβαιότητες (σφάλμα πρόβλεψης του ανέμου, ταυτοχρονισμός τη αναμενόμενης αιολικής παραγωγής και της προγραμματιζόμενης παραγωγής του ΥΒΣ).

Από το κώδικα, μάλιστα, επιτρέπεται συγκεκριμένα για την λειτουργία των αιολικών πάρκων:

1. Όταν το συνολικό όριο απορρόφησης αιολικής παραγωγής είναι μεγαλύτερο από την εγκατεστημένη αιολική ισχύς των Α/Π του νησιού (εκτός ΥΒΣ), τότε η περίσσεια της ορίου αυτού διατίθεται στο Α/Π του ΥΒΣ για απευθείας έγχυση στο δίκτυο
2. Κατά τα χρονικά διαστήματα παραγωγής των υδροστροβίλων, μέρος της ισχύος εξόδου τους μπορεί να υποκαθίσταται από αιολική παραγωγή, υπό την προϋπόθεση ότι οι εν λειτουργία στρόβιλοι παρέχουν την αναγκαία δυναμική εφεδρεία.
3. Υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής και άντλησης σε περίπτωση που υπάρχει η αντίστοιχη εγκατάσταση (π.χ. μέσω διπλού αγωγού προσαγωγής-κατάθλιψης) και επαρκές μέγεθος ταμιευτήρα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποφεύγεται η απόρριψη της αιολικής παραγωγής κατά τον χρόνο λειτουργίας των στροβίλων ή λόγω υπερχείλισης των συστημάτων αποθήκευσης.

Η προτεραιότητα ως προς την αξιοποίηση της αιολικής παραγωγής διαμορφώνεται κυρίως από την εκάστοτε τιμολόγηση των ενεργειών των επιμέρους λειτουργιών του ΥΒΣ με γνώμονα την μεγιστοποίηση του κέρδους του ΥΒΣ. Στα κορεσμένα νησιωτικά συστήματα συμβαίνει συνήθως η τιμή της υδροηλεκτρικής ενέργειας να είναι υψηλότερη από την τιμή της αιολικής ενέργειας δια το συντελεστή απόδοσης του κύκλου άντλησης-παραγωγής, τότε είναι οικονομικά συμφέρουσα η αξιοποίηση της αιολικής ισχύος για άντληση. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμητέα η απευθείας έγχυση της αιολικής ισχύος στο φορτίο. Σε κορεσμένα νησιωτικά συστήματα, όπου το περιθώριο αιολικής διείσδυσης κατανέμεται πρακτικά στα Α/Π εκτός ΥΒΣ, η αξιοποίηση της αιολικής ισχύος του ΥΒΣ βάσει της έγχυσης της αιολικής ενέργειας από τον ΥΒΣ απευθείας στο δίκτυο αναμένεται να συμβαίνει σπάνια.

Πιο συγκεκριμένα η Προσφορά Ενέργειας για το επόμενο 24ωρο θα πρέπει να είναι το άθροισμα:

- της διαθέσιμης προς εκμετάλλευση υδραυλικής ενέργειας στην άνω δεξαμενή επί το συνολικό συντελεστή απόδοσης αγωγών προσαγωγής και υδροστροβίλων και
- των ποσοτήτων της προβλεπόμενης αιολικής παραγωγής ενέργειας που θα εγχυθεί απευθείας στο δίκτυο σαν ξεχωριστή παραγωγή από τα Α/Π του ΥΒΣ.

### **4.3.2 Δήλωση Απορροφόμενης Ενέργειας**

Όταν ο ΔΥΒΣ στο τέλος της ημέρας προβλέπει ότι τα ήδη αποθηκευμένα νερά στην άνω δεξαμενή (συνεκτιμώντας ενδεχομένως και την αναμενόμενη αιολική παραγωγή) δεν επαρκούν για την εξασφάλιση της εγγυημένης ενέργειας του επόμενου 24ώρου (εφόσον αυτή έχει ζητηθεί από τον ΔΜΔΝ), τότε υποβάλλεται η Δήλωση Απορροφόμενης Ενέργειας για την εξασφάλιση της εγγυημένης ενέργειας που απαιτεί ο ΔΜΔΝ για το επόμενο 24ωρο. Για να αποτραπεί η ανεξέλεγκτη απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο (πράγμα που μπορεί να ευνοεί τον ΥΒΣ όταν η τιμή παραγωγής είναι σημαντικά μεγαλύτερη της τιμής άντλησης), ο ΔΥΒΣ υπόκειται στους εξής περιορισμούς:

- Εφόσον ο ΔΥΒΣ υποβάλλει δήλωση απορρόφησης ενέργειας, η προσφορά ενέργειας δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγγυημένη ενέργεια που ζητήθηκε από το ΔΜΔΝ.
- Η δήλωση απορρόφησης ενέργειας περιορίζεται από το ποσό της ενέργειας που απαιτείται να προστεθεί στην ήδη αποθηκευμένη,  $E_H$ , ώστε να εξασφαλιστεί η παροχή της εγγυημένης,  $E_G$ , βάσει της εξίσωσης (4.1). Στην πράξη, επειδή ο ΔΜΔΝ θα είναι δύσκολο να μπορεί να γνωρίζει την αποθηκευμένη ενέργεια του ΥΒΣ κάθε στιγμή, η δήλωση απορρόφησης ενέργειας θα περιορίζεται από την τιμή της εγγυημένης ενέργειας δια τον ελάχιστο συντελεστή απόδοσης του πλήρους κύκλου (άντλησης-παραγωγής) του ΥΒΣ.

### 4.3.3 Λειτουργίας του ΥΒΣ

Αφού ο ΔΥΒΣ υποβάλει την **Προσφορά Ενέργειας** και τη **Δήλωση Απορροφόμενης Ενέργειας** για το επόμενο 24ωρο, ο ΔΜΔΝ καταρτίζει το πρόγραμμα παραγωγής και άντλησης του ΥΒΣ και ανακοινώνει στον ΔΥΒΣ την ανά ώρα προγραμματισμένη ισχύ παραγωγής των υδροστροβίλων, καθώς και την προγραμματισμένη ισχύ άντλησης από το δίκτυο όταν έχει υποβληθεί Δήλωση Απορρόφησης Ενέργειας.

Ο Διαχειριστής του ΥΒΣ, γνωρίζοντας την ισχύ κατανομής των μονάδων ανά ώρα, κάνει ωριαίο προγραμματισμό ένταξης των στροβίλων με μόνο περιορισμό η συνολική ικανότητα των προς ένταξη υδροστροβίλων,  $P_{Hn,i}$ , να είναι μεγαλύτερη ή ίση της προγραμματισμένης ισχύος παραγωγής την αντίστοιχη ώρα,  $P_{E,i}$ . Τονίζεται ότι κατά τη φάση της λειτουργίας η πραγματική ωριαία παραγωγή,  $P_{H,i}$ , των στροβίλων μπορεί να είναι μικρότερη από την προγραμματισμένη,  $P_{E,i}$ , προκειμένου οι στροβίλοι να παρέχουν στρεφόμενη εφεδρεία για την απορρόφηση της αιολικής παραγωγής των πάρκων εκτός ΥΒΣ, όπως ακριβώς συμβαίνει με τις συμβατικές μονάδες τις

οποίες υποκαθιστούν οι υδροστρόβιλοι. Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν υπάρχει αυξημένη παραγωγή από τα αιολικά πάρκα εκτός ΥΒΣ. Τότε η υποφόρτιση των στροβίλων μπορεί να φτάσει μέχρι το "συμβατικό" τεχνικό ελάχιστό τους (π.χ. 50%), υπό την

προϋπόθεση ότι έχει προηγηθεί η υποφόρτιση των συμβατικών μονάδων του συστήματος.

Η ισχύς  $P_{H,i}$  που παράγει ο ΥΒΣ μπορεί μερικώς να προέρχεται από το Α/Π του ΥΒΣ, οπότε οι Α/Γ υποκαθιστούν ισχύ των υδροστρόβιλων με υποφόρτιση των τελευταίων. Η περίπτωση όμως αυτή πέραν του ότι αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα στον έλεγχο του όλου συστήματος, προϋποθέτει εξαιρετικά ταχεία δυναμική απόκριση από τους υδροστρόβιλους, ώστε να μπορούν να καλύψουν τις όποιες διακυμάνσεις της αιολικής παραγωγής ή την απώλειά της, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ευσταθής λειτουργία του συστήματος. Επειδή η υπόθεση αυτή ελέγχεται ως προς τη βασιμότητά της, το ενδεχόμενο υποκατάστασης της προγραμματισμένης ισχύος παραγωγής των υδροστρόβιλων από τα αιολικά του ΥΒΣ δεν υιοθετείται στον αλγόριθμο προσομοίωσης. Ούτως ή άλλως η περίπτωση αυτή δεν αντιμετωπίζεται θετικά και από τον ΔΜΔΝ, λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας του ελέγχου που συνεπάγεται.

Γενικότερα όσον αναφορά ως προς τις προτεραιότητες ως προς την αξιοποίηση της αιολικής παραγωγής του ΥΒΣ, αυτές έχουν ως εξής:

1. Η διαθέσιμη αιολική παραγωγή αξιοποιείται πρωτίστως για άντληση.
2. Η περίσσεια αιολικής παραγωγής, η οποία δεν μπορεί να αντληθεί (είτε λόγω πληρότητας της άνω δεξαμενής είτε λόγω περιορισμένης ικανότητας του αντλητικού σταθμού), διατίθεται απ' ευθείας στο δίκτυο όταν υπάρχει περίσσεια set-point (δηλαδή τις ώρες που η ικανότητα απορρόφησης αιολικής ισχύος από το δίκτυο υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών εκτός ΥΒΣ).
3. Αν μείνει ανεκμετάλλευτη αιολική παραγωγή, τότε η περίσσεια απορρίπτεται (περικοπή παραγωγής Α/Π του ΥΒΣ)

#### **4.3.4 Ισοζύγιο Ισχύος του ΥΒΣ**

Σε όλες τις χρονικές περιόδους του έτους και για οποιαδήποτε πιθανή κατάσταση λειτουργίας του ΥΒΣ, θα πρέπει να ικανοποιείται η εξίσωση (4.5), η οποία εκφράζει το ισοζύγιο ισχύος του σταθμού, ώστε η λειτουργία του να ανταποκρίνεται στον ημερήσιο προγραμματισμό που έχει προηγηθεί. Στο συγκεκριμένο ισοζύγιο δεν περιλαμβάνεται η ισχύς των αιολικών που δίνεται απ' ευθείας στο δίκτυο μέσω της συμμετοχής του Α/Π του ΥΒΣ.

$$P_{HT} + P_{HW} - P_P = P_H \quad (4.6)$$

όπου,

$P_{HT}$  : η ισχύς λειτουργίας των υδροστρόβιλων του ΥΒΣ

$P_{HW}$  : η ισχύς λειτουργίας του Α/Π του ΥΒΣ

$P_P$  : η ισχύς των αντλιών του ΥΒΣ

$P_H$  : η ολική ισχύς του ΥΒΣ (θετική όταν παράγει και αρνητική όταν απορροφά ενέργεια από το δίκτυο)

Η σχέση (4.5) εκφράζει την απαίτηση η ισχύς εξόδου των υδροστρόβιλων μαζί με την καθαρή αιολική παραγωγή και αφού αφαιρεθεί η τυχόν άντληση, να ισούται με την ισχύ κατανομής του ΥΒΣ, με τις όποιες αποκλίσεις να οφείλονται στη συμμετοχή των μονάδων του ΥΒΣ στην πρωτεύουσα ρύθμιση συχνότητας του συστήματος. Σε κατάσταση άντλησης από το δίκτυο, η παραπάνω ισχύς  $P_H$  είναι προφανώς αρνητική. Μη τήρηση του ισοζυγίου κατά τη φάση της λειτουργίας έχει ως αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση του συνολικού φορτίου του συστήματος από το φορτίο για το οποίο έγινε ο προγραμματισμός λειτουργίας του συστήματος από το ΔΜΔΝ (π.χ. όταν η ισχύς άντλησης υπερβαίνει σημαντικά την παραγωγή του Α/Π του ΥΒΣ, χωρίς να έχει υποβληθεί δήλωση απορρόφησης ενέργειας). Αυτό μπορεί να έχει ως συνέπεια έλλειμμα ή πλεόνασμα παραγωγής στο σύστημα, καταστάσεις κατ' αρχήν μη αποδεκτές όταν οι σχετικές αποκλίσεις είναι σημαντικές.

Προκειμένου να τηρείται το ισοζύγιο ισχύος σε κατάσταση αντλησιοαιολικής συνεργασίας, πρέπει να εξασφαλίζεται κατά το δυνατόν ισορροπία μεταξύ της αιολικής ισχύος και της ισχύος των αντλιών. Μάλιστα, προκειμένου να περιοριστεί το μέγεθος των αποκλίσεων ισχύος με ταξύ παραγωγής Α/Π και λειτουργίας αποθηκευτικών μονάδων, για λόγους ασφάλειας του συστήματος, καθορίστηκαν συγκεκριμένα όρια αποκλίσεων στο υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο, τα οποία αναγράφονται και σε άδειες παραγωγής που έχουν εκδοθεί από τη ΡΑΕ για ΥΒΣ.

Συγκεκριμένα, ορίζεται ανοχή η οποία δεν υπερβαίνει για τις αντίστοιχες ποσότητες ενέργειας, το 5% ωριαίως και το 3% ημερησίως. Επιπλέον, η απόκλιση της παραγόμενης ισχύος του αιολικού σταθμού και του αντλητικού συστήματος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα αντίστοιχα όρια στιγμιαίας λειτουργίας που θα καθοριστούν στον υπό έκδοση ΚΔΜΔΝ. Για την επίτευξη των παραπάνω ορίων, βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της αιολικής ισχύος (της τάξης της μιας ώρας μπροστα) θα πρέπει να εφαρμόζεται για τον προγραμματισμό της ένταξης των απαιτούμενων αντλιών. Σε πραγματικό χρόνο τώρα, η μεταβλητότητα της αιολικής ισχύος θα αντισταθμίζεται από το αντλιοστάσιο, χρησιμοποιώντας το παρεχόμενο περιθώριο ρύθμισης των αντλιών μεταβλητών στροφών (~ 40 – 50% της ονομαστικής τους ισχύος). Στην περίπτωση των αντλιών σταθερών στροφών, η παρακολούθηση της

αιολικής ισχύος είναι δυνατή μέχρι κάποιο βαθμό, μέσω χειρισμών σύνδεσης/αποσύνδεσης του απαιτούμενου αριθμού αντλιών. Μεγάλες αυξήσεις της αιολικής ισχύος, που υπερβαίνουν τη μέγιστη ισχύ των αντλιών σε λειτουργία, θα αντιμετωπίζονται με περικοπές αιολικής ισχύος. Από την άλλη μεγάλες μειώσεις της αιολικής ισχύος θα αντιμετωπίζονται με αποσύνδεση του απαιτούμενου αριθμού αντλιών (εφόσον δεν επαρκεί το περιθώριο ρύθμισης των αντλιών μεταβλητών στροφών).

Στην περίπτωση της υδροαιολικής συνεργασίας, οι υδροστρόβιλοι θα πρέπει να αντισταθμίζουν τη μεταβλητότητα της αιολικής ισχύος, έτσι ώστε η συνολική ισχύς που δίνεται στο σύστημα από το συνδυασμό ΥΗΣ και Α/Π ΥΒΣ να ακολουθεί την κατανεμόμενη ισχύ του ΥΒΣ. Γί αυτόν το σκοπό, η ισχύς εξόδου των υδροστρόβιλων θα ελέγχεται βάσει των άμεσων μετρήσεων της αιολικής ισχύος του ΥΒΣ, ενώ παράλληλα απαιτείται και ρύθμιση συχνότητας από τις Α/Γ του ΥΒΣ ώστε να αντισταθμιστούν οι όποιες αρνητικές επιπτώσεις της υδροαιολικής συνεργασίας στο σύστημα λόγω της σχετικά αργής απόκρισης των υδροστρόβιλων, όπως προέκυψε από το προηγούμενο κεφάλαιο. Όταν οι υδροστρόβιλοι φτάνουν στα τεχνικά τους ελάχιστα, τότε θα περικόπεται αιολική ισχύς.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για την τήρηση του ισοζυγίου ισχύος κάθε χρονική στιγμή, απαιτείται ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου του ΥΒΣ, το οποίο θα παρακολουθεί και θα συντονίζει τη λειτουργία των επιμέρους συνιστωσών του και λαμβάνοντας υπόψη τις κατανεμόμενες ισχύεις παραγωγής και άντλησης του ΥΒΣ, θα υπολογίζει και θα αποστέλλει τα κατάλληλα set-points ισχύος στις μονάδες του ΥΒΣ.

## **4.4 Τιμολόγηση του ΥΒΣ**

### **4.4.1 Γενικές αρχές τιμολόγησης ΥΒΣ**

Σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του νόμου 3468/2006 και του σχετικού Κανονισμού Αδειών, διακρίνεται ξεχωριστή τιμολόγηση της ενέργειας (που απορροφάται από ή παρέχεται στο Δίκτυο) και της διαθεσιμότητας ισχύος των υβριδικών σταθμών. Ακολουθούν κάποιες γενικές αρχές τιμολόγησης ενός ΥΒΣ

1. Η τιμολόγηση της ενέργειας που παρέχεται στο Δίκτυο από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής ΥΒΣ θα πρέπει να βασίζεται και να προσαρμόζεται στο πραγματικά αποφευγόμενο κόστος λειτουργίας του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος του νησιού όπου συνδέονται.

2. Ομοίως η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Δίκτυο για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης ΥΒΣ θα πρέπει να βασίζεται και να προσαρμόζεται στο πραγματικά επιβαλλόμενο κόστος λειτουργίας του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος για την εξυπηρέτηση της άντλησης.

3. Τέλος η τιμολόγηση της διαθέσιμης ισχύος ΥΒΣ θα πρέπει να βασίζεται και να προσαρμόζεται στο πραγματικά αποφευγόμενο κόστος ανάπτυξης του αυτόνομου δυναμικού παραγωγής του ηλεκτρικού συστήματος, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του νόμου 3468/2006 και του σχετικού Κανονισμού Αδειών.

4. Καθόσον καθιερώνεται τίμημα για διαθεσιμότητα εγγυημένης ισχύος, καθιερώνεται επίσης και επιβολή προστίμου για τη συστηματική και καταχρηστική αδυναμία διάθεσης μέρους ή του συνόλου της εγγυημένης ισχύος ΥΒΣ στις Ημέρες Κατανομής που απαιτείται από τον αρμόδιο Διαχειριστή. Το επιβαλλόμενο πρόστιμο πρέπει να αντανακλά το κόστος εγκατάστασης πρόσθετου δυναμικού για την εξυπηρέτηση της ζήτησης, το οποίο προκαλείται από τη μη παροχή των εγγυημένων μεγεθών του ΥΒΣ. Η επιβολή τέτοιου προστίμου πρέπει να είναι συμβατή με ανάλογη επιβολή προστίμου και σε συμβατικές ή άλλες ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής για τις οποίες προβλέπεται τίμημα διαθεσιμότητας ισχύος.

## **4.4.2 Κανόνες τιμολόγησης ΥΒΣ**

Οι πληρωμές και χρεώσεις που αφορούν σε μονάδες Υβριδικών Σταθμών υπολογίζονται σε μηνιαία βάση, με βάση τις μετρήσεις που προκύπτουν από την πραγματική λειτουργία της Μονάδας κατά το μήνα που εκκαθαρίζεται.

Για τους ΥΒΣ προσδιορίζονται διακριτά αμοιβές ως εξής:

α) αμοιβή για την έγχυση ενέργειας στο Σύστημα ΜΔΝ, με βάση τις τιμολογήσεις που προβλέπονται από τις σχετικές κείμενες διατάξεις, καθώς και τους σχετικούς Ειδικούς Όρους των οικείων Αδειών Παραγωγής και Συμβάσεων Πώλησης.

β) αμοιβή για την Διαθεσιμότητα Ισχύος, για τους σταθμούς για τους οποίους αυτή προβλέπεται από τις κείμενες διατάξεις, με βάση τα οριζόμενα στις διατάξεις αυτές, καθώς και στους σχετικούς Ειδικούς Όρους των οικείων Αδειών Παραγωγής και Συμβάσεων Πώλησης.

γ) αμοιβή για Επικουρικές Υπηρεσίες τις οποίες παρέχουν υποχρεωτικά ή κατόπιν επιλογής τους.

Προβλέπεται όμως και η επιβολή προστίμου στους ΥΒΣ σε περίπτωση αδυναμίας απόδοσης της Εγγυημένης Ισχύος στο Δίκτυο.

#### **4.4.2.1 Αμοιβή για την Παραγόμενη Ενέργεια**

Σύμφωνα και με το πνεύμα του νόμου, η τιμολόγηση της παραγόμενης από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής ΥΒΣ (οπ.χ. υδροστροβίλους) πρέπει να αντανakλά το αποφευγόμενο κόστος παραγωγής, δηλαδή το μέσο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων αιχμής που απεντάσσονται ή υποφορτίζονται. Περαιτέρω, σύμφωνα με την Απόφαση 6/Φ1/οικ.5707/3.04.2007, οι τιμές με τις οποίες τιμολογείται η ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται στο δίκτυο του νησιού από τις μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής, η ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο για την πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης, καθώς και η αποζημίωση για τη διαθεσιμότητα ισχύος των ΥΒΣ, είναι ενιαίες για όλους τους ΥΒΣ που λειτουργούν στο νησί, υπό την προϋπόθεση ότι αυτοί χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία και λειτουργούν με τους ίδιους όρους και περιορισμούς. Για τους λόγους αυτούς, οι τιμές πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να καθορίζονται εκ των προτέρων με βάση το μέσο μεταβλητό κόστος των μονάδων αιχμής και των μονάδων βάσης αντίστοιχα, όπως αυτές ορίζονται στην παραπάνω Απόφαση. Ειδικότερα για την παρεχόμενη ενέργεια από τις ελεγχόμενες μονάδες ΥΒΣ, η τιμή αγοράς της ενέργειας αυτής παραμένει η ίδια, ακόμα και σε περίπτωση εισόδου σημαντικής ισχύος ΥΒΣ σε ένα νησί, οι οποίοι υποκαθιστούν και ενέργεια μέσου φορτίου, ή και φορτίου βάσης.

Το κόστος παραγωγής των συμβατικών μονάδων μεταβάλλεται σε βάθος χρόνου, ανάλογα με την κατά περίπτωση ανάπτυξη της συμβατικής παραγωγής, γεγονός που πρέπει να αποτυπώνεται στις συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, που θα συναφθούν μεταξύ παραγωγού από ΥΒΣ και Διαχειριστή ΜΔΝ. Ο νόμος ήδη περιλαμβάνει σχετική πρόβλεψη, υπό τη μορφή δυνατότητας αναπροσαρμογής, η οποία είναι σκόπιμο να ενσωματωθεί ως ρητή πρόβλεψη στην Άδεια Παραγωγής και τις Συμβάσεις που θα συνάπτονται (Άρθ.13, παρ.7). Στην αναπροσαρμογή των τιμών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι ουσιαστικές μεταβολές που πραγματοποιούνται στη δομή του συστήματος παραγωγής του νησιού, αλλά και η οικονομική βιωσιμότητα των ΥΒΣ.

Οι μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής του ΥΒΣ υποκαθιστούν συμβατικές μονάδες μέσου ή και υψηλού φορτίου ή ακόμα και φορτίου βάσης, οι οποίες παρέχουν πρωτεύουσα εφεδρεία και πραγματοποιούν την πρωτεύουσα ρύθμιση συχνότητας, καθώς και την κύρια ρύθμιση τάσης. Συνεπώς, οι μονάδες του ΥΒΣ θα πρέπει να παρέχουν ανάλογες υπηρεσίες, οι οποίες δεν μπορούν να τιμολογηθούν ως επικουρικές υπηρεσίες, στον βαθμό που δεν τιμολογούνται οι αντίστοιχες υπηρεσίες για τις συμβατικές μονάδες παραγωγής των νησιών.



#### **4.4.2.2 Αμοιβή για την Διαθεσιμότητα Ισχύος**

Η αποζημίωση της διαθεσιμότητας ισχύος υπολογίζεται με βάση το κόστος νέου συμβατικού σταθμού, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 3468/2006. Η εγγυημένη ισχύς ΥΒΣ για την οποία εισπράττεται τίμημα διαθεσιμότητας ισχύος, προσδιορίζεται στην άδεια παραγωγής του σταθμού. Δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας παραγωγής σε υφιστάμενο σταθμό, αλλά το κόστος κατασκευής νέου σταθμού στο νησί, παρότι σε ορισμένα νησιά η κατασκευή νέου σταθμού δεν φαίνεται πολύ πιθανή. Η δυνατότητα όμως, εισόδου νέων παραγωγών στα νησιά, βάσει του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου, επιβάλλει την τιμολόγηση της διαθεσιμότητας ισχύος ΥΒΣ με τον τρόπο αυτό.

#### **4.4.2.3 Αμοιβή για τις επικουρικές υπηρεσίες**

Το ύψος των πληρωμών προς κάθε μονάδα Υβριδικού Σταθμού, για τη παροχή των αμειβόμενων Επικουρικών Υπηρεσιών που αυτές παρέχουν, υπολογίζεται σε μηνιαία βάση, για κάθε Περίοδο Κατανομής κάθε Ημέρας Κατανομής του μήνα εκκαθάρισης. Για την παροχή των Επικουρικών Υπηρεσιών, ο Παραγωγός του οποίου οι μονάδες εντάχθηκαν στο Πρόγραμμα Κατανομής και λειτούργησαν σε συγκεκριμένη Περίοδο Κατανομής, δικαιούται να εισπράττει τίμημα για κάθε κατηγορία Επικουρικής Υπηρεσίας που προσφέρει η μονάδα αυτή, το οποίο προκύπτει από την τιμολόγηση της δυνατότητας της μονάδας, σε MW, για παροχή της Επικουρικής Υπηρεσίας, βάσει των σχετικών καταχωρημένων χαρακτηριστικών της, στην αντίστοιχη τιμή, σε €/MW, που προβλέπεται για την παροχή Επικουρικών Υπηρεσιών.

#### **4.4.2.4 Επιβολή προστίμου σε ΥΒΣ**

Ο υπολογισμός προστίμου, λόγω συστηματικής αδυναμίας διάθεσης της εγγυημένης ισχύος και ενέργειας ΥΒΣ όταν απαιτείται από το Διαχειριστή, θα γίνεται σε ετήσια περίοδο, με βάση τις ημέρες όπου υπήρξε αίτημα του Διαχειριστή για απόδοση της εγγυημένης ισχύος και ενέργειας, την σχετική μη πλήρωση της υποχρέωσης από τον ΥΒΣ, την απορρόφηση ενέργειας για πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης, και τις ενδεχόμενες επιπτώσεις σε περικοπή φορτίου.

Το επιβαλλόμενο πρόστιμο θα ενεργοποιείται, πάνω από ένα ποσοστό ημερών αστοχίας, ακολούθως θα αποδίδει επιεική και αναλογική αποζημίωση, και θα καταλήγει σε αυστηρό μέγεθος ποινής, στις περιπτώσεις μεγάλης αστοχίας.

Ακολουθεί μία προτεινόμενη μεθοδολογία που μπορεί να ακολουθηθεί από το Διαχειριστή για τον υπολογισμό του προστίμου που πρέπει να πληρώσει ένας ΥΒΣ:

1. Για κάθε Ημέρα Κατανομής  $d$  αιτήσεως από τον Διαχειριστή μέρους ή συνόλου της εγγυημένης ενέργειας υπολογίζεται ένας δείκτης αστοχίας που εκφράζει την ποσοστιαία διαφορά μεταξύ της αιτούμενης ενέργειας και της πραγματικά δοθείσας:

$$\Delta d = \frac{\alpha_d \cdot E_G - E_{RT,d}}{\alpha_d \cdot E_G} \quad (4.7)$$

Όπου:

$\alpha_d$ : ποσοστό της εγγυημένης ενέργειας που ζητήθηκε την Ημέρα Κατανομής  $d$ , (τιμές στο διάστημα  $(0,1]$  )

$E_G$ : Η εγγυημένη ενέργεια του ΥΒΣ

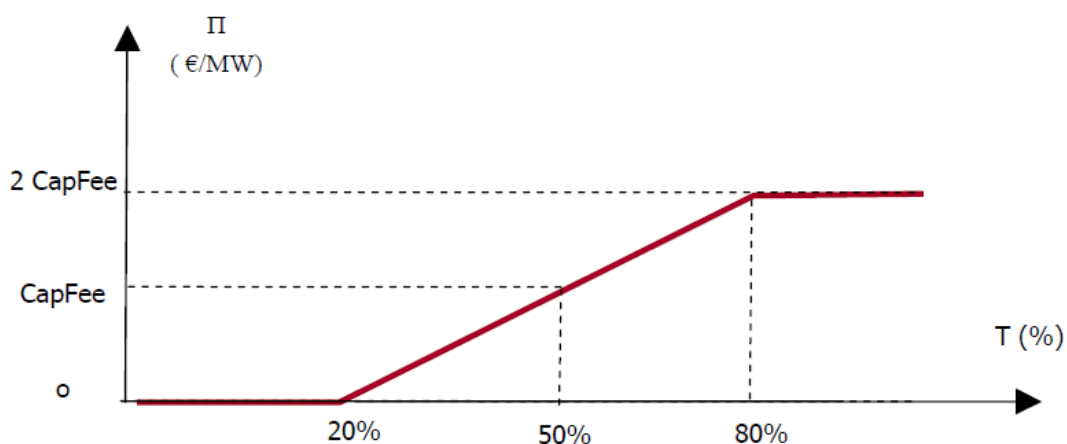
$E_{RT,d}$ : η τελικώς δοθείσα ενέργεια από ΥΒΣ της Ημέρα Κατανομής  $d$ , κατά τις Ώρες Κατανομής που ζητήθηκε η παροχή Εγγυημένης Ενέργειας και Ισχύος

Ο ημερήσιος δείκτης αστοχίας  $d$  λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[0,1]$ .

2. Ακολούθως, υπολογίζεται η μέση τιμή του άνω όρου για κάθε τρίμηνο (τα τρίμηνα αντιστοιχούν στις εποχές του έτους), με βάση τον αριθμό ημερών  $k$  αιτήσεως από τον Διαχειριστή μέρους ή συνόλου της εγγυημένης ενέργειας:

$$T = \frac{1}{k} \cdot \sum_{d \in k} \Delta d \quad (4.8)$$

3. Τέλος με βάση τον μέσο τριμηνιαίο όρο αστοχίας  $T$ , το πρόστιμο  $\Pi$  που αντιστοιχεί σε κάθε τρίμηνο υπολογίζεται σε €/MW ως εξής:



**Εικόνα 4-1** Υπολογισμός προστίμου που αντιστοιχεί σε έναν ΥΒΣ σε περίπτωση αστοχίας του όπου CapFee το αντίστοιχο τίμημα Διαθεσιμότητας Ισχύος.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υβριδικός Σταθμός Ικαρίας

## 5.1 Εισαγωγή

Ο Υβριδικός Σταθμός της Ικαρίας είναι έργο της ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε., εταιρία 100% θυγατρική της ΔΕΗ, που ασχολείται αποκλειστικά με έργα που αξιοποιούν τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η σύλληψη και μελέτη του έργου αυτού πραγματοποιήθηκε από τη Διεύθυνση Υδροηλεκτρικής Παραγωγής (ΔΥΗΠ, πρώην ΔΑΥΕ) της ΔΕΗ Α.Ε. και πλέον βρίσκεται στη φάση της κατασκευής. Για την αδειοδότηση του συγκεκριμένου έργου σύμφωνα με το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο για ΥΒΣ στην Ελλάδα, απαιτήθηκαν εκτεταμένες τεχνικοενεργειακές μελέτες, [18], που περιλάμβαναν τον καθορισμό συγκεκριμένης πολιτικής διαχείρισης για το σταθμό και το νησιωτικό σύστημα, καθώς επίσης την αξιολόγηση των αναμενόμενων επιπτώσεων από τη λειτουργία του ΥΒΣ στο σύστημα της Ικαρίας. Αποτελέσματα αυτών των μελετών θα παρουσιαστούν και σε επόμενα κεφάλαια της διπλωματικής αυτής στην παρούσα ενότητα, βασιζόμενα σε πραγματικά χαρακτηριστικά του ΥΒΣ και δεδομένα του συστήματος ισχύος της Ικαρίας.

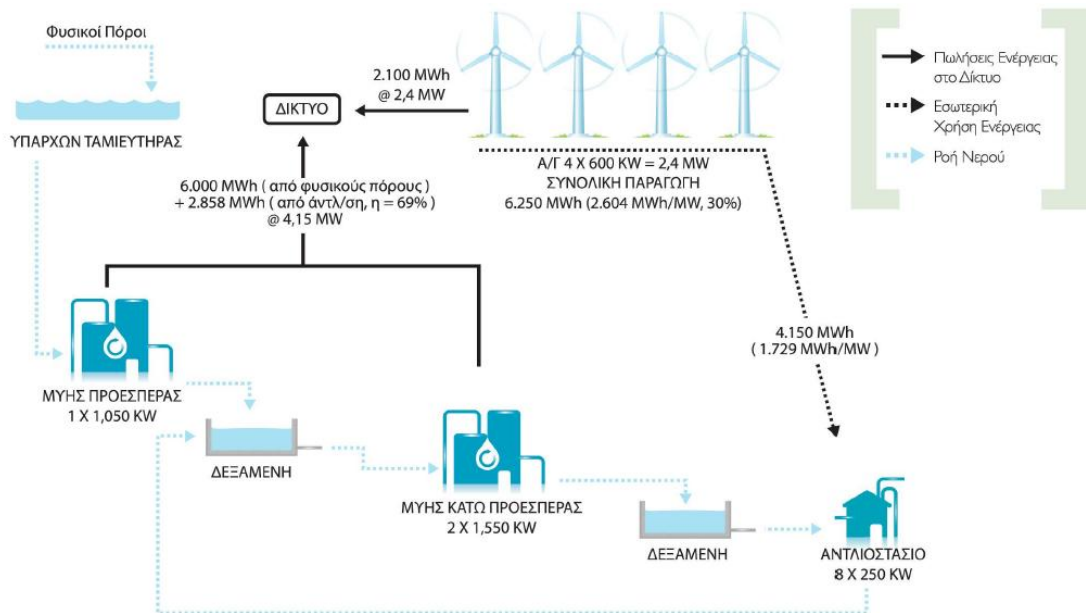
Πρόκειται για το πρώτο έργο του είδους του στην Ελλάδα. Επιτρέπει αφενός την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων (βροχόπτωση), αλλά και την καλύτερη απορρόφηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Λειτουργεί ως ταμιευτήρας που αποθηκεύει το πλεόνασμα ενέργειας από ασταθείς πηγές, όπως είναι η αιολική πηγή ενέργειας, και το διαθέτει όταν ζητηθεί στην κατανάλωση. Επιλέχθηκε να εγκατασταθεί σε ΑΣΠ νησιού, ώστε να αυξήσει την διείσδυση ΑΠΕ, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση πετρελαίου. Οι πετρελαιομηχανές έχουν πολύ υψηλό κόστος λειτουργίας, αλλά χρησιμοποιούνται αναγκαστικά στα ΑΣΠ των νησιών, λόγω της ευκολίας μεταφοράς του καυσίμου. Η παραγωγή ενέργειας στα ΑΣΠ που λειτουργούν με πετρέλαιο κοστίζει πολλαπλάσια περισσότερο απ' ό τι στην ηπειρωτική χώρα. Επιπλέον στα νησιά η πώληση ενέργειας σε σχέση με τις υποδομές που κατασκευάζονται είναι μικρή, εκτός από τους μήνες του καλοκαιριού όπου αυξάνεται η ζήτηση ενέργειας.

## 5.2 Περιγραφή έργου

### 5.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του έργου

Στην Εικόνα 5-1 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα του υβριδικού σταθμού της Ικαρίας. Η εγκατάσταση του σταθμού γίνεται στην τοποθεσία Προεσπέρα, στην βορειοδυτική πλευρά του νησιού. Συνοπτικά θα περιλαμβάνει:

- Έναν υφιστάμενο ταμιευτήρα στη θέση Πεζί Ραχών ( $900000 \text{ m}^3$ ) που έχει κατασκευαστεί από το Υπουργείο Γεωργίας για λόγους ύδρευσης και άρδευσης. Η περίσσεια νερών αυτής της δεξαμενής θα χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



**Εικόνα 5-1:** Διάγραμμα και χαρακτηριστικά του έργου

- Δύο τεχνητές λιμνοδεξαμενές, που θα γεμίζουν από την υπερχειλίση του ήδη υπάρχοντος αδρευτικού ταμιευτήρα στο Πεζί Ραχών, στις θέσεις Προεσπέρα (άνω δεξαμενή, Εικόνα 5-2) και Κάτω Προεσπέρα (κάτω δεξαμενή), με εκμεταλλεύσιμο όγκο περίπου  $80000 \text{ m}^3$  έκαστη, για λόγους αντλησιοταμίευσης. Οι δύο αυτές δεξαμενές αντλησιοταμίευσης συνδέονται μέσω διπλού αγωγού, ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη παραγωγή και άντληση.
- Δύο Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΜΥΗΣ) δεξαμενής, υψηλής πίεσης ( $>100 \text{ m}$ ), εξοπλισμένους με υδροστρόβιλους τύπου Pelton. Τον ΜΥΗΣ Προεσπέρας με έναν υδροστρόβιλο ισχύος 1.05 MW, που θα αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα Πεζίου (αφού πρώτα ικανοποιηθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή

και άρδευση) και τον ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας με δύο υδροστρόβιλους ισχύος  $2 \times 1.55 \text{ MW} = 3.1 \text{ MW}$ , που θα αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα Πεζίου όσο και νερά που προέρχονται από τη λειτουργία της αντλιοσταμίου.



**Εικόνα 5-2:** Κατασκευή άνω Δεξαμενής

- Το αντλιοστάσιο του ΥΒΣ θα εγκατασταθεί στην Κάτω Προεσπέρα και θα αποτελείται από 8 αντλίες σταθερών στροφών εγκατεστημένης ισχύος  $8 \times 250 = 2000 \text{ kW}$  (ονομαστική ηλεκτρική ισχύς κινητήρων).
- Η ισχύς του αντλιοστασίου θα καλύπτεται από ένα αιολικό πάρκο τεσσάρων ανεμογεννητριών ισχύος  $4 \times 0.6 = 2.4 \text{ MW}$  στη τοποθεσία Στραβοκουντούρα Ραχών.

Η απόληψη του νερού από το φράγμα γίνεται για την ύδρευση με πλωτή υδροληψία, ενώ για την άρδευση υπάρχει μέσα στην λίμνη πύργος υδροληψίας με εσχάρες, από τον οποίο το νερό οδηγείται με αγωγό στον θάλαμο των δικλείδων. Στον θάλαμο των δικλείδων είναι εγκατεστημένες μία δικλείδα απομόνωσης τύπου "πεταλούδας", μία δικλείδα καταστροφής ενέργειας τύπου "βελόνας" για την εκκένωση καθώς και διακλάδωση με δικλείδα τύπου "πεταλούδας" για την τροφοδότηση των αρδεύσεων. Η περιοχή του φράγματος εξυπηρετείται με αγροτική οδό από το χωριό Πέζι. Οι θέσεις που προβλέπεται να κατασκευαστούν οι δεξαμενές, το Αντλιοστάσιο και οι Μικροί ΥΗΣ είναι περιοχές που εξυπηρετούνται με υπάρχοντες αγροτικούς δρόμους και δεν υπάρχει αυτή την στιγμή καμία ιδιαίτερη εκμετάλλευση. Το

αιολικό πάρκο θα εγκατασταθεί δυτικά του φράγματος των Ραχών στην περιοχή του λόφου Στραβοκουντούρα και θα εξυπηρετείται με υπάρχοντες αγροτικούς δρόμους, οι οποίοι θα βελτιωθούν. Επίσης θα κατασκευασθούν νέοι δρόμοι συνολικού μήκους 4 km περίπου.

Ακολουθεί χάρτης του νησιού όπου φαίνονται οι διάφορες περιοχές του νησιού και οι εγκαταστάσεις του ΥΒΣ.



**Εικόνα 5-3:** Χάρτης του νησιού με τις περιοχές που βρίσκονται όλα τα τμήματα του ΥΒΣ της Ικαρίας

Ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου ΥΒΣ, που το διαφοροποιεί από τη συνήθη διαμόρφωση ΥΒΣ που περιγράφηκε στην ενότητα 2.1, είναι ότι εκτός από τις δύο δεξαμενές που εξυπηρετούν τις ανάγκες της αντλησιοταμίευσης για την απορρόφηση της αιολικής παραγωγής, υφίσταται και ένας τρίτος ταμιευτήρας στα ανάντη της άνω δεξαμενής αντλησιοταμίευσης, η περίσσεια υδάτων του οποίου εισρέει στην τελευταία μέσω ενός επιπλέον ΥΗΣ. Η διαμόρφωση δηλαδή του ΥΒΣ της Ικαρίας επιτρέπει την αξιοποίηση δύο μορφών ΑΠΕ, της αιολικής μέσω της αντλησιοταμίευσης και της υδροηλεκτρικής μέσω της εκμετάλλευσης των διαθέσιμων υδάτων του ταμιευτήρα. Γι' αυτόν το σκοπό απαιτείται κατάλληλη πολιτική εσωτερικής λειτουργίας του ΥΒΣ, η οποία θα εξασφαλίσει την αποδοτική αξιοποίηση των δύο μορφών ΑΠΕ. Σε επόμενη παράγραφο αναλύεται η πολιτική λειτουργίας που πρέπει να ακολουθηθεί από τον συγκεκριμένο ΥΒΣ.

Το Έργο παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο διότι πέραν του ότι είναι αναπτυξιακό και βιώσιμο με ανταγωνιστικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, είναι πιλοτικό γιατί παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας στις δεξαμενές του στις ώρες χαμηλού φορτίου, την οποία αποδίδει τις ώρες αιχμής και έτσι επιτυγχάνει αυξημένη διείσδυση των

ΑΠΕ (αιολικά) στο σύστημα. Η λειτουργία του ρυθμίζεται από ένα "έξυπνο" Σύστημα Κατανομής Φορτίου, το οποίο με κατάλληλο λογισμικό θα ελέγχει και θα ρυθμίζει όλες τις πηγές ενέργειας του νησιού συμπεριλαμβανομένων των θερμικών μονάδων καθώς και το δίκτυο μεταφοράς. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί και σε άλλα απομονωμένα νησιωτικά συγκροτήματα στη Ελλάδα και στο εξωτερικό όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση τους όρους περιβαλλοντικής αδειοδότησης του έργου, η λειτουργία των δύο ΥΗΣ διέπεται από υποχρεώσεις που έχουν σκοπό την εξασφάλιση της επάρκειας του ταμιευτήρα Πεζίου για σκοπούς ύδρευσης και άρδευσης. Συγκεκριμένα, δεν επιτρέπεται η λειτουργία του ΥΗΣ Προεσπέρας τη θερινή περίοδο (1η Μαΐου - 30η Σεπτεμβρίου), ενώ το υπόλοιπο διάστημα του έτους, 1η Οκτωβρίου έως 30η Απριλίου (αποκαλούμενη ως χειμερινή περίοδος), τίθενται απαιτήσεις ελάχιστης στάθμης νερού στον ταμιευτήρα Πεζίου. Προκειμένου να ανταποκριθεί η διαχείριση του ταμιευτήρα στις σύνθετες αυτές απαιτήσεις, καταρτίστηκε από τους μελετητές της ΔΥΗΠ (πρώην ΔΑΥΕ) σενάριο ελάχιστου επιτρεπτού όγκου νερού στον ταμιευτήρα για το χρονικό διάστημα της ενεργειακής λειτουργίας του, δηλαδή τη χειμερινή περίοδο. Οι περιορισμοί στους οποίους υπόκειται ο Διαχειριστής του ΥΒΣ (ΔΥΒΣ) ως προς την αξιοποίηση των νερών του ταμιευτήρα Πεζίου παρουσιάζονται λεπτομερώς και σε επόμενες ενότητες όπου παρουσιάζονται και η άδεια παραγωγής του συγκεκριμένου έργου.

## 5.2.2 Οικονομικά στοιχεία

Τα έργα εγκαινιάστηκαν τον Οκτώβριο του 2010 και υλοποιούνται από την κατασκευαστική ENET A.E. για λογαριασμό της "Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες Α.Ε." (θυγατρική της ΔΕΗ). Το κόστος της συνολικής επένδυσης ανέρχεται περίπου σε 23 εκατομμύρια € και περιλαμβάνει: χωματουργικές εργασίες, κτιριακές εγκαταστάσεις, υδροστροβίλους, αγωγούς νερού (σωληνώσεις), γραμμές μεταφοράς ενέργειας, γραμμές επικοινωνίας (οπτικές ίνες) και εγκατάσταση εποπτικού συστήματος SCADA. Η αίθουσα ελέγχου του ΤΣΠ Αγίου Κηρύκου πρόκειται να ανακαινιστεί και να φιλοξενήσει το αναβαθμισμένο Κέντρου Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου (ΚΕΚΦ). Θα διαθέτει κεντρικό SCADA, το οποίο μέσω δικτύου οπτικών ινών θα ελέγχει όλες τις ενεργειακές πηγές του νησιού, δηλαδή θερμικές μονάδες του ΤΣΠ, το υβριδικό έργο (Α/Π, 2 ΜΥΗΣ) και άλλες Α/Γ του νησιού. Προβλέπονται επίσης άλλα 3 εκ. € για την αναβάθμιση του δικτύου μέσης τάσης του νησιού. Βασικός χρηματοδότης είναι η ΔΕΗΑΝ, με 17,5 εκ. € ενώ τα υπόλοιπα 5,5 εκ. € δίνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Ελληνικό Δημόσιο. Ο σχεδιασμός και η μελέτη της κατασκευής έγινε από τη ΔΑΥΕ - ΔΕΗ Α.Ε., ενώ η επίβλεψη θα γίνεται από τη ΔΥΗΠ - ΔΕΗ Α.Ε. . Το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος του 2012.[19]



### 5.3 Τεχνικά στοιχεία του ΥΒΣ

Συνοπτικά τα στοιχεία των επιμέρους μονάδων παραγωγής, άντλησης και αποθήκευσης του ΥΒΣ, βάσει των τεχνικών προδιαγραφών του έργου, όπως εξαγγέλθηκαν [20], είναι τα εξής:

Μέρος ΥΒΣ	Ισχύς (MW)
Αιολικό Πάρκο στην Στραβοκουντούρα Ραχών	2,4
ΜΥΗΣ (Ανω) Προεσπέρας	1,05
ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας	3,1
ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας- αντιστάσιο	2
Μέγιστη Συνολική Ισχύς	6,55

**Πίνακας 5-1:** Η ισχύς του Υβριδικού Ενεργειακού Έργου

Ακολουθούν οι υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στα μέρη του ΥΒΣ

Περιγραφή Απόστασης	Μήκος Αγωγού (km)	Υψομετρική (m)	Διαφορά
Από το φράγμα μέχρι τον άνω ΜΥΗΣ	3,5 km	(721 m – 554 m): 167 m	
Από την άνω δεξαμενή έως τον κάτω ΜΥΗΣ	3,06 km	(543 m – 49 m): 494 m	
Από κάτω έως άνω δεξαμενή (άντληση νερού)	3,1 km	(721 m – 36 m): 685 m	

**Πίνακας 5-2:** Υψομετρικά στοιχεία του έργου. [21]

Ο βαθμός απόδοσης του συνολικού κύκλου άντλησης-παραγωγής του ΥΒΣ εξαρτάται από τις φορτίσεις των μονάδων παραγωγής και άντλησής του, καθώς επίσης από τις στάθμες των δεξαμενών. Η ελάχιστη τιμή απόδοσης του συνολικού κύκλου υπολογίστηκε ίση με 50.3% [18]

Υπολογίζεται ότι η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τους δύο ΜΥΗΣ και το αιολικό πάρκο θα ανέρχεται στις 15,11 GWh, ενώ η ετήσια καθαρή απόδοση Ηλεκτρικής Ενέργειας στις 10,96 GWh. [19]

## 5.4 Γραμμές Διασύνδεσης 20 kV

Το μελλοντικό ενεργειακό δίκτυο της Ικαρίας θα περιλαμβάνει μια διπλή γραμμή διασύνδεσης κυκλώματος, η οποία θα αναχωρεί από τον ΘΗΣ στον Αγ. Κήρυκο και θα φτάνει στον ΥΗΣ στην Κάτω Προεσπέρα, καθώς και από δύο (2) μονές γραμμές διασύνδεσης κυκλώματος, οι οποίες θα αναχωρούν από τον ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρα και θα καταλήγουν στον ΥΗΣ Προεσπέρα και στο αιολικό πάρκο Στραβοκουνδούρων αντίστοιχα.

Οι παραπάνω γραμμές που αναφέραμε είναι οι εξής:

1. Γραμμή 20 kV «Αγ. Κήρυκος – Κάτω Προεσπέρα» Νο1 (Γραμμή R240)
2. Γραμμή 20 kV «Αγ. Κήρυκος – Κάτω Προεσπέρα» Νο2 (Γραμμή R250)
3. Γραμμή 20 kV «Κάτω Προεσπέρα – Προεσπέρα»
4. Γραμμή 20 kV «Κάτω Προεσπέρα – Αιολικό Πάρκο Στραβοκουνδούρων»

## 5.5 Άδεια παραγωγής ενέργειας

Σύμφωνα με την άδεια παραγωγής του ΥΒΣ της Ικαρίας, [22], καθορίζεται και ο τρόπος λειτουργίας του ΥΒΣ:

- *Ταυτόχρονη παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας*  
Ο υβριδικός σταθμός θα έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής από τις ελεγχόμενες μονάδες και αποθήκευσης ενέργειας στο αποθηκευτικό του σύστημα.
- *Ενεργειακό απόθεμα ΥΒΣ*  
Η διατήρηση ελάχιστου ενεργειακού αποθέματος στο αποθηκευτικό μέσο του υβριδικού σταθμού ορίζεται σε 25% της εγγυημένης ισχύος επί τις ώρες διάθεσης εγγυημένης ισχύος του σταθμού. Η επάρκεια του αποθηκευτικού μέσου θα τηρείται σύμφωνα με τους ειδικούς όρους της οικείας αδείας του ΥΒΣ.
- *Εγγυημένη Ισχύς*  
Η εγγυημένη ισχύς του υβριδικού σταθμού ορίζεται σε 2,55 MW. Η υποχρέωση του σταθμού για παροχή εγγυημένης ισχύος εξαντλείται στη διάθεση της ισχύος αυτής για περίοδο έως 8 ωρών ημερησίως,

όπως αυτές προσδιορίζονται ημερησίως, από τον αρμόδιο Διαχειριστή, βάσει των σχετικών προβλέψεων και ρυθμίσεων του Κώδικα Διαχείρισης των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών και της πρότυπης Σύμβασης Πώλησης για υβριδικούς σταθμούς. Η ως άνω υποχρέωση του παραγωγού δεν αναιρεί την υποχρέωση του Διαχειριστή για την απορρόφηση όλης της διαθέσιμης ενέργειας από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής σύμφωνα με τους ειδικούς όρους της οικείας αδείας.

➤ *Τιμολόγηση παρεχόμενης ενέργειας*

Η τιμολόγηση της παρεχόμενης εγγυημένης ισχύος του σταθμού, καθώς και της παρεχόμενης/απορροφώμενης ενέργειας, βάσει των σχετικών διατάξεων της παρ. 3 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, ορίζεται ως ακολούθως:

- I. Η τιμή διαθεσιμότητας ισχύος για την παροχή εγγυημένης ισχύος από τις μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής του υβριδικού σταθμού ορίζεται σε 188€/ kW /έτος (περίπτωση α' παρ. 3 άρθρου 13 ν.3468/2006).
- II. Η τιμή πώλησης της ενέργειας προς το δίκτυο από τις μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής του υβριδικού σταθμού ορίζεται σε 295 €/MWh (περίπτωση β' παρ. 3 άρθρου 13 ν. 3468/2006). Η ποσότητα ενέργειας προς το δίκτυο, η οποία θεωρείται ως ενέργεια που παράγεται από τις ελεγχόμενες μονάδες του υβριδικού σταθμού λόγω αξιοποίησης της αποθηκευμένης ενέργειας, και η οποία τιμολογείται με την τιμή που ορίζεται στην περίπτωση β), προκύπτει με αφαίρεση από τη συνολική ενέργεια των μονάδων ελεγχόμενης παραγωγής του υβριδικού σταθμού, της συνολικής ενέργειας των μονάδων του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού (ΜΥΗΣ) επί αριθμητικό συντελεστή ίσο με 3. Ο υπολογισμός γίνεται σε μηνιαία βάση. Ανώτατο όριο στην αναγνωριζόμενη ως ενέργεια από τις ελεγχόμενες μονάδες του υβριδικού ( $Eh_{hybr\_max}$ ) τίθεται η ποσότητα που προκύπτει από την συνολικά παραγόμενη ενέργεια από τις μονάδες αυτές ( $Eh$ ) επί την αναλογία των μετρούμενων ποσοτήτων νερού στον αντλητικό ( $Vp$ ) και υδροηλεκτρικό σταθμό ( $Vh$ ) του υβριδικού :

$$Eh_{hybr\_max} = Eh * \frac{Vp}{Vh} \quad (5.1)$$

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν οι ποσότητες νερού, το ανώτατο όριο ενέργειας καθορίζεται από το γινόμενο της ηλεκτρικής ενέργειας των αντλιών επί τον συντελεστή 0,6. Όλοι οι ως άνω υπολογισμοί για το ανώτατο όριο ενέργειας γίνονται με τις μηνιαίες τιμές των μεγεθών. Η υπόλοιπη ενέργεια των μονάδων ελεγχόμενης

παραγωγής του υβριδικού σταθμού, τιμολογείται ως ενέργεια από ΜΥΗΣ, σύμφωνα με την τιμή που αναφέρεται στην περίπτωση δ που φαίνεται πιο κάτω.

- III. Η τιμή αγοράς της ενέργειας από δίκτυο από τις μονάδες πλήρωσης των συστημάτων αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού ορίζεται σε 109 €/MWh (περίπτωση γ' παρ. 3 άρθρου 13 ν. 3468/2006).
- IV. Η τιμή πώλησης της ενέργειας προς το δίκτυο από τις μονάδες του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού (ΜΥΗΣ) είναι αυτή που ορίζεται στο στοιχείο δ' του πίνακα της περίπτωσης β' της παραγράφου 1 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, όπως κάθε φορά ισχύει.

➤ *Απορροφώμενη ενέργεια*

Η απορροφώμενη ενέργεια για πλήρωση των συστημάτων αποθήκευσης θα συμψηφίζεται σε ωριαία βάση με την ενέργεια των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού. Η έγχυση ενέργειας προς το δίκτυο από τις μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής και τις μονάδες ΑΠΕ και η απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο από τις μονάδες πλήρωσης του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού γίνεται σύμφωνα με τους ειδικούς όρους της παρούσας, και τις σχετικές προβλέψεις της κείμενης νομοθεσίας και ιδίως του Κώδικα Διαχείρισης των μη Διασυνδεδεμένων νησιών και της πρότυπης Σύμβασης Πώλησης για υβριδικούς σταθμούς.

➤ *Προγραμματισμός λειτουργίας ΥΒΣ*

Ο προγραμματισμός παραγωγής και η λειτουργία του ΜΥΗΣ θα πρέπει να συσχετίζεται με τον προγραμματισμό λειτουργίας των ελεγχόμενων μονάδων του υβριδικού σταθμού, δεδομένου ότι αξιοποιούνται από τους δύο σταθμούς οι υδατοπτώσεις από το φράγμα Πεζίου μέχρι την κάτω δεξαμενή του υβριδικού σταθμού.

➤ *Διάρκεια ισχύος Άδειας*

Η Άδεια αυτή ισχύει για χρονικό διάστημα 25 ετών. Η διάρκεια ισχύος της μπορεί να ανανεωθεί μέχρι ίσο χρόνο, σύμφωνα με τον Κανονισμό Αδειών.

➤ *Παροχή Ενέργειας*

Ο σταθμός υποχρεούται στη παροχή ενέργειας και ισχύος για κάθε ημέρα κατανομής, τουλάχιστον της ποσότητας που ζητείται από τον Διαχειριστή, κατόπιν σχετικής εντολής του προς τον παραγωγό πριν την έναρξη της ημέρας κατανομής. Η ημέρα κατανομής ορίζεται στον Κώδικα Διαχείρισης Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, άλλως νοείται ημερολογιακή ημέρα.

Η ζητούμενη κατ' ελάχιστον υποχρεωτική ποσότητα ενέργειας δεν θα υπερβαίνει την ισοδύναμη ενέργεια βάσει της εγγυημένης ισχύος επί τις ώρες διάθεσης της εγγυημένης ισχύος όπως ορίζονται στη παρούσα, και με μέση ωριαία ισχύ, η οποία δεν υπερβαίνει την εγγυημένη ισχύ του

σταθμού. Πέραν της ζητούμενης υποχρεωτικής ποσότητας, ο σταθμός δικαιούται να παρέχει προς το δίκτυο τη διαθέσιμη ενέργειά του από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής. Η διαθέσιμη ενέργεια κατανέμεται ημερησίως βάσει σχετικού προγράμματος που καταρτίζεται από τον Διαχειριστή και κοινοποιείται στον παραγωγό, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του οικείου Κώδικα Διαχείρισης.

➤ *Επικουρικές Υπηρεσίες*

Ο τρόπος διάθεσης της ενέργειας και ο ωριαίος προγραμματισμός λειτουργίας των ελεγχόμενων μονάδων του σταθμού θα καθορίζονται από τον Διαχειριστή, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ (πρόγραμμα λειτουργίας).

Ο σταθμός οφείλει να παρέχει προς το δίκτυο επικουρικές υπηρεσίες (ρύθμιση συχνότητας τάσης κλπ) σύμφωνα με τα ειδικότερα προβλεπόμενα στον ΚΔΜΔΝ. Από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής διατηρείται περιθώριο εφεδρείας για την κάλυψη των αναγκών του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού. Ο προσδιορισμός του περιθωρίου εφεδρείας που θα διατίθεται για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος θα γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ. Το περιθώριο αυτό δεν δύναται να προέρχεται από άλλες μονάδες του σταθμού, εκτός των ελεγχόμενων μονάδων παραγωγής του σταθμού. Η παραγωγή των ελεγχόμενων μονάδων του σταθμού και η τήρηση των περιθωρίων εφεδρείας σε πραγματικό χρόνο ελέγχεται απολογιστικά, με βάση τις μετρήσεις πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται από το σταθμό και καταγράφονται από το Διαχειριστή, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων.

➤ *Λειτουργία μονάδων ΑΠΕ*

Οι μονάδες ΑΠΕ του σταθμού λειτουργούν ως ακολούθως:

α) είτε για την απορρόφηση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο από τις μονάδες πλήρωσης των συστημάτων αποθήκευσης του σταθμού.  
β) είτε για την συνεισφορά σε πραγματικό χρόνο στη παροχή της εγγυημένης ισχύος που ζητείται από το Διαχειριστή, σύμφωνα με τους ειδικούς όρους της παρούσας, εφόσον αυτό είναι τεχνικά εφικτό, με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου, και στο βαθμό που αυτό επιτρέπεται από τις σχετικές ρυθμίσεις του ΚΔΜΔΝ.  
γ) είτε για την απευθείας έγχυση ενέργειας από ΑΠΕ στο σύστημα, σύμφωνα με την σχετική εντολή λειτουργίας (set point) που δίνεται από το Διαχειριστή σε πραγματικό χρόνο, όπως ειδικότερα καθορίζεται στον Κώδικα ΔΜΔΝ.

Η εντολή αυτή εκδίδεται ειδικά για υβριδικούς σταθμούς και αφορά δυνατότητα απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο σε ώρες κατανομής κατά τις οποίες δεν έχει τεθεί ανάλογος περιορισμός σε αιολικούς σταθμούς που λειτουργούν στο οικείο αυτόνομο σύστημα νησί και δεν αποτελούν τμήμα υβριδικού σταθμού.  
δ) είτε σε συνδυασμό των ανωτέρω περιπτώσεων.

Η παραγωγή των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού σε πραγματικό χρόνο

ελέγχεται απολογιστικά, με βάση τις μετρήσεις και σχετικές εντολές πραγματικού χρόνου που καταγράφονται από το Διαχειριστή.

➤ *Απορρόφηση ενέργειας ΑΠΕ από τον ΥΒΣ*

Το ποσοστό προτεραιότητας ένταξης των μονάδων ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού ορίζεται σε ποσοστό 100% της ζητούμενης ενέργειας αποθήκευσης από το σταθμό. Επί του ποσοστού αυτού ορίζεται ανοχή η οποία δεν υπερβαίνει, για τις αντίστοιχες ποσότητες ενέργειας, το 5% ωριαίως και το 3% ημερησίως.

Σε κάθε περίπτωση, η απόκλιση της παραγόμενης ισχύος του αιολικού σταθμού και του αντλητικού συστήματος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα αντίστοιχα όρια στιγμιαίας λειτουργίας που καθορίζονται στον ΚΔΜΔΝ. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός του αντλητικού-αιολικού συστήματος θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις ως άνω απαιτήσεις. Για λόγους ασφάλειας του συστήματος ή για λόγους ενίσχυσης της διείσδυσης ενέργειας από ΑΠΕ που προέρχεται από άλλους παραγωγούς ΑΠΕ, και εφόσον υφίσταται περιθώριο περαιτέρω άντλησης από τον υβριδικό σταθμό, ο Διαχειριστής δύναται να ζητήσει με σχετική εντολή του, σε πραγματικό χρόνο, την αύξηση του φορτίου απορρόφησης του σταθμού.

Στην περίπτωση αυτή, η επιπλέον ενέργεια απορρόφησης από το δίκτυο δεν προσμετράται ως ποσότητα στο σύνολο της ενέργειας που απορροφά ο σταθμός από το δίκτυο. Ο συγχρονισμός της παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού και της λειτουργίας των μονάδων πλήρωσης του σταθμού σε πραγματικό χρόνο ελέγχεται απολογιστικά, με βάση τις μετρήσεις πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται από το σταθμό και καταγράφονται από το Διαχειριστή.

➤ *Διάθεση Εγγυημένης Ισχύος*

Ο σταθμός παρέχει τη ζητούμενη εγγυημένη ισχύ/ενέργεια προς το δίκτυο με βάση το σχετικό πρόγραμμα που έχει γνωστοποιηθεί στο παραγωγό κατά την προηγούμενη της ημέρας κατανομής. Ο Διαχειριστής δύναται να τροποποιεί, σε πραγματικό χρόνο, το πρόγραμμα λειτουργίας, εκδίδοντας σχετικές εντολές κατανομής, προκειμένου για την ασφάλεια της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού ή για την απορρόφηση ενέργειας ΑΠΕ από μη ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής, σύμφωνα με όσα ειδικότερα προβλέπονται στον ΚΔΜΔΝ.

Κατά τον πραγματικό χρόνο λειτουργίας, η προγραμματισμένη / ζητούμενη εγγυημένη ισχύς του σταθμού δύναται να διατίθεται από συνδυασμό λειτουργίας των ελεγχόμενων μονάδων και των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό είναι τεχνικά εφικτό και παρέχεται, από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής του σταθμού, περαιτέρω περιθώριο εφεδρείας για τις μονάδες ΑΠΕ του σταθμού, πέραν του περιθωρίου εφεδρείας για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος και ότι τηρούνται οι περιορισμοί και οι κανόνες ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ και

τις σχετικές εντολές κατανομής.

Κατά συνέπεια, η συνεισφορά των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού στην παροχή εγγυημένης ισχύος, σε πραγματικό χρόνο, θα πρέπει να περιορίζεται ώστε να ικανοποιούνται πλήρως οι σχετικές απαιτήσεις ασφαλείας κατά τις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ.

Το συνολικό περιθώριο εφεδρείας δεν δύναται να υπερβαίνει τις δυνατότητες του σταθμού, βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών των ελεγχόμενων μονάδων, ιδιαίτερα του τεχνικού ελαχίστου και των ρυθμών ανάληψης/απόρριψης φορτίου και λοιπών τεχνικών στοιχείων του σταθμού, σύμφωνα με τη παρούσα άδεια και τις σχετικές διατάξεις του ΚΔΜΔΝ.

Η συνεισφορά των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού στην παροχή εγγυημένης ισχύος και η τήρηση των περιθωρίων εφεδρείας για τις μονάδες ΑΠΕ του σταθμού, σε πραγματικό χρόνο, ελέγχεται απολογιστικά, με βάση τις μετρήσεις πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται και καταγράφονται από το Διαχειριστή.

➤ *Απορρόφηση Ενέργειας από το Δίκτυο*

Ο υβριδικός σταθμός δύναται να δηλώσει απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο μόνο στη περίπτωση που ζητείται από το Διαχειριστή εγγυημένη ισχύς για την επόμενη ημέρα κατανομής, η οποία δεν δύναται να ικανοποιηθεί πλήρως από την αποθηκευμένη ενέργεια του σταθμού.

Στην περίπτωση αυτή, η αιτούμενη προς απορρόφηση ενέργεια από το δίκτυο θα είναι εύλογη σε σχέση με την ποσότητα ενέργειας που ζητείται από τον Διαχειριστή και λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση του ενεργειακού κύκλου λειτουργίας του αποθηκευτικού συστήματος (απορρόφηση-αποθήκευση-παραγωγή) του σταθμού.

Ο ωριαίος προγραμματισμός απορρόφησης του σταθμού θα καθορίζεται από τον Διαχειριστή, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ. Η απορρόφηση του σταθμού ενδέχεται να μην ικανοποιηθεί μερικώς ή ολικώς, αν η απορρόφηση δεν είναι δυνατή με βάση τους κανόνες ασφαλείας της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ.

Ο σταθμός, με την οριστική σχεδίαση και κατασκευή του, θα πρέπει να επιτυγχάνει βαθμό απόδοσης του κύκλου: αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας-παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αποθηκευμένη ενέργεια, τουλάχιστον στα ίδια επίπεδα με αυτόν που αναφέρεται στα στοιχεία του φακέλου της αίτησης, βάσει των οποίων αξιολογήθηκε. Η λειτουργία των μονάδων πλήρωσης του σταθμού σε πραγματικό χρόνο ελέγχεται απολογιστικά, με βάση τις μετρήσεις πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται και καταγράφονται από το Διαχειριστή.

➤ *Επάρκεια πόρων στα αποθηκευτικά μέσα*

Ο κάτοχος της άδειας οφείλει να διατηρεί επαρκείς ποσότητες του εργαζόμενου μέσου (π.χ. νερό), στο αποθηκευτικό σύστημα του σταθμού, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να εξασφαλίζεται η

απρόσκοπτη, ομαλή και ασφαλής λειτουργία του σταθμού.

Ο κάτοχος της παρούσας οφείλει να λάβει κάθε άλλη σχετική άδεια που είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση της ανωτέρω απαίτησης. Σε περίπτωση παράλληλης χρήσης φυσικών πόρων και εγκαταστάσεων για μη ενεργειακούς σκοπούς, ο κάτοχος της άδειας οφείλει να τηρεί τις προϋποθέσεις και τους όρους που επιβάλλονται από τη χρήση αυτή. Στην περίπτωση παράλληλης χρήσης των συστημάτων αποθήκευσης ή και του εργαζόμενου / αποθηκευτικού μέσου για ενεργειακούς σκοπούς και από άλλο σταθμό, ο κάτοχος της παρούσας άδειας δεν απαλλάσσεται από την τήρηση των υποχρεώσεων και δεσμεύσεων σχετικά με την επάρκεια του εργαζόμενου και αποθηκευτικού μέσου του σταθμού που απορρέουν από τους όρους της παρούσας άδειας, Οι υποχρεώσεις αυτές ισχύουν ανεξαρτήτως από την πλήρωση των αντίστοιχων υποχρεώσεων που αφορούν τον άλλο σταθμό.

➤ *Τιμολόγηση*

Η ποσότητα ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο από τις ελεγχόμενες μονάδες του σταθμού, και η ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από το δίκτυο από τις μονάδες πλήρωσης του αποθηκευτικού συστήματος του σταθμού τιμολογούνται με βάση τις τιμές της παρούσας άδειας και σύμφωνα με τους όρους της σύμβασης πώλησης.

Η ενέργεια των μονάδων ΑΠΕ που εγχέεται απ' ευθείας στο δίκτυο και τιμολογείται σύμφωνα με τις διατάξεις της περίπτωσης δ' της παραγράφου 3 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, υπολογίζεται βάσει των σχετικών ενδείξεων των οικείων μετρητών ενέργειας, αφαιρουμένων των ποσοτήτων ενέργειας που απορροφήθηκαν από το δίκτυο και θεωρείται ότι συμψηφίζονται με την εγχεόμενη, καθώς και του ημίσεως των ποσοτήτων ενέργειας που εγχύθηκαν στο δίκτυο στο πλαίσιο παροχής προγραμματισμένης / εγγυημένης ισχύος / ενέργειας. Το υπόλοιπο των ποσοτήτων που εγχύθηκαν στο δίκτυο στο πλαίσιο παροχής προγραμματισμένης / εγγυημένης ισχύος/ενέργειας, τιμολογείται με βάση την τιμή ενέργειας των ελεγχόμενων μονάδων παραγωγής, σύμφωνα με τους όρους της παρούσας, και βάσει των ειδικότερων ρυθμίσεων για τη μέτρηση των ποσοτήτων αυτών που περιλαμβάνονται στη Σύμβαση Πώλησης.

Για την τιμολόγηση της ενέργειας των μονάδων ΑΠΕ που εγχέεται απ' ευθείας στο δίκτυο και τιμολογείται σύμφωνα με τις διατάξεις της περίπτωσης δ' της παραγράφου 3 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, εφαρμόζονται οι διατάξεις της περίπτωσης γ' της παραγράφου 1 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το ν. 3851/2010 και ισχύει.

Η αμοιβή του παραγωγού για τη διάθεση της εγγυημένης ισχύος υπολογίζεται με βάση την εγγυημένη ισχύ και την αντίστοιχη τιμή σύμφωνα με τους όρους της παρούσας. Το τίμημα αυτό μπορεί να απομειώνεται αναλογικά με τις ώρες μη ικανοποίησης της απαίτησης του Διαχειριστή για παροχή της εγγυημένης ισχύος, με βάση τους όρους της παρούσας άδειας. Η κλίμακα απομείωσης καθορίζεται



σύμφωνα με τις διατάξεις της μεθοδολογίας αμοιβής μονάδων παραγωγής που προβλέπεται στην περίπτωση ζ' της παραγράφου 4 του άρθρου 23α του ν. 2773/1999, όπως ισχύει, και τους όρους της Σύμβασης Πώλησης.

Ο προσδιορισμός και εκκαθάριση των σχετικών πληρωμών γίνεται κατά τις διατάξεις της μεθοδολογίας αμοιβής μονάδων παραγωγής και τους όρους της Σύμβασης Πώλησης.

➤ *Παροχή Στοιχείων*

Ο παραγωγός υποχρεούται να υποβάλει, ετησίως στη ΡΑΕ, απολογιστικά στοιχεία για την λειτουργία του σταθμού του κατά το προηγούμενο έτος, στα οποία περιλαμβάνονται οι ωριαίες ποσότητες ενέργειας που διακινήθηκαν, καθώς η ημερήσια διακύμανση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά το προηγούμενο έτος. Τα στοιχεία υποβάλλονται στη ΡΑΕ εντός του πρώτου διμήνου κάθε έτους.

Ο παραγωγός υποχρεούται να παρέχει προς το Διαχειριστή ανεξάρτητη μέτρηση – ένδειξη σε πραγματικό χρόνο μέσω ηλεκτρονικού συστήματος SCADA – διακριτά για κάθε ελεγχόμενη μονάδα, για τις μονάδες ΑΠΕ και για κάθε μονάδα πλήρωσης των συστημάτων αποθήκευσης του σταθμού. Από το ηλεκτρονικό σύστημα θα μετρούνται και θα καταγράφονται η μέση ωριαία τιμή ισχύος, και μεγέθη λειτουργίας του σταθμού, όπως ορίζονται στην οικεία Σύμβαση Πώλησης και στις διατάξεις του ΚΔΜΔΝ. Οι προδιαγραφές του ηλεκτρονικού συστήματος καθορίζονται με τον ΚΔΜΔΝ.

## **5.6 Λειτουργία ΥΒΣ Ικαρίας**

### **5.6.1 Τρόποι παραγωγής**

Αρχικά το έργο για τη λειτουργία του χρησιμοποιεί νερό το οποίο ούτως ή άλλως θα χυνόταν στην θάλασσα. Συγκεκριμένα, από το υπάρχον φράγμα στο Πέζι, χωρητικότητας 900.000 m<sup>3</sup>, υπερχειλίζουν κάθε χρόνο περίπου 7.000.000 m<sup>3</sup> νερού στο φαράγγι της Χάλαρης. Ένα μέρος αυτού του νερού θα οδηγείται μέσω των υπογείων αγωγών διαδοχικά στις δύο τεχνητές δεξαμενές.

Κατά τους χειμερινούς μήνες, το έργο θα λειτουργεί σαν απλό υδροηλεκτρικό, με τους δύο ΜΥΗΣ και στη συνέχεια το νερό θα καταλήγει στην θάλασσα. Ταυτόχρονα θα συνεισφέρει και το Α/Π. Από 15 Απριλίου μέχρι 15 Οκτωβρίου θα σταματάει η τροφοδοσία με νερό από το Πέζι, ώστε να μην μειωθεί η στάθμη του, και η υπερχειλίση του φράγματος θα διοχετεύεται εξολοκλήρου

στο φυσικό φεράγγι. Ο άνω ΜΥΗΣ θα παύει την λειτουργία του και οι δύο λιμνοδεξαμενές θα κρατούν απόθεμα νερού. Έτσι το σύστημα μετατρέπεται σε υδραντλητικό κλειστού τύπου, με δύο δεξαμενές. Κατά την θερινή λειτουργία μέρος του νερού της άνω δεξαμενής θα αδειάζει προς την κάτω, θέτοντας σε λειτουργία τον κάτω ΜΥΗΣ. Τις βραδυνές ώρες που η ζήτηση είναι μικρή, ποσότητα νερού θα επιστρέφει στην άνω δεξαμενή, αντλούμενο με αιολική ενέργεια που θα έμενε ανεκμετάλλευτη, ή με την περίσσεια του δικτύου γενικότερα.[23]

## 5.6.2 Δυνατότητες λειτουργίας

Ο κύκλος της άντλησης και παραγωγής σε τέτοιου είδους έργα φθάνει σε απόδοση περίπου 70%. Αυτό συμβαίνει διότι στις απώλειες παραγωγής προστίθενται οι μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες των κινητήρων άντλησης, και οι απώλειες μεταφοράς του νερού στην άνω δεξαμενή. Η εκκίνηση και ρύθμιση, όπως και η παύση της λειτουργίας γίνεται μέσα σε 2 min, ενώ σε 3-4 min μπορούμε να αντιστρέψουμε την ροή του νερού. Το μόνο που καθυστερεί τις αλλαγές ισχύος είναι η καταπόνηση των σωληνώσεων από τις απότομες αυξομειώσεις της πίεσης του νερού, τα λεγόμενα υδραυλικά πλήγματα, που είναι κυματικά φαινόμενα. Μία μέθοδος αντιμετώπισης είναι δεξαμενές απόσβεσης στην αφετηρία των αγωγών. Η λειτουργία του έργου, εκτός από την αξιοποίηση των φυσικών πηγών ενέργειας, δηλαδή του πλεονάζοντος νερού και της ένταξης των νέων Α/Γ του πάρκου, θα προσφέρει επιπλέον τις εξής δυνατότητες στο σύστημα του νησιού:

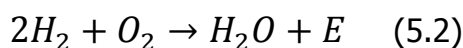
**α)** Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, με την μορφή δυναμικής ενέργειας του νερού λόγω ύψους (*αντλησιοταμίευση*). Επειδή η ενέργεια αυτή θα προέρχεται από τον αέρα, αυξάνεται η απορρόφηση του αιολικού δυναμικού. Μπορεί όμως να προκύπτει και από άλλες πηγές, είτε ανανεώσιμες είτε από τυχόν πλεόνασμα θερμικής ισχύος. Η τεχνολογία αποθήκευσης αντιμετωπίζει το κυριότερο πρόβλημα των ΑΠΕ, που είναι από την φύση τους μεταβλητές, μη ελεγχόμενες, και συχνά μη διαθέσιμες όταν πραγματικά χρειάζονται.

**β)** Η χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας γίνεται είτε όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση από τους καταναλωτές, δηλαδή στο φορτίο αιχμής, είτε ως εφεδρεία σε περίπτωση ανάγκης, αντικαθιστώντας την χρήση επιπλέον καυσίμου. Η διαχείριση του πλεονάσματος ενέργειας είναι πλέον αποκομμένη από την στιγμή της παραγωγής του. Μπορεί να χρησιμοποιείται επικουρικά, για ρύθμιση της παρεχόμενης ισχύος στο δίκτυο, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές των ΑΠΕ κατά την διάρκεια της ημέρας (ρύθμιση συχνότητας).

**γ)** Εφόσον μελλοντικά υπάρξει διασύνδεση του νησιού σε μεγαλύτερο δίκτυο, η χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας μπορεί να συνεισφέρει φθηνά στο φορτίο αιχμής του ευρύτερου συστήματος, που συνήθως καλύπτεται με αντιοικονομικές μονάδες. Αργότερα αυτή η ενέργεια

αναπληρώνεται από το υπόλοιπο δίκτυο, όχι μόνο με ΑΠΕ αλλά ακόμα και με φθηνότερες θερμικές μονάδες βάσης. Τέτοιες είναι οι μεγάλες ατμοηλεκτρικές με λιγνίτη, που λειτουργούν αδιάκοπα κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης (νύχτα). Μπορεί ακόμη να γίνεται αποθήκευση εισαγόμενης ενέργειας, που αγοράζεται φθηνά λόγω πλεονάσματος, ή ανταλλάσσεται κατόπιν συμφωνιών (συνεργασίες ισχύος).

Η αντλησιοταμίευση νερού αποτελεί την απλούστερη και αποδοτικότερη λύση αποθήκευσης, με κυριότερες εναλλακτικές τεχνολογίες τους συμβατικούς χημικούς συσσωρευτές (μεγάλες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, απόδοση ~90%), ή τις κυψέλες καυσίμου PEM (Proton Exchange Membrane – μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων, απόδοση ~40%). Αυτές οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, από την αντίδραση αερίου υδρογόνου και οξυγόνου (ελεγχόμενη οξείδωση) με την βοήθεια καταλύτη, με μοναδικό παραπροϊόν το νερό και θερμότητα:



Το οξυγόνο προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ το υδρογόνο από την ηλεκτρόλυση νερού (την αντίστροφη χημική αντίδραση), που γίνεται με ενεργειακό πλεόνασμα από ΑΠΕ, και αποθηκεύεται σε δεξαμενές υπό πίεση για να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειάζεται.

### 5.6.3 Παραγωγική ικανότητα του Έργου

Η μέγιστη ισχύς παραγωγής του Υβριδικού Έργου Ικαρίας είναι μεγαλύτερη από το φορτίο βάσης της κατανάλωσης, τουλάχιστο σε κάποιες περιόδους του έτους. Έτσι, ο ΤΣΠ Αγίου Κηρύκου τον χειμώνα θα τίθεται σε ψυχρή εφεδρεία, δηλαδή οι μονάδες του θα είναι σβηστές. Κάποιες θερμικές μονάδες θα είναι προθερμασμένες και έτοιμες προς χρήση σε περίπτωση ανάγκης (θερμή στατή εφεδρεία). Ενδέχεται όμως κάποια μονάδα να λειτουργεί βοηθητικά (στρεφόμενη εφεδρεία), για την ρύθμιση της ισχύος παραγωγής κατά τις μεταβολές της ζήτησης, ή την πτώση των ανέμων.

Το καλοκαίρι το Υβριδικό Έργο θα μπορεί να συνεισφέρει μέχρι 5,5 MW κατά την διάρκεια της ημέρας, αφού θα λειτουργεί μόνο ο κάτω ΜΥΗΣ και το αιολικό πάρκο. Την νύχτα η συνεισφορά θα είναι μηδενική, αφού τότε θα γίνεται άντληση υδάτων. Έτσι το καλοκαίρι θα πρέπει να λειτουργεί και ο θερμικός σταθμός, καλύπτοντας το νυχτερινό φορτίο βάσης, αλλά και κάποιο ποσοστό της ημερήσιας κατανάλωσης, όποτε η ζήτηση αυξάνεται πάνω από την ικανότητα του υβριδικού.

Επομένως, το Υβριδικό Έργο θα λειτουργεί ως σταθμός βάσης το χειμώνα και ως αιχμής το καλοκαίρι, ενώ ο θερμικός σταθμός ως αιχμής το χειμώνα και ως βάσης το καλοκαίρι. Από την ΔΕΗΑΝ εκτιμάται ότι σε διάρκεια ενός έτους, το Υβριδικό Έργο θα καλύπτει 10.960 MWh, [19] δηλαδή περίπου το 30% της καταναλισκόμενης ενέργειας στο νησί.

#### 5.6.4 Ανάλυση φορτίου από το Έργο

Σύμφωνα με δημοσίευση,[24] που εκπονήθηκε από το ΕΜΠ σε συνεργασία με την ΔΕΗΑΝ, ο 24ωρος προγραμματισμός λειτουργίας του ΑΣΠ της Ικαρίας, προτείνεται να υλοποιείται ως εξής:

- (1) Ο διαχειριστής του ΑΣΠ Ικαρίας (στον ΤΣΠ Αγ. Κηρύκου) απαιτεί από τον διαχειριστή του Υβριδικού Έργου ένα ποσό *εγγυημένης ενέργειας και ισχύος* για την επόμενη ημέρα.
- (2) Ο διαχειριστής του Έργου απαντά με *προσφορά ενέργειας*, ίση ή μεγαλύτερη από την αίτηση, ανάλογα με τον διαθέσιμο όγκο νερού της άνω δεξαμενής, την περίσσεια νερού του φράγματος στο Πέζι, και του προβλεπόμενου αιολικού δυναμικού (βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός).
- (3) Στην περίπτωση που η δυνατή προσφορά είναι μικρότερη από την αίτηση, τότε ο διαχειριστής του Έργου απαντά και με *δήλωση απορρόφησης ενέργειας* που θα απορροφήσει το Έργο, ώστε να αντληθεί νερό, με το οποίο θα αυξηθεί η παραγωγή, για την κάλυψη της αιτηθείσας εγγυημένης ενέργειας και ισχύος. Σε αυτήν την περίπτωση η προσφορά ενέργειας του Έργου δεν θα ξεπερνά την αρχική αίτηση.
- (4) Στην συνέχεια ο διαχειριστής του ΑΣΠ Ικαρίας καταρτίζει *ημερήσια δελτία παραγωγής και άντλησης* του Έργου, που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του ΤΣΠ κάθε ώρα, αλλά και στις καμπύλες της ζήτησης φορτίου από την κατανάλωση. Προσαρμόζεται έτσι η συνεισφορά του Έργου στην υψηλή ζήτηση, ενώ η άντληση στη χαμηλή.
- (5) Τέλος ο διαχειριστής του ΤΣΠ προγραμματίζει την ωριαία ένταξη των δικών του θερμικών μονάδων, και έπειτα τα επιθυμητά όρια παραγωγής των υπόλοιπων αιολικών μονάδων του νησιού.

### 5.6.5 Κατανομή φορτίου στους σταθμούς του Έργου

Σύμφωνα με την ίδια δημοσίευση, [24] ο διαχειριστής του Έργου κατανέμει το φορτίο του Έργου στους επιμέρους σταθμούς του, δηλαδή άνω ΜΥΗΣ, κάτω ΜΥΗΣ και Α/Π, με γνώμονα το λειτουργικό κόστος παραγωγής της κάθε κιλοβατώρας. Αυτό το κόστος εξαρτάται από την τιμολογιακή πολιτική των ΑΠΕ. Διαχωρίζονται οι δύο εποχιακές περιόδους λειτουργίας:

**(α) Θερινή περίοδος.** Ο άνω ΜΥΗΣ δεν λειτουργεί και το φορτίο αναλαμβάνει ο ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας. Οι υδροστρόβιλοι γενικά λειτουργούν με μεγαλύτερη απόδοση στην ονομαστική τους ισχύ. Ανάλογα εντάσσονται ο ένας, ή και οι δύο στρόβιλοι του σταθμού, ώστε η ισχύς να υπερκαλύπτει την συμφωνημένη ισχύ του Έργου κάθε στιγμή. Η διαθέσιμη αιολική παραγωγή αφιερώνεται στην άντληση, και μόνο η περίσσεια του αιολικού δυναμικού διατίθεται στο δίκτυο. Το πλεόνασμα της αιολικής ισχύος μπορεί να συνυπολογίζεται στην συμπαραγωγή του Έργου, επηρεάζοντας το φορτίο των στροβίλων, ή να αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητη παραγωγή, μαζί με τις υπόλοιπες ανεμογεννήτριες του νησιού. Εάν όμως κρίνεται ότι το κόστος της αιολικής ενέργειας είναι ακριβότερο από το κόστος της υδροηλεκτρικής, συμπεριλαμβανόμενης της άντλησης, τότε θα πρέπει ολόκληρο το αιολικό δυναμικό του Α/Π Στραβοκουντούρας να διατίθεται στο δίκτυο, εξαρχής. Οι ανάγκες της άντλησης τότε θα καλύπτονται καταρχήν με την περίσσεια του αιολικού δυναμικού που δεν απορροφάει το δίκτυο.

**(β) Χειμερινή περίοδος.** Την χειμερινή περίοδο, εφόσον δεν υπάρχει περίσσεια νερού από τον ταμιευτήρα στο Πέζι, το έργο συμπεριφέρεται σαν να βρίσκεται στην θερινή περίοδο. Όταν υπάρχει περίσσεια νερού, αξιοποιείται πρώτα στον άνω ΜΥΗΣ και μετά διαδοχικά για την πλήρωση της άνω λιμνοδεξαμενής, την παραγωγή του κάτω ΜΥΗΣ και την απορρόφηση αιολικού δυναμικού μέσω άντλησης. Η συμμετοχή του κάτω ΜΥΗΣ στην παραγωγή γίνεται έτσι ώστε η άνω λιμνοδεξαμενή (συνολικού όγκου 80.000 m<sup>3</sup>) να διατηρείται πάντα γεμάτη κατά 85% (68.000 m<sup>3</sup> νερού). Η στάθμη επομένως της άνω δεξαμενής ρυθμίζεται με την κατανομή φορτίου στους δύο ΜΥΗΣ (εισροή - εκροή). Ταυτόχρονα, το υπόλοιπο 15% της δεξαμενής διατίθεται για την αντλησιοταμίευση, περίπου 12.000 m<sup>3</sup> νερού. Το αιολικό δυναμικό του Α/Π διατίθεται με προτεραιότητα στην άντληση του νερού, και το κυμαινόμενο πλεόνασμα του αέρα διατίθεται στο δίκτυο. Το πλεόνασμα θα πρέπει να προσμετράται σαν ανεξάρτητη παραγωγή, και όχι μέσα στην συμφωνημένη (μαζί με την υδροηλεκτρική), ούτως ώστε οι

διακυμάνσεις του πλεονάσματος να μην υποφορτίζουν τους υδροστροβίλους. Αυτό υπαγορεύεται για λόγους οικονομίας νερού του φράγματος, αφού οι στρόβιλοι σε χαμηλότερη ισχύ λειτουργούν με μειωμένη απόδοση.

### **5.6.6 Θέματα ευστάθειας του συστήματος της Ικαρίας**

Μία επιπλέον λειτουργία του έργου είναι η συνεισφορά του στην ρύθμιση συχνότητας του συστήματος. Οι ΜΥΗΣ ρυθμίζουν την ισχύ τους γρήγορα, σχεδόν όπως οι θερμικές πετρελαϊκές μονάδες, και έτσι μπορούν να εξισορροπούν τις διακυμάνσεις της ζήτησης και της αιολικής ισχύος όλου του νησιού. Γρήγορες μικρορυθμίσεις μπορούν να γίνουν με τα πτερύγια εκτροπής των ακροφυσίων και όχι με τις δικλίδες παροχής, ώστε να αποφεύγονται οι αυξομειώσεις στην πίεση. Το μειονέκτημα χειρισμού των πτερυγίων είναι η σπατάλη νερού και η μείωση της απόδοσης. Όταν η κατανάλωση του νησιού είναι μικρή και το αιολικό δυναμικό μεγάλο, υπάρχει η περίπτωση να παραβιάζονται τα ελάχιστα όρια λειτουργίας των στροβίλων. Τότε, σύμφωνα πάντα με την ίδια δημοσίευση, [24] θα τίθεται περιορισμός (set point) σε όλη την αιολική παραγωγή, όπως συνέβαινε και χωρίς το έργο. Τα ελάχιστα όρια λειτουργίας των 3 υδροστροβίλων θα είναι παραπλήσια των ορίων των αντίστοιχων θερμικών μονάδων που αντικαθιστούν, δηλαδή περίπου στο 50% της ονομαστικής ισχύος, αν και μπορούν να λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε πολύ χαμηλότερη ισχύ, με μειωμένη απόδοση.

Υπάρχει η περίπτωση να τίθενται όρια ειδικά στο Α/Π Στραβοκουντούρας, όταν χρησιμοποιείται αποκλειστικά για άντληση, χωρίς το δίκτυο να απορροφά πλεόνασμα. Τότε η μέγιστη ισχύς του Α/Π πρέπει να περιορίζεται, σύμφωνα με την επιθυμητή ισχύ του αντλιοστασίου. Η ισχύς του αντλιοστασίου γενικά ρυθμίζεται και μπορεί να ακολουθάει τις αιολικές διακυμάνσεις, με την μεταβολή στροφών των κινητήρων, ή την απένταξη αντλιών. Σε περίπτωση πολύ χαμηλού αιολικού δυναμικού, η στιγμιαία έλλειψη ενέργειας για άντληση θα καλύπτεται από τον ΤΣΠ και πρέπει να μην επιβαρύνει την ευστάθεια του συστήματος.

### **5.6.7 Προβλεπόμενη επάρκεια του Έργου**

Η συνεισφορά του Υβριδικού Έργου Ικαρίας στην παραγωγή ενέργειας και στην διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος έχει γίνει ήδη αντικείμενο μελέτης. Ενδεικτικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας από το ΕΜΠ, [24] προκύπτει μείωση στην παραγωγή ενέργειας

από πετρέλαιο κατά 35%, στην διάρκεια ενός υγρού έτους με υψηλό αιολικό δυναμικό.

Σε ξηρό έτος, πάλι με υψηλό αιολικό δυναμικό, η μείωση ανέρχεται στο 23,5%. Σε περίπτωση χαμηλού αιολικού δυναμικού, τα παραπάνω ποσοστά εξοικονόμησης γίνονται 30% για υγρό έτος και 18% για ξηρό έτος, περίπου. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης  $C_f$  (capacity factor) του Α/Π Στραβοκουντούρας θα κυμαίνεται μεταξύ 28% έως 42%, ενώ οι ήδη υπάρχουσες ΑΠΕ του νησιού διατηρούν σχεδόν αναλλοίωτη την συνεισφορά τους. Το έργο αναμένεται να λειτουργεί όπως προβλέπεται, δηλαδή χωρίς την υποστήριξη του ΤΣΠ τον χειμώνα, εκτός από την αιχμή όπου για λίγες ώρες θα λειτουργεί μία θερμική μονάδα. Η αποδιδόμενη ενέργεια προέρχεται ως επί το πλείστον από τους υδροστροβίλους. Η ετήσια ενέργεια για άντληση θα προέρχεται τουλάχιστο κατά 98% από το Α/Π Στραβοκουντούρας, ενώ ποσοστό 2% το πολύ θα απορροφάται από το υπόλοιπο σύστημα, μόνο το καλοκαίρι. Η καθημερινή διακύμανση της στάθμης της άνω λιμνοδεξαμενής, θα αποτελεί το 15% της συνολικής της χωρητικότητας. Σύμφωνα με άλλη εργασία, [25] που αφορά μελέτη ευστάθειας του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, διαφαίνεται αρχική αδυναμία του σταθμού να ανταποκριθεί σε μεταβολή του φορτίου, όταν λειτουργεί μόνος του. Η μεταβολή της ζήτησης, η διακύμανση της αιολικής παραγωγής και η απώλεια μιας Α/Γ έχουν ως αποτέλεσμα ανεπίτρεπτη διαταραχή στην συχνότητα του συστήματος. Τα τεχνικά στοιχεία του Έργου που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση δεν είναι τα τελικά κατασκευαστικά, που φαίνεται να βελτιώνουν το πρόβλημα. Επιπλέον η απόκριση μπορεί να γίνει ταχύτερη με καλύτερο έλεγχο των στροβίλων, και ρύθμιση παροχής με πτερύγια εκτροπής αντί για δικλίδες βελόνας. Σε κάθε περίπτωση, η λειτουργία μόνο του κάτω ΜΥΗΣ σε συνδυασμό με μία θερμική μονάδα του ΤΣΠ, αρκεί για να εξαλειφθεί το πρόβλημα. Η θερμική μονάδα λειτουργεί σε χαμηλή σχετικά ισχύ, ώστε να έχει περιθώριο να αναλάβει τη διακύμανση φορτίου προσωρινά. Στην συνέχεια οι υδροστροβίλοι ανταποκρίνονται και η μεταβολή κατανέμεται εξίσου. Επειδή η θερμική μονάδα είναι πολύ γρήγορη, δεν πρέπει να κορεστεί απευθείας, ανταποκρινόμενη στην μεταβολή. Αντίθετα πρέπει να διατηρήσει εφεδρεία ισχύος, όσο διαρκεί η διαταραχή, μέχρι να ολοκληρωθεί η κατανομή φορτίου.

## 5.7 Βασικά σενάρια λειτουργίας μονάδων

Τα παρακάτω τρία (3) σενάρια για τη λειτουργία των μονάδων και των ανεμογεννητριών προβλέπονται κάτω από κανονικές συνθήκες.

### 1. Βασικό σενάριο λειτουργίας μονάδων κατά τη διάρκεια του χειμώνα

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ( μέσα Οκτώβρη έως τέλη Απρίλη), όταν η ζήτηση νερού για ύδρευση και άρδευση είναι χαμηλή και υπάρχει

πλεονάζουσα ποσότητα νερού, η σταδιακή σύνδεση των μονάδων στο σύστημα θα έχει ως εξής:

- I. Λειτουργία των τριών υδροηλεκτρικών μονάδων συνολικής δυναμικότητας 4,1 MW, με βάση τη ζήτηση φορτίου, με μια μονάδα σε λειτουργία ως εφεδρεία και αν υπάρξει διαθέσιμη ποσότητα νερού στον Ταμιευτήρα στο Πέζι και τον Άνω Ταμιευτήρα.
- II. Λειτουργία των ανεμογεννητριών με ένα όριο ισχύος για διείσδυση της αιολικής ενέργειας έως 40% της συνολικής ζήτησης φορτίου κάθε στιγμή.
- III. Η επιπλέον ζήτηση φορτίου θα καλύπτεται με τη λειτουργία των απαραίτητων θερμικών μονάδων στην κατάλληλη ισχύ η καθεμία.

Στην χειμερινή αυτή περίοδο οι υδροηλεκτρικές μονάδες θα λειτουργούν για να ελέγχουν την τάση, τη συχνότητα και τη ζήτηση φορτίου του δικτύου.

## 2. Βασικό σενάριο λειτουργίας μονάδων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού Νο1 (Νύχτα και μέρα με χαμηλή και ενδιάμεση ζήτηση φορτίου)

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (αρχές Μαΐου έως μέσα Οκτωβρίου) και κατά τη διάρκεια της νύχτας (χαμηλή ζήτηση) και της ημέρας με χαμηλή και ενδιάμεση ζήτηση, η σταδιακή σύνδεση των μονάδων στο σύστημα θα έχει ως εξής:

- I. Ο ΥΗΣ Προεσπέρας θα είναι εκτός λειτουργίας εξαιτίας της έλλειψης νερού.
- II. Λειτουργία του απαραίτητου αριθμού θερμικών μονάδων και στην κατάλληλη ισχύ η καθεμία.
- III. Λειτουργία των ανεμογεννητριών με ένα όριο ισχύος και σε όριο διείσδυσης αιολικής ισχύος έως 35% της συνολικής ζήτησης φορτίου σε κάθε στιγμή.

Κατόπιν, σε περίπτωση που υπάρχει πλεονάζουσα αιολική ενέργεια θα πραγματοποιούνται τα παρακάτω:

- IV. Λειτουργία των ανεμογεννητριών της ΔΕΗ χωρίς όριο ισχύος
- V. Λειτουργία συγκεκριμένου αριθμού αντλιών του σταθμού παραγωγής σύμφωνα με την πλεονάζουσα αιολική ενέργεια πάνω από την επιτρεπόμενη διείσδυση.



- VI. Λειτουργία ενός στροβίλου στον ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας σε επίπεδο ισχύος 10% (150kW), σε στρεφόμενη εφεδρεία, για να καλύψει το μέγιστο ζήτησης φορτίου.

3. Βασικό σενάριο λειτουργίας μονάδων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού Νο2 (Ημέρα με μέγιστη ζήτηση φορτίου)

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (αρχές Μαΐου έως μέσα Οκτωβρίου) και κατά τη διάρκεια της ημέρας με μέγιστη ζήτηση φορτίου η σταδιακή σύνδεση των μονάδων στο σύστημα θα έχει ως εξής:

Ο ΥΗΣ Προεσπέρας θα είναι εκτός λειτουργίας εξαιτίας της έλλειψης βροχής.

- I. Λειτουργία του απαραίτητου αριθμού θερμικών μονάδων και στην κατάλληλη ισχύ η καθεμιά.
- II. Λειτουργία των ανεμογεννητριών με ένα όριο ισχύος και σε όριο διείσδυσης αιολικής ισχύος έως 35% της συνολικής ζήτησης φορτίου σε κάθε στιγμή.
- III. Οποιαδήποτε επιπλέον ζήτηση φορτίου θα καλύπτεται από τη λειτουργία των δύο (2) υδροηλεκτρικών μονάδων στην Κάτω Προεσπέρα , 1550 kW η καθεμία για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα , με τη μια μονάδα σαν εφεδρεία ανάλογα με τη διαθέσιμη ποσότητα νερού στον άνω Ταμιευτήρα εκείνη την ημέρα.

Κατά τη διάρκεια όλου του καλοκαιριού ο έλεγχος και η ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας θα γίνονται από τις θερμικές μονάδες του ΘΗΣ Αγ. Κήρυκου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σημασία του Υβριδικού Έργου της Ικαρίας**

### **6.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μελέτη της λειτουργίας του υβριδικού σταθμού όταν αυτό ενταχτεί στο σύστημα της Ικαρίας. Αρχικά αναλύονται τα κριτήρια του Διαχειριστή του συστήματος για την προτεραιότητα λειτουργίας των μονάδων παραγωγής και των αιολικών πάρκων. Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτικά τα βήματα που θα ακολουθηθούν για την ένταξη του υβριδικού σταθμού στο σύστημα καθώς και ο ενεργειακοί υπολογισμοί του έργου. Τέλος μελετώνται τα αποτελέσματα της ένταξης του υβριδικού σταθμού στο σύστημα.

### **6.2 Κριτήρια για την προτεραιότητα λειτουργίας των μονάδων παραγωγής και των αιολικών πάρκων**

Ο Διαχειριστής του Συστήματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη ζήτηση φορτίου και την παραγωγή ισχύος, καθώς και τις δυνατότητες άντλησης, επιλέγει το καλύτερο σενάριο για κάθε ώρα της ημέρας της αντίστοιχης περιόδου, καθορίζοντας την προτεραιότητα των μονάδων η οποία κατά τη διάρκεια της ημέρας αναπροσαρμόζεται με βάση τη ζήτηση φορτίου και τις προβλέψεις της παραγωγής ισχύος, η οποία θα μεταβάλλεται συνεχώς λόγω της on-line επικοινωνίας του SCADA με τις αντίστοιχες μονάδες και συσκευές μέτρησης.

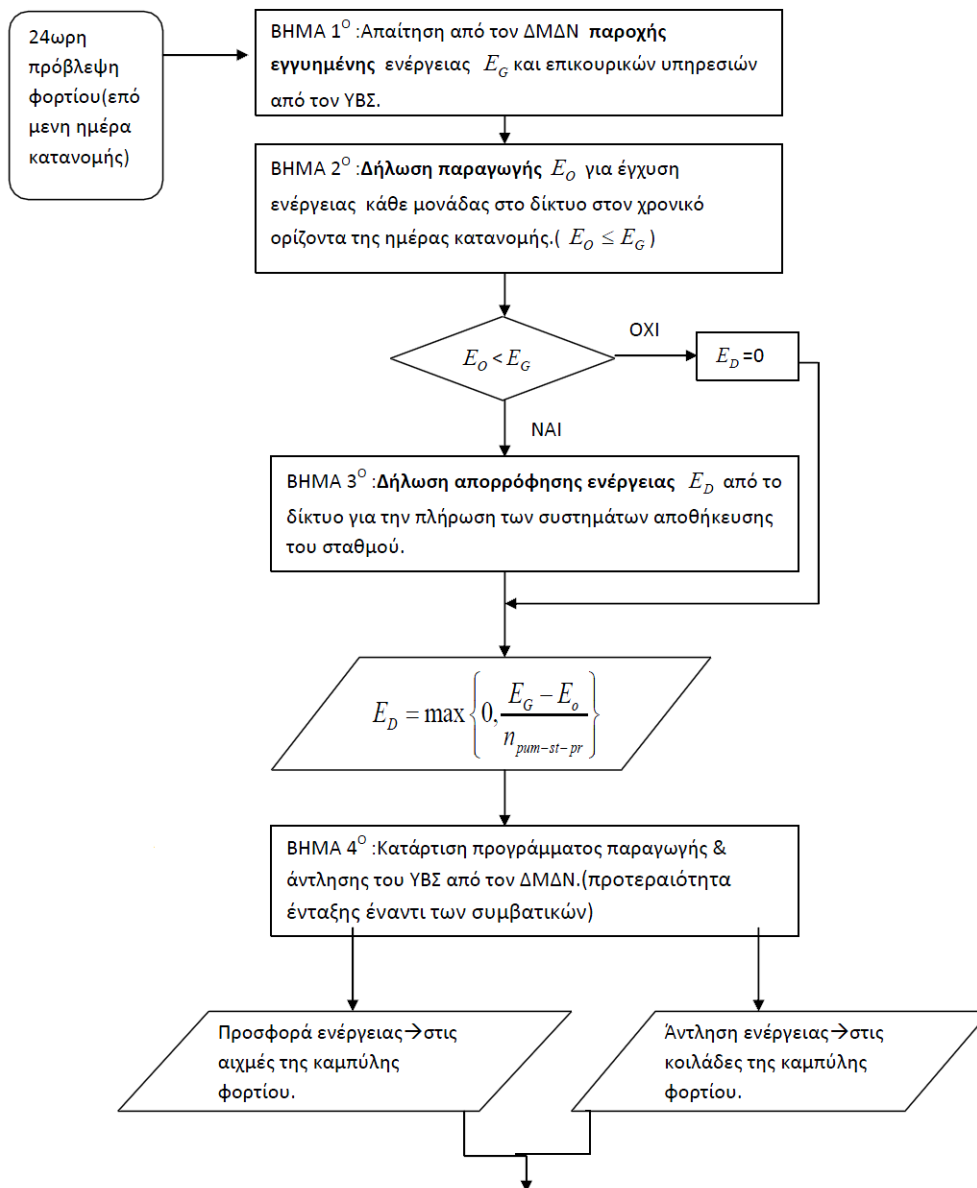
Για την επιλογή του τελικού σειράς ένταξης των μονάδων, λαμβάνονται υπόψιν επιπλέον τα παρακάτω:

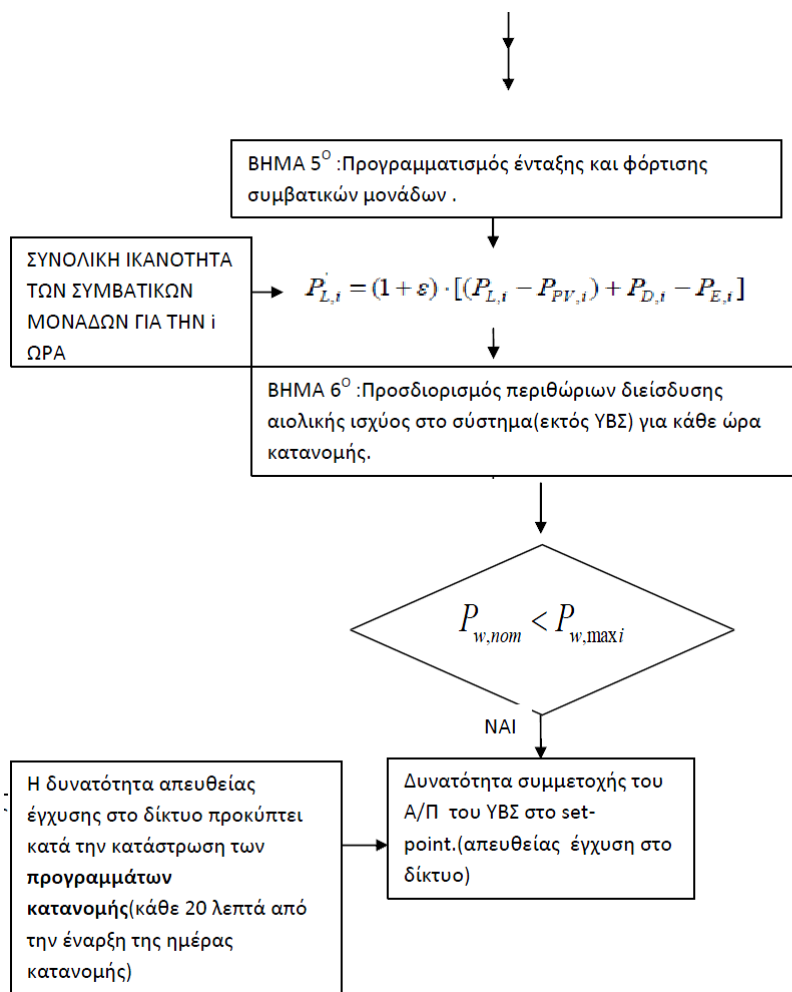
1. Οι ανεμογεννήτριες θα έχουν την πρώτη προτεραιότητα στη σύνδεση με το δίκτυο.
2. Σε περίπτωση που η αιολική ισχύς δεν επαρκεί, οι υδροηλεκτρικές μονάδες θα έχουν προτεραιότητα, εάν αυτό είναι εφικτό και οι θερμικές μονάδες θα έπονται.
3. Οι θερμικές μονάδες, όταν θα είναι σε λειτουργία, θα επιδιώκεται να λειτουργούν κοντά στην καλύτερη απόδοσή τους (περίπου 80% της ονομαστικής τους ισχύος).
4. Για την κάλυψη της εφεδρείας, οι υδροηλεκτρικές μονάδες θα έχουν προτεραιότητα και μετά οι θερμικές.
5. Σε περίπτωση πλεονάζουσας αιολικής ισχύος οι αντίστοιχες αντλίες θα λειτουργούν και η απαιτούμενη ισχύς θα παράγεται από τα αιολικά πάρκα

στα Στραβοκούνδουρα και στο Περδίκι μέχρι την συνολική ικανότητά τους και μετά από τα άλλα αιολικά ιδιωτικά πάρκα.

### 6.3 Συμμετοχή ενός Υβριδικού Σταθμού στην επίλυση του ΚΗΕΠ

Στο επόμενο διάγραμμα ακολουθούν τα βήματα που ακολουθούνται κατά τον προγραμματισμό της συμμετοχής ενός Υβριδικού Σταθμού κατά τον προγραμματισμό του ΚΗΕΠ.





## 6.4 Ενεργειακοί Υπολογισμοί του Υβριδικού σταθμού

Η ισχύς των ΥΗ Σταθμών καθώς και του Αιολικού Πάρκου που θα εγκατασταθεί στην νήσο Ικάρια σε σχέση με τα φορτία του συστήματος είναι μεγάλη με συνέπεια να υπάρχουν ολόκληρες περιόδους που το σύστημα της νήσου θα τροφοδοτείται μόνο από τις υπόψη μονάδες.

Για το λόγο αυτό και με σκοπό τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από το συνδυασμένο ενεργειακό Έργο (ΥΗΕ και ΑΠ), ακολουθεί ένας υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής ενέργειας που προέρχεται από τον υβριδικό σταθμό. Οι παραδοχές για την λειτουργία του συστήματος που λαμβάνονται υπόψη κατά τους υπολογισμούς είναι οι ακόλουθες :

1. Κατά την χειμερινή περίοδο οι ΑΓ παρέχουν μέχρι το 40% του φορτίου και το υπόλοιπο καλύπτεται από τις μονάδες των ΥΗΕ. Σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο δεν επαρκούν οι μονάδες αυτές

για την κάλυψη των φορτίων τότε τίθενται σε λειτουργία οι απαιτούμενες θερμικές μονάδες.

2. Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου από τα ΥΗΕ, διαθέσιμο θα είναι μόνο το ΥΗΕ "Κάτω Προεσπέρας".

3. Κατά την θερινή περίοδο τις νυκτερινές ώρες οι ΑΓ θα παρέχουν μέχρι το 35% της ισχύος του δικτύου, με την υπόλοιπη δε ενέργεια θα τροφοδοτούνται οι αντλίες και θα διοχετεύουν νερό από την κάτω στην πάνω δεξαμενή. Η υπόλοιπη ισχύς θα παρέχεται από τις θερμικές μονάδες.

4. Κατά την θερινή περίοδο τις ώρες της ημέρας οι Α/Ν θα παρέχουν μέχρι το 35% της ισχύος του δικτύου, το δε υπόλοιπο θα το παρέχουν οι θερμικές μονάδες, ενώ ο ΥΗΣ "Κάτω Προεσπέρας" θα παρέχει την ενέργεια αιχμής από το νερό που αποθηκεύτηκε κατά την νυκτερινή λειτουργία.

Με βάση τα υδρολογικά στοιχεία και λαμβάνοντας υπόψη τους πραγματικούς βαθμούς απόδοσης του εξοπλισμού, υπολογίζουμε για την ονομαστική παροχή των στροβίλων, την ισχύ των γεννητριών και τη διατιθέμενη ισχύ των μονάδων στο δίκτυο.

Ακολουθούν οι τύποι για τους υπολογισμούς των ενεργειακών μεγεθών του υβριδικού σταθμού της Ικαρίας :

$$P_t = 9,81 * H_n * Q * n_t \quad (6.1)$$

$$P_g = 9,81 * H_n * Q * n_t * n_g \quad (6.2)$$

$$P_e = 9,81 * H_n * Q * n_t * n_g * n_{tr} \quad (6.3)$$

$$E = P_e * n_\delta * T \quad (6.4)$$

$$n_{ολ} = n_t * n_g * n_{tr} \quad (6.5)$$

Όπου  $P_t$ : μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς του στροβίλου (kW) ,  
 $P_g$ : μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς της γεννήτριας (kW) ,  
 $P_e$ : μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς της μονάδας στο δίκτυο (kW) ,  
 $H_n$ : καθαρό ύψος πτώσης (m)  
 $E$ : Παραγώμενη ενέργεια (kWh)  
 $Q$ : Παροχή ( $m^3/sec$ )  
 $T$ : χρόνος λειτουργίας (ώρες)

$n_t$ : Βαθμός απόδοσης στροβίλου  
 $n_g$ : Βαθμός απόδοσης γεννήτριας  
 $n_{tr}$ : Βαθμός απόδοσης Μ/Σ ανύψωσης  
 $n_{ολ}$ : Συνολικός βαθμός απόδοσης  
 $n_\delta$ : Συντελεστής διαθεσιμότητας

Για τον ΥΗΣ Προεσπέρας ισχύουν τα εξής :

$$n_t = 89,8\%$$

$$n_g = 96,7\%$$

$$n_{tr} = 98,49\%$$

$$n_\delta = 1$$

Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς του στροβίλου θα είναι :

$$P_t = 9.81 * 0.7 * 167.20 * 0.898 = 1031.05 \text{ kW}$$

Η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς της γεννήτριας θα είναι :

$$P_g = 1031.05 * 0.967 = 997.03 \text{ kW}$$

Η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς της μονάδας στο δίκτυο θα είναι:

$$P_e = 997.03 * 0.9849 = 981.97 \text{ kW}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της λειτουργίας του συστήματος της Ικαρίας και της συμπεριφοράς του μετά την ένταξη του νέου υβριδικού της σταθμού με βάση το υπάρχων νομοθετικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί. Το έργο αυτό αποτελεί ουσιαστικά μία επένδυση στο ενεργειακό μέλλον της Ικαρίας και έχει πολλαπλά οφέλη για την τοπική κοινωνία. Τέτοια είναι:

- Ενεργειακή επάρκεια του νησιού για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα του έτους.
- Σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από την ελαχιστοποίηση της λειτουργίας του τοπικού θερμικού σταθμού.
- Αύξηση της απασχόλησης, μέσα από την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, οι οποίες θα καλυφθούν στην πλειονότητα τους από τους κατοίκους του νησιού.
- Βελτίωση υπάρχοντων και ανάπτυξη νέων τοπικών υποδομών (δίκτυο ηλεκτροδότησης και οδικό δίκτυο)
- Προβολή της Ικαρίας διεθνώς, καθώς θα καταστεί πόλος έλξης επιστημονικού τουρισμού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος εξαρτάται σημαντικά από την εισαγωγή συμβατικής ενέργειας από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο ώστε να τηρείται η σύμβαση παροχής εγγυημένης ισχύος από τους Υ/Σ σε ημερήσια βάση. Παρόλα αυτά, η επένδυση μπορεί να θεωρηθεί φιλικότερη ως προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις συμβατικές θερμικές μονάδες, αφού το σύστημα απορροφά, εάν χρειαστεί, την απαιτούμενη ενέργεια από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της νύχτας, τις ώρες δηλαδή που οι θερμικές μονάδες λειτουργούν συνήθως σε χαμηλά φορτία, με μειωμένες αποδόσεις και παράγουν λιγότερες εκπομπές αερίων. Απ' την άλλη μεριά, το προτεινόμενο σύστημα συνεισφέρει, παρέχοντας εγγυημένη ισχύ, στην ηλεκτροδότηση του νησιού τις ώρες αιχμής, όταν δηλαδή οι θερμικές μονάδες παράγουν σημαντικές εκπομπές ρύπων και ταυτόχρονα λειτουργούν με πολύ υψηλό κόστος παραγόμενης ενέργειας.

Επομένως, υπό προϋποθέσεις, τα υβριδικά συστήματα αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας, αξιοποιώντας το υψηλό αιολικό δυναμικό που παρατηρείται στα ελληνικά νησιά. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος παραγόμενης ενέργειας ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος είναι γνωστό κατά την υλοποίηση του και δεν επιφυλάσσει κινδύνους ανατιμήσεων κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, όπως αντιθέτως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση τέτοιων συστημάτων αποτελεί λύση στη περιορισμένη διείσδυση της αιολικής ισχύος στα νησιά, ενώ ταυτόχρονα ενθαρρύνονται μελλοντικές επενδύσεις σε Α/Π αφού αξιοποιούνται σημαντικές ποσότητες απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας δημιουργώντας επιπρόσθετα κέρδη στους υποψήφιους επενδυτές. Παράλληλα, υπάρχουν σημαντικά κοινωνικά οφέλη, αφού ένα τέτοιο έργο συμβάλει στην περιφερειακή ανάπτυξη και στη δημιουργία θέσεων εργασίας. Συνεπώς, η υιοθέτηση μιας κατάλληλης στρατηγικής για την προώθηση τέτοιων λύσεων στα αυτόνομα ελληνικά νησιά, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απεξάρτηση των νησιών από τα ορυκτά καύσιμα, στην ουσιαστική αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ και στη μείωση των ρύπων.



## Βιβλιογραφία

- [1] Μ. Π. Παπαδόπουλος, Παραγωγή Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 1997.
- [2] [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.euroobserver.org/pdf/windpower\\_2012.pdf](http://www.euroobserver.org/pdf/windpower_2012.pdf).
- [3] «World Wind Energy Association (WWEA)., 2009. <<http://www.wwindea.org>>.».
- [4] «Οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ,» σε *L 140/16, 5.6.2009.*
- [5] «Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001 για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης».
- [6] Υ. Ανάπτυξης, «Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα,» 2009.
- [7] «Νόμος 3851/2010, "Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής," ΦΕΚ 85 τ.Α, 4.6.2010.».
- [8] «Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.cres.gr>.
- [9] Β. Κ. Παπαδιάς, Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας, Αθήνα: εκδόσεις ΕΜΠ, 1985.

- [10] «S. Papathanassiou, N. Boulaxis, "Power limitations and energy yield calculation for wind».
- [11] Σ. Παπαευθυμίου, Συμβολή στην Ανάλυση Υβριδικών Αιολικών -, Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή, 2012.
- [12] "Pumping station design for a pumped-storage wind-hydro power plant", John S. Anagnostopoulos, Dimitris E. Papantonis, 2007.
- [13] *Νόμος 3468/2006: 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις', ΦΕΚ 129 τ.Α, 27.6.2006.*
- [14] *ΥΑ Αριθμ. Δ6/Φ1/οικ.5707: 'Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργεια με χρήση ΑΠΕ και μεσω Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης', ΦΕΚ 438 τ.Β, 3.4.2007.*
- [15] *Κείμενο Δημόσιας Διαβούλευσης της ΡΑΕ: 'Βασικές Αρχές Λειτουργίας, Διαχείρισης & Τιμολόγησης Υβριδικών Σταθμών σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά' Αύγουστος 2008.*
- [16] *Κείμενο Δημόσιας Διαβούλευσης από τη ΡΑΕ: 'Κώδικας Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών', Ιανουάριος 2013.*
- [17] *Διερεύνηση Τεχνικών και Οικονομικών Ζητημάτων Ένταξης Υβριδικών Σταθμών στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά', Τελική Έκθεση Ερευνητικού Εργού της ΡΑΕ, ΕΜΠ, Μάρτιος 2008.*
- [18] «Ενεργειακή και οικονομοτεχνική μελέτη του ΥΒΣ Ικαρίας,» ΕΠΙΣΕΥ-ΕΜΠ, Οκτώβριος 2009.
- [19] «ΔΕΗ Ανανεώσιμες (2008), "Το υβριδικό έργο Ικαρίας", ενημερωτικό έντυπο».
- [20] «<http://www.dei.gr/ecPage.aspx?id=11162&nt=18&lang=1> Δελτίο

τύπου ΔΕΗ για το Υβριδικό Έργο Ικαρίας,» 2010.

- [21] «Μαλαχίας Γ., Μπούρκας Π. (2010), "Το υβριδικό ενεργειακό έργο της ΔΕΗ στην Ικαρία", άρθρο, 11ο τεύχος περιοδικής έκδοσης Εταιρίας Ικαριακών Μελετών».
- [22] «ΑΠΟΦΑΣΗ Ρ.Α.Ε. ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 1147/2011 Τροποποίηση και Μεταβίβαση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υβριδικό σταθμό ισχύος 2,40 MW (Αιολικά Πάρκα) – 2,55 MW (Εγγυημένη Ισχύς), στις θέσεις «Στραβοκούντουρας», «Προεσπέρας» και «Κάτω Προεσπέρας»».
- [23] Μαλαχίας Γ., Μπούρκας Π. (2010), "Το υβριδικό ενεργειακό έργο της ΔΕΗ στην Ικαρία", άρθρο, 11ο τεύχος περιοδικής έκδοσης Εταιρίας Ικαριακών Μελετών.
- [24] Παπαευθυμίου Σ. και άλλοι (2009), "Αρχές Διαχείρισης Υβριδικών Σταθμών: Εφαρμογή στο Σύστημα της Ικαρίας", δημοσίευση, ΕΜΠ, ΔΕΗΑΝ, ΔΕΗ..
- [25] Λακιώτης Β. (2010), "Ρύθμιση συχνότητας μέσω Υβριδικού Αντλησιοταμιευτικού Σταθμού", διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π. Αθήνα..
- [26] Γερανάκη Μ. (2009), "Μελέτη της επίδρασης συστήματος αντλησιοταμίευσης στη δυναμική ασφάλεια του ΣΗΕ Ικαρίας", διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π. Αθήνα..