



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Σύστημα αντλησιοταμίευσης για αποθήκευση
ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Α. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ

Επιβλέπων : ΜΑΡΙΑ Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ
ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ Α. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ

Επιβλέπων : ΜΑΡΙΑ Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουλίου 2011.

.....
ΜΑΡΙΑ Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π

.....
Ν. Ι. ΘΕΟΔΩΡΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....
ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Λ. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ

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

Copyright © Αικατερίνη Λ. Παπαϊωάννου, 2011

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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συνολική ανασκόπηση και μελέτη των μεθόδων αποθήκευσης των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα της Αντλησιοταμίευσης. Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης πρόκειται για υβριδικό σύστημα αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικά, γίνεται μια αναφορά σε όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην κατάσταση αυτών στην Ελλάδα και στον κόσμο. Έπειτα, γίνεται συγκεκριμένα αναφορά στην αιολική ενέργεια και τις προοπτικές της καθώς και στην λειτουργία των ανεμογεννητριών.

Στην συνέχεια, αναλύεται η υδροηλεκτρική ενέργεια, οι τύποι υδροστροβίλων και τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα, που είναι η αρχή για τα συστήματα αντλησιοταμίευσης.

Έπειτα, γίνεται μια ανασκόπηση σε όλες τις αποθηκευτικές μεθόδους των Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται και μετά αναλύεται συγκεκριμένα η μέθοδος της Αντλησιοταμίευσης. Επιπροσθέτως αναλύονται οι λόγοι που επιβάλλουν την αποθήκευση ενέργειας καθώς και τα προβλήματα που εμφανίζονται στα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα.

Στην συνέχεια εξετάζεται το σύστημα αντλησιοταμίευσης, το πώς λειτουργεί, τα πλεονεκτήματα και τελικά αναφέρονται τα παραδείγματα εφαρμογής του ή οι μελέτες που έχουν γίνει για να μελλοντική εγκατάσταση τέτοιου συστήματος.

Εν τέλει, εξετάζονται οι οικονομικές, περιβαλλοντικές και ενεργειακές πτυχές της αντλησιοταμίευσης για να εκπονηθεί ένα συμπέρασμα για το αν η αντλησιοταμίευση είναι βιώσιμη λύση στο μεγάλο ενεργειακό πρόβλημα της Ελλάδας αλλά και του κόσμου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: *αντλησιοταμίευση, αιολική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, υβριδικό σύστημα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, αυτόνομα νησιωτικά συστήματα*

ABSTRACT

The main purpose of this dissertation is a total review and study of Renewable Energy storage methods and specifically of pumped storage energy. The hydro pumped storage energy system is a hybrid system which includes hydroelectric and wind power.

Firstly, a report of the Renewable Energy in Greece and all over the world is provided. Also, a specific reference to the wind power, its perspective and to the operation of wind turbine is given.

Afterwards, hydroelectric power, types of hydraulic turbine and the reversible hydroelectric work is analyzed, because it's the basis of pumped storage systems.

Then, a review of all storage methods of Renewable Energy and especially of hydro pumped storage system is analyzed. In addition, the problem of energy independent islands and the reason, why the energy storage is necessary, is mentioned.

Thereafter, the function of hydro pumped storage system is examined and also the advantages of this system. Then, examples of this system are provided as well as simulation for future use of this system.

Finally, economical environmental and energetic aspects of pumped storage system are examined so we can make a conclusion about how this system is viable solution to global and Greece big energetic problem.

KEY WORDS: *hydro pumped storage system, wind power, hydroelectric power, hybrid system, Renewable Energy, energy storage, autonomous island systems*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ	10
1.1.1 Τα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε	11
1.1.2 Οι Α.Π.Ε στο μέλλον	12
1.1.3 Οι στόχοι Α.Π.Ε στην Ελλάδα	13
1.2 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	15
1.2.1 Η Αιολική Ενέργεια Παγκοσμίως	16
1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας	18
1.2.3 Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών	19
1.2.4 Λειτουργία ανεμογεννητριών	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Η ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	23
2.1.1 Αναστρέψιμα Υδροηλεκτρικά έργα	25
2.1.2 Η Υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα	26
2.1.3 Υδροηλεκτρικές Εγκαταστάσεις	29
2.1.4 Τύποι Υδροστροβίλων	30
2.1.5 Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	31
2.2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	32
2.2.1 Συμβατικά Υβριδικά Συστήματα	34
2.3 ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ	34
2.3.1 Κριτήρια Ορθής Λειτουργίας	35
2.3.2 Οικονομοτεχνικά Κριτήρια	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

3.1 ΟΙ ΛΟΓΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ	37
3.2 ΕΙΔΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	38
3.2.1 Ηλεκτροχημική Αποθήκευση Ενέργειας	39
3.2.2 Εναλλακτικές Μορφές Αποθήκευσης	40
3.2.3 Σύγκριση Των διαφόρων Αποθηκευτικών Διατάξεων	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ: ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ

4.1 <i>ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</i>	51
4.1.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Παραγωγής Ενέργειας Ελληνικών Νησιών	52
4.1.2 Περιορισμοί Διείσδυσης Αιολικής Ενέργειας Σε Αυτόνομα Νησιωτικά Δίκτυα	55
4.2 <i>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ</i>	57
4.2.1 Αρχή λειτουργίας Συστήματος Αντλησιοταμίευσης	58
4.2.2 Περιγραφή Συστήματος Αντλησιοταμίευσης	60
4.2.3 Πλεονεκτήματα Της Μεθόδου	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

5.1 <i>ΓΕΝΙΚΑ</i>	65
5.2 <i>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΗΣΙ EL HIERRO (ΚΑΝΑΡΙΑ ΝΗΣΙΑ)</i>	67
5.3 <i>ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</i>	69
5.3.1 Το Παράδειγμα Της Ικαρίας	71
5.3.1.1 Δίκτυο Διανομής	72
5.3.1.2 Γενικές Αρχές Σχεδίασης Ενός ΥΗΣ Με Μονάδες Αντλησιοταμίευσης	73
5.3.1.3 Τα Κύρια Τμήματα Του Συστήματος	73
5.3.2 Η Αντλησιοταμίευση Στην Κρήτη Ως Λύση Στο Ενεργειακό Της Πρόβλημα	77
5.3.3 Η Αντλησιοταμίευση Στην Σέριφο	81
5.3.4 Οι Προσομοιώσεις Στην Λέσβο Και Στην Ίο	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

6.1 <i>ΓΕΝΙΚΑ</i>	91
6.1.1 Οφέλη από αντλησιοταμίευση	93
6.1.2 Μειονεκτήματα από την αντλησιοταμίευση	95
6.1.3 Λειτουργία Αιολικού Πάρκου Σε Συνεργασία Με Υδροηλεκτρικό Έργο υπέρ και κατά	96
6.1.4 Λειτουργία έργων αντλησιοταμίευσης	96
6.1.5 Χρήση της θάλασσας ως δεξαμενή χαμηλής στάθμης	98
6.2 <i>ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</i>	98

6.2.1 Κόστος Ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα ελληνικά νησιά	100
6.2.2 Προοπτικές της Αντλησιοταμίευσης	102
6.2.3 Οικονομική και ενεργειακή αποτίμηση της προσομοίωσης της Ύδου	106
6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	110
<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	111

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην σύγχρονη εποχή, όπου οι ενεργειακές ανάγκες όλο μεγαλώνουν, η πετρελαϊκή κρίση φτάνει στο απόγειο της και τα αποθέματα συμβατικών πηγών ενέργειας διαρκώς και λιγοστεύουν είναι ξεκάθαρο πλέον, ακόμα και για τους πιο δύσπιστους, ότι η ανάγκη για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειάς (ΑΠΕ) στον ενεργειακό χάρτη είναι επιτακτική.

Οι πιο διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι εξής:

- ✓ *Αιολική ενέργεια*, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο βρίσκεται σήμερα σε θεαματική εξέλιξη. Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Πλέον οι προηγμένες τεχνολογικά χώρες, με πρωτοπόρο τη Δανία, έχουν αναπτύξει σε σημαντικό βαθμό την αξιοπιστία και την απόδοση των μηχανών αυτών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση ετησίως τιμή, από 7 έως 11 m/sec, το οποίο υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών. Γι' αυτό το λόγο, ο νησιωτικός χώρος αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.[2]
- ✓ *Ηλιακή ή φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια*, είναι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στοιχείων και παρ' ότι το Φ/Β φαινόμενο είχε παρατηρηθεί από τον Becquerell το 1839, αναπτύχθηκε έντονα το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα. Οι αρχικές εμπορικές κατασκευές, πολύ υψηλού κόστους με σχετικά μικρή απόδοση της τάξης του 5-10% έγιναν από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο. Σήμερα, οι αποδόσεις των Φ/Β στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο, βρίσκονται στα επίπεδα του 22%, για Φ/Β πλαίσια διαστημικών κατασκευών και στο επίπεδο του 14-16% για βιομηχανική-οικιακή χρήση, έχουν όμως αρκετά υψηλό κόστος το οποίο υπολογίζεται ότι σε λίγα χρόνια με τις νέες τεχνολογίες θα μειωθεί σημαντικά. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε θερμικές εφαρμογές (σε ηλιακούς θερμοσίφωνες και φούρνους). Μεγάλοι Φ/Β σταθμοί, μερικών MW λειτουργούν ήδη στην Αμερική και στην Ευρώπη.[2]
- ✓ *Υδροηλεκτρική ενέργεια*, είναι ένας τρόπος παραγωγής μεγάλης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, από την δυναμική ενέργεια του νερού. Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή και ταυτόχρονα το μειονέκτημα σε πολλές περιπτώσεις η δημιουργία των κατάλληλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, να καταστρέφει εύφορες εκτάσεις που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Καλύπτει περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.[2]
- ✓ *Βιομάζα*, Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών με σκοπό την αξιοποίηση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με την φωτοσύνθεση. Η καύση αποτελεί ουδέτερη λίγο-πολύ διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να αντικαθίστανται αμέσως τα χρησιμοποιούμενα φυτά κυρίως τα δέντρα. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Τα καύσιμα που μπορεί να δώσει (βιοαιθανόλη και βιοαέριο) είναι

πιο φιλικά στο περιβάλλον από ότι τα παραδοσιακά καύσιμα. Η βιομάζα αποτελεί σήμερα το 14% της παγκόσμιας παραγωγής και είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές στο μέλλον. [2]

- ✓ *Γεωθερμία*, ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' την ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης και είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού.

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

Η Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10^6 kWh/yr.

Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού

Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

- ✓ *Ενέργεια κυμάτων ή παλιρροιακών κινήσεων*, είναι η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις και έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, κυρίως στις βόρειες θάλασσες. Στη Βρετάνη της Γαλλίας λειτουργεί από το 1966 σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος 240 MW.[2]

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν τη ρίζα τους κατά κύρια βάση στην ηλιακή δράση, εκτός από την ενέργεια των παλιρροϊκών κινήσεων που οφείλεται στη βαρυτική δράση, κυρίως της Σελήνης πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της Γης.[2]

1.1.1 Τα Πλεονεκτήματα Των ΑΠΕ

Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ έναντι των συμβατικών πηγών είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό. Δεν επιβαρύνουν το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α., όπως γίνεται με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και μειώνουν τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας αφού είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος.

- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο και έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων.[4]

1.1.2 Οι ΑΠΕ Στο Μέλλον

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια της γενικότερης τάσης της κοινωνίας για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προχώρησε σε κάποιες συμφωνίες ώστε να ανασταλθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η μόλυνση του πλανήτη από την συνεχώς αυξανόμενη σπατάλη ενέργειας και υλικών. Το Μάρτιο του 2007, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο δεσμεύτηκε το 2012 να καλύπτει το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. από ανανεώσιμες πηγές. Σημειώνεται, ότι το αντίστοιχο ποσοστό σήμερα είναι μόλις 6,5%. Στην επίτευξη του στόχου αυτού καθοριστικό ρόλο θα παίξει η αιολική παραγωγή. Σύμφωνα με εκτιμήσεις η συνεισφορά της αιολικής παραγωγής θα είναι της τάξης του 13%-16%. Για το λόγο αυτό, υιοθετήθηκε από τα 27 κράτη μέλη της Ε.Ε. μια «κοινή ευρωπαϊκή εσωτερική αγορά ενέργειας» για να προωθηθεί ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, μέσω της αποδέσμευσης των διαδικασιών μεταφοράς και παραγωγής και της καθιέρωσης των στόχων εκείνων που αντιστοιχούν στο ενεργειακό δυναμικό του κάθε κράτους-μέλους. Παράλληλα στόχος είναι να προωθηθεί η ανάπτυξη αιολικής ενέργειας στη θάλασσα (offshore). Οι υψηλότεροι και πιο τακτικοί άνεμοι, οι μικρότερης κλίμακας δυσκολίες στην αποδοχή των ανεμογεννητριών από τον τοπικό πληθυσμό, είναι τα βασικά πλεονεκτήματα για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε θαλάσσιες ή παράκτιες περιοχές. Σημαντικές έρευνες είναι σε αυτόν τον τομέα σε εξέλιξη, με κυρίαρχη αυτή του Kriegers Flak, που πραγματοποιείται στα χωρικά ύδατα της Γερμανίας, της Σουηδίας και της Δανίας, μια από τις πιο ανεμώδεις περιοχές της Βαλτικής, με συνολική ικανότητα 1600MW. [21]

Συνολικά σε επίπεδο Ευρώπης οι νέοι δεσμευτικοί στόχοι 20-20-20 για το 2020 είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ 20% συμμετοχή των ΑΠΕ στο ευρωπαϊκό ενεργειακό ισοζύγιο
- ✓ 20% μείωση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) σε σχέση με το 1990
- ✓ 20% εξοικονόμηση ενέργειας
- ✓ 10% συμμετοχή των βιοκαυσίμων στις μεταφορές

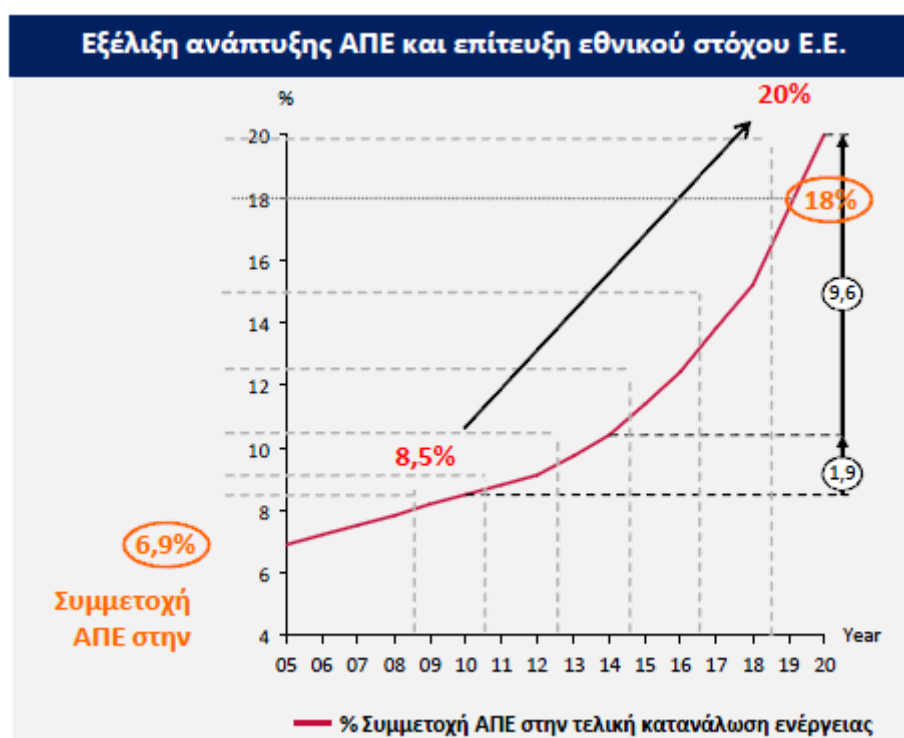
Οι Ευρωπαϊκοί στόχοι για το 2020 είναι μεσοπρόθεσμοι στόχοι (εξισορρόπησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου) στα πλαίσια μιας μακροπρόθεσμης στρατηγικής που για το 2050 αποβλέπει σε μειώσεις εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου της τάξης

του 50-60%. Ο τρόπος, επομένως, που τα κράτη-μέλη της Ευρώπης καλούνται να τους ικανοποιήσουν θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από προνοητικότητα, δυναμικότητα και καινοτομία. Η μεταστροφή του ενεργειακού μοντέλου της Ευρώπης δεν σταματά στο 2020. Για αυτό και αρκετοί ήδη συζητούν για το ξεκίνημα της 3^{ης} βιομηχανικής επανάστασης στην οποία και η χώρα μας θα πρέπει να είναι παρούσα.[21]

1.1.3 Οι Στόχοι ΑΠΕ Στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης η διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας αποτελεί στρατηγικής σημασίας στόχο. Επιπλέον, σε μια χώρα όπως η Ελλάδα με πλούσιο και ανεξάντλητο δυναμικό ΑΠΕ, η προώθηση πράσινων επενδύσεων γίνεται μοναδική ευκαιρία και πλεονέκτημα για την αντιμετώπιση της οικονομικής κρίσης.

Βάσει της Ευρωπαϊκής Οδηγίας, ο στόχος που τέθηκε για την Ελλάδα, ήταν **18%** διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση σε σχέση με το **6,9%** που ήταν το 2005. Η Ελληνική Κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο **20%**. [19]



Σχήμα 1.1 Στόχος συμμετοχής ΑΠΕ για την Ελλάδα[19]

Ο στόχος που τέθηκε από το Εθνικό Σχέδιο Δράσης εξειδικεύτηκε ανά τύπο ΑΠΕ, δίδοντας ιδιαίτερη έμφαση στα αιολικά και στα φωτοβολταϊκά έργα φαίνεται στον παρακάτω:

	Στόχος εγκατεστημένης ισχύος (MW)	% Συμμετοχής (MW)	Στόχος παραγόμενης ενέργειας (GWh)	% Συμμετοχής (GWh)
Αιολικά (Α/Π)	7.500	69,64%	16.797	71,55%
ΦΒ	2.450	22,75%	3.225	13,74%
ΜΥΗΣ	350	3,25%	1.349	5,75%
Βιομάζα-Βιοαέριο	350	3,25%	1.763	7,51%
Γεωθερμία	120	1,11%	343	1,46%
Σύνολο	10.770	100,00%	23.477	100,00%

Πίνακας 1.1 Στόχος ανά τύπο ΑΠΕ για την Ελλάδα[19]

Ο εθνικός στόχος για να επιτευχθεί, προϋποθέτει εντατικοποίηση και συντονισμό των ενεργειών της Πολιτείας, των Φορέων και των Επενδυτών, γιατί πρέπει να προστίθενται κατά μέσο όρο περί τα 900MWανά έτος στο σύστημα.

Ένα άλλο πιθανολογικό σενάριο για να επιτευχθεί ο στόχος της Ελλάδας προτάθηκε από την ΕΛΕΤΑΕΝ (ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) που ανακοίνωσε ένα ενδεικτικό σενάριο (με πάρα πολύ αυστηρές για την αιολική ενέργεια υποθέσεις) για να πετύχει το στόχο ΑΠΕ, τον επιμέρους στόχο 10% για τα βιοκαύσιμα και τον στόχο για 20% εξοικονόμηση ενέργειας και είναι το εξής:

- ❖ Αιολικά Πάρκα: 9.400 MW
- ❖ Υδροηλεκτρικά: 4.100 MW
- ❖ Φωτοβολταϊκά: 1.000 MW
- ❖ Γεωθερμία: 100 MW
- ❖ Βιομάζα: 100 MW

Βλέπουμε ότι και σε αυτό το σενάριο οι στόχοι είναι υψηλοί και θα χρειαστεί μεγάλη προσπάθεια από όλους ώστε να έρθουν εις πέρας.[21]

1.2 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή. Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας είναι η αιολική ενέργεια.



Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Στην ελληνική μυθολογία οι θεοί διορίζουν τον Αίολο ως «ταμία των ανέμων». Η σημασία της ενέργειας των ανέμων αντικατοπτρίζεται στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων αιώνες πριν από την γέννηση του Χριστού. Πρώτη χρήση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο έγινε για την κίνηση των πλοίων τους με τα ιστιοφόρα πλοία που συνέβαλλαν και στην ουσιαστική ανάπτυξη της ναυτιλίας. Άλλη μια χρήση της αιολικής ενέργειας που ξεκίνησε από τους αρχαίους πολιτισμούς είναι οι ανεμόμυλοι. Υπάρχουν ιστορικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες ότι οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους. Συγκεκριμένα στην Αίγυπτο σώζονται πύργοι ανεμόμυλων 3000 ετών. Στις χώρες της ανατολής, στην Περσία, στη Μικρά Ασία, στο Αιγαίο, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν πολύ παλιά για την άλεση δημητριακών, μέχρι τη Βυζαντινή εποχή και μεταγενέστερα. Η μεγαλύτερη διάδοση των ανεμόμυλων έγινε στην Ολλανδία. Εκεί οι ανεμόμυλοι δε χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την άλεση δημητριακών, αλλά και για άλλους σκοπούς, με σπουδαιότερο αυτόν της άντλησης των υδάτων. Συγκεκριμένα απορροφήθηκαν τα νερά των τεραστίων σε έκταση περιοχών της χώρας που βρίσκονταν στη χαμηλή στάθμη και διοχετεύτηκαν στη θάλασσα.[2]

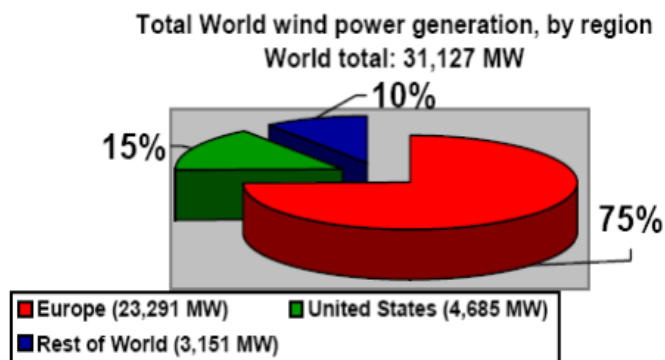
Η χώρα μας, με μεγάλη παράδοση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, προσφέρεται ιδιαίτερα για την αξιοποίηση αυτής της ανανεώσιμης και καθαρής πηγής αφού διαθέτει ισχυρούς ανέμους, βουνοκορφές και απομονωμένα νησιά. Ήδη, κατά τη Βυζαντινή εποχή στην Ελλάδα η άλεση των δημητριακών γινόταν αποκλειστικά διά των ανεμόμυλων. αλλά και αργότερα, κατά τον περασμένο αιώνα, στο ελεύθερο κράτος μετά την υποδούλωση από τους Τούρκους. Πλέον, δεν υπάρχει ελληνικό νησί που να μην έχει ανεμόμυλους με κύρια εκπρόσωπο την Μύκονο που είναι γνωστή ως «το νησί των ανέμων».[2]

Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται *ανεμογεννήτριες*. [8]

1.2.1 Η Αιολική Ενέργεια Παγκοσμίως

Από πολλές απόψεις, η αιολική ενέργεια θεωρείται ως η μεγαλύτερη επιτυχία στην εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών. Η συνδεδεμένη στο δίκτυο αιολική ενέργεια από μεγάλες ανεμογεννήτριες (αιολικά πάρκα) έχει βιώσει γρήγορη ανάπτυξη στην αγορά στην περίοδο από το 1991 και μετά. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, παγκοσμίως έχει αυξηθεί από 2GW σε παραπάνω από 20 GW (Wind Power Monthly 2001) και ο παράγοντας απόδοσης (παραγωγής ανά μονάδα απόδοσης εγκατάστασης) έχει επίσης βελτιωθεί. Η ιστορική τάση στην μείωση κόστους είναι παρόμοια εντυπωσιακή. Κατά το έτος 2002, εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως νέα αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6.868 MW, μέγεθος το οποίο αποτελεί δείκτη της εξέλιξης του κλάδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος κατά 28% παγκοσμίως σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιεύτηκαν από τον AWEA1 (American Wind Energy Association) και τον αντίστοιχο του στην Ευρώπη EWEA2 (European Wind Energy Association). Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων τετραπλασιάστηκε μέσα στα προηγούμενα πέντε έτη, από 7.600MW το 1998 σε 31.000MW το 2002 – μία αύξηση της τάξεως των 23.400 MW- καθιστώντας την αιολική ενέργεια ως την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή παραγωγής ενέργειας παγκοσμίως με μέσο ρυθμό ανάπτυξης της εγκατεστημένης ισχύος της τάξεως του 32% ετησίως τα προηγούμενα πέντε έτη (1998-2002). Το 93% της επιπλέον εγκατεστημένης ισχύος κατά το έτος 2002 πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. ενώ το 90% της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος λειτουργεί σε αυτές τις δύο περιοχές του πλανήτη. Πάνω από τα $\frac{3}{4}$ της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων λειτουργεί στη περιοχή της Ευρώπης και είναι και η περιοχή στην οποία οφείλεται η ραγδαία ανάπτυξη των τελευταίων ετών – ένα επίτευγμα το οποίο απορρέει από την σταθερή δέσμευση για ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κατά το έτος 2002 στις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εγκαταστάθηκαν νέα αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 5.871MW και συνολικής αξίας 5.8 δισεκατομμύρια Ευρώ (6.2 δισεκατομμύρια \$). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σ' αυτή την περιοχή αυξήθηκε κατά 33% και έφτασε τα 23.056MW. Ενώ στις Η.Π.Α., το έτος 2002, η νέα εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε στα 410MW (αύξηση κατά 10%) και στον Καναδά περίπου 40MW. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η Ισπανία παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από την χρησιμοποίηση αιολικών πάρκων απ' ότι οι Η.Π.Α.

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 1.2) φαίνεται η παγκόσμια κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες:

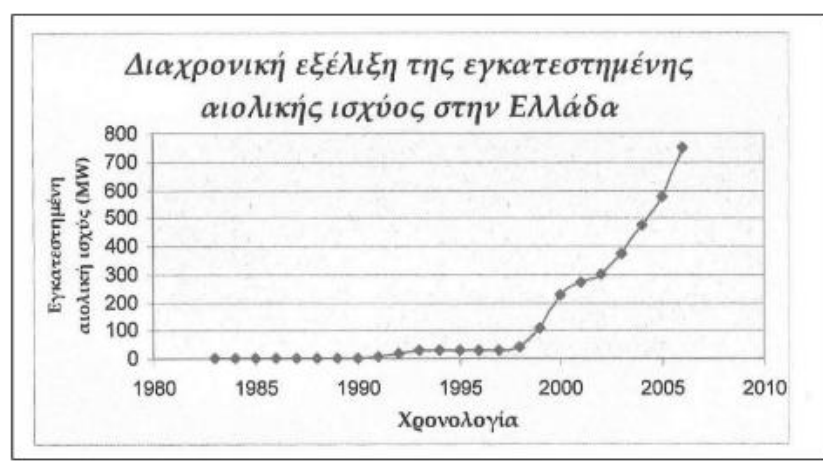


Σχήμα 1.2 Η παγκόσμια κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας που δείχνει τις χώρες με την μεγαλύτερη συνολικά εγκατεστημένη ισχύ αιολικής ενέργειας:

Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε MW
Γερμανία	16.529
Ισπανία	8.263
ΗΠΑ	6.750
Δανία	3.117
Ινδία	3.000
Ιταλία	1.125
Ολλανδία	1.078
Ιαπωνία	991
Ην. Βασίλειο	888
Κίνα	769
Σύνολο	42.610

Πίνακας 1.3 Οι χώρες με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη παραγωγή αιολικής ενέργειας



Σχήμα 1.3 Η εξέλιξη της αιολικής ισχύος στην Ελλάδα

1.2.2 Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Πλεονεκτήματα

Απορρέοντας από τον άνεμο, η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια δεν μολύνει την ατμόσφαιρα όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού τα οποία στηρίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα ή φυσικό αέριο. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η αιολική ενέργεια είναι οικιακή πηγή ενέργειας, καθώς αφθονεί η διαθέσιμη πηγή, ο άνεμος. Η τεχνολογία που αναπτύσσεται περί την αιολική ενέργεια είναι μια από τις πιο οικονομικές που υπάρχουν σήμερα στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κοστίζει ανάμεσα σε 4 και 6 cents ανά κιλοβατώρα· η τιμή εξαρτάται από την ύπαρξη/παροχή ανέμου και από τη χρηματοδότηση ή μη του εκάστοτε προγράμματος παραγωγής αιολικής ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να στηθούν σε αγροκτήματα ή ράντσα, έτσι ωφελώντας την οικονομία των αγροτικών περιοχών, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις καλύτερες τοποθεσίες από την άποψη του ανέμου, ενώ οι αγρότες μπορούν να συνεχίσουν κανονικά τις εργασίες τους αφού η ανεμογεννήτρια καταλαμβάνει ένα πού μικρό μέρος του αγροκτήματος.

Μειονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια πρέπει να συναγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους. Ανάλογα με το πόσο ενεργητική, ως προς τον άνεμο, είναι μια τοποθεσία, το αιολικό πάρκο μπορεί ή δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος. Παρότι το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία 10 χρόνια, η τεχνολογία απαιτεί μια αρχική επένδυση υψηλότερη από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με καύση ορυκτών.

Η ισχυρότερη πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος και δεν φυσά πάντα όταν ο ηλεκτρισμός απαιτείται. Επιπλέον, δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν ώστε να καλυφθούν, τη στιγμή που προκύπτουν, οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό.

Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.

Η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης του ανέμου ως φυσικού πόρου μπορεί ίσως να συναγωνιστεί άλλες χρήσεις της γης και αυτές οι εναλλακτικές χρήσεις ίσως χαίρουν μεγαλύτερης εκτιμήσεως απ' ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού.

Αν και τα αιολικά πάρκα έχουν σχετικά μικρή επίπτωση στο περιβάλλον σε σύγκριση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχει ένας προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τις λεπίδες του ηλεκτρικού κινητήρα (ρότορα), για την αισθητική (οπτική) επίπτωση και για τα πουλιά που μερικές φορές έχουν σκοτωθεί καθώς πετούσαν προς τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί ή έχουν σε σημαντικό βαθμό μειωθεί μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης ή μέσω της επιλογής κατάλληλων περιοχών για τη δημιουργία αιολικών πάρκων.

1.2.3 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, που ορίζεται ως μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα παράγοντας βέβαια μικρή ισχύ, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται), μηχανικής ενέργειας (για χρήση σε αντλιοστάσια), καθώς και θερμότητας.



Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες που συνοψίζονται με βάση τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά σε δυο βασικές μεγάλες κατηγορίες:[4]

- *ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα*, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικας και στις οποίες ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται ώστε να βρίσκεται πάντα παράλληλα προς τον άνεμο.
- *ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα*, στις οποίες ο άξονας παραμένει σταθερός.

Σήμερα, στην παγκόσμια αγορά, έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες *οριζόντιου άξονα*.

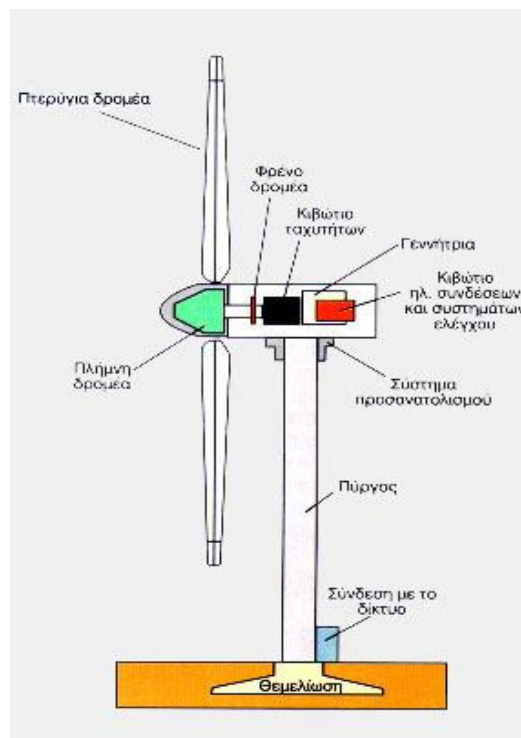
Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα εξής:

- τον δρομέα με δύο ή τρία πτερύγια συνήθως, τα οποία κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται συνήθως σε μια πλήμνη, είτε σταθερά, είτε με την δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από τον διαμήκη άξονα τους, μεταβάλλοντας έτσι το βήμα πτερύγωσης.
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης που αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα και το κιβώτιο του πολλαπλασιασμού των στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στην σύγχρονη ταχύτητα της

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

- την ηλεκτρογεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική, με 4 ή 6 πόλους, η οποία συνδέεται με την έξοδο του κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου.
- το σύστημα πέδης, το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο, που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- το σύστημα προσανατολισμού, το οποίο αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με την διεύθυνση του ανέμου.
- τον πύργο, πάνω στον οποίο εδράζεται όλη η ηλεκτρομηχανική εγκατάσταση.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.

Μια εικόνα μιας τέτοιας τυπικής ανεμογεννήτριας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.4 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα[4]

Τα τελευταία χρόνια, η πρόοδος στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος, μας έχει προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διαφορετικές τοπολογίες ελέγχου ισχύος των ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν είτε με σταθερή είτε με μεταβλητή ταχύτητα. Επομένως, οι δύο κύριες κατηγορίες των τοπολογιών αυτών είναι:

- *ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας* (fixed speed wind turbines)
- *ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας* (variable speed wind turbines).

Τα τελευταία χρόνια επικρατεί η τοπολογία της λειτουργίας των ανεμογεννητριών με μεταβλητές στροφές λόγω μειονεκτημάτων των ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας (έλλειψη ελέγχου της άεργου ισχύος, μηχανικές καταπονήσεις, προβλήματα ποιότητας ισχύος).[4]

1.2.4 Λειτουργία Ανεμογεννητριών

Η ισχύς του δρομέα δίνεται από την γενική σχέση:

$$P_A = (1/2) * \rho * C_p * A * V_w^3, \text{ όπου } \rho = \text{πυκνότητα αέρα, } A = \pi * R^2 \text{ (επιφάνεια δρομέα),}$$

V_w = ταχύτητα ανέμου και C_p = αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος.

Ακόμα ισχύει για την ταχύτητα του ανέμου V_w :

$V_w(t) = v_w + v(t)$, όπου v_w η μέση ταχύτητα και $v(t)$ η τυρβώδης συνιστώσα της ταχύτητας.

Για τον αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος C_p ισχύει: $C_p = C_p(\lambda, \beta)$, όπου $\lambda = (R * \omega_R) / V_w$, με R την ακτίνα του δρομέα και ω_R την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα και β η γωνία του πτερυγίου ως προς την ταχύτητα του ανέμου.

Ανάλογα αν έχουμε ανεμογεννήτρια σταθερών ή μεταβλητών στροφών ισχύει και διαφορετική λειτουργία:

- *ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών*: επιλέγεται πάντα ασύγχρονη γεννήτρια (κυρίως τύπου κλωβού). Εδώ είναι γνωστό και σταθερό το ω_R και έτσι είναι γνωστό το λ . Αυτό έχει ως επακόλουθο το C_p να είναι σταθερό (με $\beta=0$) και έτσι να μπορούμε να βρούμε την ισχύ του δρομέα για κάθε ταχύτητα του ανέμου.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου των ανεμογεννητριών είναι:

- κόστος, βάρος, απλότητα, αξιοπιστία, ανάγκες συντήρησης.
- δυναμικά χαρακτηριστικά: καλύτερη ποιότητα ισχύος και μειωμένες μηχανικές καταπονήσεις.

Το βασικό μειονέκτημα είναι το εξής:

- αδυναμία ρύθμισης του συντελεστή ισχύος (κατανάλωση αέργου ισχύος)

- ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών:

Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- αύξηση ενεργειακής απόδοσης
- μείωση των μηχανικών καταπονήσεων
- δυνατότητα απαλοιφής του κιβωτίου ταχυτήτων
- μείωση του ακουστικού θορύβου
- προσαρμογή της Α/Γ στις τοπικές ανεμολογικές συνθήκες
- καλύτερη ποιότητα ισχύος (μείωση διακυμάνσεων ισχύος εξόδου)
- δυνατότητα ρύθμισης τάσης[4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Η ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από τη μετακίνηση του γλυκού νερού από τους ποταμούς και τις λίμνες. Το νερό αυτό διαθέτει δυνητική ενέργεια, η οποία εκφράζεται από τη στάθμη του ως προς τη στάθμη της θάλασσας. Η ενέργεια αυτή του νερού, η οποία επιδιώκεται να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια μέσω του υδροστροβίλου, είναι ανανεώσιμη καθώς προέρχεται από μία φάση του υδρολογικού κύκλου, τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις). Κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου είναι η δράση του ήλιου, οπότε συνεπάγεται ότι η υδραυλική ενέργεια προέρχεται και αυτή από την ηλιακή ενέργεια. Το νερό κάνοντας τον « κύκλο του » στη φύση έχει δυναμική ενέργεια, όταν βρίσκεται σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο, η οποία μετατρέπεται σε κινητική, όταν το νερό ρέει προς χαμηλότερες περιοχές. Τα υδροηλεκτρικά έργα εκμεταλλεύονται την ενέργεια του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών τουρμπίνων παράγει την *υδροηλεκτρική ενέργεια*. Η κατασκευή φραγμάτων και η συγκέντρωση νερού περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα.[7]



Σχήμα 2.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Η υδροηλεκτρική ενέργεια ξεκίνησε να εφαρμόζεται σε υδροηλεκτρικά έργα (ΥΗΕ) μεγάλης κλίμακας από τα τέλη του 19ου αιώνα. Οι πρώτες σύγχρονες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις χτίστηκαν το 1882 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτές οι

πρώτες εγκαταστάσεις χρησιμοποίησαν έναν γρήγορα ρέοντα ποταμό ως πηγή ενέργειας. Μερικά έτη αργότερα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα φράγματα ως τεχνητές περιοχές αποθήκευσης ύδατος στις καταλληλότερες θέσεις. Αυτά τα φράγματα ελέγχουν επίσης το ποσοστό ροής του νερού στους στροβίλους των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.[7]

Αρχικά, οι σταθμοί υδροηλεκτρικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ήταν μικρής κλίμακας και ιδρύονταν δίπλα σε καταρράκτες κοντά στις πόλεις καθώς δεν ήταν δυνατό, εκείνη την περίοδο, να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις. Πλέον, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις είναι εφικτή, με αποτέλεσμα να έχει υπάρξει μεγάλη κλίμακας χρήση της υδροηλεκτρικής δύναμης καθιστώντας την οικονομικά βιώσιμη. Η μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις πραγματοποιείται με τη βοήθεια της υψηλής τάσης σε εναέρια ηλεκτροφόρα καλώδια αποκαλούμενα γραμμές μετάδοσης. Την τελευταία δεκαετία οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν τη μαζική εμπορική αξιοποίηση και της αιολικής ενέργειας.[7]

Η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας μέσω μετατροπής της σε μηχανική ήταν γνωστή από τους αρχαίους χρόνους με τους γνωστούς νερόμυλους. Η ενέργεια από υδατόπτωση κατέχει ιδιαίτερα σημαντικό ιστορικό ρόλο στον τομέα της παροχής μηχανικής ενέργειας που χρησιμοποιούσαν οι άνθρωποι στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, οι νερόμυλοι χρησιμοποιούνταν στην Μεσοποταμία από τις αρχές του 3000 π.Χ. και έκτοτε έχουν τιθασεύσει την ενέργεια του νερού σχεδόν παντού στον πλανήτη, όπου υπάρχουν ποτάμια ή ρέματα. Οι πρώτες χρήσεις ήταν κυρίως στις αγροτικές καλλιέργειες, για το άλεσμα του καλαμποκιού (στον παραδοσιακό μύλο) και για την άντληση νερού. Κατά τη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα η εφαρμογή νερόμυλων επεκτάθηκε επιπλέον στη βιομηχανία, οδηγώντας ένα ευρύ φάσμα μηχανών για διάφορες χρήσεις, οι οποίες εντοπιζόταν κυρίως στη βιομηχανία της υφαντουργίας. Έναν αιώνα αργότερα, υπήρχαν πάνω από 20,000 νερόμυλοι σε λειτουργία στην Αγγλία και μόνο. Η εμφάνιση του ατμού, φαινομενικά προσέφερε τη δυνατότητα παραγωγής ανεξάντλητης ποσότητας ενέργειας σε σχεδόν οποιαδήποτε τοποθεσία και σύντομα κυριάρχησε στο προσκήνιο. Στον ανεπτυγμένο κόσμο σήμερα, παρόλο που οι νερόμυλοι ουσιαστικά δε χρησιμοποιούνται πλέον, παραμένει ένα πλούσιο κληροδότημα και μηχανολογικό έργο στις περιοχές με ανεμόμυλους. Έχουμε την ευκαιρία να χρησιμοποιούμε τους απογόνους τους, την πιο αποδοτική γεννήτρια υδατόπτωσης για παραγωγή ηλεκτρισμού - την πιο εύστροφη μορφή ενέργειας του κόσμου.[7]

2.1.1 Αναστρέψιμα Υδροηλεκτρικά Έργα

Με τον όρο υδροηλεκτρικά έργα ή υδροηλεκτρικά έργα ταμίευσης εννοούμε τα έργα που έχουν τόσο τη δυνατότητα λειτουργίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (λειτουργία υδροστροβίλου), όσο και τη δυνατότητα άντλησης του νερού, από τον κάτω ταμιευτήρια στον πάνω. Η άντληση του νερού γίνεται κατά τη διάρκεια των ωρών ή ημερών χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από την περίσσεια ενέργεια των μεγάλων θερμικών μονάδων ή των αιολικών. Οι μονάδες βάσεως, δεν έχουν τη δυνατότητα γρήγορης μεταβολής του φορτίου τους ώστε η καμπύλη της παραγωγής ενός μεγάλου δικτύου να παρακολουθεί την καμπύλη ζήτησης η οποία παρουσιάζει έντονες μεταβολές από ώρα σε ώρα και από ημέρα σε ημέρα. Επομένως, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα υπάρχουν ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες βάσεως είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση (π.χ κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες ή κατά τις αργίες), οπότε με τη περίσσεια αυτή του δικτύου πραγματοποιείται η άντληση. Επίσης θα υπάρχουν διαστήματα όπου θα συμβαίνει το αντίθετο, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από τη παραγωγή των μονάδων βάσεως, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Η έλλειψη ενέργειας τις ώρες αιχμής καλύπτεται κατά σειρά ως εξής, με τη λειτουργία των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών, με τη λειτουργία των αεριοστροβίλων και τέλος με την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ξένες χώρες (όπου αυτό είναι δυνατόν, κυρίως στο ηπειρωτικό δίκτυο). [2]

Η προηγούμενη σειρά προτεραιότητας εκφράζει και το κόστος της μονάδας ενέργειας αιχμής (σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης των αεριοστροβίλων είναι πολύ μικρός της τάξης του 30% και για το λόγο αυτό το κόστος της KWh αιχμής, είναι πολύ υψηλό). Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ έχουν λοιπόν διπλό όφελος. Απορροφούν την περίσσεια ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντας την σε υδραυλική ενέργεια (και η οποία αποθηκεύεται στο πάνω ταμιευτήρα) για να την αποδώσουν στο δίκτυο τις ώρες αιχμής. Φυσικά η διαδικασία αυτή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (άντληση) και στη συνέχεια η εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική (λειτουργία υδροστροβίλων), συνοδεύεται με απώλειες, όμως η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντική διαφορά κόστους της μονάδας ενέργειας αιχμής και βάσεως (νυχτερινό τιμολόγιο). Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης – λειτουργία υδροστροβίλων, φτάνει το 25 % (για μεγάλο μεγέθους έργα). Όπως αναμένεται, οι συνολικές απώλειες είναι μεγαλύτερες όσο το μέγεθος των μηχανών γίνεται μικρότερο. [2]

Το αναστρέψιμο ΥΗΕ είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μόνο σε περιοχές που το επιτρέπει η φυσική και γεωλογική διαμόρφωση της περιοχής και όχι κοντά στις γραμμές μεταφοράς, οπότε σε αυτή την περίπτωση το κόστος της ενέργειας επιβαρύνεται. [2]

Ένας άλλος σημαντικός ρόλος των αναστρέψιμων ΥΗΕ είναι η εφεδρεία που παρέχουν στο δίκτυο, σε περίπτωση που λόγω βλάβης, τεθεί εκτός λειτουργία μια μεγάλη θερμική μονάδα βάσης.[2]

2.1.2 Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια Στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό υδροδυναμικό, λόγω του ευνοϊκού τοπογραφικού ανάγλυφου, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου συγκεντρώνεται στο δυτικό και βόρειο τμήμα της, όπου βρίσκονται οι μεγάλοι ποταμοί Αχελώος, Άραχθος, Αώος, Αλιάκμονας και Νέστος. Παρόλα αυτά, μικρό μέρος του δυναμικού αυτού αξιοποιείται. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες εξάντλησαν σε μεγάλο ποσοστό την ανάπτυξη του υδροδυναμικού τους και κατά συνέπεια η ηλεκτροπαραγωγή από μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα δεν αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στην υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων. Η Ελλάδα αποτελεί εξαίρεση: μόνο το ένα τρίτο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού χρησιμοποιείται ή βρίσκεται υπό αξιοποίηση. Επομένως η χώρα διαθέτει σοβαρά ανεκμετάλλευτα αποθέματα εγχώριων, καθαρών και ανανεώσιμων υδατικών ενεργειακών πηγών, για την αξιοποίηση των οποίων υπάρχει και όλη η απαιτούμενη εγχώρια τεχνογνωσία και η κατασκευαστική υποδομή.[7]

Μέχρι σήμερα η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) έχει αξιοποιήσει το 40% του ετήσιου οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της χώρας, το οποίο ανέρχεται σε 12 TWh, καλύπτοντας το 10% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι αρκετά χαρακτηριστικό ότι σύμφωνα με τα στοιχεία της EUROSTAT, κατά το 2004 η Ελλάδα μπόηκε στη "δεκάδα" των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) με το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό δυναμικό. Αυτή η "διάκριση" επετεύχθη μέσα από μια εντυπωσιακή αύξηση κατά 104% στην περίοδο 1993-2004, έναντι μιας συγκρατημένης ανόδου κατά 4,6% για το σύνολο του υδροηλεκτρικού δυναμικού των εικοσιπέντε χωρών της ΕΕ στο ίδιο διάστημα.[7]

Σήμερα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς όλων των σταθμών παραγωγής της ΔΕΗ ανέρχεται σε 12.276 MW, από τα οποία μόνο οι 3.054 MW είναι η ισχύς των εν λειτουργία υδροηλεκτρικών σταθμών. Η συνολική καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε σε 52,9 TWh, από τα οποία μόνο 5,4 TWh εξασφαλίσθηκαν από την υδροηλεκτρική παραγωγή.[7]

A/A	ΥΗΕ	ΠΟΤΑΜΟΣ	ΕΤΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΩΦΕΛΙΜΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (hm ³)
1	Κρεμαστά	Μέσος Αχελώος	1965	4	437,2	2.820,0
2	Καστράκι		1970	4	320,0	74,0
3	Στράτος I+II		1988	2+2	156,2	14,0
Σύνολο συγκροτήματος					913,4	2.908,0
4	Πλαστήρας*	Ταυρωπός (Αχελώος)	1962	3	129,3	300,0
5	Πηγές Αώου**	Αώος και Αραχθός	1990	2	210,0	170,0
6	Πουρνάρι I		1981	3	300,0	323,0
7	Πουρνάρι II		1988	3	33,6	4,5
Σύνολο συγκροτήματος					543,6	497,5
8	Λάδωνας	Λάδωνας	1956	-	70,0	50,0
9	Άγρας	Εόδας	1956	-	50,0	-
10	Εδεσσαίος	Εδεσσαίος	1969	-	19,0	-
11	Παλύφυτο	Αλιάκμονας	1974	3	375,0	1.300,0
12	Σφηκιά***		1985	3	315,0	20,0
13	Ασώματα		1985	2	108,0	14,0
Σύνολο συγκροτήματος					808,8	1.334,0
14	Θησαυρός****	Νέστος	1997	3	384,0	680,0
15	Πλατανόβρυση		2000	2	116,0	12,0
Σύνολο συγκροτήματος					500,0	692,0
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ					3.054,1	

Πίνακας 2.1 Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα [7]

* Εκτροπή Αχελώου (του παραπόταμου του Ταυρωπού) προς Θεσσαλία.

** Εκτροπή Αώου προς Αραχθο.

*** Αναστρέψιμος σταθμός (Αντληση από Ασώματα προς Σφακιά).

**** Αναστρέψιμος σταθμός (Αντληση από Πλατανόβρυση προς Θησαυρό).

Οι ΥΗΣ Σφηκιάς στον Αλιάκμονα και Θησαυρού στον Νέστο είναι αντλητικοί, δηλαδή αποθηκεύουν την περίσσεια υδροηλεκτρικής ενέργειας για να την αποδώσουν όταν υπάρχει υπερβάλλουσα ζήτηση σε σχέση με την παραγωγή. Τα Υδροηλεκτρικά αυτά Έργα, υποκαθιστούν σε πολλές περιπτώσεις τα ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας έτσι αποφασιστικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Αναλυτικά τα δύο αυτά αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα αναλύονται παρακάτω:

Ασώματα – Σφηκιά (Ποταμός Αλιάκμονας):

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός (ΥΗΣ) Σφηκιάς είναι εξοπλισμένος με τρεις αναστρέψιμες μονάδες εγκατεστημένης ισχύος 105 MW η καθεμία, ενώ η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα του είναι 20,0 εκ. m³. Η λειτουργία των στροβίλων αναστρέφεται, όταν αυτό κρίνεται σκόπιμο, ώστε τη νύχτα να μπορούν να αντλούν νερό από την κατάντη λίμνη Ασωμάτων, όταν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από τους λιγνιτικούς σταθμούς και να την αποδίδουν την ημέρα υπό καλύτερους όρους.

Ο ταμιευτήρας των Ασωμάτων έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 14 εκ. m³ και εφοδιάζει με νερό τον αντλητικό σταθμό του ΥΗΣ Σφηκιάς. Επίσης ικανοποιεί τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του ΥΗΣ Ασωμάτων ανέρχεται σε 108 MW.[7]



Σχήμα 2.2 YHS Σφηκιάς στον Αλιάκμονα[7]

Πλατανόβρυση – Θησαυρός (Ποταμός Νέστος):

Στον ποταμό Νέστο έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν τα δύο φράγματα του Θησαυρού και της Πλατανόβρυσης.

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός (YHS) Θησαυρού είναι αναστρέψιμος σταθμός με λειτουργία ως αντλητικός το βράδυ, ανεβάζοντας το νερό του ταμιευτήρα Πλατανόβρυσης στον ταμιευτήρα Θησαυρού. Ο ταμιευτήρας του YHS Θησαυρού είναι ωφέλιμης χωρητικότητας 680 εκ. m³. Είναι έργο εξοπλισμένο με τρεις αναστρέψιμες μονάδες, τύπου Francis κατακόρυφου άξονα, εγκατεστημένης ισχύος 128 MW η καθεμία και παράγει περί τις 755 GWh ετησίως.

Ο ταμιευτήρας του YHS Πλατανόβρυσης, με ωφέλιμη χωρητικότητα 12 εκ. m³, λειτουργεί τόσο για την παραγωγή ενέργειας όσο και ως κατάντη ταμιευτήρας για το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο του Θησαυρού. Ο σταθμός διαθέτει 2 μονάδες τύπου Francis κατακόρυφου άξονα, εγκατεστημένης ισχύος 58 MW η καθεμία, που παράγουν συνολικά ετήσια ενέργεια της τάξης των 240 GWh.[7]



Σχήμα 2.3 YHS Θησαυρού στον Νέστο[7]

2.1.3 Υδροηλεκτρικές Εγκαταστάσεις[7]

Οι Υδροηλεκτρικές Εγκαταστάσεις έχουν μεγάλη έκταση ανάλογα με το μέγεθος του ποταμού και το σχέδιο εκμετάλλευσης του νερού της λεκάνης απορροής. Ύστερα από μετρήσεις και έρευνες γίνεται η προμελέτη έργων αξιοποίησης ενός ποταμού, η μελέτη, η κατασκευή και τέλος αρχίζει η εκμετάλλευση του έργου.

Κύρια τμήματα ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι το Φράγμα, ο Ταμιευτήρας, ο Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής, η Υδροληψία, οι Σήραγγες, ο Αγωγός Προσαγωγής / Απαγωγής του νερού, το Εργοστάσιο παραγωγής, ο Υποσταθμός ανύψωσης τάσεως και οι Γραμμές μεταφοράς.

Το Φράγμα: Υπάρχουν πολλά είδη φραγμάτων και χωρίζονται ανάλογα το υλικό με το οποίο κατασκευάζονται, πέτρα, σκυρόδεμα, χώμα και άλλα υλικά. Επίσης, ανάλογα με το ύψος τους, υπάρχουν τα μεγάλα, μεσαία και μικρά.

Ο Ταμιευτήρας: Ο Ταμιευτήρας σχηματίζεται μετά την έμφραξη της σήραγγας εκτροπής. Η έκταση και η χωρητικότητά του εξαρτώνται από την μορφολογία της λεκάνης απορροής του ποταμού ανάντη του φράγματος αλλά και το ύψος του.

Ο Εκχειλιστής – Υπερχειλιστής – Εκκενωτής: Ο Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής και ο Εκκενωτής είναι τα επιμέρους έργα ή τμήματα του φράγματος που εξασφαλίζουν την ασφάλειά του σε έκτακτες περιπτώσεις όπως είναι οι μεγάλες πλημμύρες ή κάποιο άλλο συμβάν που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο ένα φράγμα από αιτίες όπως σεισμούς, γεωλογικό πρόβλημα, κατολισθήσεις κ.τ.λ.

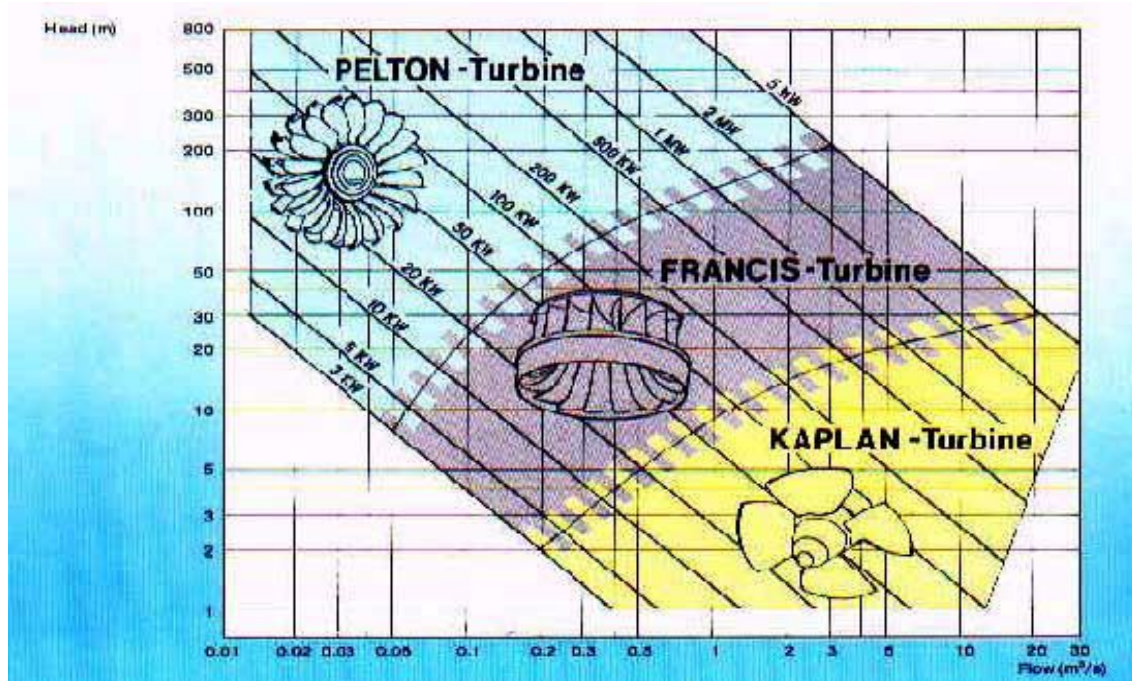
Υδροληψία, Σήραγγες – Αγωγοί Προσαγωγής- Απαγωγής του νερού: Είναι τα έργα που οδηγούν το νερό από τον ταμιευτήρα στο σταθμό παραγωγής και μετά την διέλευσή του από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη κοίτη του ποταμού κατάντη ή στον επόμενο ταμιευτήρα ανάλογα τις περιπτώσεις.

Το Εργοστάσιο Παραγωγής: Είναι το κτίριο που περιέχει τις μονάδες παραγωγής, τους πίνακες ελέγχου και τον βοηθητικό εξοπλισμό που χρειάζεται για την λειτουργία του. Μπορεί να είναι υπόγειος, υπαίθριος, ημιυπαίθριος.

Ο Υποσταθμός Υψώσεως Τάσεως – Γραμμές Μεταφοράς: Κοντά στο εργοστάσιο βρίσκεται ο υποσταθμός όπου υπάρχουν οι μετασχηματιστές ισχύος, διακόπτες, το κτίριο ελέγχου και άλλος βοηθητικός εξοπλισμός. Επίσης στον υποσταθμό είναι εγκατεστημένοι οι διακόπτες των γραμμών που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια και αποτελούν τμήμα του εθνικού συστήματος μεταφοράς υψηλής τάσεως 150 KV και 380 KV.

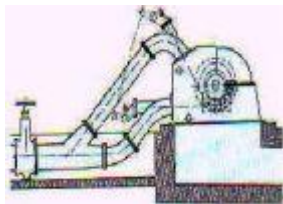
2.1.4 Τύποι Υδροστροβίλων[7]

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι υδροστροβίλων: Οι υδροστροβίλοι Pelton, Francis και Kaplan. Αυτός ο διαχωρισμός έχει γίνει βάσει της περιοχής λειτουργίας κάθε στροβίλου, όπως φαίνεται στο κάτωθι διάγραμμα:



Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε στροβίλου είναι τα ακόλουθα

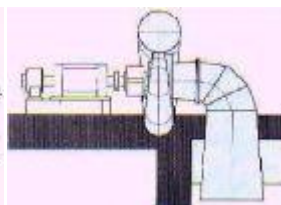
Ο σρόβιλος PELTON



- Δυνατός σχεδιασμός, χαμηλή επένδυση
- Μικρή βασική περιοχή για την αποθήκευση του στροβίλου με εύκολο σχεδιασμό, λόγω του λογικού κόστους κατασκευής
- Ομαλή πορεία αποδοτικότητας, ο σρόβιλος Pelton είναι κατάλληλος για μεταβλητή ροή

PELTON

Ο σρόβιλος FRANCIS



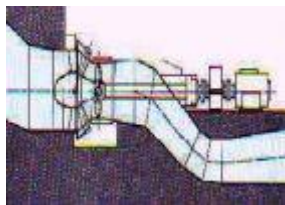
- Δυνατός σχεδιασμός, μικρός χώρο στροβίλου
- Πολλές στροφές (ταχύτητα μηχανής) το λεπτό, κυρίως άμεση σύζευξη με τον σρόβιλο

FRANCIS

FRANCIS

- Κατάλληλη (ικανή) για ισχυρή μεταβολή σε επίπεδα κάτω από το νερό

Ο στρόβιλος KAPLAN



- Κατάλληλη για χαμηλές ροές.
- Μικρή ευαισθησία κατά του πάγου, ζημιών και πλύσης - ξηράς σπασμένων βράχων, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί τσουγκράνα για ψαμμίαση - κρυσταλλοποίηση άμμου

KAPLAN

Η παραγόμενη ισχύς ενός υδροστρόβιλου είναι:

$P = n * 9,81 * q * h$, όπου n: βαθμός απόδοσης (0,65 % και άνω), q: ροή νερού (m³/s) και h : υψομετρική διαφορά (m).

2.1.5 Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της *υδροηλεκτρικής ενέργειας* παρουσιάζονται παρακάτω :

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων, πετρελαίου).
- Είναι μια « καθαρή » και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος).
- Μέσω των υδροταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υδροτόπων, αναψυχή, αθλητισμός.[7]

Τα μειονεκτήματα που συνήθως εμφανίζονται είναι :

- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όπως και ο πολύς χρόνος που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτήρα (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης, στη χλωρίδα και πανίδα περιοχών αλλά και του τοπικού κλίματος, πλήρωση ταμιευτήρων με φερτές ύλες, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας, κ.ά.). Η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή μικρών φραγμάτων.[7]

2.2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Υβριδικά συστήματα θεωρούνται τα αυτόνομα ενεργειακά συστήματα βέλτιστης συνεργασίας περισσότερων πηγών ενέργειας με στόχο τη μέγιστη οικονομική διείσδυση των ΑΠΕ στα δίκτυα που συνδέονται. Ο όρος «Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας», ή πιο απλά «Υβριδικά Συστήματα», αναφέρεται σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής, ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την ίδια διάταξη, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου, καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου. Με αυτήν την έννοια, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μία εναλλακτική επιλογή αντί των συμβατικών συστημάτων, τα οποία τυπικά βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. [17] Σύμφωνα με το νόμο 3468/2006, ως υβριδικό σύστημα ή αλλιώς υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

1. Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.
2. Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το δίκτυο ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, σε ωριαία βάση.
3. Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού δε μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%. [17]

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να βρουν εφαρμογή σε διάφορες περιπτώσεις οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι:

❖ Συστήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής σε Κεντρικό Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα απαρτίζονται από τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι ότι διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και ότι η τάση και η συχνότητα δεν επηρεάζονται από την παρουσία επιπρόσθετων γεννητριών ή φορτίων, είναι δηλαδή δίκτυα άπειρου ζυγού. Αν ένας υβριδικός σταθμός συνδεθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο, τότε γίνεται λόγος για *διεσπαρμένη παραγωγή*. Δεδομένου ότι το κεντρικό δίκτυο έχει την ευθύνη για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας, αλλά και για την παραγωγή αέργου ισχύος, ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος απλοποιείται καθώς δεν απαιτούνται συστήματα ελέγχου. Όταν ζητείται περισσότερη

ενέργεια από αυτήν που μπορεί να παράγει ο σταθμός, το έλλειμμα ενέργειας παρέχεται από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Παρομοίως, τυχούσα περίσσεια

ενέργειας που παράγεται από το υβριδικό σύστημα μπορεί να απορροφηθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο, ωστόσο πρέπει να τονιστεί ότι τίθενται περιορισμοί σχετικά με τη συμμετοχή του υβριδικού σταθμού στη στιγμιαία παραγωγή ισχύος. Σε μερικές περιπτώσεις η παρουσία του υβριδικού σταθμού επηρεάζει την ικανότητα του κεντρικού δικτύου να διατηρεί σταθερή τάση και συχνότητα, οπότε γίνεται λόγος για ασθενές δίκτυο και συνήθως απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός και διατάξεις ελέγχου.[17]

❖ **Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα**

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα (ΑΥΣ) χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων ή νησιωτικών περιοχών που δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε δεν υπάρχει σύστημα μεταφοράς παρά μόνο σύστημα διανομής. Η μετατροπή ενός συμβατικού αυτόνομου σταθμού σε υβριδικό αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στην ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου και των ωρών λειτουργίας των συμβατικών γεννητριών. Η σημαντικότερη διαφορά του αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι πρέπει να μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου όταν αυτό δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής έργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή από τις μονάδες ΑΠΕ του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, η περίσσεια ενέργειας πρέπει να αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα. Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό, οπότε επηρεάζονται έντονα από την σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας. Για τους παραπάνω λόγους, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου.[17]

❖ **Τροφοδότηση Απομονωμένων Φορτίων ή Φορτίων Ειδικού Σκοπού**

Υβριδικά συστήματα χωρίς δίκτυο διανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού, τα οποία μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ή ακόμα και μεταβλητής τάσης και συχνότητας. Παραδείγματα τέτοιων φορτίων αποτελούν οι ηλεκτρικοί φάροι, ο φωτισμός της σήμανσης στους αυτοκινητόδρομους, η άντληση νερού, τα συστήματα αφαλάτωσης καθώς και οι ηλεκτρικοί μύλοι. Μία εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πανέλα σε συνδυασμό με μπαταρίες και ηλεκτρονικά ισχύος. Σε αυτά τα συστήματα ο έλεγχος συχνότητας και τάσης καθώς και η διαχείριση της περίσσειας ισχύος δεν αποτελούν τις κύριες παραμέτρους σχεδίασης. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρησιμοποίησης και συμβατικής γεννήτριας που λειτουργεί όποτε η παραγωγή ΑΠΕ δεν επαρκεί, αλλά συνήθως δεν λειτουργεί παράλληλα με τις γεννήτριες ΑΠΕ.[17]

2.2.1 Συμβατικά Υβριδικά Συστήματα

Προτείνεται η ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων , όπου οι ΑΠΕ μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα με αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ενέργειας(ΘΗΣ) οι οποίοι είναι ήδη διαθέσιμοι σε μερικά νησιά. Οι ΘΗΣ αποτελούνται από ντηζελομηχανές που λειτουργούν με πολύ μεγάλο κόστος ανά kWh. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν στα ελληνικά νησιά, τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα στο ηπειρωτικό δίκτυο. Τα απλά υβριδικά συστήματα (γνωστά ως πρώτης γενιάς) αποκάλυψαν πολλές ασυμβατότητες μεταξύ ΑΠΕ και ΘΗΣ όπως διακυμάνσεις συχνότητας και τάσης. Σε κάθε περίπτωση οι ΘΗΣ χρησιμοποιούταν ως η κύρια πηγή ενέργειας και τα ηλιακά και αιολικά συστήματα ως η δευτερεύουσα πηγή καλύπτοντας μόνο το 10% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Παρά ταύτα η δυνατή επιθυμία της κυβέρνησης και των τοπικών αρχών για μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών οδήγησε στην ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων δεύτερης γενιάς. Σε αυτά τα συστήματα, η κύρια ιδέα είναι η χρήση πολλαπλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα και οι θερμικές μηχανές οι οποίες θα χρησιμοποιούνται μόνο αν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή από τις ΑΠΕ. Ένα καλό παράδειγμα ενός υβριδικού συστήματος δεύτερης γενιάς βρίσκεται στο νησί της Κύθνου, όπου μια ανεμογεννήτρια (500 kW), ένας υδροηλεκτρικός σταθμός (100 kW) και ένας ΘΗΣ (1990 kW) λειτουργούν παράλληλα. Χρησιμοποιούνται επιπλέον οι μπαταρίες ως μέσα αποθήκευσης. Ένα άλλο ενδιαφέρον υβριδικό σύστημα δεύτερης γενιάς βασίζεται στη συνεργασία μεταξύ ανεμογεννητριών και μικρών αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών συστημάτων, τα οποία λειτουργούν παράλληλα με τους ΘΗΣ. Αυτός ο τύπος συστημάτων προτείνεται για νησιά των οποίων το φορτίο είναι μεγάλο και η χρήση μπαταριών είναι απαγορευτική. Η διείσδυση των συστημάτων ΑΠΕ στο τοπικό δίκτυο του νησιού χρησιμοποιώντας μπαταρίες ως μέσα αποθήκευσης αναμένεται να φτάσει μόνο το 50% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Χρησιμοποιώντας όμως υδροηλεκτρικούς σταθμούς ως μέσα αποθήκευσης, η διείσδυση μπορεί να φτάσει το 80%.[8]

2.3 ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Είναι γνωστό ότι το αιολικό δυναμικό των ελληνικών νησιών είναι μεγάλο και θα πρέπει να το εκμεταλλευτούμε όσο το δυνατό περισσότερο. Πολλοί ερευνητές εργάζονται για να βρουν περισσότερους αποτελεσματικούς τρόπους για αυτή την εκμετάλλευση. Η εγκατάσταση και λειτουργία των αιολικών πάρκων και των υβριδικών συστημάτων σε μικρότερα και μεγαλύτερα νησιά αποκάλυψε τα εμπόδια και τις δυνατότητες εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Η στοχαστική συμπεριφορά του αιολικού δυναμικού , σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας από τις καταναλώσεις σε καθημερινή βάση αλλά και ανάλογα την εποχή, περιορίζουν τη δυνατότητα των ΑΠΕ να ικανοποιήσουν από μόνες τους τις ενεργειακές ανάγκες των νησιών χωρίς αποθήκευση ενέργειας.[8]

2.3.1 Κριτήρια Ορθής Λειτουργίας

Σε μια προσπάθεια καθορισμού του μέγιστου οικονομικά βιώσιμου ποσοστού αιολικής διείσδυσης, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιούν ένα φυσικό φαινόμενο με στοχαστική συμπεριφορά – τη ροή του ανέμου. Η εισαγωγή τους συνεπώς σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, πέρα από τα σημαντικά θετικά στοιχεία που προσφέρει, προκαλεί επίσης ικανό αριθμό διαταραχών (διακύμανση τάσεως – συχνότητας, ασυμμετρία δικτύου, επαγωγικά φορτία κλπ) που αν και ασήμαντες για ισχυρά δίκτυα, είναι εν τούτοις συχνά απαγορευτικές για μικρά ασθενή νησιώτικα δίκτυα. Για την αντιμετώπιση της πραγματικότητας αυτής, οι Ηλεκτρικές Εταιρίες (π.χ. ΔΕΗ) επιτρέπουν την ενεργειακή συμμετοχή αιολικών μηχανών μόνο σε ποσοστό 30% της στιγμιαίας ζήτησης φορτίου κατά μέγιστο, ιδιαίτερα σε νησιά που καλύπτονται με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη στηριζόμενα σε εμβολοφόρους μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Το ποσοστό αυτό καθορίζεται σε συνδυασμό με το επιλεγμένο σημείο λειτουργίας των ΜΕΚ του αυτόνομου σταθμού παραγωγής (ΑΣΠ) και της ελαστικότητας φορτίου αυτών, ώστε σε περίπτωση ξαφνικής απώλειας της παραγωγής των αιολικών μηχανών (βλάβη, πτώση ταχύτητας ανέμου) να είναι δυνατή η στιγμιαία ανάληψη του απαιτούμενου φορτίου από τις εν λειτουργία ευρισκόμενες ΜΕΚ του ΑΣΠ, χωρίς δημιουργία προβλήματος στο τοπικό δίκτυο (απώλεια φορτίου, πλήρες black out κλπ). Σε περίπτωση ύπαρξης αεροστροβίλων είτε υδροστροβίλων, λόγω της ικανότητας άμεσης ανάληψης φορτίου (χρόνος αντίδρασης περίπου 4sec), παρέχεται η δυνατότητα μεγαλύτερης συμμετοχής των αιολικών μηχανών στο δίκτυο.[8]

2.3.2 Οικονομοτεχνικά Κριτήρια

Από πλευρά οικονομικής αξιολόγησης μιας αντίστοιχης επένδυσης είναι κατανοητό ότι η δημιουργία αιολικών σταθμών ονομαστικής ισχύος έως το 30% του φορτίου αιχμής του τοπικού δικτύου αποτελεί άνευ πρακτικής σημασίας όριο, άρα γραφειοκρατικό περιορισμό, καθώς το μέγιστο φορτίο του δικτύου εμφανίζεται ελάχιστες φορές ετησίως. Πράγματι, από τα διαθέσιμα επίσημα στοιχεία προκύπτει ότι ο συντελεστής φορτίου των ΑΣΠ του Αιγαίου κυμαίνεται σε επίπεδα 35% έως 50%. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο εξής πρακτικό αποτέλεσμα: Η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας δεν μπορεί να ξεπερνά το 10% ($\approx 0,35 \times 30\%$) έως 15% ($\approx 0,50 \times 30\%$) της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του νησιού, εφόσον σε νησιώτικα δίκτυα δημιουργηθούν αιολικές εγκαταστάσεις μεγέθους ίσου με το 30% του φορτίου αιχμής του δικτύου, ακόμα και στην απίθανη περίπτωση πλήρους συγχρονισμού υψηλής ζήτησης ενέργειας και υψηλής ταχύτητας ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, με βάση εκτεταμένη έρευνα που παρουσιάστηκε στο παρελθόν βασισμένη σε πραγματικά αναλυτικά στοιχεία, η μέγιστη ενεργειακή συμμετοχή των προτεινόμενων αιολικών πάρκων σε νησιά όπως η Σύρος, η Άνδρος και η Κέα (μη διασυνδεδεμένα την εποχή εκείνη) δεν ξεπερνά το 9% ετησίως. Συνεπώς, βάσει των παραπάνω προκύπτει ότι το θεωρητικό μέγιστο της αιολικής διείσδυσης σε απομονωμένα δίκτυα, στα οποία λειτουργούν ΑΣΠ, δεν υπερβαίνει το 15% ενώ στην πραγματικότητα η επιταχυνόμενη μέγιστη διείσδυση – απουσία έργων αποθήκευσης αιολικής / ηλεκτρικής ενέργειας – δεν υπερβαίνει το 8% ετησίως. Για την επιβεβαίωση της ισχύουσας πραγματικότητας, υπενθυμίζεται ότι η ΔΕΗ – μετά από ισχυρές πιέσεις – σε συμφωνίες αγοράς αιολικής ενέργειας από ιδιώτες

παραγωγούς (P.P.A.), ακόμα και σε μεγάλα νησιά με σαφώς ισχυρότερο δίκτυο, όπως η Κρήτη, εγγυάται την είσοδο των αιολικών πάρκων μεγέθους ίσου με το 30% του φορτίου αιχμής του δικτύου, ενώ σε μικρότερα νησιά όπως π.χ. η Χίος, οι ώρες εγγυημένης αιολικής απορρόφησης σε πλήρη ανάπτυξη των αιολικών πάρκων κυμαίνονται στην περιοχή των 4000+4500 ωρών κατά έτος. Συνοψίζοντας, καθίσταται προφανές ότι σε περίπτωση εξάντλησης του ορίου του 30% της επιτρεπόμενης διείσδυσης αιολικής ισχύος σε ένα ασθενές ηλεκτρικό δίκτυο, η απορρόφηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας θα κυμαίνεται σε ποσοστά μικρότερα του 30% περιορίζοντας αντίστοιχα και τα αναμενόμενα έσοδα, καθιστώντας τις αιολικές επενδύσεις μη βιώσιμες. Αντίθετα, για την επίτευξη ικανοποιητικών εσόδων απαιτείται η εγκατάσταση αιολικών σταθμών μεγέθους έως το 10% του φορτίου αιχμής του κάθε δικτύου, ώστε να είναι δυνατή η απρόσκοπτη συμμετοχή τους στο τοπικό ενεργειακό ισοζύγιο. 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 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.[8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

3.1 ΛΟΓΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

Επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από φυσικά φαινόμενα (π.χ. αιολική και ηλιακή ενέργεια) υπάρχει ενδεχόμενο, αρκετές φορές η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να μη συμπίπτει χρονικά με τη ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και η μετέπειτα χρήση της σε διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση, θα βοηθούσε ώστε να εκμεταλλευτούμε πλήρως τα πλεονεκτήματα που παρέχουν οι ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας αφού πλέον σχεδόν εκμηδενίζεται η πιθανότητα να μην υπάρχει ενέργεια τη στιγμή που θα ζητηθεί και έτσι επιτρέπεται η δημιουργία περισσότερο μακροπρόθεσμων σχεδίων διαχείρισης. Η ύπαρξη αποθηκευτικού μέσου λοιπόν δίνει στις ΑΠΕ την αξιοπιστία ενός συμβατικού συστήματος παραγωγής ενέργειας (π.χ. γεννήτριες ντίζελ) και ανοίγει το δρόμο για τη δημιουργία συστημάτων παραγωγής ενέργειας που βασίζονται αποκλειστικά και μόνο σε ανανεώσιμες πηγές.[24]

Οι πιθανές εφαρμογές που μπορούν να έχουν οι αποθηκευτικές διατάξεις σε ένα ΣΗΕ κάποιες από τις οποίες μπορούν να εξυπηρετούνται από την ίδια αποθηκευτική διάταξη είτε ταυτόχρονα είτε σε διαφορετικές περιόδους είναι οι εξής:

1. Χρήση αποθηκευμένης ενέργειας λόγω έλλειψης ικανότητας παραγωγής των διαθέσιμων μονάδων.
2. Αποθήκευση ενέργειας για αποφυγή παραβίασης τεχνικών ελαχίστων θερμικών μονάδων.
3. Χρήση αποθηκευτικής διάταξης για εξομάλυνση της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ και αποδοτικότερης συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, αποθηκεύοντας στις ώρες χαμηλού κόστους και χρησιμοποιώντας την στις ώρες υψηλού κόστους εκμεταλλευόμενοι τη διαφορά τιμών.
4. Περιορισμός αποκοπτόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, αποθήκευση ενέργειας για χρήση σε επόμενο χρονικό διάστημα οπότε και δεν θα υπάρχει διαθέσιμη παραγωγή. Είναι η συνηθισμένη πρακτική σε μικρά αυτόνομα και απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Για εκμετάλλευση της διαφοράς κόστους παραγωγής από τις συμβατικές μονάδες είτε χωρίς αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων (μόνο οικονομική κατανομή) είτε μεταβάλλοντας κάπως το πρόγραμμα ένταξης μονάδων.
6. Παροχή στρεφόμενης εφεδρείας, παροχή ισχύος σε έκτακτη χρονική στιγμή.
7. Περιορισμός απωλειών δικτύου λόγω της παροχής ισχύος σε πολύ τοπικό επίπεδο.
8. Αποφυγή ή μετάθεση επενδύσεων ενίσχυσης δικτύου, διανομής ειδικά αν υπάρχει συνδυασμός της διάταξης αποθήκευσης με κάποιας μορφής παραγωγής από ΑΠΕ αν έχουν επιλεγεί οι κατάλληλες θέσεις για την εγκατάστασή της.

9. Διαχείριση ζητημάτων ποιότητας ισχύος λόγω της γρήγορης απόκρισης των μονάδων αυτών.
10. Αδιάλειπτη παροχή ισχύος.
11. Εκκίνηση μετά από σφάλμα.
12. Υποστήριξη τάσης και συχνότητας.
13. Παραγωγή άλλου αγαθού και αποθήκευσής του π.χ. θερμότητας, σε ώρες στις οποίες το κόστος είναι χαμηλό για την αποφυγή κατανάλωσης ενέργειας σε ώρες υψηλού φορτίου.[24]

3.2 ΕΙΔΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Οι αποθηκευτικές διατάξεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής με βάση τον παράγοντα του χρόνου:

α) διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, είναι διατάξεις που μπορούν να απορροφήσουν ή να προσφέρουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, δηλαδή για λίγα δευτερόλεπτα ως μερικά λεπτά. Συνήθως συμβάλλουν στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος και στην ευστάθεια του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ).

β) διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης, είναι διατάξεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χρονικό διάστημα από λίγα λεπτά μέχρι μερικές ώρες. Αυτές βρίσκουν εφαρμογές στην διαχείριση παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές, στην ενίσχυση της παρεχόμενης εφεδρείας καθώς και στην διαχείριση ενέργειας από ΑΠΕ.

γ) διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης, είναι οι διατάξεις που αφορούν χρονικό διάστημα από μερικές ώρες μέχρι βδομάδες και μήνες. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξομάλυνση της ζήτησης μεταξύ των ωρών που υπάρχει αιχμή και των ωρών που δεν υπάρχει και σε περιπτώσεις ικανοποίησης της ζήτησης στην αιχμή αφού πρώτα έχει γίνει αποθήκευση ενέργειας σε περίοδο χαμηλής ζήτησης.[24]

Μια άλλη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια. Έτσι οι τεχνολογίες αποθήκευσης διακρίνονται σε:

1. Ηλεκτρική αποθήκευση: είναι η ηλεκτροστατική αποθήκευση με τη χρήση πυκνωτών και υπερπυκνωτών, καθώς και μαγνητική αποθήκευση.
2. Μηχανική αποθήκευση: είναι η αποθήκευση ενέργειας σε μορφή κινητικής ενέργειας (σφόνδυλοι) ή σε μορφή δυναμικής ενέργειας
3. Χημική αποθήκευση: είναι η αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή ηλεκτροχημικής ενέργειας (συμβατικές μπαταρίες, μπαταρίες ροής) ή με τη μορφή χημικής ενέργειας (κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες μετάλλου αέρα) ή με τη μορφή θερμοχημικής ενέργειας (τεχνολογία solar fuel).
4. Θερμική αποθήκευση: είναι η αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας.[5]

3.2.1 Ηλεκτροχημική Αποθήκευση Ενέργειας

▪ Μπαταρίες μολύβδου – οξέος

Οι μπαταρίες αυτές είναι οι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως. Για το ένα τρίτο του πληθυσμού της γης που ακόμη δεν είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, η μπαταρία (ηλεκτροχημικό κύτταρο ή συσσωρευτής) παραμένει ο βασικός φορέας ενεργειακής αποθήκευσης. Οι αμέτρητοι ιδιοκτήτες εξοπλισμού γεννητριών ντίζελ και οι αγρότες στηρίζονται στις συμβατικές μπαταρίες μολύβδου – οξέος με το χαμηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης, τη γρήγορη απόκριση και τα ευέλικτα ποσά τροφοδοσίας ισχύς. Ο περιορισμένος κύκλος ζωής των μπαταριών αυτών (ειδικά σε συνθήκες βαθιάς εκφόρτισης), δεν αποτελεί πρόβλημα λόγω του χαμηλού κόστους τους.

Ωστόσο τα συστήματα μολύβδου – οξέος βελτιώνονται σταδιακά και με διάφορους τρόπους. Μια από τις βελτιώσεις είναι η χρήση ηλεκτρολυτών σε μορφή gel, αντί για υγρούς, είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν οι μπαταρίες να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειαστεί να ανεφοδιαστούν, και να είναι ανθεκτικές σε κλονισμούς και κραδασμούς. Στις ρυθμιζόμενες από βαλβίδα, μπαταρίες μολύβδου – οξέος (VRLA) η διαφυγή αερίου ρυθμίζεται από ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης. Η απόδοση και ο χρόνος ζωής βελτιώνονται από τις καινοτόμες τεχνικές φόρτισης, όπως οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης. Η τεχνολογία μολύβδου – οξέος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία κλίμακα. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για τη διαχείριση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας σε συστήματα ισχύος π.χ. συστήματα αγροκτημάτων. Για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές αιολικής ενέργειας, έχει προταθεί η αποθήκευση ισχύος της τάξης των 100MW ή περισσότερο, σε μπαταρίες. Αυτό θα βοηθούσε όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο να αποθηκεύεται η αιολική ενέργεια για τα διαστήματα όπου θα υπάρχει ζήτηση και θα καθιστούσε περιττή την αποκοπή αιολικής ενέργειας όταν δεν υπάρχει ζήτηση.[5]

▪ Μπαταρίες νικελίου – καδμίου

Η αποθήκευση σε διατάξεις νικελίου-καδμίου αποδίδει επίσης σε μεγάλο βαθμό. Μια καινούρια εγκατάσταση στην Αλάσκα πρόκειται να παρέχει 40MW ισχύος, χρησιμοποιώντας 13760 κύτταρα νικελίου – καδμίου από τη SAFT Batteries. Η εγκατάσταση δεν έχει λειτουργήσει ακόμη αλλά οι αριθμοί είναι ενδεικτικοί για το βαθμό αποθήκευσης που μπορεί να επιτευχθεί.

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου παρόλο που είναι ακριβότερες από τις μολύβδου – οξέος, έχουν διπλάσιο χρόνο ζωής και επειδή δεν απαιτείται παρακολούθηση κατά τη λειτουργία τους μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες περιοχές με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και στην κυριολεξία να ξεχαστούν. Στα μειονεκτήματά τους εκτός από το κόστος ανήκουν και η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών σκουπιδιών (ύστερα από τη χρήση της μπαταρίας) καθώς και η πεπερασμένη ποσότητα καδμίου στον πλανήτη.[5]

▪ Μπαταρίες λιθίου – ιόντος

Οι μπαταρίες αυτές έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 KWh/m³ λιθίου), σχεδόν 100% αποτελεσματικότητα και μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%). Επειδή το λίθιο είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι

μπαταρίες που βασίζονται σε αυτό μπορούν να είναι κατά πολύ ελαφρύτερες από τις συνηθισμένες. Γι' αυτό το λόγο και λόγω της μεγάλης αποτελεσματικότητάς τους, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα και στους φορητούς υπολογιστές.[5]

▪ Μπαταρίες μετάλλου – αέρα

Το γεγονός ότι είναι οι φθηνότερες μπαταρίες, σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητά τους εξηγεί γιατί τις παράγουν πολλές γνωστές εταιρείες. Ως άνοδος χρησιμοποιούνται συνήθως κατάλληλα μέταλλα π.χ. αλουμίνιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος ή ακόμη και σίδηρος, τα οποία τοποθετούνται σε ρευστό ή πολυμερή ενσωματωμένο ηλεκτρολύτη π.χ. από κάλιο, και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια κατά τη μετέπειτα αντίδραση οξείδωσης. Αυτά καθώς έλκονται από την κάθοδο καταλύτη και άνθρακα και καθώς ρέουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργούν διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες μετάλλου – αέρα είναι δομικά ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον. Αλλά ενώ η υψηλή ενέργεια, η ελεγχόμενη εκφόρτιση και το χαμηλό κόστος θα μπορούσαν να τις καθιστούν κατάλληλες για πολλές εφαρμογές, η μόνη γνωστή και κατάλληλη επαναφορτιζόμενη συσκευή είναι ένα σύστημα ψευδαργύρου – αέρος. Το σύστημα αυτό έχει πολύ μικρό κύκλο ζωής και αποτελεσματικότητα φόρτισης/εκφόρτισης μόνο 50% περίπου. Μερικοί κατασκευαστές ξεπερνούν τη δυσκολία επαναφόρτισης προσφέροντας συσκευές που είναι δυνατό να ανεφοδιαστούν έτσι ώστε να αντικατασταθεί το μέταλλο που καταναλώθηκε. Αυτή η λύση όμως έχει συνέπειες στον κύκλο ζωής, το κόστος και την ευκολία χρήσης.[5]

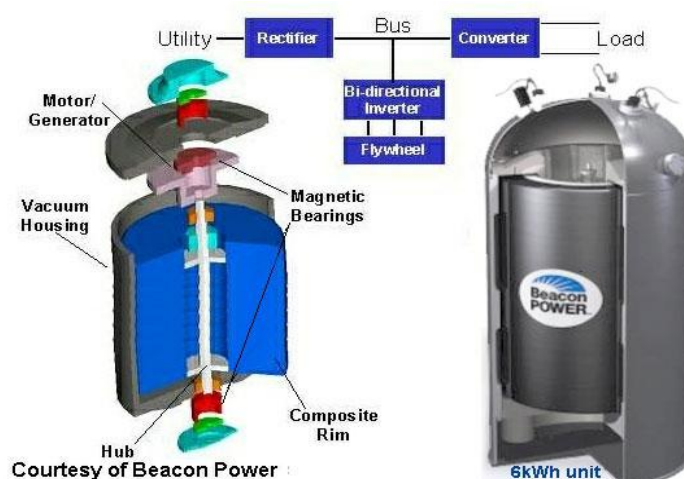
3.2.2 Εναλλακτικές Μορφές Αποθήκευσης

▪ Στρεφόμενες μάζες (flywheels)

Οι στρεφόμενες μάζες ή σφόνδυλοι flywheels, αναμένεται να έχουν εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για την παροχή εφεδρείας και όχι τόσο για την παροχή ενέργειας. Η ενέργεια που αποθηκεύεται με την περιστροφή μίας στρεφόμενης μάζας σε υψηλή ταχύτητα μπορεί να μετατραπεί ξανά ηλεκτρική ισχύ με τη σύνδεση της μάζας σε μια γεννήτρια. Το ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στη στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογο της μάζας του στροφέα και ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας του στροφέα

(σύμφωνα με την εξίσωση $k=(mv^2)/2$ όπου k = κινητική ενέργεια, m = μάζα και v = ταχύτητα). Τα τελευταία χρόνια στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών η έμφαση έχει μετατοπιστεί από το σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες. Ταχύτητες μέχρι 40000rpm έχουν ήδη επιτευχθεί, ενώ μέχρι 60000rpm προβλέπονται για τις μελλοντικές γενεές. Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται μεταξύ λίγων sec και μέχρι 15-30 min, βοηθώντας περισσότερο από τις μπαταρίες σε εφαρμογές ισχύος παρά ενέργειας. Αντίθετα από τις μπαταρίες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει ως και 80-90% χωρίς ιδιαίτερη πτώση της απόδοσής τους με το χρόνο ζωής τους ο οποίος φτάνει τα 15 – 20 χρόνια (για χρήση σε υψηλές συχνότητες) με μικρή συντήρηση και εγκατάσταση.

Οι στρεφόμενες μάζες καθώς παρέχουν μια υψηλής ενέργειας ώθηση, εκφορτίζονται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα αν είναι απαραίτητο. Έτσι προτιμούνται όλο και περισσότερο για εκτεταμένες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών καθώς και για την ικανοποίηση της ζήτησης ενέργειας σε ώρες αιχμής όπου απαιτείται άμεση παροχή σχετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Οι στρεφόμενες μάζες μπορούν να συμπληρώσουν τις μπαταρίες στα ΣΗΕ με υψηλή διείσδυση μονάδων ΑΠΕ εξισορροπώντας τις απότομες και γρήγορες μεταβολές στο φορτίο. Οι μεταβολές αυτού του είδους θα έφθειραν γρήγορα τις μπαταρίες λόγω των περιορισμένων κύκλων ζωής που έχουν.[5]



Σχ. 3.1 Τυπική διάταξη μίας μονάδας flywheel.[24]

▪ Υπέρ - πυκνωτής (supercapacitor)

Μια εναλλακτική λύση για την εξυπηρέτηση των γρήγορων και απότομων μεταβολών του φορτίου είναι ο υπέρ - πυκνωτής. Οι μονάδες υπέρ - πυκνωτών έχουν χωρητικότητα ισχύος και ενέργειας χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξομαλύνουν τις 'βυθίσεις' που παρατηρούνται στην παραγωγή του αεροκινητήρα καθώς τα περύγια περνούν από τον πύργο που τον στηρίζει, οπότε η ροή αέρα διαταράσσεται και μειώνεται με αποτέλεσμα να εμφανίζονται βυθίσεις στην παραγωγή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό απαιτείται επαναλαμβανόμενη παροχή ενέργειας και ταχύτατη απόκριση με σύντομους υψηλής συχνότητας παλμούς. Οι υπέρ - πυκνωτές είναι ικανοί να παρέχουν ισχύ της τάξης των 100kW, ενώ η ενέργειά τους είναι δυνατό να διοχετευτεί μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου ως και μέσα σε ένα λεπτό. Ειδικοί αναφέρουν ότι αναπτύσσουν μονάδες υπέρ - πυκνωτών βασισμένες σε προηγμένους οργανικούς ηλεκτρολύτες που θα είναι ικανές να παρέχουν ενεργειακές πυκνότητες των 25kW/ m³. [5]

▪ Υπεραγωγή πηνία (SMES)

Ένας άλλος τύπος διάταξης που αναπτύσσεται κυρίως για τη σταθεροποίηση των διακυμάνσεων στην τάση του δικτύου και την ενίσχυση της ισχύος σε ώρες αιχμής

αλλά και με προοπτική για εφαρμογή σε ανανεώσιμες πηγές είναι το υπεραγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES).

Τα χαρακτηριστικά της διάταξης των υπεραγώγιμων πηνίων είναι τέτοια ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και να οδηγούν τον ηλεκτρισμό, σχεδόν χωρίς απώλειες, σε συστήματα ειδικά σχεδιασμένα ώστε να 'εγκλωβίζουν' αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Πρόσφατες παρουσιάσεις εφαρμογών διανομής ενέργειας στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη δείχνουν ότι και τα υπεραγώγιμα πηνία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές, ειδικά όπου υπάρχει ήδη κατάλληλη υποδομή ψύξης. Τα πρώιμα υπεραγώγιμα υλικά για να αποδώσουν χρειάζονται κρυογόνο ψύξη η όποια έχει μεγάλο κόστος. Τελευταία εμφανίστηκαν υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγοί ('High Temperature' Superconductors, HTS) οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες σύμφωνες με τη βιομηχανικά τυποποιημένη ψύξη υγρού αζώτου, περισσότερο συμφέρουσα από την κρυογόνο ψύξη. Λόγω αυτού του γεγονότος αρκετές αμερικανικές επιχειρήσεις έχουν καταφέρει να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο υπεραγώγιμα καλώδια και ταινίες.

Πέρα από τα παραπάνω μια περαιτέρω στροφή στην ιστορία της υπεραγωγιμότητας ήταν η πρόσφατη ανακάλυψη ότι μία κοινή ένωση η MgB₂ μπορεί να ημι - άγει. Ωστόσο αυτό το υλικό χρειάζεται ψύξη περίπου στα 20°K, γι' αυτό οι επιστήμονες αναζητούν ένα υλικό που θα ήταν σε θέση να ημι - άγει σε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες. Το ιδανικό θα ήταν κάποιο υλικό που θα παρουσίαζε αμελητέα ηλεκτρική αντίσταση στη θερμοκρασία δωματίου. Μέχρι τώρα όμως έχει ανακαλυφθεί το ασβέστιο 130°K ως ανώτερο όριο μετάβασης. Ανάμεσα στα υλικά που ερευνώνται είναι και ορισμένα πολυμερή πλαστικά και μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι έχουν παρατηρήσει τα σημάδια της υπεραγωγιμότητας στη θερμοκρασία δωματίου στον άνθρακα nanotubes.[5]

▪ Αποθήκευση μακράς διάρκειας

Στα μεγάλα συστήματα ΑΠΕ που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, για να συμπέσει η τροφοδοσία ενέργειας από αποθηκευτικές διατάξεις με τις προβλέψεις για ζήτηση ενέργειας απαιτείται μεγάλης κλίμακας και μακράς διάρκειας αποθήκευση ενέργειας. Μία πολλά υποσχόμενη λύση είναι ένα ηλεκτροχημικό σύστημα αποθήκευσης, η κυψέλη καυσίμων. Στη διάταξη αυτή ο ηλεκτρολύτης αποθηκεύεται σε χωριστές δεξαμενές, από τις οποίες ρέει μέσα σε σωλήνες, συγκρατώντας τη συναρμολόγηση των ηλεκτροδίων της μπαταρίας. Αυτή η διάταξη διευκολύνει πολύ τους ογκομετρικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με την ποσότητα ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί με ένα δεδομένο σύστημα, και ως εκ τούτου και την ισχύ που μπορεί να αποθηκευτεί.

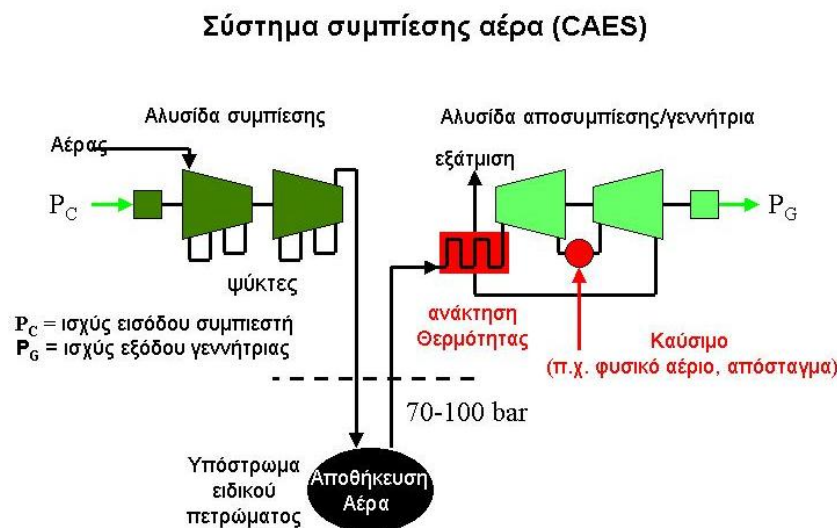
Η ηλεκτροχημική απελευθέρωση της ενέργειας εμφανίζεται όταν δύο διαφορετικές ενώσεις άλατος (ηλεκτρολύτες) φέρνονται κοντά η μία στην άλλη μέσα στην κυψέλη αλλά χωρίζονται από μία μεμβράνη διεξαγωγής ιόντων. Η ροή ρεύματος μέσω της μεμβράνης δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια και κατά συνέπεια ενέργεια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Αυτή ή ροή ρεύματος συνοδεύεται από χημικές μεταβολές και στους δύο ηλεκτρολύτες. Αυτές οι μεταβολές αναιρούνται αν κατά τη διάρκεια του κύκλου επαναφόρτισης εφαρμοστεί εξωτερικά στα ηλεκτρόδια ένα

αντίστροφο δυναμικό. Με αυτό τον τρόπο οι συνδεδεμένοι ηλεκτρολύτες επιστρέφουν στην αρχική ηλεκτροχημική κατάστασή τους.

Με αυτή τη διαδικασία μπορούν να αποθηκευτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που υλοποιείται πρόσφατα στο Little Barford, Cambridge shire, της Αγγλίας έχει χωρητικότητα 120 MWh – καθιστώντας το τη μεγαλύτερη μπαταρία παγκοσμίως. Αυτό το σύστημα έχει δύο δεξαμενές 1800m³ που περιέχουν υγρούς ηλεκτρολύτες πολυσουλφιδίων νατρίου και βρωμίδων νατρίου. Η εκφόρτιση μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια λεπτών ή ωρών και ο κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης μπορεί να επαναληφθεί επ’ αόριστο. Η μέγιστη εκτιμώμενη ισχύς είναι 15MW. Η ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλή και η αποδοτικότητα περιορίζεται σε περίπου 75-80%. Άλλες χημικές δομές των κυψελών ροής είναι οι ψευδάργυρου/βρωμίου, νατρίου/βρωμίου και θειικό οξύς/βαναδίου. Οι κυψέλες καυσίμων έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί με ανανεώσιμες πηγές. Για παράδειγμα διάφορα μακρινά χωριά στη Μαλαισία που τροφοδοτήθηκαν από υβριδικά συστήματα ‘εκτός δικτύου’ είχαν εγκατεστημένες κυψέλες καυσίμων.[5]

▪ Σύστημα συμπίεσης αέρα (CAES)

Η βασική ιδέα της μεθόδου ότι συμπιεσμένος αέρας στα 800 ως 1600psi μπορεί να αποσυμπιεστεί ώστε, κινώντας αεριοστρόβιλο, να παράγει ηλεκτρισμό, π.χ. κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου. Μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν παγκοσμίως, η μία στις ΗΠΑ και η άλλη στη Γερμανία στο Huntorf. Και οι δύο εγκαταστάσεις έχουν υπόστρωμα ορυκτού άλατος. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος φαίνεται σε γενικές γραμμές στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα λειτουργίας μονάδας CAES[5]

▪ Αποθήκευση και υδρογόνο (Hydricity)

Μια άλλη παραλλαγή ηλεκτροχημικής αποθήκευσης είναι η κυψέλη καυσίμων. Στην ουσία είναι μία μπαταρία που μπορεί επίσης να παραγάγει δική της ισχύ αν

τροφοδοτηθεί με καύσιμο. Τέτοια καύσιμα είναι το υδρογόνο, είτε με την καθαρή μορφή του είτε σε μορφή υδρογονανθράκων (π.χ. μεθανόλη, φυσικό αέριο ή βενζίνη) από τους οποίους μπορεί αργότερα να εξαχθεί. Το υδρογόνο που παράγεται από τη μετατροπή ενός από τα καύσιμα που προαναφέρθηκαν ή από την 'ανανεώσιμα τροφοδοτημένη ηλεκτρόλυση του νερού, αντιπροσωπεύει μία κατάλληλη αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί είτε να τροφοδοτήσει ένα κύτταρο καυσίμου για την απευθείας μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια είτε να αποθηκευτεί για μετέπειτα χρήση.

Η ηλεκτροχημική ενεργειακή μετατροπή σε ένα κύτταρο καυσίμων είναι περιβαλλοντικά καθαρή. Καταρχήν γιατί το κύριο προϊόν αποβλήτων είναι το νερό (το υδρογόνο αντιδρά χημικά με το οξυγόνο του αέρα για να διαμορφώσει νερό, απελευθερώνοντας ιόντα κατά την αντίδραση) και κατά δεύτερον είναι πολύ πιο αποδοτικότερο από το να καίγεται σε μία μηχανή καύσης για να παράγει αρχικά θερμική ενέργεια και ύστερα μηχανική.[5]

Αποθήκευση υδρογόνου

Η αποθήκευση του υδρογόνου αποτελεσματικά και ακίνδυνα αποτελεί ακόμη αντικείμενο έρευνας. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σαν αέριο, σαν υγρό αν ψυχθεί με κρυστατικό τρόπο σε θερμοκρασία μικρότερη των 20°K ή, θεωρητικά, σαν στερεό σε θερμοκρασία κάτω των 4.2°K. Μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε συνδυασμό με άλλα υλικά ως υδρίδιο (ένωση υδρογόνου), σαν υδρογονάνθρακας από τον οποίο μπορεί να παρασκευαστεί, σαν μια άλλη χημική ουσία πλούσια σε υδρογόνο όπως η αμμωνία, ή ως αέριο που έχει απορροφηθεί πάνω σε ένα στερεό υλικό ή μέσα στα διάκενα ενός υλικού με μικροπόρους.

Υγρή μορφή

Η υγρή αποθήκευση ως κρυογενές υγρό θα επέφερε υψηλές ενεργειακές πυκνότητες αλλά η διαδικασία ρευστοποίησης και το επόμενο στάδιο της επαναφοράς σε υγρή μορφή πριν από τη χρήση θα πρόσθεταν δαπάνες και θα περιλάμβαναν ενεργειακές απώλειες μέχρι και 30%. Παρόλα αυτά πρωτότυπα οχήματα-δεξαμενές υπάρχουν ήδη, ενώ κορυφαίες επιχειρήσεις στο χώρο του αυτοκινήτου (GM, BMW) συνεργάζονται για να εξετάσουν το πρόβλημα του υγρού υδρογόνου. Ειδικές έρευνες στοχεύουν στο να μειώσουν το βάρος των κρυογόνων δεξαμενών στο ένα τρίτο και τα μέχρι τώρα ποσοστά εξάτμισης στο μισό. Ένα τυπικό σύστημα θα συνδύαζε πίεση 20 bar και θερμοκρασία περίπου 77°K.

Αεριώδης μορφή

Τελευταία επίσης το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αποθήκευση υδρογόνου με την κανονική (σε κανονικές συνθήκες) αεριώδη μορφή του, διατηρώντας το υπό πίεση μέσα στις δεξαμενές. Ένα γραμμάριο υδρογόνου καταλαμβάνει όγκο 11 λίτρων κανονικά και τόσες ατμόσφαιρες πίεσης πρέπει να χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτευχθεί μία χρήσιμη πυκνότητα ενέργειας. Μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιηθεί πιέσεις μέχρι 5000psi (350 ατμόσφαιρες ή bar) και πρόσφατα οι αυτοκίνητες δεξαμενές 10000psi (700bar) έχουν πετύχει την πιστοποίηση.

Λαμβάνοντας υπόψη το ζήτημα της ασφάλειας, οι δεξαμενές πρέπει να περάσουν μια αυστηρή σειρά από εκρήξεις, δοκιμές ανακύκλωσης πίεσης, θερμοκρασίας, διάβρωσης, σύγκρουσης, πυρκαγιάς, πυροβολισμού κ.α. Αρκετοί είναι εκείνοι που θεωρούν την αποθήκευση υδριδίων μετάλλων πιο ελπιδοφόρα από τη ρευστοποίηση

ή από τη διατήρηση του υδρογόνου υπό πίεση. Τα υδρίδια παράγονται με την επαφή του αερίου υδρογόνου με το μέταλλο και στη συνέχεια με συμπίεση του αερίου, σε τιμές πίεσης όπου το υδρογόνο συμπυκνώνεται στην στερεά του μορφή, διαμορφώνοντας ένα γνωστό υδρίδιο με το μέταλλο. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ‘φόρτισης’ απελευθερώνεται θερμότητα και στη συνέχεια απαιτείται θερμότητα για την εξαγωγή υδρογόνου από το υδρίδιο.

Οι υψηλότερες χωρητικότητες προσφέρονται από μέταλλα που διαμορφώνουν υδρίδια στις υψηλές θερμοκρασίες (250 – 350°C), αλλά παρόμοιες θερμοκρασίες απαιτούνται για να ελευθερώσουν ξανά το υδρογόνο όταν χρειαστεί. Αυτό καθιστά το σύστημα ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου και του αυτοκινήτου. Γι’ αυτό οι ερευνητές επιδιώκουν τη χρήση κραμάτων και άλλων υλικών που προσφέρουν αυξημένα ποσοστά απορρόφησης/ απελευθέρωσης σε κανονικότερες θερμοκρασίες και πιέσεις. Άλλα επιθυμητά χαρακτηριστικά των υλικών είναι η δυνατότητα να ανακυκλώνονται πολλές φορές χωρίς υποβάθμιση, να απορροφούν μόνο το υδρογόνο χωρίς σχετικές ακαθαρσίες, να είναι ελέγξιμα τα ποσοστά απορρόφησης και απελευθέρωσης, και η σταθερότητα των υδρίδιων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Ορισμένα υδρίδια, όπως αυτά που διαμορφώνονται με σίδηρο/ τιτάνιο και λανθάνιο/ κράματα νικελίου προσφέρουν υψηλή ογκομετρική αποδοτικότητα αποθήκευσης αλλά είναι βαριά. Υδρίδια του μαγνησίου, μαγνήσιο/ νικέλιο και μαγνήσιο/ κράματα τιτανίου είναι πολύ ελαφρύτερα.

Πολλά υποσχόμενη είναι η προσρόφηση αερίου υδρογόνου από στερεό άνθρακα, ένα υλικό που έχει μια πολύ λεπτή ιδιαίτερα πορώδη δομή στην οποία οι μυριάδες των μορίων υδρογόνου μπορούν να ‘αποθηκευτούν’. Αν και ικανά να συναγωνιστούν την πυκνότητα αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου, τα ενεργοποιημένα συστήματα άνθρακα που ερευνήθηκαν ως τώρα χρειάστηκαν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (υγρού αζώτου) για την αποθήκευση και τη διατήρησή.[5]

▪ **Αποθήκευση νερού χρήσης- αφαλάτωση**

Η κατασκευή μίας δεξαμενής νερού είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή από την κατασκευή διάταξης αποθήκευσης θερμότητας ή υδρογόνου. Επειδή ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια είτε για την άντληση είτε για την αφαλάτωση νερού, η μετατόπιση της ζήτησής ηλεκτρικής ενέργειας για την εξυπηρέτηση αυτών των αναγκών μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη διαχείριση μέρους της καταναλισκόμενης ενέργειας στο δίκτυο. Ειδικά για την αφαλάτωση υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι :

1. Η εξάτμιση ή απόσταξη
2. Η ηλεκτροδιάλυση
3. Η ψύξη
4. Θερμικές μέθοδοι
5. Η αντίστροφη όσμωση (RO)

Η εξάτμιση λειτουργεί με ενέργεια που προσφέρεται από κυρίως ως θερμότητα από ατμό θέρμανσης, από ηλεκτρικό ρεύμα ή από εναλλακτικές πηγές θερμότητας. Η θερμότητα διαχωρίζει το νερό από τα άλατα κάνοντας το νερό ατμό και έπειτα

ακολουθεί συμπύκνωση των ατμών πάλι σε υγρό. Η διεργασία αυτή γίνεται μέσα σε συσκευές που ονομάζονται εξατμηστήρια. Η ηλεκτροδιάλυση ενώ στην αρχή είχε χρήση μόνο σε υφάλμυρα ύδατα, πλέον έχει εφαρμογή και σε θαλάσσιο νερό. Η βασική αρχή της ηλεκτροδιάλυσης είναι ο αποχωρισμός των αλάτων από το νερό με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος σε ιοντικές μεμβράνες. Η μέθοδος της ψύξης βασίζεται στην ιδιότητα του νερού που όταν παγώνει, το γλυκό νερό σχηματίζει τον πάγο ενώ τα άλατα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του πάγου. Η μέθοδος αυτή

δεν έχει βρει εφαρμογή λόγω της δυσκολίας σχηματισμού μεγάλων κρυστάλλων πάγου. Ακόμα, για να γίνει ο καθαρισμός του πάγου από τα άλατα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ποσότητα νερού ίση περίπου με το μισό του παραγόμενου. Αυτός είναι ο λόγος που η μέθοδος αυτή έχει κριθεί αντιοικονομική. Μία προτεινόμενη μεθοδολογία για την αξιοποίηση των τοπικών σταθμών παραγωγής σε νησιά και παράκτιες περιοχές της μεσογείου είναι η αφαλάτωση με τη χρήση θερμικών μεθόδων που θα αξιοποιούν την απορριπτόμενη θερμότητα από τις θερμικές μονάδες παραγωγής αντί για τη θέρμανση ή την ψύξη χώρων που αναμένεται να απαιτεί σημαντικό κόστος σωληνώσεων για ένα αγαθό πιο πολύτιμο γι' αυτά τα μέρη το πόσιμο νερό. Αυτή η φιλοσοφία χρησιμοποιείται ήδη στη Σ. Αραβία. Αυτή η προσέγγιση αν και αναμφισβήτητα ενδιαφέρουσα και η οποία χρήζει περαιτέρω διερεύνησης εν τούτοις δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση της επιθυμητής φιλοσοφίας η οποία είναι να μειωθεί η αποκοπτόμενη αιολική παραγωγή και να παραχθεί πόσιμο νερό με τη βοήθεια ηλεκτρισμού σε περιόδους τις οποίες είναι οικονομικά πιο ωφέλιμο για το δίκτυο. Η μέθοδος αντίστροφης όσμωσης χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια για την λειτουργία της, υπό μορφή πίεσης σε ημιπερατές μεμβράνες και διαχωρίζει το νερό από τα περιεχόμενα άλατα σε ένα διάλυμα με μικρή γενικά κατανάλωση ενέργειας. Η αντίστροφη όσμωση βρίσκει εφαρμογές

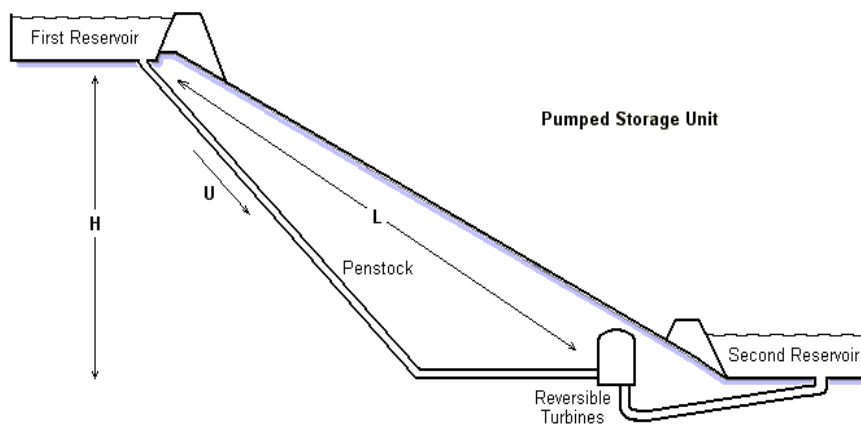
τα τελευταία 30 χρόνια σε βιομηχανική κλίμακα για αφαλάτωση θαλάσσιου νερού και ήδη υπάρχει σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων σε νησιά του Αιγαίου, ενώ αναμένεται και εγκατάσταση και άλλων τέτοιων μονάδων εξαιτίας της σημαντικής ποσότητας μεταφερομένου νερού στα νησιά του Αιγαίου.[5]

▪ *Αντλησιοταμίευση (Pumped- hydro storage)*

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποθήκευσης είναι και αυτή που μας ενδιαφέρει διότι είναι και το αντικείμενο μελέτης αυτής της διπλωματικής. Έτσι, εδώ θα αναφέρουμε γενικά στοιχεία για την μέθοδο αυτή και έπειτα στα επόμενα κεφάλαια θα αναπτυχθεί αναλυτικότερα και εκτενέστερα.

Η γενική ιδέα της αντλησιοταμίευσης είναι η εξής: σε μία δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μία ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστρόβιλου, ενώ όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή. Αυτή είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για πάνω από έναν αιώνα και είναι η μόνη τεχνική για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα ισχύος.

Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα εξής μέρη: μία ανώτερη δεξαμενή, οδηγοί νερού, αντλία, υδροστρόβιλος, κινητήρας, γεννήτρια και κατώτερη δεξαμενή νερού, όπως στο σχήμα που παρατίθεται στην επόμενη σελίδα:



Σχ. 3.3 Σύστημα αντλησιοταμίευσης (Pumped Storage Unit)

Παρόλο όμως που η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος ένταξης. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ισχύος μεγάλης κλίμακας. Παγκοσμίως είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από αντλησιοταμίευση και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με φράγματα.[5]

3.2.3 Σύγκριση Των διαφόρων Αποθηκευτικών Διατάξεων

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση με βάση τον χρόνο, τα διάφορα αποθηκευτικά μέσα έχουν ταξινομηθεί στους παρακάτω πίνακες ως εξής:[5]

Σύστημα πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση Μετατροπής
SMES	300	72000	Δευτερόλεπτα	0,95
Στρεφόμενες μάζες (χαμηλή ταχύτητα)	280	300	Δευτερόλεπτα	0,9
Μπαταρίες (μολύβδου- οξέος)	175	100 – 200	Δευτερόλεπτα	0,85
Συμπιεσμένος αέρας	400	10 – 20	Δευτερόλεπτα	0,5 – 0,7
Ultra capacitor	300	82000	Δευτερόλεπτα	0,95

Πίνακας 3.1: διατάξεις πολύ βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος [5]

Σύστημα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση Μετατροπής
Στρεφόμενες μάζες (ρυθμισμένη ταχύτητα)	100	125	Λίγα λεπτά	0,95
Στρεφόμενες μάζες (υψηλή ταχύτητα)	25000	350	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,93
Μπαταρίες (μολύβδου – οξέος)	175	200	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,85
Μπαταρίες (ενισχυμένες)	245	300	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,7
Συμπιεσμένος αέρας	400	10-20	Λίγα λεπτά – μία ώρα	0,5-0,7

Πίνακας 3.2: διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης , κατάλληλες για εξομάλυνση των διακυμάνσεων της αιολικής ισχύος

Σύστημα μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Απόδοση μετατροπής
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	200	Πάνω από 10 ώρες	0,85
Μπαταρίες (ενισχυμένες)	245	300	Πάνω από 10 ώρες	0,7
Υδρογόνο	500-20000	50-300	Πάνω από 10 ώρες	0,6
Συμπιεσμένος αέρας	575	2	Πάνω από 10 ώρες	0,79

Πίνακας 3.3: διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης , κατάλληλες για εξομάλυνση του φορτίου[5]

Σύστημα Μακροπρόθεσμης αποθήκευσης	Κόστος ισχύος (€/kW)	Κόστος ενέργειας (€/kWh)	Χωρητικότητα αποθήκευσης (χρόνος)	Αποτελεσματικότητα
Μπαταρίες (μολύβδου-οξέος)	175	200	Αρκετές μέρες	0,85
Υδρογόνο	500-10000	15-200	Αρκετές μέρες	0,59
Συμπιεσμένος αέρας	4150	1	Αρκετές μέρες	0,79
Αντλησιοταμίευση Συμβατική (500-1500MW)	1100	10	Αρκετές μέρες	0,87
Αντλησιοταμίευση Υπόγεια (2000MW)	1200	50	Αρκετές μέρες	0,87

Πίνακας 3.4: διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης , κατάλληλες για Αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας [5]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η καταλληλότητα αποθηκευτικών μέσων, όσο αφορά εφαρμογές ισχύος και ενέργειας.

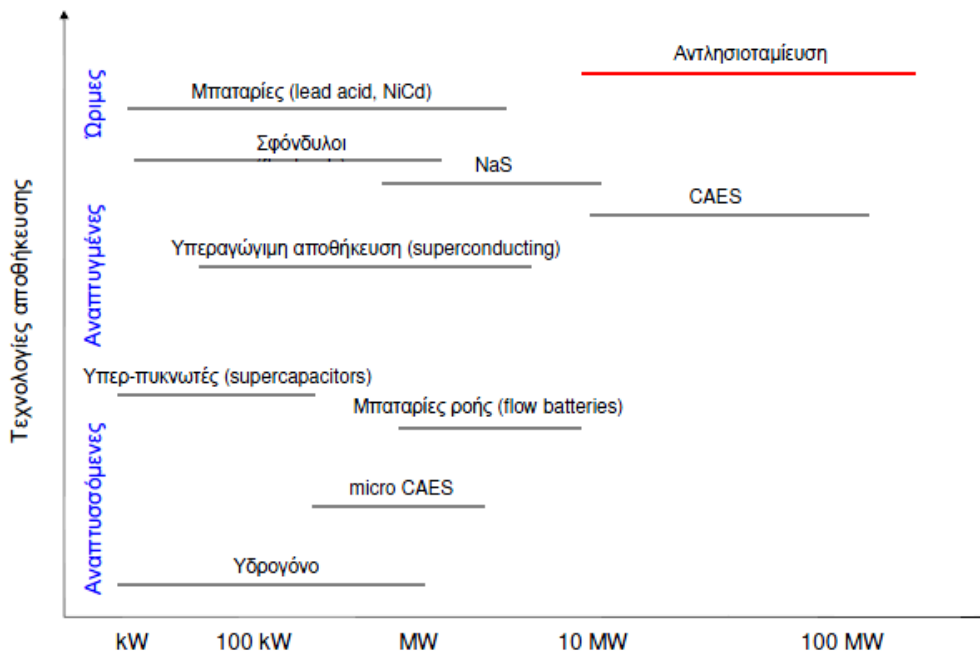
Αποθηκευτική διάταξη	πλεονεκτήματα	μειονεκτήματα	Εφαρμ. Ισχύος	Εφαρμ. Ενέργειας
Αντλιοσταμείωση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία		
CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία και αέριο καύσιμο		
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος - ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	/	
Μετάλλου - αέρος	Πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας	Δύσκολη η ηλεκτρική φόρτιση		
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)		
Li – ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης		-
Ni – Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, αποτελεσματικότητα			/
Άλλες ενισχυμένες μπαταρίες	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος	Υψηλό κόστος παραγωγής		-
Μολύβδου – οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση		-
Στρεφόμενες μάζες (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας		-
SMES, DSMES – Υπεραγωγία Πηνία	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής		
E.C Capacitors	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή αποτελεσματικότητα	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας		/

| : πλήρως κατάλληλο και λογικό / : λογικό για αυτή την εφαρμογή

_: εφικτό αλλά όχι αρκετά πρακτικό ή οικονομικό κανένα σύμβολο: μη εφικτό ή μη οικονομικό

Πίνακας 3.5: Εφαρμογές των κυριότερων αποθηκευτικών μέσων [5]

Από τον τελευταίο πίνακα βλέπουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε αποθηκευτικής διάταξης καθώς και τις εφαρμογές αντίστοιχα σε ενέργεια και ισχύ. Έτσι ανάλογα με το σύστημα που έχουμε και με τις ανάγκες αυτού θα προτείνεται και η κατάλληλη αποθηκευτική διάταξη. Συγκεκριμένα η μέθοδος που μας ενδιαφέρει, η αντλησιοταμίευση, παρατηρούμε ότι χρησιμοποιείται για εφαρμογές ενέργειας έχει δυνατότητες μεγάλης χωρητικότητας ενέργειας και χαμηλό κόστος. Όμως έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί ειδική τοποθεσία και αυτό επηρεάζει το κατά πόσον είναι βιώσιμη επιλογή ή όχι κάτι που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια. Τέλος, βλέπουμε ένα διάγραμμα που συγκρίνει την τεχνολογική ωριμότητα και το μέγεθος των διαφόρων μέσων αποθήκευσης.[5]



Σχήμα 3.4 Μέγεθος και τεχνολογική ωριμότητα διάφορων αποθηκευτικών μέσων[24]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ: ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ

4.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

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 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 ή ακραίες καταστάσεις
- τη σημαντική διείσδυση μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 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. [8]

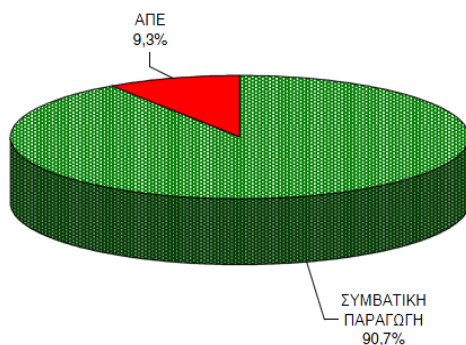
4.1.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Παραγωγής Ενέργειας Ελληνικών Νησιών

Τα ελληνικά νησιά είναι απομονωμένα ενεργειακά συστήματα, δηλαδή συστήματα που είναι αποκομμένα από το κεντρικό ηπειρωτικό δίκτυο της ΔΕΗ. Έτσι το ηλεκτρικό δίκτυο κυρίως σε απομακρυσμένες ή/και απομονωμένες περιοχές συμπεριλαμβανομένων και των νησιών εμφανίζει σημαντικές αδυναμίες κυρίως ως προς τη σταθερότητά του, γεγονός που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια να παρουσιάζονται ορισμένα προβλήματα που αφορούν τόσο την επάρκεια της ενέργειας όσο και την ποιότητά της. Παρατηρούνται έτσι, συχνά προβλήματα στην επάρκεια του ρεύματος, κυρίως την καλοκαιρινή περίοδο, όπου ο τουρισμός αυξάνει κατακόρυφα, με αποτέλεσμα τις συχνές διακοπές του ρεύματος σε πολλά νησιά. Από την άλλη, παρουσιάζονται προβλήματα και στη συχνότητα του ρεύματος, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργία πολλών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών.

Είναι γνωστό ότι το αιολικό δυναμικό των ελληνικών νησιών είναι μεγάλο και θα πρέπει να το εκμεταλλευτούμε όσο το δυνατό περισσότερο. Πολλοί ερευνητές εργάζονται για να βρουν περισσότερους αποτελεσματικούς τρόπους για αυτή την εκμετάλλευση. Η εγκατάσταση και λειτουργία των αιολικών πάρκων και των υβριδικών συστημάτων σε μικρότερα και μεγαλύτερα νησιά αποκάλυψε τα εμπόδια και τις δυνατότητες εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η στοχαστική συμπεριφορά του αιολικού δυναμικού, σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας από τις καταναλώσεις σε καθημερινή βάση αλλά και ανάλογα την εποχή, περιορίζουν τη δυνατότητα των ΑΠΕ να ικανοποιήσουν από μόνες τους τις ενεργειακές ανάγκες των νησιών χωρίς αποθήκευση ενέργειας.[8]

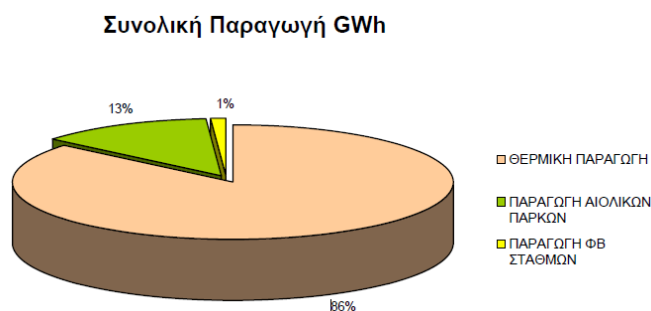
Η μεταβλητότητα της ζήτησης τόσο από περίοδο σε περίοδο όσο και από μέρα σε νύχτα αναγκάζει τη ΔΕΗ, εκτός από τις μονάδες βάσεως να χρησιμοποιεί και πιο ευέλικτες μονάδες για τη κάλυψη των αιχμών ζήτησης όπως οι αεριοστρόβιλοι. Το γεγονός αυτό εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει, οδηγεί και σε σημαντική αύξηση του κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική εναλλακτική λύση στο παραπάνω πρόβλημα, αποτελούν οι ΑΠΕ και συγκεκριμένα τα αιολικά συστήματα. Ανασταλτικό παράγοντα ενός τέτοιου εγχειρήματος αποτελεί η στοχαστικότητα της αιολικής ενέργειας, πρόβλημα το οποίο σε απομονωμένα συστήματα, γίνεται ακόμα μεγαλύτερο. Ο άνεμος είναι μια μορφή ενέργειας μη ελέγξιμη και στοχαστική με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει ένας έγκυρος προγραμματισμός για την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Η ΔΕΗ για να προστατεύσει το δίκτυο από τυχόν προβλήματα που απορρέουν από αυτό το γεγονός, περιορίζει την εκμετάλλευση των Α/Π απορρίπτοντας μέρος της παραγόμενης ενέργειας, κάνοντας χρήση του συντελεστή διείσδυσης (ΣΔ) και άλλων μέτρων που θέτει σε εφαρμογή.

Η παραγωγή ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά με το ηπειρωτικό δίκτυο της χώρας, βασίζεται κυρίως στους Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής (ΑΣΠ) με χρήση συμβατικών καυσίμων ενώ βλέπουμε στο σχήμα 4.1 ότι για το 2008 η συνεισφορά των ΑΠΕ ανέρχεται μόλις στο 9% της συνολικής παραγωγής. Συγκεκριμένα την χρονιά εκείνη, η συνολική παραγωγή ενέργειας ήταν περίπου 6.250 GWh και μόλις 580 GWh προήλθαν από ΑΠΕ.[15]



Σχήμα 4.1 Παραγωγή-Ζήτηση ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά το 2008[9]

Αυτό το ποσοστό της ΑΠΕ έχει αρχίσει να αυξάνεται σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής. Αυτό φαίνεται από τα στοιχεία της Δ.Ε.Η για τον Μάρτιο του 2011 στο παρακάτω σχήμα: [20]

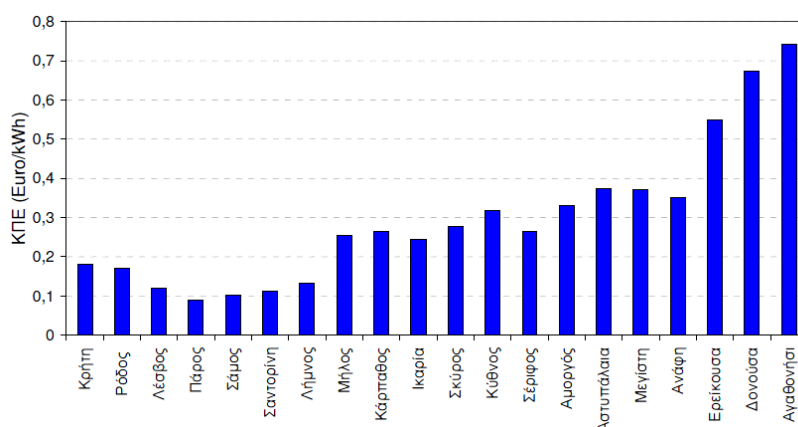


Σχήμα 4.2 Παραγωγή ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά τον Μάρτιο του 2011[20]

Εδώ βλέπουμε ότι οι δύο κύριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ένα ποσοστό 14% έναντι του 86% της συμβατικής παραγωγής.

Η ΔΕΗ είναι διαχειρίστρια του δικτύου, αποκλειστικός προμηθευτής και ουσιαστικά ο μοναδικός παραγωγός με συμβατικά καύσιμα. Έτσι, καλείται να αντιμετωπίσει σειρά ποικιλόμορφων προβλημάτων ηλεκτροδότησης. Τα προβλήματα αυτά περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την ανεπάρκεια ισχύος σε αρκετές νησιωτικές περιοχές, εποχιακές διακυμάνσεις, παλαιότητα υφιστάμενων συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και αδύναμα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η ηλεκτροδότηση των νησιών είναι στενά συνδεδεμένη με πολύ μεγάλα κόστη παραγωγής ενέργειας. Το κόστος παραγωγής για τη ΔΕΗ στα νησιά είναι υψηλότερο από την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα το σύνολο των καταναλωτών της χώρας να επιδοτεί εμμέσως και ορθά, για λόγους κοινωνικής ισότητας, τις νησιωτικές περιοχές. Όπως είναι εύλογο, με την άνοδο των τιμών του πετρελαίου, το κόστος αυτό ανεβαίνει, αφού το κόστος καυσίμου αποτελεί το 50%

περίπου του συνολικού κόστους της κιλοβατώρας. Στο Σχήμα 4.3 ,φαίνεται ενδεικτικά το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας σε κάποια νησιά.[9]



Σχήμα 4.3 Μέσο κόστος παραγόμενης ενέργειας στα ελληνικά νησιά[9]

Στις τιμές που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα δεν συμπεριλαμβάνεται το λεγόμενο ‘εξωτερικό’ κόστος που πληρώνει η κοινωνία ως τίμημα για τη λειτουργία ρυπογόνων πετρελαϊκών σταθμών και τις συνέπειες που έχει η καύση του πετρελαίου στην υγεία, το περιβάλλον και το κλίμα του πλανήτη. Συγκεκριμένα, για κάθε κιλοβατώρα που παράγεται στους πετρελαϊκούς σταθμούς εκλύεται στην ατμόσφαιρα περίπου 1 κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στα νησιά όπου η ΔΕΗ διαθέτει μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, είναι περίπου 4 εκατ. τόνοι ετησίως. Επιπλέον, οι σταθμοί αυτοί (συχνά κοντά σε οικιστικά σύνολα) επιβαρύνουν τοπικά το περιβάλλον με ρύπους και ενίοτε είναι εξαιρετικά θορυβώδεις. [9]

Η ΔΕΗ για να αντιμετωπίσει κυρίως την ανεπάρκεια ισχύος αλλά και πολλά από τα προαναφερθέντα προβλήματα, προγραμματίζει την εγκατάσταση πολλών νέων πετρελαϊκών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος αρκετών δεκάδων μεγαβάτ (MW). Η επιλογή αυτή όμως, απλώς παρατείνει τη σημερινή κατάσταση και δεν λύνει μακροπρόθεσμα τα προβλήματα, ιδίως αυτά που σχετίζονται με την περιβαλλοντική διάσταση της παραγωγής ενέργειας.[9]

Κάτω από αυτές τις συνθήκες τα μη διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα των ελληνικών νησιών χαρακτηρίζονται από:

- υψηλό κόστος παραγόμενης ενέργειας
- εξάρτηση από το πετρέλαιο
- χαμηλό συντελεστή φορτίου

4.1.2 Περιορισμοί Διείσδυσης Αιολικής Ενέργειας Σε Αυτόνομα Νησιωτικά Δίκτυα

Η συνεισφορά των αιολικών συστημάτων στην ηλεκτροδότηση της χώρας, μέχρι στιγμής, είναι σε γενικές γραμμές περιορισμένη. Η στοχαστική συμπεριφορά του ανέμου που συνεπάγεται τη μη-σταθερή, και εν μέρει απρόβλεπτη παροχή ισχύος από τα αιολικά, έχει οδηγήσει στην επιβολή περιορισμών διείσδυσης της αιολικής ενέργειας για λόγους προστασίας του ηλεκτρικού δικτύου. Το πρόβλημα της διαχείρισης της ενέργειας που προέρχεται από Α/Π γίνεται ακόμη πιο έντονο και ανελαστικό όσο μικρότερο είναι το δίκτυο που τροφοδοτείται, όπως συμβαίνει στα νησιά, ακόμη και σε αυτά του μεγέθους της Κρήτης. Ήδη κάποια νησιά έχουν φθάσει το όριο πέρα από το οποίο προκαλείται αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας σε αυτά καθίσταται αδύνατη.[9]

Η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά καθορίζεται από τους τεχνικούς περιορισμούς των τοπικών ηλεκτρικών δικτύων. Σύμφωνα με τη νομοθεσία, ο διαχειριστής του ηλεκτρικού συστήματος επιτρέπεται να απορρίπτει την αιολική ενέργεια όταν αυτή δεν μπορεί να απορροφηθεί (π.χ. τις ώρες χαμηλής ζήτησης με ταυτόχρονα μεγάλη αιολική παραγωγή). Οι περιορισμοί των ηλεκτρικών δικτύων σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των συμβατικών πετρελαϊκών μονάδων (τεχνικά ελάχιστα λειτουργίας και ταχύτητα ανάληψης φορτίου). Πρακτικά, κάθε στιγμή απαιτείται να είναι ενταγμένες και να λειτουργούν συμβατικές μονάδες ικανές να καλύψουν τις αυξομειώσεις ή μια πιθανή απώλεια της αιολικής παραγωγής.[9]

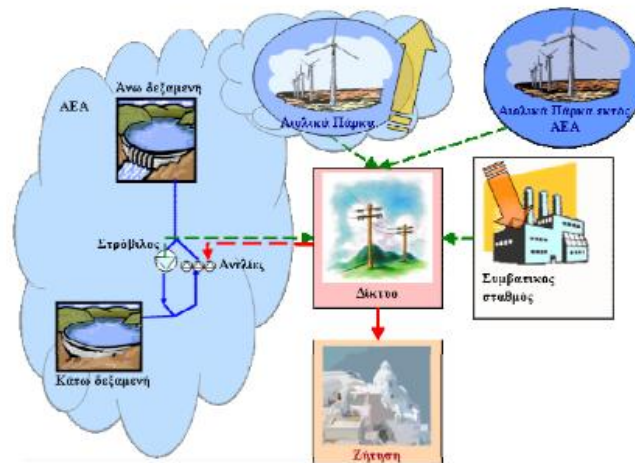
Η εμπειρία έχει δείξει ότι τα Α/Π σε αυτόνομα ελληνικά νησιά με βάση την υπάρχουσα υποδομή δεν μπορούν να καλύψουν περισσότερο από το 15% της ετήσιας ζήτησης, ενώ παράλληλα ένα μέρος της τάξεως του 15-20% της ετήσιας αιολικής ενέργειας περικόπτεται. Μέχρι πρόσφατα, η νομοθεσία (Νόμος 2244/94) όριζε σαν ανώτατο ποσοστό διείσδυσης για τα αιολικά το 30% της ζήτησης αιχμής του προηγούμενου έτους με σκοπό τη διασφάλιση ομαλής και ασφαλούς λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος. Το 2003, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) πρότεινε μια μεθοδολογία υπολογισμού διείσδυσης αιολικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και με βάση την εφαρμογή αυτής προκηρύσσονται νέα όρια αιολικής ισχύος. Τα όρια αυτά μπορεί να διαφέρουν από νησί σε νησί, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των συνθηκών λειτουργίας του συστήματος, τόσο από πλευράς συμβατικών μονάδων (π.χ. ικανότητα ρύθμισης), όσο και από πλευράς αιολικών σταθμών (αριθμός, μέγεθος και είδος των ανεμογεννητριών, διασπορά των ανεμογεννητριών στο νησί κλπ). [9]

Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας εξακολουθεί να παραμένει σημαντικά περιορισμένη, με βάση τη σημερινή τεχνολογία ανεμογεννητριών και τα συνήθη μέσα ρύθμισης των πετρελαϊκών μονάδων, λόγω της ανυπαρξίας άλλων μέσων αντιστάθμισης (π.χ. αποθηκευτικά μέσα) της ταχείας διακύμανσης της αιολικής παραγωγής.[9]

Συνεπώς, είναι αναγκαίο να εξεταστεί μία τεχνικά, όσο και οικονομικά, αποδοτική λύση αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας που θα συνοδεύεται με μία αποθήκευση ενέργειας. Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνει η μέθοδος της *αντλησιοταμίευσης*, με την οποία η αιολική ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στη ποσότητα του νερού το οποίο βρίσκεται σε συγκεκριμένο υψόμετρο. Δύνεται έτσι η

δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μεταγενέστερα και μάλιστα σαν μια ποιοτική ηλεκτρική πηγή ενέργειας η οποία δεν προκαλεί κανένα πρόβλημα στο σύστημα.

Σύστημα αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα συστήματος αιολικής ενέργεια με αντλησιοταμίευση

Η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης χαρακτηρίζεται από μεγάλη τεχνική και οικονομική αξιοπιστία είναι απόλυτα φιλική με το περιβάλλον και εύκολη στην εγκατάσταση σε περιοχές που η τοπογραφία και η διαθεσιμότητα νερού το επιτρέπει. Η κλασική χρήση των αντλησιοταμιευτήρων είναι η εξομάλυνση ακρότατων σε ενεργειακά συστήματα που παρουσιάζουν περιοδική αδυναμία κάλυψης της ζήτησης με μονάδες που λειτουργούν σε αποδεκτούς βαθμούς απόδοσης και με φτηνό καύσιμο. Η ιδέα του αντλητικού- υδροηλεκτρικού σταθμού με αιολική ενέργεια κρίνεται σήμερα ρεαλιστική, τουλάχιστον για τα νησιωτικά συστήματα που αποτελούν ευρύ πεδίο εφαρμογών, εξασφαλίζοντας μακροπρόθεσμες λύσεις με οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Με την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων εύκολα μπορεί πλέον να επιτευχθεί η περαιτέρω διείσδυση της αιολικής ενέργειας σε αυτόνομα δίκτυα αξιοποιώντας τις παραχθείσες ποσότητες ισχύος από Α/Π που είναι αδύνατο να απορροφηθούν. Η ιδέα αν και φαίνεται απλή δεν έχει ακόμη πραγματοποιηθεί και δεν υπάρχει εγχώρια και διεθνής εμπειρία, οπότε κρίνεται αναγκαία και χρήσιμη η ανάλυση των βασικών παραμέτρων και κριτηρίων για τη σχεδίαση πρότυπων έργων.

4.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ

Με τον όρο αντλησιοταμίευση εννοούμε την αποθήκευση ενέργειας με άντληση νερού σε δεξαμενές που βρίσκονται σε ικανοποιητική υψομετρική διαφορά από το σημείο άντλησης. Η αποθηκευμένη με τον τρόπο αυτό ενέργεια αποδίδεται με την αντίστροφη λειτουργία του αντλητικού συγκροτήματος ή με την εισαγωγή παράλληλα με το αντλητικό συγκρότημα, μιας ανεξάρτητης υδροστροβιλικής μονάδας. Με τον τρόπο αυτό η στοχαστική αιολική ενέργεια μετατρέπεται υπό τη μορφή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε ενέργεια «εγγυημένης ισχύος». Επιτυγχάνεται έτσι σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων, βελτίωση του βαθμού απόδοσης των μονάδων παραγωγής καθώς και βελτίωση της ποιότητας ισχύος με την άρση των επιπτώσεων στη διακύμανση της τάσης και της συχνότητας σε απότομες μεταβολές του φορτίου.

Η φιλοσοφία τέτοιων συστημάτων στηρίζεται στην αξιοποίηση της περίσσειας αιολικής ενέργειας που δεν καταναλώνεται από το δίκτυο η οποία επιτυγχάνεται μέσω άντλησης νερού από τον κάτω ταμιευτήρα και αποθήκευσης στον άνω. Με δεδομένη τη ζήτηση του δικτύου και σε περιόδους άπνοιας ή μειωμένης αιολικής παραγωγής, η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια του νερού αξιοποιείται αντιστρέφοντας την παραπάνω διαδικασία, αφού το νερό μέσω του στροβίλου παράγει τώρα την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και συγκεντρώνεται στον κάτω ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό, το βασικό μειονέκτημα της στοχαστικής εμφάνισης του ανέμου μετατρέπεται σε πλεονέκτημα καθώς παρέχεται εγγυημένη ισχύς στο σύστημα. Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης δεν αποτελεί τεχνολογική πρωτοτυπία, αφού τέτοια συστήματα λειτουργούν στο ηπειρωτικό δίκτυο προσφέροντας την αποθηκευμένη ενέργεια σε ώρες αιχμής (μονάδες αιχμής).

Είναι γνωστό ότι τα υδροηλεκτρικά πάρκα με αντλησιοταμιευτικές μονάδες συνήθως κατασκευάζονται σε μεγάλα δίκτυα, όπου υπάρχουν ορισμένες θερμικές και πυρηνικές μονάδες, οι οποίες λειτουργούν σαν βάση και οι οποίες είναι αδύνατο ή εξαιρετικά δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση του φορτίου. Οι αναστρεφόμενες μονάδες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ακμής της ζήτησης φορτίου ως συμβατικές μονάδες, για να παράγουν ενέργεια ή για να υποκαθιστούν τις θερμικές μονάδες σε περίπτωση σφάλματος χάρη στην άμεση απόκρισή τους. Οι ίδιες μονάδες χρησιμοποιούνται επίσης και για να αποταμιεύουν την επιπλέον ενέργεια (αποθηκεύοντας το νερό στον άνω ταμιευτήρα από τον κάτω) κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου η ζήτηση φορτίου είναι χαμηλή και να παράγουν ενέργεια την ημέρα τις ώρες υψηλής ζήτησης φορτίου.

4.2.1 Αρχή λειτουργίας Συστήματος Αντλησιοταμίευσης

Ένα υβριδικό σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- Το αιολικό πάρκο (Α/Π)
- Το αντλιοστάσιο, δηλαδή μια αντλία ή ένα σύστημα παράλληλων συνδεδεμένων αντλιών
- Τον άνω ταμιευτήρα
- Τον κάτω ταμιευτήρα ή την θάλασσα, που θα πρέπει να είναι σε ικανή υψομετρική διαφορά από τον άνω
- Τον υδροστρόβιλο ή ένα σύστημα παράλληλων υδροστροβίλων
- Ένα σύνολο σωληνώσεων που θα κάνει την άντληση από τον κάτω ταμιευτήρα στον άνω
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την προσαγωγή του νερού από τον άνω ταμιευτήρα στον κάτω, μέσω του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Την κεντρική μονάδα εποπτικού ελέγχου (ΚΜΕ)[10]

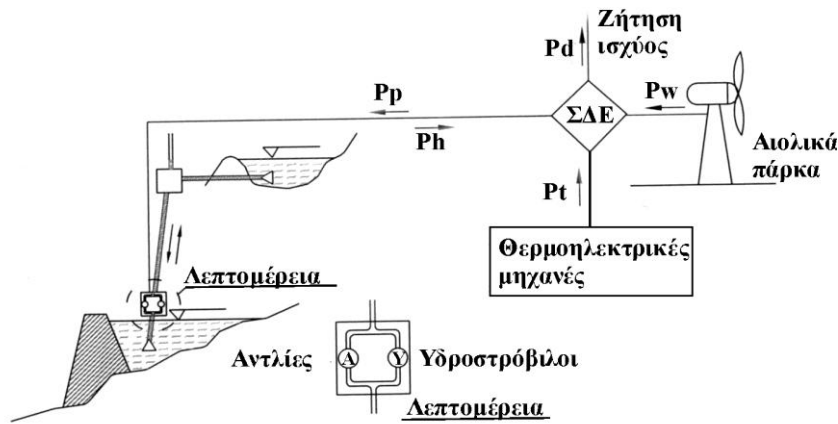
Γενικά, διακρίνονται δύο περιπτώσεις όσον αφορά στην διασύνδεση του συστήματος αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση:

- Την *άμεση σύνδεση*, όπου το σύστημα αντλησιοταμίευσης συνδέεται με τα αιολικά πάρκα που θα συνεισφέρουν στην άντληση με ανεξάρτητη του δικτύου γραμμή μεταφοράς. Η σύνδεση αυτή συναντάται σε νησιά μικρού ή πολύ μεσαίου μεγέθους.
- Την *έμμεση σύνδεση*, όπου το σύστημα αντλησιοταμίευσης συνδέεται με τα αιολικά πάρκα μέσω του κεντρικού δικτύου.

Άμεση σύνδεση της μονάδας αντλησιοταμίευσης με το αιολικό πάρκο

Η ύπαρξη άμεσης ανεξάρτητης σύνδεσης δίνει τη δυνατότητα στα αιολικά πάρκα να παρέχουν την απορριπτόμενη ισχύ στο σύστημα αντλησιοταμίευσης.

Στο παρακάτω σχήμα., σε μία δεδομένη χρονική στιγμή παράγεται ηλεκτρική ισχύς P_w από τα αιολικά πάρκα. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε.) ελέγχει αν η στιγμιαία παραγωγή ισχύος από τα αιολικά πάρκα P_w είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση P_d . Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:



Σχήμα 4.5 Σχηματική απεικόνιση διάταξης συστήματος αντλησιοταμίευσης συνδυαζόμενο με αιολικό πάρκο.[8]

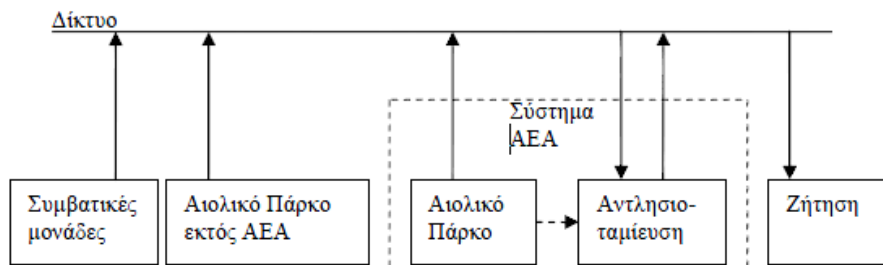
1. Αν $P_w > P_d$, η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τα αιολικά πάρκα. Οι αντλίες του συστήματος αντλησιοταμίευσης τροφοδοτούνται με ισχύ $P_p = P_w - P_d$, με σκοπό να αποθηκευτεί με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στην άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα.

2. Αν $P_w < P_d$, η παραγόμενη αιολική ισχύς προσφέρεται ολόκληρη για την κάλυψη της ζήτησης. Την ίδια χρονική στιγμή, παράγεται από τους υδροστρόβιλους συμπληρωματική ηλεκτρική ισχύς $P_h = P_d - P_w$, προκειμένου να συμπληρωθεί το έλλειμμα στην παραγωγή ισχύος. Στην περίπτωση που η άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα δεν περιέχει ικανή ποσότητα νερού ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα παραγωγής ισχύος μέσω των υδροστρόβιλων, τότε τίθενται σε λειτουργία οι θερμοηλεκτρικές μονάδες, οι οποίες παράγουν ισχύ $P_t = P_d - P_w - P_h$.

Οι χωρητικότητες των δεξαμενών πρέπει να είναι ικανές για τα εξής:

- ✓ αποθήκευση ενέργειας
- ✓ διατήρηση του οικοσυστήματος γύρω από την περιοχή των δεξαμενών
- ✓ άρδευση του νησιού και αναδάσωση της περιοχής γύρω από το σύστημα μας

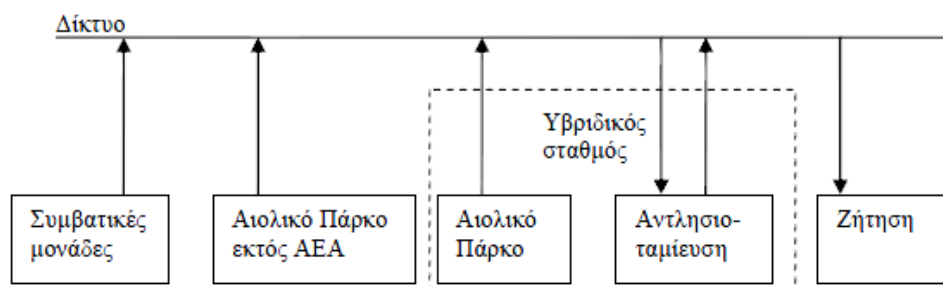
Με βάση αυτήν την λειτουργία η διείσδυση αιολικής ισχύος σε αυτό το σύστημα μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά ποσοστά.[8]



Σχήμα 4.6 Άμεση σύνδεση συστήματος αντλησιοταμίευσης και αιολικού πάρκου[7]

Έμμεση σύνδεση της μονάδας αντλιοσταμείωσης με το αιολικό πάρκο

Στην περίπτωση αυτή, που θεωρείται και η πιο διαδεδομένη, το όλο σύστημα αποτελείται από τα αιολικά πάρκα εκτός του υβριδικού και ο υβριδικός σταθμός αποτελείται από τη μονάδα αποθήκευσης (αντλίες, στρόβιλος, δεξαμενές) και τα αιολικά πάρκα. Τα αιολικά πάρκα εντός του υβριδικού μπορούν να δώσουν ενέργεια στις αντλίες ή να καλύψουν μέρος της ζήτησης μέσω του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου. Αυτή η λειτουργία φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.7 Έμμεση σύνδεση συστήματος αντλιοσταμείωσης και αιολικού πάρκου[7]

4.2.2 Περιγραφή Συστήματος Αντλιοσταμείωσης

Σε ένα σύστημα αντλιοσταμείωσης διακρίνουμε δύο βασικές σχεδιαστικές εκδοχές, αυτής της μονής σωλήνωσης και αυτής της διπλής σωλήνωσης, όπου δηλαδή υπάρχει ανεξάρτητη σωλήνωση για τον στρόβιλο και για τη λειτουργία των αντλιών.

Μονή σωλήνωση:

Η περίπτωση της μονής σωλήνωσης εμφανίζει ασφαλώς το πλεονέκτημα της πιο οικονομικής λύσης, δεδομένου ότι μειώνονται τα έξοδα της εγκατάστασης. Ωστόσο, θέτει περιορισμό ως προς τη λειτουργία, δεδομένου ότι δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία του στροβίλου με τις αντλίες. Για το λόγο αυτό, απαιτείται να καθοριστεί αν έχει προτεραιότητα λειτουργίας ο στρόβιλος ή οι αντλίες.[7]

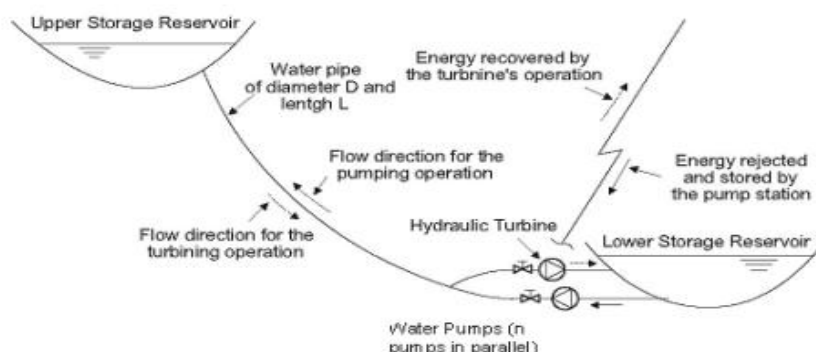
Προτεραιότητα στις αντλίες:

Στην περίπτωση που υπάρχουν διαστήματα κατά τα οποία η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις θερμικές μονάδες (συμβατικές ή πυρηνικές) ή από τις υδροηλεκτρικές μονάδες βάσεως (κατά τον ρου του ποταμού) είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, προτεραιότητα στη λειτουργία έχουν οι αντλίες. Σε αυτήν την περίπτωση, η παραγωγή της ενέργειας από τον στρόβιλο μπορεί να γίνει μονάχα τις ώρες που δεν γίνεται άντληση, δηλαδή τις ώρες που δεν υπάρχει απορριπτόμενη ισχύς. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα τις μεταμεσονύκτιες ώρες ή τις αργίες, που η ζήτηση είναι χαμηλή.[7]

Προτεραιότητα στο στρόβιλο:

Στην περίπτωση που υπάρχουν διαστήματα που συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή των μονάδων βάσεως, τότε προτεραιότητα λειτουργίας έχει ο στρόβιλος έναντι των αντλιών. Αυτό

συμβαίνει κυρίως τις ώρες αιχμής. Σε αυτήν την περίπτωση, ενδεχομένως να συμβεί να υπάρχει απορριπτόμενη ισχύς και να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άντληση λόγω λειτουργίας του στρόβιλου.[7]



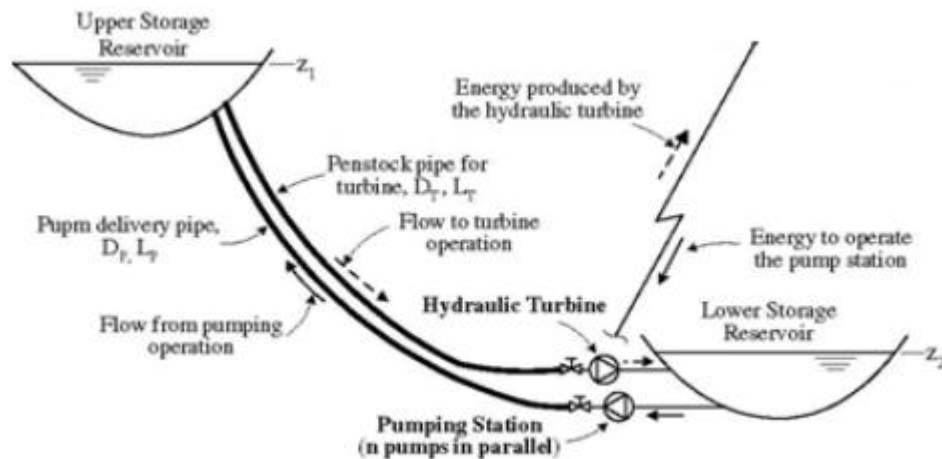
Σχήμα 4.2 Υδροηλεκτρικό σύστημα με μονή σωλήνωση.[7]

Διπλή σωλήνωση:

Θα μπορούσε να σκεφτεί κανείς ότι η διπλή σωλήνωση είναι περιττή, δεδομένου ότι εάν υπάρχει ανάγκης παραγωγής ενέργειας από το στρόβιλο και ταυτόχρονα υπάρχει απορριπτόμενη ισχύς από τις θερμικές μονάδες ή από τις υδροηλεκτρικές μονάδες βάσεως, τότε θα μπορούσε να απορροφηθεί απευθείας περισσότερη ενέργεια από τις μονάδες αυτές. Ο συλλογισμός αυτός είναι εσφαλμένος, λόγω των περιορισμών του δικτύου. Η άμεση δηλαδή απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να συμβεί πέραν της επιτρεπόμενης από το δίκτυο ενέργειας.

Παράλληλα, η χρονική κατανομή της απορριπτόμενης ισχύος δείχνει ότι η περικοπή καθορίζεται πρώτα από τη διαθέσιμη παραγόμενη ενέργεια και δεύτερον από τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Σε ώρες αιχμής της ζήτησης και ταυτόχρονα περίσσειας ισχύος των μονάδων βάσεως, από τη μια υπάρχει περικοπή ισχύος και απαιτείται λειτουργία αντλιών για την εκμετάλλευση της περίσσειας ισχύος, από την άλλη πρέπει να λειτουργήσει ο στρόβιλος (π.χ. λόγω υψηλής ζήτησης). Εάν λειτουργεί η αντλία, θα απαιτηθεί χρόνος μέχρι να σταματήσει και να ξεκινήσει ο στρόβιλος, οπότε το βασικό πλεονέκτημα της άμεσης απόκρισης του στρόβιλου χάνεται.

Τόσο στην περίπτωση της μονής σωλήνωσης όσο και στην περίπτωση της διπλής που περιγράφηκαν ανωτέρω, οι τρεις μηχανές (αντλία – υδροστρόβιλος – κινητήρας / γεννήτρια) τοποθετούνται σε κοινή άτρακτο και η φορά περιστροφής είναι η ίδια ανεξαρτήτως λειτουργίας. Αξίζει βέβαια να αναφέρουμε ότι για τη μείωση των φθορών απαιτείται η ύπαρξη συμπλέκτη στα άκρα της ατράκτου, ώστε να μην περιστρέφεται άσκοπα η υδροδυναμική μηχανή που κάθε φορά δεν εργάζεται. Σε περίπτωση κατακόρυφης διάταξης, η αντλία τοποθετείται στο κατώτερο σημείο ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της σπηλαίωσης.[7]



Σχήμα 4.2 Τυπικό σύστημα αντλιοσταμείωσης με διπλή σωλήνωση.[7]

Μονή σωλήνωση με σύνθετη λειτουργία:

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει η δυνατότητα διπλής ταυτόχρονης λειτουργίας με χρήση μονής σωλήνωσης. Πρόκειται για μια δεύτερη κατηγορία συστήματος αντλιοσταμείωσης, το λεγόμενο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μια αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή που λειτουργεί είτε ως αντλία είτε ως στρόβιλος. Αυτή η προτεινόμενη λύση εμφανίζει το πλεονέκτημα ότι είναι οικονομικότερη χωρίς να υστερεί λειτουργικά και θα παρουσιασθεί λεπτομερώς σε επόμενη παράγραφο.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ανεξάρτητα των σχεδιαστικών εκδοχών που υιοθετούνται κάθε φορά σε ένα σύστημα αντλιοσταμείωσης, οι μονάδες του συστήματος (αντλία – υδροστρόβιλος – ηλεκτρική μηχανή) τοποθετούνται σε στάθμη χαμηλότερη από αυτή της κατώτερης δεξαμενής για την αποφυγή εισροής αέρα, κάτι όμως που απαιτεί μεγάλο όγκο εκσκαφών. Επιπρόσθετα, οι μονάδες αυτές μπορούν να απομονωθούν από τις δύο δεξαμενές, μέσω βανών που τοποθετούνται στους αγωγούς κατάθλιψης και αναρρόφησης.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν, θα έλεγε κανείς ότι ένα σύστημα αντλιοσταμείωσης, αποτελεί ένα συνδυασμό αντλητικής εγκατάστασης (αποταμίευσης ενέργειας) και υδροηλεκτρικού έργου (παραγωγή ενέργειας). Παρακάτω θα γίνει αναφορά για κάθε μέρος του τυπικού συστήματος ξεχωριστά και θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του.[7]

4.2.3 Πλεονεκτήματα Της Μεθόδου

Η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης αποσκοπεί ουσιαστικά σε δύο πράγματα. Το πρώτο είναι η αποκοπή των ακροτάτων ισχύος. Τα συνήθη τεχνικά ελάχιστα αυξάνουν με την άντληση και την αποθήκευση ενέργειας ενώ οι υδροστροβιλικές μονάδες καλύπτουν τα ημερήσια μέγιστα. Έτσι επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση των μονάδων παραγωγής και ως συνέπεια αυτού εξοικονόμηση καυσίμου για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ.[2]

Το δεύτερο πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι αυτό το σύστημα συμβάλλει αισθητά στην αύξηση της δυνατότητας διείσδυσης των αιολικών πάρκων, τα οποία είναι μονάδες μη εγγυημένης ισχύος. Αυτό συμβάλλει στην απρόσκοπτη διείσδυση της αιολικής ενέργειας με προφανή, σημαντική μείωση των καυσίμων αλλά και γενικά χρήσης άλλων μεθόδων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.[2]

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.

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. 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, 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.

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 υπαρχόντων 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.

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.

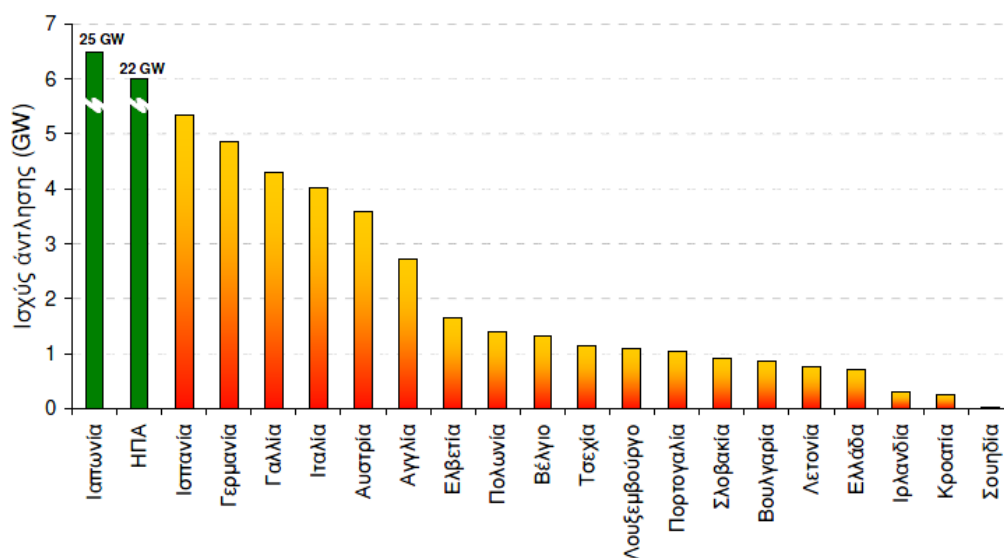
Τα απομονωμένα ασθενή δίκτυα, σε απομακρυσμένες περιοχές, παρουσιάζουν προβλήματα ποιότητας ισχύος, προβλήματα που μεγαλώνουν με τη διείσδυση αιολικών πάρκων μεγάλης ισχύος σε σχέση με τις τοπικές καταναλώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές, η αποθήκευση αμβλύνει τα προβλήματα αυτά, μεγαλώνοντας τη δυνατότητα 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο πλαίσιο της προσπάθειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και όλου του κόσμου για αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό δυναμικό, η αντλησιοταμίευση έχει γίνει ευρέως πιο γνωστή. Οι πρώτες μονάδες αντλησιοταμίευσης κατασκευάστηκαν στην Ιταλία και στην Ελβετία στις αρχές του 1890 και μετά από αρκετά χρόνια (1929) στις ΗΠΑ. Μετά το 1933, αναστρέψιμες μηχανές έκαναν την εμφάνιση τους παγκοσμίως. Στη σημερινή εποχή, η αντλησιοταμίευση θεωρείται η μοναδική ώριμη εμπορική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας (>100 MW) με πάνω από 300 μονάδες εγκατεστημένες σε όλο τον κόσμο που έχουν συνολική ισχύ πάνω από 95 GW καλύπτοντας περίπου το 3% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής. Η Ιαπωνία είναι πρωτοπόρος στην εγκατεστημένη ισχύ αντλησιοταμιευτήρων με 25 GW, ενώ αμέσως μετά ακολουθούν οι ΗΠΑ με 22 GW και η Ισπανία με 5,3 GW. Έτσι και στην Ελλάδα, έχουν αρχίσει ήδη να λειτουργούν κάποια υβριδικά έργα με αντλησιοταμίευση ενώ κάποια άλλα βρίσκονται στην φάση της προσομοίωσης και του υπολογισμού των κατάλληλων μεγεθών ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμα και να πετυχαίνουν τον σκοπό τους.[9]



Σχήμα 5.1 Μονάδες αντλησιοταμίευσης στην Ευρώπη(2006) στις Η.Π.Α.(2007) και στην Ιαπωνία. (2008).[9]

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται κάποιες υφιστάμενες μονάδες αντλησιοταμίευσης:



Σχήμα 5.2 Μονάδα αντλιοσταμείευσης (La Muela) στην Ισπανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 635 MW. Αυτή τη στιγμή η μονάδα επεκτείνεται με την προσθήκη 852MW (La Muela 2) και αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2012[9]



Σχήμα 5.3 Μονάδα αντλιοσταμείευσης στην Πενσυλβανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 435 MW[9]



Σχήμα 5.4 Μονάδα αντλιοσταμείευσης στην Okinawa της Ιαπωνίας. Η θάλασσα παίζει τον ρόλο της κάτω δεξαμενής[9]

5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΗΣΙ EL HIERRO (ΚΑΝΑΡΙΑ ΝΗΣΙΑ)

Το νησί El Hierro βρίσκεται στα Κανάρια Νησιά, στην Ισπανία, με έκταση 276 km² και περίπου 8.000 κατοίκους και είναι το μικρότερο του συμπλέγματος των νησιών αυτών. Το νησί έχει δικό του ηλεκτρικό δίκτυο, είναι εντελώς απομονωμένο καθώς τα μεγάλα βάθη της θάλασσας κάνουν αδύνατη οποιαδήποτε ηλεκτρική διασύνδεση του. Μέχρι πριν από λίγο καιρό η ζήτηση σε ηλεκτρισμό, η οποία καλύπτει το 65% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στο νησί, καλυπτόταν κυρίως από συμβατικούς (θερμικούς) σταθμούς παραγωγής ισχύος 10MW. Η συνεισφορά των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού ήταν μικρότερη από 5% και προέρχονταν από δύο ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες κοντά στην πρωτεύουσα ισχύος 100kW και 180kW. Το νησί παρουσιάζει ένα αξιόλογο δυναμικό για την ανάπτυξη συστημάτων ΑΠΕ και κυρίως αιολικών. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η έναρξη ενός έργου που θα είχε σαν αποτέλεσμα την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού από 100% ΑΠΕ (“100% RES for Electricity Production”). Αυτό αποτελεί θέμα- κλειδί στο “Πρόγραμμα Αειφόρου Ανάπτυξης” το οποίο ανακοινώθηκε από την κυβέρνηση του νησιού El Hierro το 1997 και έγινε πιο οικείο όταν το νησί χαρακτηρίστηκε από την UNESCO τον Ιανουάριο 2000 σαν Παγκόσμιο Δίκτυο Διατήρησης της Βιόσφαιρας (“World Wide Reserve of Biosphere”). Για την επίτευξη των στόχων πρέπει να εφαρμοστούν τρία διαφορετικά προγράμματα:

- Το πρόγραμμα ενεργειακής εξοικονόμησης.
- Το πρόγραμμα 100% ενεργειακής παραγωγής από ΑΠΕ
- Το πρόγραμμα μεταφορών - σταδιακή μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στις καθαρές μεταφορές.

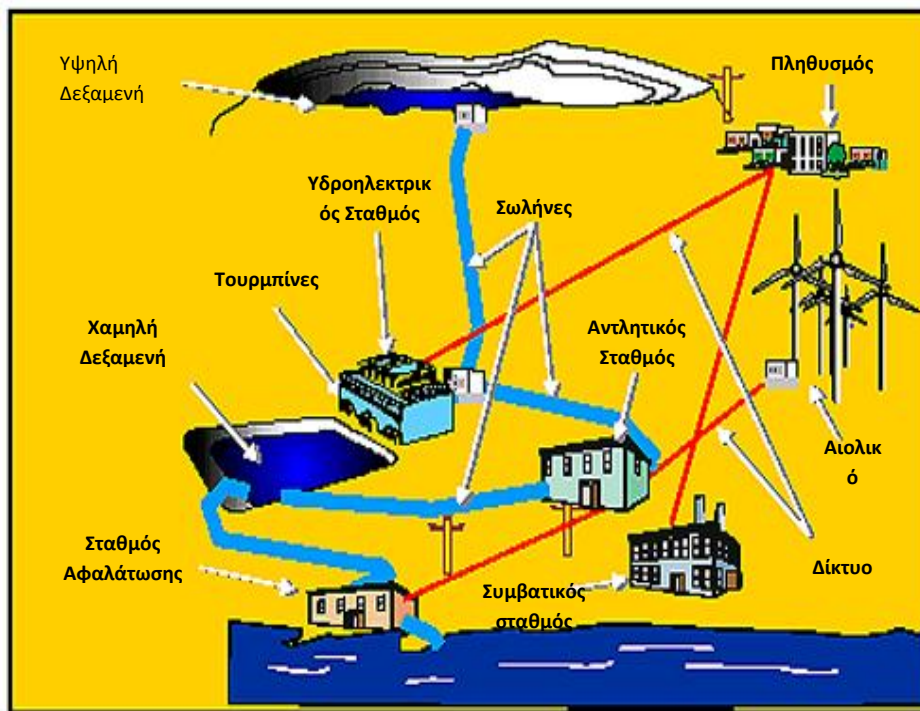
Με την οικονομική υποστήριξη του DG TREN της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, μια συνεργασία από 7 συμμετέχοντες με συντονιστή το ITC (Instituto Tecnológico de Canarias), διεξάγεται το πρόγραμμα που στοχεύει σε 100% ηλεκτρική παραγωγή από ΑΠΕ. Κατά την πρώτη φάση το πρόγραμμα στοχεύει σε κάλυψη 70-80% ηλεκτρικής ζήτησης του νησιού από διάφορες πηγές. Η πιο πρωτοποριακή λύση σχετίζεται με την εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος με αντλιοσταμείωση με στόχο την κάλυψη του 75% της ηλεκτρικής ζήτησης του νησιού, και 30% άμεση έγχυση της αιολικής παραγωγής στο δίκτυο.

Το σύστημα αποτελείται από δυο κατηγορίες:

1. Την ηλεκτρική μονάδα παραγωγής, που περιλαμβάνει το αιολικό πάρκο, το συμβατικό σταθμό παραγωγής και τον στρόβιλο,
2. Την υδροηλεκτρική μονάδα παραγωγής, που περιλαμβάνει την αντλητικό σταθμό, τις τουρμπίνες, την πάνω και την κάτω δεξαμενή, την μονάδα αφαλάτωσης και τους σωλήνες.

Τα φορτία του συστήματος είναι: η ηλεκτρική ζήτηση του νησιού, η μονάδα αφαλάτωσης και ο αντλητικός σταθμός.

Το δίκτυο αυτό φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Το ITC ανέπτυξε ένα software για να προσομοιώσει τεχνικά και οικονομικά το παραπάνω σύστημα αιολικού πάρκου-αντλησιοταμίευσης, και έτσι λαμβάνοντας υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά του τόπου (αιολικό δυναμικό, γεωγραφία, αποθέματα νερού κλπ.) θα καταλήξει στην βέλτιστη λύση. Κάνοντας χρήση αυτού του εργαλείου προτείνει την «αρχική λύση», η οποία αποτελείται από τα παρακάτω συστήματα:

- Αιολικό πάρκο: 9,35 MW
- Αντλητικός σταθμός: 7 x 800 kW + 2 x 275 kW
- Μίνι-υδροηλεκτρικός σταθμός (τουρμπίνες Pelton): 2 x 3,3 MW
- Συμβατικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής (ο υπάρχων): 9,75 MW
- Μονάδα αφαλάτωσης: 5-10 m³/d
- Χωρητικότητα Υψηλής δεξαμενής: 225.000 m³
- Χωρητικότητα Χαμηλής δεξαμενής: 225.000 m³
- Υδατοφράκτες
- Σύστημα διανομής

Ένας φυσικός κρατήρας θα αποτελέσει την υψηλή δεξαμενή μετά από την ανάλογη στεγάνωσή του. Η χαμηλή θα κατασκευαστεί κοντά στον υπάρχοντα συμβατικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ενώ το σύστημα αφαλάτωσης θα εγκατασταθεί στην ακτή και κοντά στον συμβατικό σταθμό.

5.3 Οι ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Είναι ευρέως γνωστό πια, ότι στα ελληνικά νησιά, που ηλεκτροδοτούνται με αυτόνομους πετρελαϊκούς σταθμούς, οι αιολικοί και φωτοβολταϊκοί σταθμοί που αξιοποιούν το αντίστοιχο πλούσιο δυναμικό ΑΠΕ των νησιών, δεν μπορούν να καλύψουν ποσοστό άνω του 15 με 20% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνικούς λόγους που σχετίζονται με την ασφαλή και απρόσκοπτη ηλεκτροδότηση των καταναλωτών. Υπάρχουν όμως οι τεχνικές λύσεις για την περαιτέρω αξιοποίηση του πλούσιου δυναμικού των πηγών αυτών που δεν είναι άλλες από την λύση της αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε ενέργεια άλλης μορφής και τη λύση της διασύνδεσης των νησιών στο ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Επειδή όμως οι στόχοι για τις ΑΠΕ απαιτούν μαζική εγκατάσταση των σταθμών αυτών και ανάπτυξη επίσης συστημάτων αποθήκευσης στην επικράτεια, η περαιτέρω αξιοποίηση του δυναμικού ΑΠΕ των νησιών θα πρέπει να περιλαμβάνει τελικά συνδυασμό των ανωτέρω λύσεων, δηλ. και διασυνδέσεις και αποθήκευση. Ο συνδυασμός κλασικών σταθμών ΑΠΕ και ιδίως αιολικών πάρκων, με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα υβριδικά όπως καθιερώθηκε να ονομάζονται, φαίνεται, υπό τις παρούσες συνθήκες, να αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ στα ηλεκτρικά συστήματα και έναν από τους μοχλούς επίτευξης των ενεργειακών στόχων της χώρας.

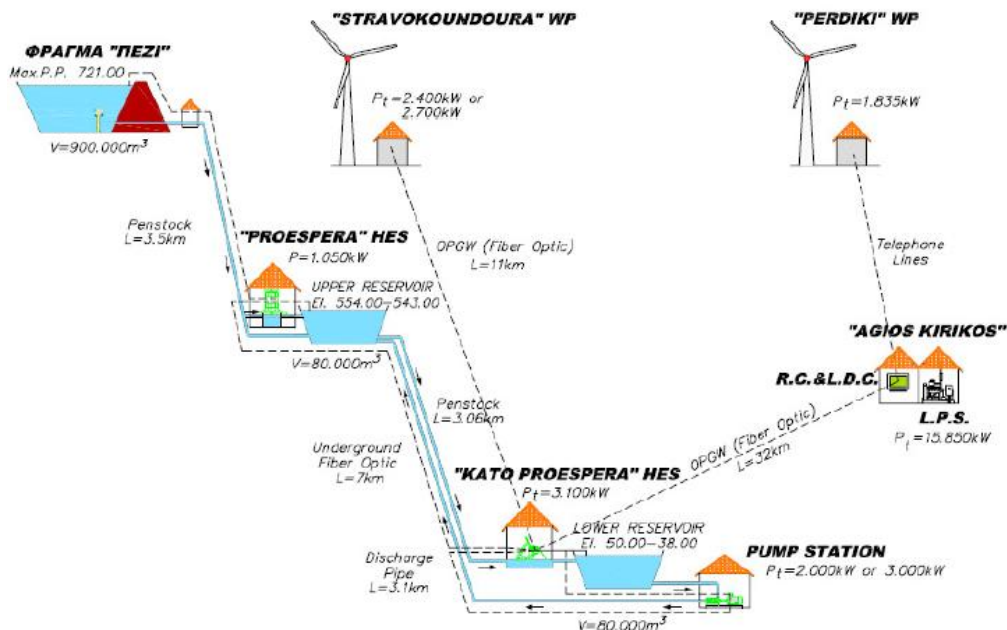
Η αντλησιοταμίευση, δηλαδή η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με την άντληση νερού από μια δεξαμενή σε άλλη με σημαντική υψομετρική διαφορά μεταξύ τους, αποτελεί σήμερα τη βέλτιστη οικονομικοτεχνικά λύση για μεγάλες ποσότητες. Η ιδέα της αποθήκευσης ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης δεν είναι σημερινή. Η ΔΕΗ εφάρμοσε τη λύση αυτή για την αποθήκευση φθηνής λιγνιτικής παραγωγής τη νύχτα (Σφηκιά, Θησαυρός), για να αποφεύγει την λειτουργία ακριβών μονάδων την ημέρα αλλά και για άλλους λόγους (όπως π.χ. για παροχή εφεδρείων παραγωγής). Οι ανάγκες των καιρών δείχνουν ότι η ιδέα αυτή πρέπει να εφαρμοστεί για την αποθήκευση της καθαρής, εγχώριας και επίσης φθηνής ενέργειας ΑΠΕ, κατά τις ώρες που η φύση την παρέχει πλουσιοπάροχα, αλλά η ζήτηση δεν επιτρέπει την κατανάλωσή της. Είναι ένας τρόπος προσαρμογής της παροχής της φύσης στις ανθρώπινες ανάγκες. Η εφαρμογή των υβριδικών σταθμών μοιραία ξεκινάει από τα νησιά, τα οποία ήδη θεωρούνται κορεσμένα για την εγκατάσταση αιολικής και φωτοβολταϊκής ισχύος. Δεν είναι συνεπώς τυχαίο το γεγονός ότι ο πρώτος τέτοιος σταθμός στην Ελλάδα σχεδιάστηκε από τη ΔΕΗ στα τέλη της δεκαετίας του '90, για το νησί της Ικαρίας. Το έργο αξιοποιεί το ισχυρό αιολικό δυναμικό του νησιού, καθώς και το υδάτινο δυναμικό που δημιουργείται από την ύπαρξη πηγών σε σημαντικό υψόμετρο, με αποθήκευση ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης. Ο σχεδιασμός του έργου και ο τρόπος διαχείρισης, οδηγεί σε μια συνολική διείσδυση ΑΠΕ στο νησί στα επίπεδα του 50%, μια εξαιρετικά μεγάλη διείσδυση, με βάση τα ισχύοντα παγκοσμίως. Τέτοιοι σταθμοί σε ηλεκτρικά συστήματα όπως αυτά των ελληνικών νησιών, δεν λειτουργούν πουθενά στον κόσμο εξ όσων γνωρίζουμε. Στην Ικαρία θα κατασκευαστεί ο πρώτος, ή ένας από τους πρώτους σταθμούς με τέτοια χαρακτηριστικά, καθώς υπάρχουν την περίοδο αυτή αντίστοιχες προσπάθειες και σε άλλα νησιά του πλανήτη με σημαντικότερη αυτή στο νησί El Hierro των Καναρίων Νήσων, ένα νησί παρόμοιο με την Ικαρία, όπου φιλοδοξεί να επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ, σε επίπεδα 70-80%.

Το Υβριδικό της Ικαρίας βρίσκεται σε φάση κατασκευής και αναμένεται να λειτουργήσει ως το 2012. Ωστόσο, το 2002, όταν χορηγήθηκε η άδεια παραγωγής, λόγω έλλειψης θεσμικού πλαισίου, δεν καθορίστηκαν, οι όροι και οι προϋποθέσεις λειτουργίας και τιμολόγησης του σταθμού, όπως απαιτείται σε συνθήκες απελευθερωμένης αγοράς. Σήμερα βάσει του ν. 3468/2006 και των αποφάσεων που ακολούθησαν, η Υπουργός Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, μετά από γνωμοδότηση της ΡΑΕ, θα καθορίσει, για πρώτη φορά, τους όρους και τις προϋποθέσεις λειτουργίας και τιμολόγησης ενός τέτοιου σταθμού. Θα ακολουθήσει σύντομα η αδειοδότηση παρόμοιων έργων που έχουν προταθεί για διάφορα νησιά, τα περισσότερα για την Κρήτη. Ας σημειωθεί ότι η κατάρτιση θεσμικού πλαισίου για τέτοια πολύπλοκα έργα δεν είναι εύκολη υπόθεση και βεβαίως απαιτεί συνεχείς βελτιωτικές κινήσεις. Για παράδειγμα αναφέρεται η βελτίωση των όρων τιμολόγησης, για μια πιο σταθερή τιμολόγηση ως σταθμοί ΑΠΕ, ο καθορισμός κανόνων λειτουργίας μέσω του αντίστοιχου κώδικα κ.α. Απαιτείται επιπλέον περαιτέρω στήριξη της ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων και στην ηπειρωτική χώρα. Η εμπειρία αποδεικνύει ότι τα νησιωτικά συστήματα δείχνουν το δρόμο για τη μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ. Το παράδειγμα της Ικαρίας, πιστοποιεί ότι οι ΑΠΕ μπορούν να καλύψουν σημαντικό ποσοστό της ζήτησης, σε επίπεδα άνω του 50%, με ανεκτή αύξηση του κόστους παραγωγής. Σε μεγαλύτερα ηλεκτρικά συστήματα, τα αποτελέσματα θα είναι σαφώς πιο ενθαρρυντικά, τουλάχιστον από πλευράς κόστους. Οι πρακτικές διείσδυσης ΑΠΕ στα νησιά θα απαιτηθεί να εφαρμοστούν, με τις κατάλληλες προσαρμογές, στην ηπειρωτική χώρα.

5.3.1 Το Παράδειγμα Της Ικαρίας[8]

Πρόσφατα στην Ελλάδα η ΡΑΕ προχώρησε στην έκδοση αδειών παραγωγής για πέντε υβριδικούς σταθμούς (αντλητικός-υδροηλεκτρικός σταθμός με αιολική ενέργεια) στα νησιά της Κρήτης και Λέσβου. Επιπλέον, έχει ήδη ξεκινήσει η εγκατάσταση ενός αιολικού-υδροηλεκτρικού σταθμού στην Ικαρία, το πρώτο έργο σε τοπικό επίπεδο που συνδυάζει την εκμετάλλευση διαθέσιμων υδάτων με την αξιοποίηση αιολικής παραγωγής. Η μονάδα βρίσκεται υπό κατασκευή και αναμένεται να λειτουργήσει μετά το 2012. Το έργο έχει ενταχθεί για παροχή δημόσιας ενίσχυσης στο Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.

Ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου υβριδικού έργου, που το διαφοροποιεί από έναν συνήθη υβριδικό σταθμό, είναι ότι εκτός από τις δύο δεξαμενές που εξυπηρετούν τις ανάγκες της αντλιοσταμείωσης για την απορρόφηση της αιολικής παραγωγής, υφίσταται και ένας τρίτος ταμιευτήρας, στα ανάντη της άνω δεξαμενής αντλιοσταμείωσης, η περίσσεια υδάτων του οποίου εισρέει στην τελευταία μέσω ενός επιπλέον Υ/Σ. Η διαμόρφωση δηλαδή του υβριδικού της Ικαρίας επιτρέπει την αξιοποίηση δύο μορφών ΑΠΕ, της αιολικής, μέσω της αντλιοσταμείωσης, και της υδροηλεκτρικής, μέσω της εκμετάλλευσης των διαθέσιμων υδάτων του ταμιευτήρα. Το σύστημα ηλεκτρικής παραγωγής της Ικαρίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5. Περιλαμβάνει τον τοπικό σταθμό παραγωγής Αγίου Κήρυκου που καταναλώνει μαζούτ και υφιστάμενα ή αδειοδοτημένα Α/Π, εκτός του υβριδικού, των οποίων η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 1.835 kW. Η κατασκευή του υβριδικού σταθμού έχει ύψος επένδυσης περίπου 23,5 εκατ. ευρώ και επιδοτείται με 35% από το Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς (ΕΣΠΑ). Με το συγκεκριμένο έργο θα επιτευχθεί διείσδυση ΑΠΕ περίπου 50% στην κατανάλωση της Ικαρίας, ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό, δεδομένου ότι σήμερα, λόγω των τεχνικών αδυναμιών των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων, η διείσδυση των ΑΠΕ δεν υπερβαίνει το 15 με 20%.



Σχήμα 5.5 Διαμόρφωση του υβριδικού συστήματος της Ικαρίας

Τα κύρια χαρακτηριστικά των θερμικών μονάδων παραγωγής και των ανεμογεννητριών είναι τα εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ					
Α/Α	ΜΟΝΑΔΑ	Ονομαστική Ισχύς		Μέγιστη	Ελάχιστη
		kVA	kW	Παραγόμενη	Παραγόμενη
				Ισχύς (kW)	Ισχύς (kW)
1	No 1	1220	975	750	300
2	No 2	1220	975	750	300
3	No 3	1220	975	750	300
4	No 4	1220	975	750	300
5	No 5	1220	975	750	300
6	No 6	1600	1280	1100	750
7	No 7	1600	1280	1100	750
8	No 8	3880	3104	3100	1800
Σύνολο		13180	10539	9050	4800

Πίνακας 5.1.: Πίνακας Μονάδων Τ.Σ.Π. (Τοπικός σταθμός παραγωγής στον Αγ. Κύρηκο)

Αιολικά πάρκα στην περιοχή «Περδίκι»:

1. Μια ανεμογεννήτρια (σύγχρονη) , 600 kW ιδιοκτήτης της οποίας είναι ο ιδιώτης «Λάκιος».
2. Επτά (7) ανεμογεννήτριες (ασύγχρονες), 55 kW η καθεμία, συνολικής ισχύος $7 \times 55 \text{ kW} = 385 \text{ kW}$ του Τοπικού Σταθμού Παραγωγής.

5.3.1.1 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:

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

5.3.1.2 Γενικές Αρχές Σχεδίασης Ενός ΥΗΣ Με Μονάδες Αντλιοσταμίου[8]

Είναι γνωστό ότι τα υδροηλεκτρικά πάρκα με αντλιοσταμειυτικές μονάδες συνήθως κατασκευάζονται σε μεγάλα δίκτυα ,όπου υπάρχουν ορισμένες θερμικές και πυρηνικές μονάδες, οι οποίες λειτουργούν σαν βάση και οι οποίες είναι αδύνατο ή εξαιρετικά δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση του φορτίου.

Οι αναστρεφόμενες μονάδες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ακμής της ζήτησης φορτίου ως συμβατικές μονάδες, για να παράγουν ενέργεια ή για να υποκαθιστούν τις θερμικές μονάδες σε περίπτωση σφάλματος χάρη στην άμεση απόκρισή τους.

Οι ίδιες μονάδες χρησιμοποιούνται επίσης και για να αποταμιεύουν την επιπλέον ενέργεια (αποθηκεύοντας το νερό στον άνω ταμιευτήρα από τον κάτω) κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου η ζήτηση φορτίου είναι χαμηλή και να παράγουν ενέργεια την ημέρα τις ώρες υψηλής ζήτησης φορτίου.

Όσον αφορά το δίκτυο της Ικαρίας, δεν υπάρχουν μεγάλες μονάδες, και γι' αυτόν τον λόγο δεν δικαιολογείται η κατασκευή ενός αναστρέψιμου ενεργειακού σταθμού. Έτσι κάτι ανάλογο θα μπορούσε να επιτευχθεί με την παράλληλη εγκατάσταση νέων μονάδων μεγάλης ισχύος, πάντα σε σύγκριση με τα ισχύοντα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες είναι κατάλληλες να εγκατασταθούν στην Ικαρία.

Σε αυτή την περίπτωση ο ρόλος του αναστρέψιμου δικτύου θα είναι ο εξής:

α) Η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας κατά τις ώρες μειωμένης ζήτησης φορτίου και της παραγωγής της κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου η ζήτηση φορτίου είναι μέγιστη.

β) Η εξομάλυνση της στοχαστικής λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

5.3.1.3 Τα Κύρια Τμήματα Του Συστήματος[8]

Μετά την εξέταση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, σύμφωνα με το κυρίως σχέδιο που τελικά επιλέχτηκε, θα αξιοποιηθούν δύο είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1. Η **ενέργεια του νερού** με την κατασκευή δύο (2) μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών στην Προεσπέρα και την Κάτω Προεσπέρα, στους οποίους θα αξιοποιείται μέρος του νερού το οποίο σε άλλη περίπτωση θα χυνόταν στον αγωγό υπερχειλίσης, και
2. Η **ενέργεια του ανέμου** με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών στο αιολικό πάρκο της περιοχής των Στραβοκουνδούρων.

σε συνδυασμό με την κατασκευή:

3. Ενός (1) αντλιοστασίου και
4. Δύο (2) ταμιευτήρων νερού

Έτσι θα υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες, κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και η παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας στις μέγιστες στιγμές ζήτησης φορτίου βελτιώνοντας έτσι και την σταθερότητα του συστήματος.

Τα κύρια τμήματα του συστήματος της Ικαρίας εμφανίζονται αναλυτικά παρακάτω:

1. Δεξαμενή-Ταμιευτήρας(στο Πέζι)

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα στο Πέζι είναι τα εξής:

- Μέγιστη στάθμη υπερχείλισης 722,56m
- Μέγιστη ισχύς δεξαμενής 721,00m
- Ελάχιστη ισχύς δεξαμενής 707,00m
- Αξιοποιήσιμο απόθεμα $900 \times 10^3 \text{m}^3$
- Μεικτός όγκος $1000 \times 10^3 \text{m}^3$

Η εισροή ύδατος θα πραγματοποιείται μέσω μιας διακλάδωσης στην κατασκευή βαλβίδων του φράγματος και με έναν σωλήνα νερού μήκους περίπου τριών (3) χιλιομέτρων, το νερό θα διοχετεύεται στην μονάδα του μικρού ΥΗΣ Προεσπέρας.

2. ΥΗΣ Προεσπέρας

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ΥΗΣ Προεσπέρας είναι τα εξής:

- Αριθμός μονάδων Μια (1)
- Στρόβιλος
 - Τύπος Pelton με κατακόρυφο άξονα
 - Ισχύς 1000kW
 - Κεντρικό ύψος στάθμης 555,20m
- Γεννήτρια
 - Τύπος Σύγχρονη
 - Ισχύς 1300kVA

Ο παραπάνω σταθμός παραγωγής δεν θα λειτουργεί κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου.

Το νερό, φεύγοντας από τον στρόβιλο, θα διοχετεύεται στον άνω ταμιευτήρα στην Προεσπέρα.

3. Άνω ταμιευτήρας (στην Προεσπέρα)

Τα βασικά χαρακτηριστικά του άνω ταμιευτήρα είναι τα εξής:

- Κορυφή φράγματος 555,20m
- Μέγιστη ισχύς δεξαμενής 554,00m
- Ελάχιστη ισχύς δεξαμενής 543,00m

- Ύψος πυθμένα 542,00m
- Αξιοποιήσιμο απόθεμα $80 \times 10^3 \text{m}^3$
- Μεικτός όγκος $87 \times 10^3 \text{m}^3$

Φεύγοντας από τον άνω ταμιευτήρα, το νερό με έναν σωλήνα νερού μήκους περίπου τριών χιλιομέτρων, θα διοχετεύεται στους δύο στροβίλους ,που θα εγκατασταθούν στον μικρό ΥΗΣ της Κάτω Προεσπέρας.

4. ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας είναι τα εξής:

- Αριθμός Μονάδων Δύο (2)
- Στρόβιλοι
 - Τύπος Pelton με οριζόντιο άξονα
 - Ισχύς στροβίλων $2 \times 1550 \text{kW} = 3100 \text{kW}$
 - Κεντρικό ύψος 50,70 m
- Γεννήτριες
 - Τύπος Σύγχρονες
 - Ισχύς $2 \times 1900 \text{kVA}$
 -

Το νερό, φεύγοντας από τους στροβίλους, θα διοχετεύεται στον Κάτω ταμιευτήρα στην Κάτω Προεσπέρα.

5. Κάτω Ταμιευτήρας (στην Κάτω Προεσπέρα)

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κάτω ταμιευτήρα είναι τα εξής:

- Κορυφή φράγματος 50,20m
- Μέγιστη ισχύς δεξαμενής 49,00 m
- Ελάχιστη ισχύς δεξαμενής 36,00 m
- Ύψος πυθμένα 35,00 m
- Αξιοποιήσιμο απόθεμα $80 \times 10^3 \text{m}^3$
- Μεικτός όγκος $83 \times 10^3 \text{m}^3$

Ακριβώς δίπλα και πάνω στη ροή του Κάτω Ταμιευτήρα θα κατασκευαστεί το αντλιοστάσιο, όπου θα εγκατασταθούν οκτώ (8) αντλίες με την προοπτική μιας μελλοντικής εγκατάστασης τεσσάρων ακόμη αντλιών.

6. Αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας

Τα βασικά χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου είναι τα εξής:

- Αριθμός συστημάτων αντλιών-κινητήρων Οκτώ(8)
- Αντλίες
 - Τύπος Οριζόντιου Άξονα
 - Ισχύς Κινητήρων $8 \times 200 \text{kW} = 1600 \text{ kW}$
 - Κεντρικό ύψος 35,50m

Κατόπιν, δίπλα στο φράγμα στην περιοχή των Στραβοκουνδούρων, θα κατασκευαστεί το αιολικό πάρκο.

7. Αιολικό Πάρκο Στραβοκουνδούρων

Τα βασικά χαρακτηριστικά του αιολικού πάρκου Στραβοκουνδούρων είναι τα εξής:

Ανεμογεννήτριες

- Τύπος Σύγχρονες
- Αριθμός τέσσερις(4) ή τρεις(3)
- Ισχύς $4 \times 600 \text{kW} = 2400 \text{kW}$ ή $3 \times 800 \text{kW} = 2400 \text{kW}$

Η λειτουργία του παραπάνω «υβριδικού ενεργειακού κέντρου» θα συνδυαστεί επίσης με τη λειτουργία των θερμικών μονάδων του ΘΗΣ Αγ. Κήρυκου και των κρατικών ανεμογεννητριών που ανήκουν στη ΔΕΗ στο αιολικό πάρκο στο Περδίκι που περιγράφεται παραπάνω.

5.3.2 Η Αντλησιοταμίευση Στην Κρήτη Ως Λύση Στο Ενεργειακό Της Πρόβλημα

Η Κρήτη, όπως και πολλά άλλα νησιά της Ελλάδας, αποτελεί ένα απομονωμένο ενεργειακό σύστημα, ένα σύστημα δηλαδή το οποίο είναι αποκομμένο από ο κεντρικό ηπειρωτικό δίκτυο της ΔΕΗ. Το σύστημα της Κρήτης περιλαμβάνει τα εξής:[3]

Συμβατικοί/Θερμικοί σταθμοί (2009)

Εγκατεστημένη ισχύς

(Χανιά, Ηράκλειο, Αθρινόλακκος)

- Ονομαστική ισχύς 823MW
- Αποδιδόμενη ισχύς 744 MW
- Παραγόμενη ενέργεια 2,524 TWh

Αδειοδοτημένη ισχύς

- Νέος σταθμός Κορακιάς 500MW (Φ.Α.)
- Γ' Φάση Αθρινόλακκου 100 MW

Φορτίο νησιού

- Αιχμή 611 MW (650MW το 2008)
- Συνολική κατανάλωση 3TWh

ΑΠΕ

Αιολικά

- Εγκατεστημένη ισχύς 167MW
- Με άδεια παραγωγής 222MW (56MW)

Λοιπά ΑΠΕ

- Εγκατεστημένη ισχύς 2,1MW
- Με άδεια παραγωγής 91MW

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς 169 MW

- Παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ 0,464 TWh
- Συμμετοχή (% κατανάλωσης) 15,5 %

Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια να παρουσιάζονται ορισμένα προβλήματα που αφορούν τόσο την επάρκεια της ενέργειας όσο και την ποιότητά της. Παρατηρούνται έτσι, συχνά προβλήματα στην επάρκεια του ρεύματος, κυρίως την καλοκαιρινή περίοδο, όπου ο τουρισμός αυξάνει κατακόρυφα, με αποτέλεσμα τις συχνές διακοπές του ρεύματος σε πολλές περιοχές του νησιού. Από την άλλη, παρουσιάζονται προβλήματα και στη συχνότητα του ρεύματος, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργία πολλών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών.

Το αιολικό δυναμικό της Κρήτης μπορεί να δώσει μια συνολική εγκατεστημένη Αιολική Ισχύ περισσότερη από 1,8GW. Το ανάγλυφο της Κρήτης προσφέρει πολλές περιοχές στις οποίες είναι εφικτή η εγκατάσταση συστημάτων αντλησιοταμίευσης, συνολικής ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερης των 700 MW, όπου κατάλληλες δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να λειτουργήσουν ως υποδομές για ανάπτυξη αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων. Ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτών γίνεται με σκοπό την ολική κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια στο νησί από τον άνεμο και τη μερική κάλυψη σε νερό άρδευσης μέρους των γειτονικών προς τις δεξαμενές περιοχών. Η ανάπτυξη του συστήματος σχεδιάζεται για τα επόμενα 20 χρόνια, δίνοντας σταδιακά ένα ρόλο θερμής εφεδρείας στις πιο σύγχρονες από τις σημερινές θερμικές μηχανές της ΔΕΗ. Το προτεινόμενο σύστημα είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο σύστημα βασιζόμενο σε εισαγόμενα, ορυκτά καύσιμα. Η σύγκριση ανάμεσα στα δύο συστήματα βασίζεται κυρίως σε οικονομικές παραμέτρους, πέρα από περιβαλλοντικά οφέλη, κοινωνικές αντιδράσεις στις θερμικές μονάδες, κοινή αποδοχή των υδροηλεκτρικών έργων, παράλληλη ανάπτυξη τουριστικών έργων, κλπ που μπορούν να προκύψουν από τα προτεινόμενα έργα. Είναι προφανές ότι η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνει ραγδαία. Όλες οι πληροφορίες και οι μελέτες σχετικά με την οικονομική ανάπτυξη του νησιού οδηγούν στις ίδιες προβλέψεις. Η διεύθυνση της Αιολικής Ενέργειας έχει αποδειχθεί ως προοπτική τεχνικά και οικονομικά ελκυστική. Οι επενδυτές τέτοιων συστημάτων είναι σήμερα πολύ καλά ενημερωμένοι και προετοιμασμένοι να προχωρήσουν στην υλοποίηση μεγάλων επενδύσεων εξαιτίας του καλά ορισμένου και κάτω υπό συνεχή βελτίωση νομικού και οικονομικού πλαισίου.[2]

Η τοπική κοινωνία έχει παράδοση στην εκμετάλλευση της Αιολικής Ενέργειας και το τοπικό τεχνικό και κοινωνικό περιβάλλον έχει ήδη αποδεχθεί την ιδέα ευρείας εκμετάλλευσης του Αιολικού Δυναμικού του νησιού. Το διαθέσιμο σήμερα ποσό αιολικής ισχύος προς διεύθυνση στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ (30% της ετήσιας ισχύος του περασμένου έτους) έχει καλυφθεί μετά από μια εντυπωσιακή ανταπόκριση των επενδυτών σε πρόσκληση υποβολής προτάσεων από την Περιφέρεια Κρήτης.[2]

Δύο βασικές έννοιες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η κοινώς χρησιμοποιούμενη έννοια των θερμικών μονάδων παραγωγής και η παραδοσιακή έννοια των ανανεώσιμων πηγών. Η πρώτη λύση φαίνεται να είναι η αγαπημένη των διοικήσεων της ΔΕΗ έως σήμερα. Οι λόγοι αυτής της αγάπης μπορεί να αποτελέσει θέμα έρευνας, τα αποτελέσματα της οποίας ίσως αποδειχθούν εξαιρετικά ενδιαφέροντα για την κατανόηση της κοινωνικής μας δομής και συμπεριφοράς.[2]

Η περίπτωση της Κρήτης έχει ήδη μελετηθεί για διάφορους τρόπους υλοποίησης συστημάτων αντλησιοταμίευσης. Έχει ερευνηθεί επίσης η συνεργασία τέτοιων μονάδων με Αιολικά Πάρκα καθώς και η συμβολή τους στη διαχείριση θερμικών μονάδων.[2]

Τα βασικά αποτελέσματα από τις ανωτέρω μελέτες αποδεικνύουν ότι οι μονάδες αντλησιοταμίευσης μπορούν να συνδράμουν πολλά προς την ελαχιστοποίηση του κόστους ενεργειακής παραγωγής από τις υπάρχοντες θερμικές μονάδες και τη μεγιστοποίηση της Αιολικής Διεύθυνσης.[2]

Η γεωγραφία της Κρήτης είναι ιδανική για την υλοποίηση χαμηλού κόστους και περιβαλλοντικά φιλικών συστημάτων άντλησης – ταμίευσης.[2]

Οι ορεινές περιοχές με χαμηλή διαπερατότητα σε νερό, στις οποίες προβλέπεται να εγκατασταθούν αυτά τα συστήματα, παρέχουν ζευγάρια τοποθεσιών σχεδόν έτοιμα να συγκεντρώσουν αρκετό νερό τόσο για αποθήκευση ενέργειας, όσο και για αρδευτικούς σκοπούς. Η αναδάσωση των βραχωδών ορέων μπορεί να είναι ένα έμμεσο όφελος της ανάπτυξης συστημάτων αντλησιοταμίευσης, ενώ ταυτόχρονα νέα τεχνητά οικοσυστήματα θα αποτελέσουν σίγουρα το βασικό κέρδος από αυτά τα συστήματα. Πάρα πολύ νερό χάνεται στη θάλασσα ενώ η εγκατάλειψη της υπαίθρου εξελίσσεται με μεγάλους ρυθμούς. Οι βροχοπτώσεις στις ορεινές περιοχές της Κρήτης δίνουν περίπου 1.800 mm στήλης ύδατος ετησίως, ενώ οι φυσικές υδρολεκάνες σχηματίζουν κατάλληλους συλλέκτες νερού. Οι ποσότητες νερού, οι απαιτούμενες για ενεργειακούς σκοπούς είναι ένα μικρό μόνο ποσοστό των συνολικών αναγκών νερού για άρδευση. Δεδομένου ότι το νερό που χρησιμοποιείται για αποθήκευση ενέργειας δεν καταναλώνεται, το μόνο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη διατήρηση του συστήματος άντλησης – ταμίευσης είναι οι απώλειες λόγω εξάτμισης. Η αναπλήρωση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού στις δεξαμενές, μπορεί να εκτιμηθεί σε ένα ποσοστό μικρότερο του 2% των συνολικά απαιτούμενων ποσοτήτων νερού για άρδευση. Με βάση τα ανωτέρω, οι προδιαγραφές του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι οι εξής: [4]

α) Οι χωρητικότητες των δεξαμενών πρέπει να είναι ικανές για:

-αποθήκευση ενέργειας

-τη διατήρηση του οικοσυστήματος που θα αναπτυχθεί γύρω από και μέσα στις δεξαμενές

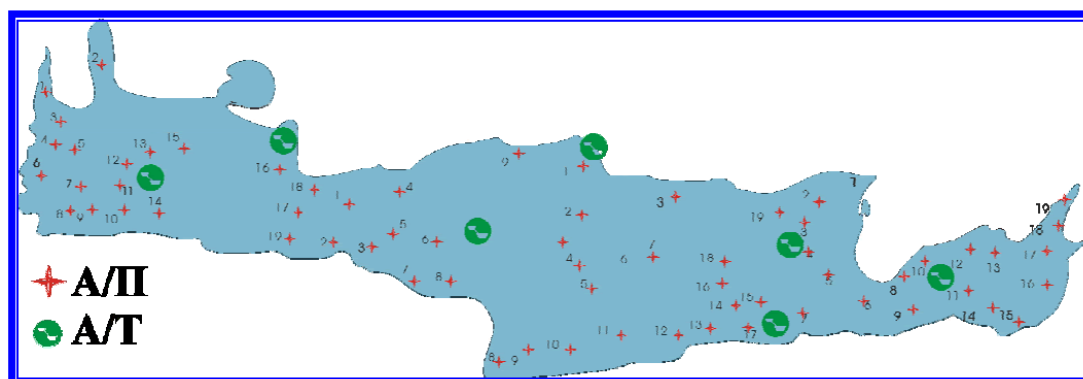
-την άρδευση της περιοχής γύρω από το σύστημα αντλησιοταμίευσης

-την αναδάσωση της περιοχής γύρω από το σύστημα αντλησιοταμίευσης.

β) Η διαχείριση του νερού του συστήματος αντλησιοταμίευσης πρέπει να είναι μέσα στα πλαίσια της συνολικής διαχείρισης υδάτινου δυναμικού της Περιφέρειας Κρήτης.

γ) Η διαχείριση ενέργειας του συστήματος παραγωγής θα πρέπει να βασίζεται σε μία πολιτική που θα ορίζει ελαστικούς και ανελαστικούς τύπους κατανάλωσης.[4]

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται κατάλληλες θέσεις, από άποψη αιολικού δυναμικού και προσβασιμότητας, για εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην Κρήτη. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται επίσης οι επικρατέστερες θέσεις για εγκατάσταση αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών σταθμών.[4]



Σχήμα 5.6 Πιθανές θέσεις εγκατάστασης αντλησιοταμίευσης στη Κρήτη

Εγκατάσταση του συστήματος Αντλησιοταμίευσης

Με βάση τις γενικές προδιαγραφές του νησιού, ακολουθεί ένας πίνακας με τις πιθανά καλύτερες τοποθεσίες εγκατάστασης αντλησιοταμίευσης σε όλο το νησί:[4]

Περιοχή	Όγκος της άνω δεξαμενής (*10 ⁶ m ³)	Υψομετρική διαφορά (m)	Ισχύς Υ/Σ (MW)	Ισχύς αντλίας (MW)	Κόστος Υ/Σ (δρχ/KW)	Ολικό κόστος ⁹ (δρχ*10 ⁹)	Ολικό κόστος ⁶ (ευρώ*10 ⁶)
Χανιά1	5,00	280	100	170	440.000	44,00	129,13
Χανιά2	4,50	330	100	170	430.000	43,00	126,19
Ρέθυμνο	5,30	400	150	250	400.000	60,00	176,08
Ηράκλειο1	14,00	1.000	400	670	310.000	124,00	363,90
Ηράκλειο2	4,10	350	100	170	420.000	42,00	123,26
Λασιθί1	4,70	300	100	170	430.000	43,00	126,19
Λασιθί2	2,90	250	50	85	500.000	25,00	73,37

Πίνακας 5.2 Διαθέσιμες κατάλληλες τοποθεσίες για αντλησιοταμίευση στην Κρήτη

Το ενδιαφέρον των επενδυτών απορρέει από τα ελκυστικά οικονομικά νούμερα που παρέχονται από τα υπάρχοντα νομικά και οικονομικά Ελληνικά πλαίσια. Παρόλα αυτά, το νομικό πλαίσιο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ολοκληρωμένο. Κάποιες μικρές, ωστόσο όμως σημαντικές, τροποποιήσεις που αφορούν τη διαδικασία αδειοδότησης και τον ενεργειακό τιμοκατάλογο είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό και την απομίμηση των επενδύσεων, από όπου κι αν προέρχονται. [4]

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν όλες οι απαραίτητες συνθήκες για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων παραγωγής βασίζομενη στην αιολική ενέργεια, εκτός ίσως από κάποιες μικρές τροποποιήσεις στο νομικό πλαίσιο. Είναι θέμα καθαρά πολιτικής απόφασης η απελευθέρωση των επενδυτών προς ένα πολλά υποσχόμενο στόχο, την ηλεκτροδότηση της Κρήτης από τον άνεμο και τις άλλες ΑΠΕ, που μπορούν να παίξουν ένα σημαντικό συμπληρωματικό ρόλο. Η Ορθολογική Χρήση Ενέργειας, η ηλιακή αρχιτεκτονική, η βιομάζα και τα μικρά αυτόνομα υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών έχουν μελετηθεί για υλοποίηση στην Κρήτη και μπορούν να εκπληρώσουν σκοπούς ηλεκτροδότησης που έχουν να κάνουν με τη συνολική τεχνικοοικονομική σχεδίαση της ανάπτυξης του συστήματος παραγωγής στην Κρήτη. [4]

Δεδομένου ότι οι τιμές των ορυκτών καυσίμων αυξάνονται σχεδόν συνεχώς, ενώ οι τιμές ενέργειας από ΑΠΕ μειώνονται, οι άμεσες προοπτικές πολύ ελκυστικών επενδύσεων συνδυασμένων συστημάτων αιολικών πάρκων και αντλησιοταμίευσης εμφανίζονται ως πολύ βιώσιμη λύση.[4]

5.3.3 Η Αντλιοσταμείωση Στην Σέριφο[16]

Η νήσος Σέριφος χαρακτηρίζεται από υψηλό αιολικό δυναμικό το οποίο μέχρι στιγμής παραμένει αναξιοποίητο. Καθώς η παραγωγή αιολικής ενέργειας μεταβάλλεται στοχαστικά με τον άνεμο, είναι φυσικό να μη συμπίπτει με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Στοχεύοντας στη βέλτιστη ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε ένα τέτοιο σύστημα και για να απαλλαγεί η παρεχόμενη στο δίκτυο ισχύς από τις παραπάνω διακυμάνσεις προτείνεται η εγκατάσταση ενός συστήματος μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, υπό μορφή δυναμικής υδραυλικής ενέργειας, το οποίο θα απορροφά την περίσσεια αιολικής ενέργειας που δε δύναται να απορροφηθεί από το δίκτυο και θα την αποδίδει σε περιόδους όπου δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση λόγω έλλειψης ανέμου. Με τον τρόπο αυτό, μετατρέπεται ένα ουσιαστικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας (στοχαστική εμφάνιση) σε βασικό πλεονέκτημα (εγγυημένη ισχύ) κατά τον πλέον οικονομικό και οικολογικό τρόπο. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στη βελτιστοποίηση των μεγεθών του αιολικού πάρκου (Α/Π), της μονάδας αντλιοσταμείωσης και των ταμιευτήρων που απαρτίζουν το σύστημα. Η παραπάνω διαστασιολόγηση θα γίνει ελαχιστοποιώντας το κόστος παραγόμενης ενέργειας του Υβριδικού Συστήματος.

1) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η Σέριφος ανήκει στον σύμπλεγμα των Κυκλάδων και βρίσκεται 74 ναυτικά μίλια νοτιοανατολικά του Πειραιά. Το νησί δεν είναι διασυνδεδεμένο στο ηπειρωτικό δίκτυο και διατηρεί ένα πετρελαϊκό Τοπικό Σταθμό Παραγωγής (ΤΣΠ) της ΔΕΗ ΑΕ προς κάλυψη των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλό συγκρινόμενο με το ηπειρωτικό, καθιστώντας έτσι τη λειτουργία του συμβατικού πετρελαϊκού ΤΣΠ οικονομικά, αλλά και περιβαλλοντικά ζημιογόνα. Στην παραπάνω δυσμενή κατάσταση προστίθεται και η έντονη εποχική τουριστική δραστηριότητα η οποία αυξάνει δραματικά τη ζήτηση ενέργειας και νερού κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Το κόστος παραγόμενης ενέργειας (κόστος παραγόμενης kWh) ανήλθε στα 0,31€/kWh για το 2001, το οποίο είναι περίπου τετραπλάσιο από αυτό της ηπειρωτικής χώρας. Το παραπάνω κόστος αναλύεται στο κόστος καυσίμου και λιπαντικών, που είναι 0,133€/kWh, και σε άλλα επιμέρους κόστη όπως π.χ. μισθοδοσία, αποσβέσεις, γενικά έξοδα, κλπ. Το νησί της Σεριφου καλύπτει επιφάνεια 75km² και έχει 1.414 κατοίκους. Ο εποχικός τουρισμός προκαλεί μία αύξηση στον παραπάνω μόνιμο πληθυσμό που έχει ως συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Κατά το έτος 2001 η αιχμή της ζήτησης ήταν 2.350kW και εμφανίστηκε αργά το απόγευμα της 14^{ης} Αυγούστου, όπου και η τουριστική δραστηριότητα κορυφώνεται. Το ίδιο φαινόμενο, με μικρότερη όμως αιχμή, παρατηρείται και κατά την περίοδο του Πάσχα, ενώ αντιθέτως, η ελάχιστη ζήτηση στο νησί ήταν περίπου 300kW κατά τη χειμερινή περίοδο. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης κατανάλωσης προκαλεί ανεπιθύμητη αναγκαστική «ψυχρή» εφεδρεία των μηχανών που είναι οικονομικά ασύμφορη.

Ο ΤΣΠ απαρτίζεται από έξι πετρελαϊκές μηχανές ελαφρού καυσίμου συνολικής ισχύος 3.400kW και το έτος 2001 παρήγαγε 5.547MWh για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Το σύστημα ηλεκτροδότησης περιλαμβάνει τρεις

κύριες γραμμές μεταφοράς 15kV που ξεκινούν από τον ΤΣΠ και διασχίζουν ακτινικά το νησί.

Στην παρούσα κατάσταση, η τεχνικά αποδεκτή και οικονομικά συμφέρουσα διείσδυση αιολικής ενέργειας στο συγκεκριμένο αυτόνομο δίκτυο δε δύναται να ανέλθει σε ικανοποιητικό ποσοστό αφού υπόκειται σε τεχνικούς περιορισμούς, οι οποίοι έχουν αποτυπωθεί και στην Υπουργική Απόφαση ΥΑ 8295/95 που καθόριζε ως όριο διείσδυσης των ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά το ποσοστό του 30% της ισχύος αιχμής της μέγιστης ωριαίας ζήτησης του προηγούμενου (Η παραπάνω Υπουργική Απόφαση καταργείται, λόγω μη ανταπόκρισης στις πραγματικές συνθήκες, και πλέον θα ακολουθείται μία άλλη μέθοδος υπολογισμού του μέγιστου ορίου διείσδυσης με τη βοήθεια πιθανοτικής ανάλυσης η οποία δίνει περίπου το ίδιο όριο διείσδυσης και μόνο η πράξη θα δείξει αν και η ρύθμιση αυτή ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες κάθε νησιού). Οι τεχνικοί περιορισμοί προστατεύουν τα αδύναμα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα από τις διακυμάνσεις ηλεκτρικών μεγεθών και τα μεταβατικά φαινόμενα, που προκαλούν προβλήματα ευστάθειας του δικτύου. Εξάλλου, σοβαρά προβληματική είναι και η συνεργασία Α/Γ σταθερών στροφών με τους πετρελαϊκούς κινητήρες των αυτόνομων σταθμών, με επιπτώσεις και στην ποιότητα παρεχόμενης ισχύος. Τέλος, η στοχαστικότητα του ανέμου και η ευαισθησία των Α/Γ στις διακυμάνσεις των ηλεκτρικών μεγεθών του δικτύου προσθέτουν και μία παραπάνω αβεβαιότητα όσον αφορά στην ασφάλεια της συνεχούς παροχής ενέργειας, καθώς μία ξαφνική απώλεια της αιολικής ισχύος και ενώ το σύστημα αντιμετωπίζει συνθήκες υψηλής ζήτησης είναι ένας κύριος λόγος γενικής διακοπής (black-out).

Συνεπώς, είναι αναγκαίο να εξεταστεί μία τεχνικά, όσο και οικονομικά, αποδοτική λύση αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας που θα συνοδεύεται με μία μεσοπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας η οποία θα πραγματοποιείται με χρήση ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού (μέθοδος αντλησιοταμίευσης).

2) ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Με δεδομένη τη ζήτηση του δικτύου και σε περιόδους άπνοιας ή μειωμένης αιολικής παραγωγής, η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια του νερού αξιοποιείται αντιστρέφοντας την παραπάνω διαδικασία, αφού το νερό μέσω του στροβίλου παράγει τώρα την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και συγκεντρώνεται στον κάτω ταμιευτήρα. Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης δεν αποτελεί τεχνολογική πρωτοτυπία, αφού τέτοια συστήματα λειτουργούν στο ηπειρωτικό δίκτυο προσφέροντας την αποθηκευμένη ενέργεια σε ώρες αιχμής (μονάδες αιχμής).

Το Υβριδικό Σύστημα της Σερίφου αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- Το αιολικό πάρκο (Α/Π)
- Τον άνω και τον κάτω ταμιευτήρα
- Το αντλιοστάσιο και το σταθμό του στροβίλου
- Τον υπάρχοντα ΤΣΠ
- Κεντρική Μονάδα εποπτικού Ελέγχου (ΚΜΕ)

Η συνεργασία όλων των παραπάνω υποσυστημάτων στοχεύει στην μείωση του κόστους παραγόμενης ενέργειας (kWh) από το νέο σύστημα, συγκρινόμενη πάντα με

το ήδη υπάρχον, ενώ ταυτόχρονα στην αναβάθμιση του δικτύου και της ποιότητας παρεχόμενης ισχύος. Κάτωθι περιγράφονται αναλυτικότερα όλα τα επιμέρους υποσυστήματα και τα μεγέθη τους.

2.1 Κάτω Ταμιευτήρας

Το Υπουργείο Γεωργίας έχει κατασκευάσει φράγμα με τη χρήση σκυροδέματος δημιουργώντας μία τεχνητή λιμνοδεξαμενή με συνολική εκτιμώμενη χωρητικότητα 700.000m³. Η λιμνοδεξαμενή βρίσκεται στην περιοχή Λιβιάδι, 2,5km από την πρωτεύουσα του νησιού Χώρα, και σε ύψος +100m από την επιφάνεια της θάλασσας. Υπολογίζεται να συλλέγει το βρόχινο νερό της λεκάνης απορροής του ρέματος Στενό, αρδεύοντας αλλά και υδρεύοντας το νησί κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Η μελέτη της λιμνοδεξαμενής από το Υπ. Γεωργίας εκτιμά σε ετήσια μηνιαία βάση τα διαθέσιμα αποθέματα νερού σε αυτή, το μέγιστο όγκο επιτρεπόμενης απόληψης από τους χρήστες και τη μέγιστη εξάτμιση. Το Υβριδικό Σύστημα εκ σχεδιασμού, θα ανακυκλώνει κάποια ποσότητα νερού μεταξύ των δύο ταμιευτήρων και ως εκ τούτου δεν υπόκειται σε κανένα περιορισμό μέγιστης επιτρεπόμενης απόληψης νερού.

2.2 Άνω Ταμιευτήρας

Ο άνω ταμιευτήρας σχεδιάζεται να κατασκευαστεί στην κορυφή του όρους Πετριάς, βορειοδυτικά της Χώρας και σε υψόμετρο +520m από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο παραπάνω ταμιευτήρας θα κατασκευαστεί από ενισχυμένο σκυρόδεμα σε σχήμα ανάστροφης κόλυρης πυραμίδας με κλίση τοιχώματος 2:1 σχετικά με το οριζόντιο επίπεδο. Το βάθος εκσκαφής υπολογίζεται στα 5m, ενώ το υλικό εκσκαφής θα χρησιμοποιηθεί για την πλευρική στήριξη της υπέργειας κατασκευής από σκυρόδεμα, αυξάνοντας έτσι το συνολικό βάθος του ταμιευτήρα στα 10m και μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος κατασκευής. Οι διαστάσεις του ταμιευτήρα θα είναι: 40x140m, ενώ πρέπει να τονιστεί πως στην εν λόγω θέση, η σύνθετη τοπογραφία, λόγω απότομων κλίσεων, θέτει περιορισμό ως προς αυτές. Τέλος, η χωρητικότητά του θα είναι 60.800m³, όπως προέκυψε από τη βελτιστοποίηση που ακολουθεί, ενώ οι βέλτιστες διαστάσεις του ταμιευτήρα είναι και οι μέγιστες επιτρεπόμενες.

2.3 Αιολικό Πάρκο

Το αιολικό πάρκο προτείνεται να εγκατασταθεί το όρος Τρούλος, βόρεια της Χώρας και σε απόσταση περίπου 3km από αυτή. Η περιοχή αυτή προσφέρει υψηλό αιολικό δυναμικό, γειτνιάζει σε μία κύρια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού και διευκολύνει την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών σε κάθετη διάταξη στην τοπική επικρατούσα διεύθυνση ανέμου. Το βέλτιστο μέγεθος του Α/Π υπολογίζεται να έχει 3000kW εγκατεστημένης ισχύος και να απαρτίζεται από 5 Α/Γ (μεταβλητών στροφών μεταβλητού βήματος σύγχρονης γεννήτριας) ονομαστικής ισχύος 600kW έκαστη. Οι Α/Γ αυτές έχουν την δυνατότητα ρύθμισης ενεργού και άεργου ισχύος, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα φιλικές στη συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα και γι' αυτό επιλέγηκαν.

2.4 Αντλιοστάσιο - Στρόβιλοι

Ο σταθμός των στροβίλων αποτελείται από δύο στροβίλους Pelton ονομαστικής ισχύος 600kW έκαστος με ονομαστικό ύψος λειτουργίας 460m, και θα κατασκευαστεί στο επίπεδο του κάτω ταμιευτήρα. Το αντλιοστάσιο υπολογίζεται να αποτελείται από 10 πολυβάθμιες αντλίες ονομαστικής ισχύος 130kW έκαστη. Οι

αντλίες θα συνδεθούν παράλληλα και θα λειτουργούν υπό μεταβλητές στροφές με τη χρήση κατάλληλου μετατροπέα . Η ανακύκλωση του νερού θα γίνεται μεταξύ των δύο ταμιευτήρων με χρήση χαλύβδινης σωλήνωσης κυμαινόμενης διατομής με μήκος περίπου 2.5km.

2.5 Συμβατικός Σταθμός Παραγωγής

Η μέγιστη ωριαία ζήτηση του νησιού ακολουθεί αυξητική πορεία και ενδεικτικά αναφέρεται πως τα παρελθόντα έτη αυξανόταν με ρυθμούς 8-10%. Σύμφωνα με προβλέψεις, η αιχμή του φορτίου του νησιού θα συνεχιστεί με την ίδια αυξητική τάση και τα επόμενα χρόνια αναγκάζοντας έτσι σε προμήθεια νέων μηχανών προς κάλυψη της ολοένα διογκούμενης ζήτησης. Σε αντίθεση με τα παραπάνω αναγκαία σχέδια επέκτασης του ΤΣΠ, η λύση του Υβριδικού Συστήματος δεν προβλέπει καμία μεταβολή στον ΤΣΠ στα επόμενα έτη, εξοικονομώντας έτσι ποσά τα οποία θα επενδυθούν στην υλοποίησή του.

3) ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η φιλοσοφία του Υβριδικού Συστήματος είναι να δίνει πάντα προτεραιότητα στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και δευτερευόντως στο συμβατικό σταθμό, ο οποίος πλέον θα χρησιμοποιείται εφεδρικά. Έτσι, το σύστημα θέτει ως κύριο στόχο τη μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην κατανάλωση, δευτερευόντως τη χρήση της υδατόπτωσης – σε συνεργασία με τις Α/Γ ή όχι – ώστε να καλύπτεται η ζήτηση και τέλος, όταν η παραγωγή από ΑΠΕ συνολικά δεν επαρκεί, να γίνεται χρήση του συμβατικού σταθμού.

3.1 Κατάσταση Λειτουργίας Ανεμογεννητριών (Α/Γ)

Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας όλες οι πετρελαϊκές μονάδες βρίσκονται εκτός λειτουργίας και οι Α/Γ καλύπτουν τη ζήτηση του νησιού. Οι Α/Γ μεταβλητών στροφών μεταβλητού βήματος με σύγχρονη γεννήτρια με τη βοήθεια ηλεκτρονικών ισχύος και με χρήση σφονδύλου ή μπαταριών δύναται να στηρίξουν το δίκτυο κατά τη λειτουργία αυτή, ενώ η ποιότητα ισχύος που παράγεται είναι γενικά αποδεκτή. Η σύνδεση των παραπάνω Α/Γ στο δίκτυο γίνεται μέσω ενός μετατροπέα (converter), εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα της συχνότητας, ενώ οι σύγχρονες γεννήτριες θα παρέχουν την απαιτούμενη άεργο ισχύ στο δίκτυο. Η περίσσεια αιολικής ενέργειας χρησιμοποιείται προς άντληση, ενώ ότι υπολείπεται θα διατίθεται δωρεάν για άλλους, χρονικά ανεξάρτητους, σκοπούς όπως αφαλάτωση, παραγωγή υδρογόνου κλπ.

Οι Α/Γ θα λειτουργούν με περιορισμό ισχύος 10% ως προς την ονομαστική τους ισχύ για κάθε τιμή ανέμου, καθόσον έτσι θα είναι εφικτό να αυξήσουν την παραγωγή τους μέχρι την ονομαστική της τιμή για τη δεδομένη ταχύτητα ανέμου σε τυχαία αύξηση της κατανάλωσης του νησιού, ενώ θα μπορούν να διατηρήσουν για λίγο χρόνο περίπου σταθερή παραγωγή σε περίπτωση μείωσης του ανέμου, μέχρι κάποιο άλλο υποσύστημα αναλάβει μερικώς ή ολικώς τα φορτία.

3.2 Κατάσταση Λειτουργίας Α/Γ και Υδροστροβίλων

Λόγω έλλειψης χρήσης κάποιου αλγορίθμου βραχυχρόνιας πρόβλεψης ταχύτητας ανέμου, η Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (ΚΜΕ) συγκρίνει τις ταχύτητες ανέμου των προηγούμενων χρονικών στιγμών λειτουργίας του και εάν αυτές είναι μειούμενες φτάνοντας σε κάποιο κρίσιμο κατώφλι, τότε το σύστημα εξετάζει αν τα

υποσυστήματα παραγωγής ενέργειας είναι σε θέση να λειτουργήσουν και αυτομάτως επιλέγει κάποιος, κατά προτεραιότητα το Υδροηλεκτρικό, και το θέτει σε κατάσταση αναμονής. Εάν υπάρχει η επάρκεια νερού στον άνω ταμιευτήρα, το σύστημα θέτει το στρόβιλο σε λειτουργία υπό κενό φορτίο ώστε να είναι έτοιμος να αναλάβει φορτία άμεσα σε περίπτωση ελλείμματος αιολικής ενέργειας. Οι στρόβιλοι Pelton είναι ιδανικοί για τέτοια χρήση αφού είναι στρόβιλοι δράσεως και μπορούν να λάβουν φορτία άμεσα, λειτουργώντας υπό κενό φορτίο.

3.3 Κατάσταση Λειτουργίας Α/Γ και συμβατικών μηχανών του ΤΣΠ

Στη δυσμενή κατάσταση μειωμένου αιολικού δυναμικού και έλλειψης νερού στον άνω ταμιευτήρα ή προβλήματος στη σωλήνωση, η ΚΜΕ θέτει σε κατάσταση αναμονής τους πετρελαιοκινητήρες του ΤΣΠ ώστε να προθερμανθούν και να είναι έτοιμοι να αναλάβουν φορτία όταν η αιολική ενέργεια εμφανίζει έλλειμμα ως προς τη ζήτηση. Μετά το συγχρονισμό οι πετρελαιοκινητήρες αναλαμβάνουν φορτία ενώ οι Α/Γ περιορίζουν την ισχύ τους ώστε οι πρώτοι να λειτουργούν στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας τους όπως υποδεικνύεται από την καμπύλη ισχύος-ειδικής καταναλώσεως. Ο αριθμός και η σύνθεση των πετρελαιοκινητήρων που συνδέονται στο δίκτυο, με πρώτες τις μικρές και ευέλικτες μονάδες και κατόπιν τις μεγαλύτερες, ρυθμίζεται από την αιολική παραγωγή. Ο ΤΣΠ αναλαμβάνει πλήρως τα φορτία του νησιού μόνο στη δυσμενέστατη περίπτωση άπνοιας και έλλειψης νερού στον άνω ταμιευτήρα.

4) ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η κατασκευή και λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος της Σερίφου θα οδηγήσει σε μέγιστη διείσδυση της αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίζεται στο 79,5% για το έτος 2007. Η αιολική ενέργεια θα φθάσει σε διείσδυση **63%** επί της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ για παράδειγμα στην Κρήτη βρίσκεται σήμερα γύρω στο **10%** και στη Σέριφο στην παρούσα κατάσταση στο **0%**. Η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας δίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

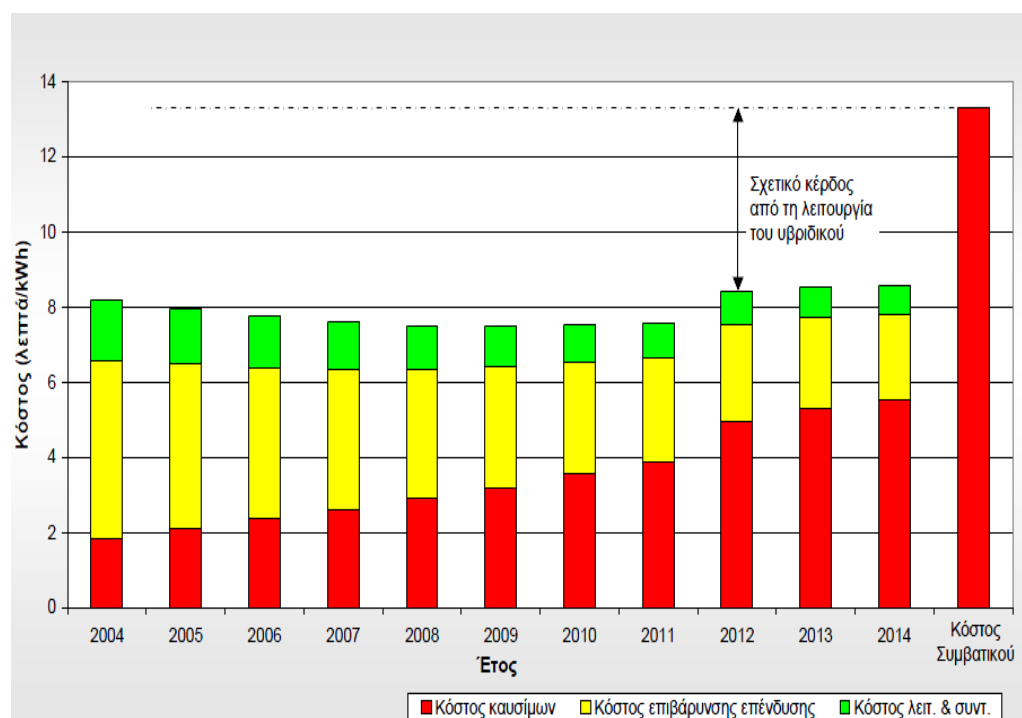
Προβλεπόμενη ενεργειακή ζήτηση νησιού	9.961,5 MWh	Ποσοστό Συμμετοχής %	Κατανομή Αιολικής Παραγωγής	Ποσοστό Συμμετοχής %
Αιολική Παραγωγή	6.271,6 MWh	63,0	Απευθείας στο δίκτυο	50,4
Παραγωγή Υδροηλεκτρικού	1.643,1 MWh	16,5	Άντληση	21,3
Παραγωγή συμβατικού ΤΣΠ	2.046,8 MWh	20,5	Απόρριψη	28,3

Πίνακας 5.3 Η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας στην Σέριφο

Η αναμενόμενη κατανάλωση σε καύσιμο του ΤΣΠ για το 2007 είναι 3.032 τόνοι, ενώ με τη λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος καταναλώνει μόνο 450 τόνους. Κατά αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η εκπομπή 8.262 τόνων ή 4,1 εκατ. m^3 CO_2 στην

ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας έτσι στην επίτευξη των στόχων του Κιότο. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι και η σημαντική απεξάρτηση της εθνικής οικονομίας από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους όπως το πετρέλαιο και η στροφή προς τις εγχώριες πηγές ενέργειας που είναι οι ΑΠΕ.

Τα κέρδη από τη λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος προέρχονται συγκρινόμενα με το υπάρχον κόστος παραγόμενης ενέργειας στο νησί που είναι αρκετά μεγάλο. Η σύγκριση του κόστους παραγόμενης ενέργειας του Υβριδικού Συστήματος σε σχέση με το υπάρχον γίνεται αγνοώντας όλα τα άλλα κόστη (κόστος μισθοδοσίας, αποσβέσεων εξοπλισμού, γενικές δαπάνες διοίκησης και διάφορα κόστη) εκτός από κόστος καυσίμου, τα οποία παραμένουν περίπου τα ίδια ανεξαρτήτως της κατασκευής του Υβριδικού Συστήματος.



Σχήμα 5.7 Ανάλυση και εξέλιξη του κόστους παραγόμενης ενέργειας από το Υβριδικό Σύστημα, συγκρινόμενο με αυτό του συμβατικού ΤΣΠ.

Στο ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται η σύγκριση του κόστους καυσίμου και λιπαντικών του συμβατικού συστήματος με τα κόστη επιβάρυνσης επένδυσης, καυσίμου και λιπαντικών και λειτουργίας και συντήρησης του προτεινόμενου Υβριδικού Συστήματος. Εκεί, εμφανίζεται καθαρά ένα αρκετά μεγάλο σχετικό κέρδος από τη λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος και συγκεκριμένα για το πρώτο έτος λειτουργίας του Υβριδικού (2004) το κόστος παραγόμενης kWh είναι **0,082€/kWh**, ενώ μόνο το κόστος καυσίμου του συμβατικού σταθμού για το έτος 2001 ήταν **0,133€/kWh**. Το ετήσιο κέρδος υπολογίζεται περίπου 566.341€ για το έτος βελτιστοποίησης 2007 και σύμφωνα με τη πρόβλεψη φορτίου θα αγγίξει τα 882.942€ το έτος 2014. Έτσι, ο χρόνος αποπληρωμής του έργου εκτιμάται περίπου στα 7 χρόνια.

5.3.4 Οι Προσομοιώσεις Στην Λέσβο Και Στην Το

✓ Λέσβος [9]

Το νησί της Λέσβου βρίσκεται στο βορειανατολικό Αιγαίο. Είναι το τρίτο σε μέγεθος ελληνικό νησί μετά την Κρήτη και την Εύβοια, με έκταση 1.636 km² και ακτογραμμή 370 km. Το νησί έχει πληθυσμό 109.118 κατοίκους. [9]

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Λέσβο καλύπτεται κυρίως από το κεντρικό εργοστάσιο της ΔΕΗ το οποίο βρίσκεται στη βορινή έξοδο της Μυτιλήνης και συγκεκριμένα στην περιοχή 'Επάνω Σκάλα'. Το εργοστάσιο λειτούργησε για πρώτη φορά το 1963 και η σημερινή ονομαστική του δυναμικότητα (στοιχεία 2007) είναι 80 MW, ενώ πρακτικά η αποδιδόμενη ισχύς του είναι 60,7 MW για το καλοκαίρι και 62,2 MW για το χειμώνα. Συγκεκριμένα, ο θερμικός σταθμός αποτελείται από οκτώ μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν μαζούτ για καύσιμο και έναν αεριοστρόβιλο που χρησιμοποιεί ντίζελ και συνήθως τίθεται σε λειτουργία για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου αιχμής.[9]

Η κατανάλωση ενέργειας στο νησί την τελευταία εικοσαετία παρουσιάζει μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 5,5%. Το 2007, η κατανάλωση ενέργειας έφτασε περίπου τις 302 GWh με ζήτηση φορτίου αιχμής τα 63,5 MW. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μαζί με την προβληματική κατάσταση του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου και της ανικανότητας των υφιστάμενων θερμικών μονάδων να καλύψουν τη ζήτηση, πολλά black outs παρατηρούνται σε ετήσια βάση, ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.[9]

Όπως όλα τα νησιά του Βορείου Αιγαίου, έτσι και η Λέσβος είναι πλούσια σε φυσικούς πόρους (γεωθερμία, ηλιακό και αιολικό δυναμικό, βιομάζα) που όμως ελάχιστα γίνεται εκμετάλλευσή τους, και περιορίζεται κυρίως στην κατασκευή Α/Π. Το νησί έχει πλούσιο και τεχνικά εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό όπου η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, σε αρκετές περιπτώσεις, ξεπερνά τα 8 m/sec. Αξίζει να σημειωθεί ότι το δυτικό τμήμα του νησιού, στο οποίο και εμφανίζονται μεγάλες ταχύτητες ανέμου, είναι κατά κύριο λόγο ξηρό και πετρώδες με λίγη βλάστηση και δεν έχει κάποια χρησιμότητα (π.χ. βοσκοτόπια κ.τ.λ.), παράγοντες που συνεισφέρουν σημαντικά στην εγκατάσταση Α/Π. Γι' αυτό το τμήμα του νησιού, οι διαδικασίες αδειοδότησης θα είναι πιθανότατα αρκετά ευκολότερες.[9]

Δήμος	Αριθμός Α/Γ	Ονομαστική Ισχύς (MW)	Τύπος Α/Γ	Ιδιοκτήτης	Ετος άδειας	Σημερινή κατάσταση
Ερεσός-Αντισσας	8 (9)	1,8 (2,025)	Vestas 27/225	ΔΕΗ	1989	Σε λειτουργία οι 8 Α/Γ
Μυτιλήνη	2	0,6	HMZ Windmaster 300/25	Αιολική- Δημοτική Επιχείρηση	1994	Εκτός λειτουργίας
Μυτιλήνη	1	0,225	Micon M70 225/40	Αιολική- Δημοτική Επιχείρηση	1998	Σε λειτουργία
Ερεσός-Αντισσας	8	4,8	Enercon 40/6.40/E2	Τέρπανδρος Αιολικά Πάρκα Α.Ε.	2003	Σε λειτουργία
Ερεσός-Αντισσας	7	4,2	Enercon 40/6.40/E2	Αιολικά Αντισσας Α.Ε.	2003	Σε λειτουργία

Πίνακας 5.4 Εγκατεστημένα Α/Π στην Λέσβο για το 2007. [9]

Από την παραγωγή και την κατανάλωση του νησιού, προκύπτει ότι η αιολική ενέργεια από μόνη της, δεν μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στη αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος αφού η διείσδυση της στην ηλεκτρική κατανάλωση με δυσκολία αγγίζει το 18% ακόμα και σε περιπτώσεις μεγάλης εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη διερεύνησης της οικονομοτεχνικής βιωσιμότητας ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Π και υδροστροβίλους με αντλησιοταμίευση.

Μια προσομοίωση για το νησί της Λέσβου έβγαλε τα παρακάτω αποτελέσματα για την εγκατάσταση συστήματος αντλησιοταμίευσης:[15]

ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
Πηγή: «Συνδυασμένη Διαχείριση Υδάτινου Δυναμικού και Αιολικής Ενέργειας στη Λέσβο» Κατσαπρακάκης Δ., Μπέτζιος Γ. και Χρηστάκης Δ.	
Ύψος υδατόπτωσης (m)	500
Μήκος σωληνώσεων (m)	4500
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής αντλησιοταμιευτήρα ($10^6 \cdot m^3$)	1
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής αντλησιοταμιευτήρα ($10^6 \cdot m^3$)	2,5
Συνολική απαιτούμενη ισχύς αιολικών πάρκων (MW)	90
Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς υδροστροβίλων (MW)	50
Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς αντλιών (MW)	75
Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς θερμοηλεκτρικών μηχανών (MW)	55

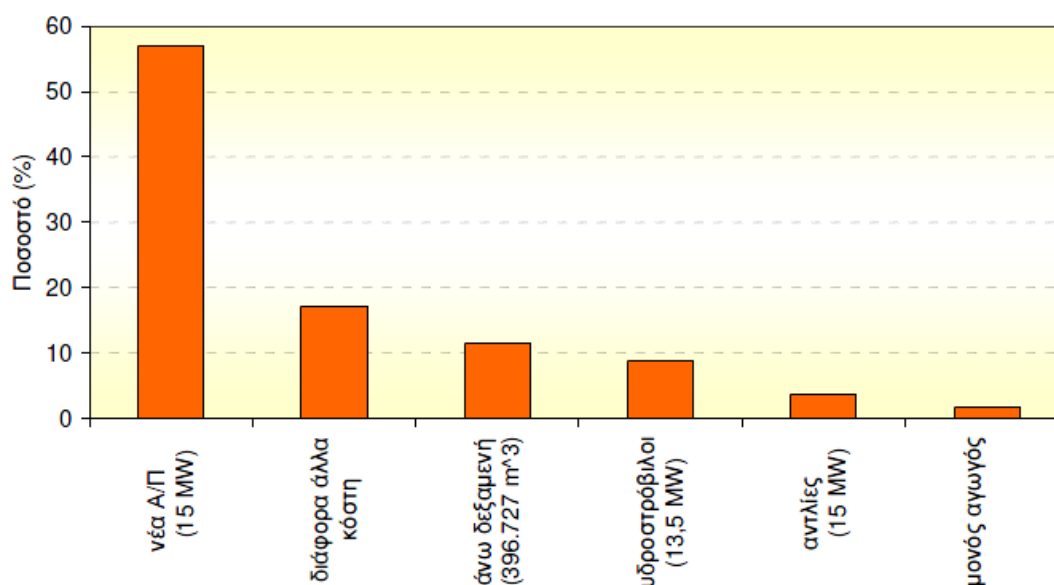
ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
Αίτηση για υβριδικό της Ελλ.Τεχνοδομικής	
Συνολική απαιτούμενη ισχύς αιολικών πάρκων (MW)	18
Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς υδροστροβίλων (MW)	15
Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς αντλιών (MW)	15

Πίνακας 5.5 Τιμές βασικών παραμέτρων τους συστήματος

Πηγή: Γ.Κάραλης «Ανάπτυξη και ανάλυση συστημάτων ανεμοκινητήρων και αντλιοταμιευτήρων», Διδακτορική διατριβή, 2008					
	Αιολική εγκατ. Ισχύς (MW)	Χωρητικότητα Δεξαμενής (εκ. m^3)	Στρόβιλος (MW)	% κάλυψη αιχμής από τον στρόβιλο	% ενεργειακή συνεισφορά ΑΕΑ
Λέσβος	145.3	13.6	46.3	80%	79%
	104.7	5.4	36.9	64%	61%
	57.4	4.2	29.7	51%	46%
	37.2	1.9	22.6	39%	33%
	16.9	0.879	16.4	28%	19%

Πίνακας 5.6 Τελικές τιμές των βασικών μεγεθών του συστήματος αντλησιοταμίευσης[15]

Το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης, για την περίπτωση αναφοράς, εκτιμάται περίπου 34,2 Μ€, από τα οποία, 57% είναι το κόστος εγκατάστασης των νέων Α/Π, 12% το κόστος για τη κατασκευή της άνω δεξαμενής και 9% το κόστος των Υ/Σ ενώ το υπόλοιπο 22% είναι το κόστος αντλιών, αγωγού και διάφορα άλλα κόστη.[9]



Σχήμα 5.8 Κατανομή αρχικού κόστους επένδυσης[9]

✓ **Τος[1]**

Στο νησί της Ίου συγκεκριμένα ευνοείται η δημιουργία ενός συστήματος αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση για τους παρακάτω λόγους:

- Σημασία συμμετοχής της τοπικής αυτοδιοίκησης
- θετική αντίδραση τοπικής κοινωνίας (παράδειγμα Κρήτης)
- Υπό σχεδίαση έργο Αιολικής Ενέργειας με Αντλησιοταμίευση
- Υφιστάμενη δεξαμενή (ύδρευση και άρδευση)
- Τοπικό ηλεκτρικό σύστημα νησιών / ανάγκη αποκέντρωσης παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας

- Ανάγκη εξασφάλισης νερού

Σχεδιασμός έργου:

- Διπλή σωλήνωση
- θεώρηση του στρόβιλου ως στρεφόμενη εφεδρεία για αύξηση της

στιγμιαία επιτρεπόμενη διείσδυση των αιολικών

- Κάλυψη σχετικών-ημερήσιων αιχμών (σταθερή ημερήσια παραγωγή, κατανομή σύμφωνα με τις ανάγκες)

Διαστασιολόγηση:

- Στρόβιλος – Αιολικά: 8-8MW
- Άνω δεξαμενή: 120.000m³ - Κάτω δεξαμενή (υφιστάμενη): 260.000m³
- Αντλίες: 6,5MW (~10 αντλίες)

Συνεισφορά το 2010: 10%

- 3%+7%
- Εγγυημένη ισχύς 8MW (7% αιχμής)

	GWh/y
Δυνάμενη να παραχθεί αιολική ενέργεια (εντός υβριδικού)	28.47
Αιολική Ενέργεια (εντός υβριδικού) απορροφούμενη από το δίκτυο	4.67
Αιολική Ενέργεια (εντός υβριδικού) απορριπτόμενη από το δίκτυο	23.80
Αιολική ενέργεια απορριπτόμενη (εντός υβριδικού) που χρησιμοποιείται για άντληση βάσει της δυναμικότητας του αντλιοστασίου και της χωρητικότητας της άνω δεξαμενής	15.45
Ενέργεια από το δίκτυο που χρησιμοποιείται για άντληση	5.28
Παραγωγή Στρόβιλου	14.6
Αιολική Ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται	8.35

Πίνακας 5.7 σύστημα αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση στην Ίο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα κριτήρια επιλογής αειφόρων τεχνολογιών και ενεργειακών πολιτικών για ένα ευφύες ενεργειακά νησιωτικό χώρο πρέπει να είναι τα εξής:

- ✓ Η κατάρτιση ενός συνολικού ενεργειακού σχεδιασμού, απόλυτα συνυφασμένου με τις σχετικές χωροταξικές επιλογές, με ενσωμάτωση των απόψεων των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις χρήσεις γης και τις επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον (αισθητικό, πολιτιστικό, ιστορικό, αρχαιολογικό κτλ.)
- ✓ Η περιορισμένη χρήση ορυκτών καυσίμων
- ✓ Ο σχεδιασμός και η χρήση αποδοτικότερων ενεργειακών συστημάτων
- ✓ Η συνεκτίμηση του καθαρού οικονομικού κόστους μαζί με το περιβαλλοντικό κόστος των διάφορων εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών.

Βασική προϋπόθεση για τα παραπάνω είναι η συντονισμένη και επίμονη υιοθέτηση προοπτικών, στόχων και δράσεων που θα εξασφαλίζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη των ευαίσθητων, περιβαλλοντικά, νησιωτικών περιφερειών και η χρήση αειφόρων τεχνολογιών.

Υπάρχουν διάφορα σενάρια επίτευξης στόχων, στα οποία η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα το 2020 κυμαίνεται μεταξύ 16,80 TWh – 18,79 TWh.

Η ΕΛΕΤΑΕΝ (ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) θεωρεί ότι ο ελάχιστος στόχος που εξασφαλίζει τις απαιτήσεις της Οδηγίας για το 2020 χωρίς πρόσθετο κόστος είναι τουλάχιστον 10.000 MW Αιολικών Πάρκων.

Με εκτίμηση για κόστος εκπομπών 20 €/tn από το 2013 και μετά, η μέση επιβάρυνση του καταναλωτή για την παραγωγή 104 TWh από αιολικά πάρκα (όλη την περίοδο 2013-2020) είναι κάτω από 2 €/MWh.

Το 2013 θα σημειωθεί μια αύξηση της τιμής του ρεύματος που θα ξεπερνά το 30%. Πρόκειται για την αγορά δικαιωμάτων εκπομπής του CO₂. Η αγοραπωλησία δικαιωμάτων θα αυξήσει την τιμή του ρεύματος, γιατί είμαστε υποχρεωμένοι να αγοράζουμε δικαιώματα εκπομπής προκειμένου να εξακολουθήσουμε να χρησιμοποιούμε ρυπογόνους λιγνιτικούς σταθμούς, φυσικά με μέτρο και να μειώσουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ώστε να πετύχουμε το στόχο του 20% .Ο τρόπος για να αποφευχθεί η πληρωμή των δικαιωμάτων είναι η μη εκπομπή CO₂ και για να συμβεί αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι ΑΠΕ σε μεγάλο βαθμό. Είναι σημαντικό λοιπόν να γίνει μια ενημέρωση του καταναλωτικού κοινού για την αύξηση της τιμής της kWh, την απαιτούμενη εξοικονόμηση και για τον πράσινο φόρο που χρηματοδοτεί τις ΑΠΕ. Έτσι η πράσινη ενέργεια θα προσδώσει σημαντική προστιθέμενη αξία στην ελληνική οικονομία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η

ισχύς που θα πρέπει να εγκατασταθεί μέχρι το 2020 για κάθε μια Α.Π.Ε ξεχωριστά καθώς και το κόστος εκπομπών CO₂ :

	από Μικρά ΗΥ	από Βιομάζα	από Αιολικά	από Ηλιακά	από Γεωθερμικά	Σύνολο
Εγκατεστημένη ισχύς το 2020 (MW)	248	250	10.000	1.400	120	
Συνολική παραγωγή 2010-2020 (TWh)	4,33	6,76	118,06	11,45	2,80	143,41
Συνολική παραγωγή 2013-2020 (TWh)	3,24	5,84	104,16	10,25	2,73	126,21
Συνολική επιβάρυνση 2010-2020 (εκατ.€)	96,87	250,41	4.202,62	2.268,14	105,15	6.923,20
Επιβάρυνση 2010-2020 ανά MWh ΑΠΕ κάθε τεχνολογίας	22,35	37,05	35,60	198,06	37,54	48,28
Συνολική επιβάρυνση 2013-2020 (εκατ.€)	69,89	216,47	3.834,19	1.889,90	102,56	6.113,01
Επιβάρυνση 2013-2020 ανά MWh ΑΠΕ κάθε τεχνολογίας	21,60	37,10	36,81	184,39	37,58	49,71
Κόστος εκπομπών 20 €/tn						
Αποφευγόμενο κόστος εκπομπών 2013-2020 (εκατ/€) 20 €/tn	90,40	163,04	2.910,42	286,40	76,27	3.526,53
Καθαρή επιβάρυνση 2010-2020 (εκατ. €)	6,47	87,37	1.292,20	1.981,75	28,88	3.396,67
Καθαρή επιβάρυνση 2013-2020 (εκατ. €)	-20,51	53,42	923,77	1.603,50	26,30	2.586,48
Καθαρή Επιβάρυνση 2013-2020 ανά MWh κατανάλωσης (Τέλος ΑΠΕ)	-0,04	0,11	1,82	3,16	0,05	5,09
Καθαρή Επιβάρυνση 2013-2020 ανά MWh ΑΠΕ κάθε τεχνολογίας	-6,34	9,16	8,87	156,44	9,63	20,49
Κόστος εκπομπών 30 €/tn						
Αποφευγόμενο κόστος εκπομπών 2013-2020 (εκατ/€) 30 €/tn	135,60	244,56	4.365,63	429,60	114,40	5.289,79
Καθαρή επιβάρυνση 2010-2020 (εκατ. €)	-38,72	5,85	-163,01	1.838,55	-9,25	1.633,41
Καθαρή επιβάρυνση 2013-2020 (εκατ. €)	-65,71	-28,10	-531,44	1.460,30	-11,84	823,22
Καθαρή Επιβάρυνση 2013-2020 ανά MWh κατανάλωσης (Τέλος ΑΠΕ)	-0,13	-0,06	-1,05	2,87	-0,02	1,62
Καθαρή Επιβάρυνση 2013-2020 ανά MWh ΑΠΕ κάθε τεχνολογίας	-20,31	-4,82	-5,10	142,47	-4,34	6,52

Πίνακας 6.1 εγκατεστημένη ισχύς Α.Π.Ε και κόστος εκπομπών CO₂ για το 2020[25]

Όμως, η δύσκολη κατάσταση των δημόσιων οικονομικών στην παρούσα οικονομική φάση, δεν θα μπορούσε να αγνοηθεί σε μια μελέτη για τον ενεργειακό σχεδιασμό και γι' αυτό η μη επιβάρυνση του δημόσιου ταμείου και η δημιουργία θέσεων εργασίας διατρέχουν τα συμπεράσματα όσον αφορά τις ενεργειακές επενδύσεις

Στην Ελλάδα θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα φράγματα της Μεσοχώρας και της Συκιάς, που έχουν σταματήσει για περιβαλλοντικούς λόγους, ενώ έχουν περατωθεί, για έργα αντλησιοταμίευσης. Τα έργα αυτά μπορούν άμεσα να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα της οποιασδήποτε απόφασης εκτροπής τμήματος των υδάτων του Αχελώου στον Πηνειό. Το κόστος επένδυσης εκτιμάται ότι θα είναι μικρότερο από 200 εκατ. -λιγότερα από την επένδυση της ΔΕΗ στα φωτοβολταϊκά. Με τα έργα αυτά, στον Αχελώο και στο Καστράκι, μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα της αποθήκευσης ενέργειας και έτσι θα προκύψει μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Η εκτροπή 25% της παροχής του Αχελώου προς τον Πηνειό πιθανόν να δημιουργήσει περιβαλλοντικά προβλήματα, τα οποία είναι δύσκολο να εκτιμηθούν.

Η Ελβετία χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο αποκομίζοντας σημαντικά χρηματικά οφέλη. Τη νύχτα αγοράζει ενέργεια από τα πυρηνικά εργοστάσια της γειτονικής Γαλλίας σε χαμηλή τιμή. Ανεβάζει το νερό ψηλά στα βουνά και στο μέσο της ημέρας, που η ενέργεια είναι πιο ακριβή, λειτουργεί τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια της και πουλάει σε υψηλότερη τιμή στη Γαλλία.

Ένας παράγοντας που αποτελεί εμπόδιο στα έργα αντλησιοταμίευσης, είναι το μεγάλο αρχικό κόστος που χρειάζεται για την κατασκευή του έργου (αν και το κόστος κατασκευής εξαρτάται κυρίως από την μορφολογία του εδάφους και άλλους παράγοντες). Για παράδειγμα ο σταθμός αντλησιοταμίευσης στο GOLDISTHAL της Γερμανίας κόστισε το έτος 2002, 700 εκατομμύρια δολάρια για ισχύ 1080MW (ESA 2007) (648.000€/MW).

Παρακάτω βλέπουμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης που καθιστούν μια τέτοια επένδυση ελκυστική ενεργειακά, αλλά και τα μειονεκτήματα που εμφανίζονται κατά την λειτουργία της.

6.1.1 Οφέλη από αντλησιοταμίευση[10]

Ικανότητα παραγωγής κατά την υψηλή ζήτηση (αιχμή).

Ένας σταθμός αντλησιοταμίευσης συνεισφέρει στην συνολική ικανότητα του συστήματος κατά την υψηλή ζήτηση. Εάν η ικανότητα ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας δεν προέρχεται από έργο αντλησιοταμίευσης, τότε θα πρέπει να υπάρχει στο σύστημα σταθμός αεριοστρόβιλου με καύσιμο φυσικό αέριο ή παρόμοια τεχνολογία η οποία αυξάνει το κόστος παραγωγής ενέργειας.

Παραγωγή κατά την υψηλή ζήτηση και κατανάλωση ενέργειας (άντληση) κατά τη χαμηλή ζήτηση.

Όπως έχουμε ήδη αναλύσει, έχουμε παραγωγή ενέργειας κατά την υψηλή ζήτηση. Τα έσοδα από την πώληση στην υψηλή ζήτηση έρχονται σε αντιπαραβολή με το κόστος από την άντληση του νερού, από την ίδια μονάδα αντλίας στροβίλου κατά τις ώρες της χαμηλής ζήτησης. Το κόστος άντλησης γίνεται με τιμή μονάδας ενέργειας κατά τη χαμηλή ζήτηση οπότε είναι και φθηνότερη.

Η λειτουργία συστήματος αντλησιοταμίευσης έχει ως αποτέλεσμα την εξισορρόπηση φορτίου με τα παρελκόμενα οφέλη στο ηλεκτρικό σύστημα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μείωση του ελάχιστου φορτίου των θερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης.

Ρύθμιση φορτίου / κατανάλωσης

Κατά τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής, ένα έργο αντλησιοταμίευσης είναι κατάλληλο για να ακολουθεί συνεχώς η διαδικασία παραγωγής ενέργειας, την κατανάλωση. Ηλεκτρικά συστήματα τα οποία έχουν έργα αντλησιοταμίευσης στη διάθεσή τους, τα χρησιμοποιούν για έλεγχο περιοχής σε κλίμακα χρόνου εντός ενός λεπτού, ρύθμιση φορτίου και έλεγχο συχνότητας. Αυτές οι χρήσεις είναι σχετικά σπουδαίες στα συστήματα παραγωγής ενέργειας με μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ σε θερμικές μονάδες. Το πόσο σημαντική είναι η συμμετοχή της αντλησιοταμίευσης στο σύστημα εξαρτάται από το μείγμα παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος ή τη δυνατότητα για διεθνείς συνδέσεις.

Εφεδρεία πρωτεύουσα (άμεση) και δευτερεύουσα.

Τα κριτήρια για την κατάταξη της εφεδρείας πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ποικίλει ανάλογα με το σύστημα που εξυπηρετεί. Γενικά μια πηγή πληροί την άμεση εφεδρεία εάν λειτουργεί σύγχρονα και μπορεί να φτάσει σε πλήρες φορτίο σε μικρό χρόνο δηλαδή για παράδειγμα μια μονάδα αντλησιοταμίευσης σε κατάσταση περιστροφής (κατά τη διαδικασία λειτουργίας του στροβίλου) έτοιμη να δεχθεί φορτίο ή να λειτουργεί σε μερικό φορτίο. Οι δευτερεύουσες εφεδρείες είναι πηγές οι οποίες μπορούν να ενταχθούν στο σύστημα και να φορτιστούν γρήγορα, εντός πέντε ή δέκα λεπτών. Τα περισσότερα έργα αντλησιοταμίευσης σε κατάσταση παύσης (shutdown) με αρκετή ενέργεια αποθηκευμένη στην επάνω δεξαμενή.

Ροή φορτίου/ «Συνέχεια» φόρτισης

Σχεδόν κάθε σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που διαθέτει σύστημα αντλησιοταμίευσης δίνει μεγάλη σημασία στις μεταβολές του φορτίου (παραλαβή και απόρριψη) καθώς και στην ικανότητα εναλλαγής φορτίων μεγάλης ισχύος. Με τον τρόπο αυτό δεν είναι αναγκαία η λειτουργία των παλαιών θερμικών μηχανών που κάλυπταν χαμηλές φορτίσεις/ καταναλώσεις.

Ικανότητα εκκίνησης από το μηδέν (black -start)

Η ικανότητα εκκίνησης ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης χωρίς να είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο προσδίδει αξιοπιστία στο σύστημα αφού έχει τη δυνατότητα της επανεκκίνησης σε περίπτωση διαταραχής λόγω απώλειας του συστήματος μεταφοράς/μετάδοσης ή παραγωγής ενέργειας.

Βελτίωση απόδοσης και μείωση του κόστους συντήρησης

Η λειτουργία ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης σε ώρες εκτός αιχμής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της λειτουργίας των θερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας καθώς και τη μείωση των εναύσεων και σβέσεων. Αποτέλεσμα αυτών είναι η βελτίωση της απόδοσης καθώς και η μείωση του κόστους συντήρησης των θερμικών σταθμών.

Πλεονεκτήματα συστήματος μεταφοράς/μετάδοσης

Η μονάδα αντλησιοταμίευσης παρέχει πολλά οφέλη όσον αφορά στο σύστημα μεταφοράς/μετάδοσης. Για παράδειγμα, αν βρίσκεται κοντά στο κέντρο καταναλώσεων μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη εφεδρεία που επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση του διασυνδεδεμένου συστήματος μετάδοσης. Επίσης η δυνατότητα ανακατανομής της ροής ενέργειας κάνει το σύστημα αντλησιοταμίευσης περισσότερο αξιόπιστο.

Μείωση εκπομπής ρύπων

Το σύστημα αντλησιοταμίευσης συνεισφέρει ουσιαστικά στη μείωση των ρύπων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Γενικότερα, συντελεί στο να χρησιμοποιούνται λιγότερο οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής με αποτέλεσμα να συμβαίνουν λιγότερες εναύσεις και σβέσεις και συνολικά να μειώνονται οι ρύποι που εκπέμπονται στο περιβάλλον. Επιπλέον, κατά τις ώρες της ημέρας που οι θερμοκρασίες είναι υψηλές το σύστημα αντλησιοταμίευσης αντισταθμίζοντας την παραγωγή μειώνει τους ρύπους που θα παραγόntonταν αν ήταν σε λειτουργία τα θερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας.

Ευκολία στη λειτουργία του συστήματος

Η ύπαρξη μιας μονάδας αντλησιοταμίευσης σε ένα ηλεκτρικό σύστημα πλεονεκτεί λόγω της μεγάλης ευελιξίας της στις ξαφνικές αλλαγές φορτίου.

6.1.2 Μειονεκτήματα από την αντλησιοταμίευση[10]

Αν και η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης έχει αρκετά οφέλη και οι λειτουργίες της βοηθούν στο σύστημα παραγωγής ενέργειας, παρόλα αυτά η τεχνολογία αυτή έχει και της δικές τις προκλήσεις και μειονεκτήματα.

1. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα με δύο δεξαμενές, το έργο αντλησιοταμίευσης είναι ευάλωτο στις εισροές και εκροές του νερού από βροχοπτώσεις, εξατμίσεις, λιώσιμο πάγων κλπ.
2. Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης είναι επίσης ευάλωτο σε εποχιακές αλλά και μακροχρόνιες αλλαγές κλίματος όπως για παράδειγμα χρόνια ξηρασίας αλλά και ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών.
3. Η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας είναι οικονομικά ανταγωνιστική αλλά οι κύριες δαπάνες της κατασκευής είναι ιδιαίτερα υψηλού κόστους. Ακόμη η καταλληλότητα της γεωγραφικής θέσης αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους παράγοντες. Οι κατασκευές που απαιτούνται για το έργο της αντλησιοταμίευσης είναι ογκώδεις ενώ οι διαθέσιμες περιοχές που μπορούν να υποδεχθούν τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις είναι συχνά σε φυσικά τοπία που προστατεύονται και οι τοπικές κοινωνίες αντιδρούν σε τέτοιου είδους παρεμβάσεις.
4. Προκαλείται αισθητική υποβάθμιση του φυσικού τοπίου λόγω της εγκατάστασης. Επιπλέον, ο κακός σχεδιασμός της κατασκευής μπορεί να επιδράσει αρνητικά στη χλωρίδα και στην πανίδα της περιοχής.
5. Η απόδοση του συστήματος ενέργειας κυμαίνεται περίπου στο 70-82%
6. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασικός σταθμός ενέργειας διότι έχει τη δυνατότητα παραγωγής για περιορισμένο αριθμό ωρών.
7. Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες λόγω εξάτμισης του νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια του ταμιευτήρα και τις απώλειες λόγω μετατροπής, περίπου 70% έως 80% της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την άντληση του νερού στον άνω ταμιευτήρα μπορεί να επανακτηθεί.
8. Πρόκειται για ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας και δεν θα πρέπει να συγχέεται με σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας.
9. Η επιλογή του έργου αντλησιοταμίευσης μειονεκτεί λόγω των περιβαλλοντικών περιορισμών και επιπλέον μειονεκτεί λόγω της απόστασης του έργου από τα κέντρα παραγωγής και κατανάλωσης.
10. Στο παρελθόν τα έργα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούσαν το υπάρχον υδατικό σύστημα, προκαλώντας συχνά τη θνησιμότητα των ψαριών και υποβιβάζοντας την ποιότητα νερού.

6.1.3 Λειτουργία Αιολικού Πάρκου Σε Συνεργασία Με Υδροηλεκτρικό Έργο- υπέρ και κατά[10]

Όταν ένα αιολικό πάρκο συνεργάζεται με ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης, σημαντικά πλεονεκτήματα μπορούν να επιτευχθούν:

1. Κατά την ώρα της χαμηλής κατανάλωσης, η αιολική ενέργεια που θα παραγόταν θα απορριπτόταν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αντληθεί νερό στην επάνω δεξαμενή από την κάτω και να απελευθερωθεί όταν απαιτείται η παραγωγή ενέργειας.
2. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας τις ώρες υψηλής ζήτησης ή σε παροχή επικουρικών υπηρεσιών (θα γίνει αναφορά παρακάτω).
3. Όταν υπάρχει μεταβλητή χρέωση, είναι πιθανό να επιτύχει σημαντικά οικονομικά οφέλη αποφασίζοντας το ιδανικό πρόγραμμα για λειτουργία του συστήματος αντλίας - στροβίλου.
4. Δεδομένου ότι η τιμή των καυσίμων και η οριακή τιμή του συστήματος αυξάνονται συνεχώς, η λειτουργία του έργου αντλησιοταμίευσης όντας ανεξάρτητη από την τιμή του καύσιμου, μπορεί να έχει ανταγωνιστική τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας.
5. Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Πολλές μελέτες έχουν αποδείξει ότι υπάρχει σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Το κύριο μειονέκτημα ενός έργου αντλησιοταμίευσης είναι οι εγκαταστάσεις που απαιτούνται να δημιουργηθούν ώστε να καταστεί δυνατή η λειτουργία του βάσει του σχεδιασμού.

Υπάρχουν πολλές προκλήσεις σε ένα έργο αντλησιοταμίευσης. Πέρα από το αυξημένο κόστος κατασκευής, η καταλληλότητα της γεωγραφικής θέσης με την απαιτούμενη διαφορά σε ύψος μεταξύ των δεξαμενών αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για την επιτυχία του έργου. Οι κατασκευές που απαιτούνται για το έργο της αντλησιοταμίευσης είναι ογκώδεις ενώ οι διαθέσιμες περιοχές που μπορούν να υποδεχθούν τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις είναι συχνά σε φυσικά τοπία που προστατεύονται και οι τοπικές κοινωνίες αντιδρούν σε τέτοιου είδους παρεμβάσεις. Προκαλείται αισθητική υποβάθμιση του φυσικού τοπίου λόγω της εγκατάστασης. Επιπλέον, ο κακός σχεδιασμός της κατασκευής μπορεί να επιδράσει αρνητικά στη γλωρίδα και στην πανίδα της περιοχής.

6.1.4 Λειτουργία έργων αντλησιοταμίευσης[10]

Για έργα σε αναπτυσσόμενες χώρες η αντλησιοταμίευση χρησιμοποιείται πρωταρχικά για τα βασικά της πλεονεκτήματα ώστε να παρέχει ισχύ αιχμής - (αιχμή: υψηλότερη ζήτηση/ κατανάλωση της ημέρας) και οικονομική μετατροπή και αποθήκευση ενέργειας. Σε ήδη αναπτυγμένες χώρες με έντονη βιομηχανική παραγωγή, ο μοχλός στήριξης για την κατασκευή νέων έργων αντλησιοταμίευσης αφορά, σε πολλές περιπτώσεις, στα δυναμικά λειτουργικά οφέλη (επικουρικές υπηρεσίες - εφεδρείες) που δημιουργούνται από τη χρήση της.

Περιβαλλοντική ευαισθησία.

Σήμερα οι περιβαλλοντικές απόψεις για όλα τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δέχονται σκληρές κριτικές και αντιμετωπίζονται με καχυποψία, έτσι τα έργα αντλησιοταμίευσης δεν αποτελούν εξαίρεση. Και ενώ το μέγεθος της ανησυχίας ποικίλει σε διαφορετικά μέρη του κόσμου, οι περιβαλλοντικές απόψεις ερευνώνται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και λαμβάνονται υπόψη στην σχεδίαση και λειτουργία ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι:

- Σχεδιασμός κλειστών συστημάτων ώστε να απομονώνεται το έργο αντλησιοταμίευσης από γειτονικά ποτάμια ή ρέματα. Αυτό ελαττώνει τις επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και αποκλείει επιπτώσεις στο θαλάσσιο πληθυσμό.
- Χρήση υπόγειων σταθμών παραγωγής ενέργειας και σωληνώσεων προκειμένου να ελαττωθούν οι οπτικές οχλήσεις.
- Μελέτη για τη χρήση υπόγειων δεξαμενών ώστε να μειωθούν περαιτέρω οι οπτικές οχλήσεις.

Αξιοπιστία και Διαθεσιμότητα.

Πέρα από την δεδομένη αξιοπιστία, τα έργα αντλησιοταμίευσης με αυξημένες υποχρεώσεις στο Σύστημα σχεδιάζονται για μεγάλη αξιοπιστία και διαθεσιμότητα. Οι απαιτήσεις για την αξιοπιστία και διαθεσιμότητα έχουν επιπτώσεις στη ρύθμιση των διόδων του νερού, στην επιλογή του εξοπλισμού, καθώς και στο σύστημα ελέγχου του σταθμού παραγωγής. Αρκετές συνθήκες λειτουργίας και συντήρησης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και ο εξοπλισμός επιλέγεται για να ελαχιστοποιηθούν οι αστοχίες. Επιπλέον οι σταθμοί παραγωγής είναι σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο κατά τη μη λειτουργία ή κατά τη συντήρηση μιας μονάδας αντλίας/στροβίλου, να μην επηρεάζεται η λειτουργία των υπολοίπων μονάδων. Τα σύγχρονα έργα αντλησιοταμίευσης έχουν μελετηθεί και σχεδιασθεί για ετήσια διαθεσιμότητα 95% και επάνω (δηλαδή για μια αστοχία ανά έτος διάρκειας 2 εβδομάδων) και για αξιοπιστία 98% και επάνω.

Συνολικός βαθμός Απόδοσης.

Συνολικός βαθμός απόδοσης καλείται ο βαθμός απόδοσης ενός κύκλου του νερού, δηλαδή περιλαμβάνει την άντληση και την παραγωγή ενέργειας στον στρόβιλο και είναι το κλάσμα της παραγόμενης ενέργειας προς την ενέργεια που καταναλώνεται όταν το νερό αδειάσει και μετά επιστρέψει στο ίδιο επίπεδο έναρξης στην επάνω δεξαμενή. Αποδόσεις του εξοπλισμού, υδραυλικές απώλειες και λειτουργικές συνθήκες όλα τα παραπάνω επιδρούν στο συνολικό βαθμό απόδοσης ενός κύκλου. Λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες υδραυλικές απώλειες. Όμως λειτουργία σε μερικό φορτίο πιθανόν να έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία της μονάδας αντλίας/στροβίλου σε σημεία λειτουργίας με χαμηλότερη απόδοση.

Η απόδοση του κύκλου μπορεί να υπολογισθεί ή να εκτιμηθεί από τα δεδομένα του σταθμού αφού δεν ληφθούν υπόψη λειτουργίες που δεν αφορούν τη διαδικασία άντλησης ή παραγωγής, όπως η λειτουργία του συστήματος ψύξης. Η τιμή ενός πλήρους κύκλου είναι μεταξύ 70% -80%.

Οι κατασκευαστές εξοπλισμού συνεχώς πασχίζουν ώστε να βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος αντλίας /στροβίλου, γεννήτριας /κινητήρα καθώς και άλλων τμημάτων και εξοπλισμού ώστε να συνεισφέρουν σε υψηλότερο βαθμό απόδοσης του συστήματος αντλίας/ στροβίλου και σε υψηλότερο συνολικό βαθμό απόδοσης.

6.1.5 Χρήση της θάλασσας ως δεξαμενή χαμηλής στάθμης[10]

Συστήματα που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό και τη θάλασσα ως τη δεξαμενή στη χαμηλή στάθμη έχουν αναπτυχθεί και βρίσκονται ήδη σε λειτουργία (Fujihara, 1998). Πρόσφατα συστήματα αντλησιοταμίευσης με θάλασσα ως την επάνω δεξαμενή και τεχνητές λίμνες κάτω από τη στάθμη της θάλασσας έχουν προταθεί ως εναλλακτική διαμόρφωση. Ακόμα και συστήματα που χρησιμοποιούν φυσικές καταπακτές κάτω από τη στάθμη της θάλασσας για δεξαμενή χαμηλής στάθμης έχει επίσης προταθεί (Murakami,1995). Στα πλεονεκτήματα εντάσσεται πρωτίστως το γεγονός ότι αποφεύγονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή φράγματος σε ποταμό και η δυσκολία στην εξεύρεση κατάλληλων θέσεων για την κατασκευή έργων άντλησης ταμίευσης αφού το ρόλο του κάτω ταμιευτήρα ουσιαστικά αναλαμβάνει η θάλασσα. Η λύση αυτή είναι ιδιαίτερα ενδεδειγμένη για χώρες όπως η Ελλάδα που περιβάλλονται από θάλασσα και διαθέτουν πλήθος απόκρημνων ακτών. Επίσης το κόστος για την κατασκευή των φραγμάτων και των δεξαμενών είναι πιο μικρό, όταν η μία δεξαμενή είναι η θάλασσα και έτσι μειώνεται το αρχικό κόστος και η επένδυση γίνεται πιο ελκυστική.

6.2 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύμφωνα με την ΥΑ με αρ. Δ5-ΗΛ/Β/οικ. 8311/ 17.05.2005 «Έγκριση του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας» έχουμε την θέσπιση του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ).

Σκοπός του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης για τη εξυπηρέτηση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε ημέρα κατανομής υπό όρους καλής και ασφαλούς λειτουργίας του Συστήματος και διασφάλισης επαρκών εφεδρειών μέσω της αντιπαραβολής του συνολικά αιτούμενου φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο προκύπτει από τις Δηλώσεις Φορτίου με τις οικονομικές Προσφορές Έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα και μέσω του Προγράμματος ΗΕΠ .

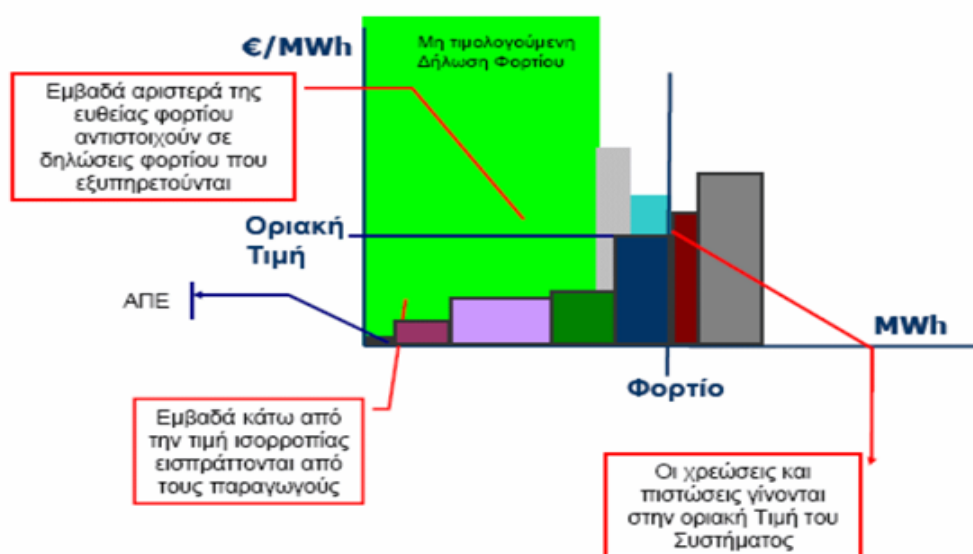
Ως ημέρα κατανομής ορίζεται το χρονικό διάστημα των 24 ωρών που συμπίπτει με μια ημερολογιακή ημέρα. Ως περίοδος κατανομής ορίζεται μια ώρα της ημέρας κατανομής.

Η επίλυση του ΗΕΠ προσδιορίζει τον τρόπο λειτουργίας κάθε μονάδας για κάθε ώρα της ημέρας κατανομής, με βάση της ώρα προς ώρα προσφορές των διάφορων μονάδων παραγωγής προκειμένου να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει για την ικανοποίηση του φορτίου

των αναγκών σε επικουρικές υπηρεσίες αλλά και των περιορισμών του συστήματος μεταφοράς.

Η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται βάση της Οριακής Τιμής του Συστήματος (ΟΤΣ), ο υπολογισμός της οποίας αποτελεί το τελευταίο στάδιο του

ΗΕΠ. Ο Διαχειριστής του Συστήματος, αφού συγκεντρώσει όλες τις προσφορές έγχυσης των διαφορετικών παραγωγών, αθροίζει την ισχύ που μπορεί να παρέχει η κάθε μονάδα παραγωγής ξεκινώντας από αυτήν με τη χαμηλότερη προσφορά. Στην συνέχεια, προστίθεται η μονάδα με την αμέσως μεγαλύτερη προσφορά και η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου καλυφθεί το προβλεπόμενο φορτίο. Η παραγωγή που προέρχεται από Α.Π.Ε. και η υποχρεωτική παραγωγή των Υδροηλεκτρικών Σταθμών εισάγονται πάντα πρώτες στη διάταξη, διότι ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. απαιτεί την υποχρεωτική απορρόφηση αυτής της ενέργειας, ανεξάρτητα από την τιμή στην οποία προσφέρεται.



Σχήμα 6.1 Υπολογισμός οριακής τιμής του συστήματος

Η τιμή της τελευταίας μονάδας που εντάσσεται στο Σύστημα, στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ενέργειας του ΗΕΠ ονομάζεται Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ). Η τιμή αυτή ουσιαστικά αποτελεί την τιμή με την οποία οι προμηθευτές αγοράζουν την ενέργεια που αναμένουν ότι θα απορροφηθεί από το σύστημα αλλά και η τιμή με την οποία θα πληρωθούν οι παραγωγοί που παρείχαν ενέργεια στο σύστημα.

Ορισμένες ποσότητες εγγεόμενης ενέργειας στο σύστημα προσφέρονται σε μηδενική τιμή ώστε να είναι βέβαιη η παραγωγή και έγχυσή τους στο σύστημα.

Αυτές οι προσφορές ονομάζονται Μη Τιμολογούμενες Προσφορές (ΜΤΠ) και συνήθως είναι ποσότητες ενέργειας από ΑΠΕ, Υποχρεωτική παραγωγή από Υδροηλεκτρικά, Τεχνικά Ελάχιστα θερμικών μονάδων και εισαγωγές.

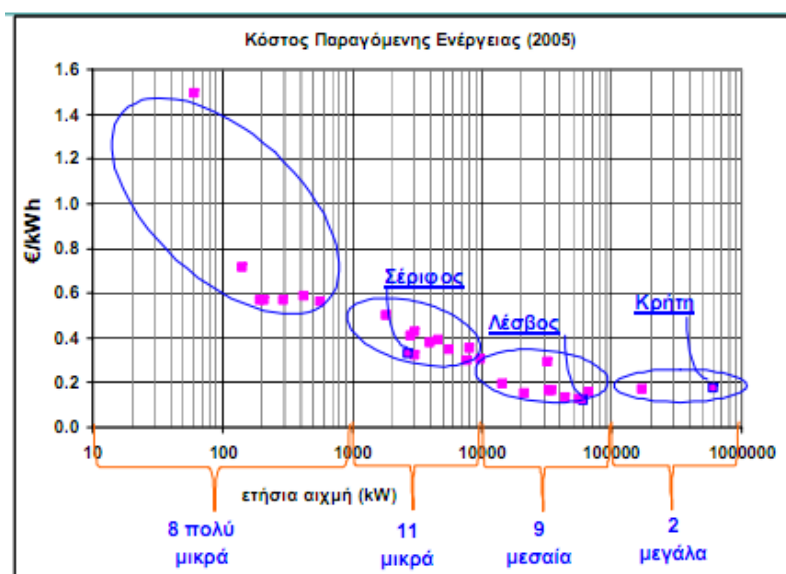
Στη συνέχεια ο Διαχειριστής του συστήματος καταρτίζει το σχετικό πρόγραμμα κατανομής του φορτίου στις μονάδες του Συστήματος και με βάση το πρόγραμμα αυτό εκδίδει τις εντολές για παραγωγή ενέργειας και την παροχή των αναγκαίων επικουρικών υπηρεσιών από τις μονάδες παραγωγής. Για κάθε μονάδα παραγωγής και για κάθε ωριαία περίοδο κατανομής, οι ποσότητες ενέργειας (MWh) που θα έπρεπε να παράγει κάθε μονάδα, σύμφωνα με τις εντολές κατανομής, οι ποσότητες

ενέργειας (MWh) που πράγματι παρήχθησαν, όπως καταγράφονται στους αντίστοιχους μετρητές ενέργειας και οι ποσότητες των επικουρικών υπηρεσιών (MW) Ενέργειας του Διαχειριστή του Συστήματος.

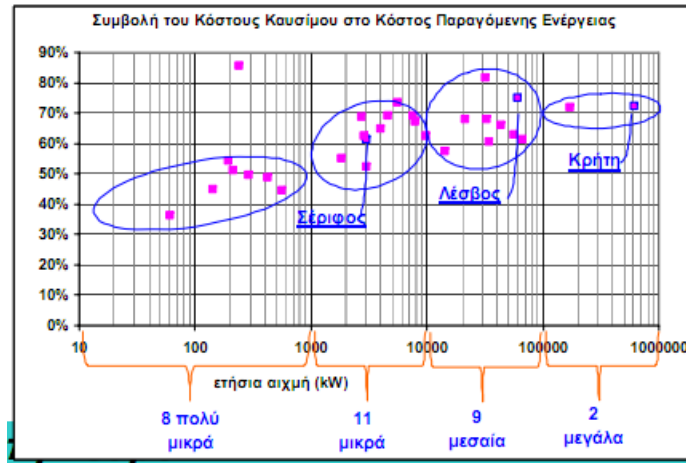
6.2.1 Κόστος Ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα ελληνικά νησιά

Στα αυτόνομα ελληνικά νησιά το κόστος της παραγόμενης ενέργειας (παραγόμενη kWh) είναι πιο μεγάλο από αυτό της ηπειρωτικής. Αυτό συμβαίνει λόγω της αυτονομίας τους και της δυσκολίας σύνδεσής τους με το διασυνδεδεμένο δίκτυο της χώρας με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλη εξάρτηση από το πετρέλαιο και χαμηλό συντελεστή φορτίου. Γενικότερα, λόγω της ιδιαίτερης σημασίας των υβριδικών συστημάτων για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, η προωθούμενη νομοθετική παρέμβαση διευκρινίζει το καθεστώς τιμολόγησης της ενέργειας που παράγεται από αυτά κυρίως μέσω της άμεσης σύνδεσης της δικαιούμενης αποζημίωσης με το αποφευγόμενο κόστος από τη λειτουργία συμβατικών μονάδων τους οποίους υποκαθιστά χάριν της οικονομικής βιωσιμότητας των εν λόγω συστημάτων. Περαιτέρω, ήδη με το Σχέδιο Νόμου για την επιτάχυνση της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται η αδειοδότηση υβριδικών σταθμών χωρίς διαγωνιστική διαδικασία όπως ίσχυε μέχρι σήμερα, γεγονός που αναμένεται να αναθερμάνει το επενδυτικό ενδιαφέρον για συγκεκριμένα σχέδια που είχαν μελετηθεί κατά το παρελθόν.

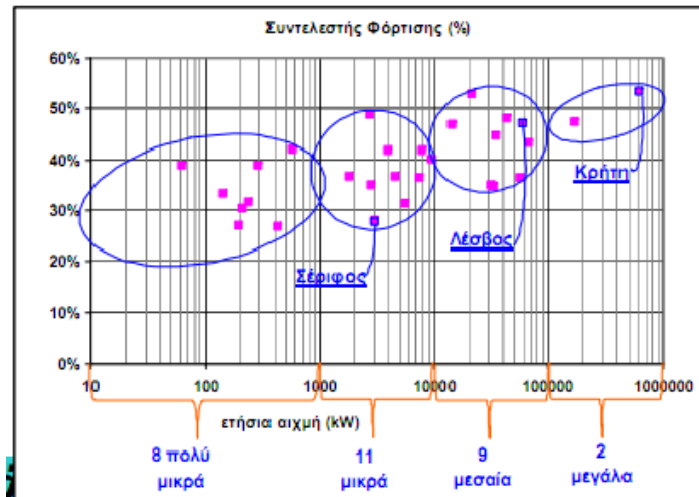
Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται το κόστος παραγόμενης ενέργειας για τα νησιά με βάση το μέγεθος τους:



Σχήμα 6.2 Κόστος παραγόμενης ενέργειας σε ευρώ/kWh για τα αυτόνομα ελληνικά νησιά το 2005[15]

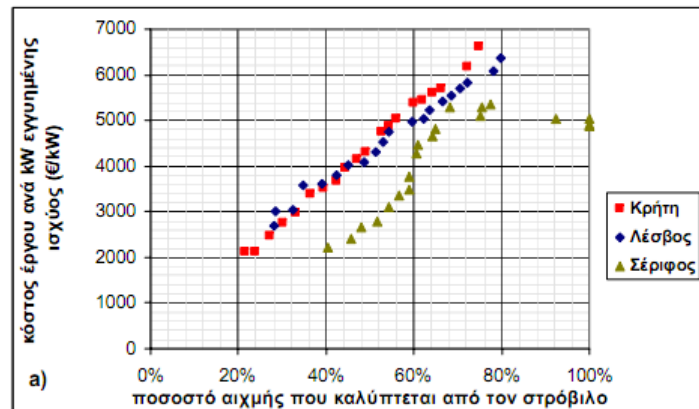


Σχήμα 6.3 Συμβολή του κόστους καυσίμου στο κόστος παραγόμενης ενέργειας των ελληνικών αυτόνομων νησιών[15]

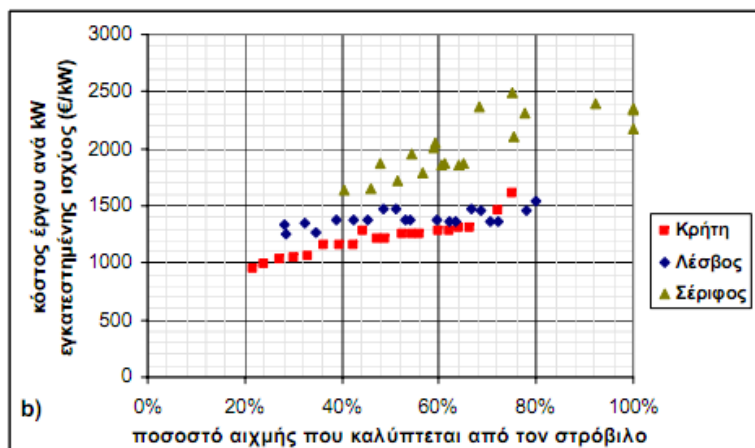


Σχήμα 6.4 συντελεστής φόρτισης των ελληνικών αυτόνομων νησιών το 2005[15]

Σε αντίθεση με την μεγάλη εξάρτηση από το πετρέλαιο και το υψηλό κόστος παραγόμενης ενέργειας, τα αυτόνομα ελληνικά νησιά είναι πλούσια σε αιολικό δυναμικό πράγμα που ευνοεί και επιβάλλει την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων όπως η αντλησιοταμίευση.



Σχήμα 6.5 Κόστος έργου εγγυημένης ισχύος για Κρήτη, Λέσβο και Σέριφο[15]



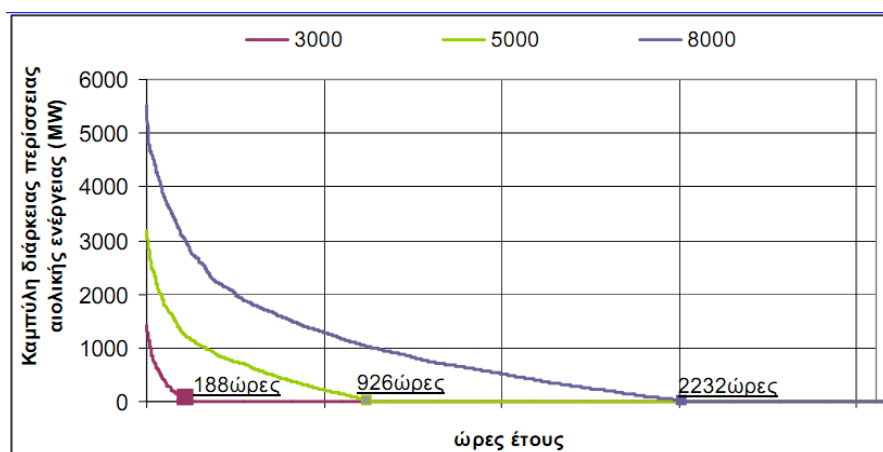
Σχήμα 6.6 Κόστος έργου εγκατεστημένης ισχύος για Κρήτη, Λέσβο, Σέριφο[15]

6.2.2 Προοπτικές της Αντλησιοταμίευσης [14]

Από τα στοιχεία της Δ.Ε.Η πηγάζουν τα ακόλουθα διαγράμματα που δείχνουν κατά πόσο είναι αναγκαία η αντλησιοταμίευση με βάση 3 βασικά σενάρια που υπάρχουν για την ανάπτυξη αιολικής και φωτοβολταϊκής ενέργειας:

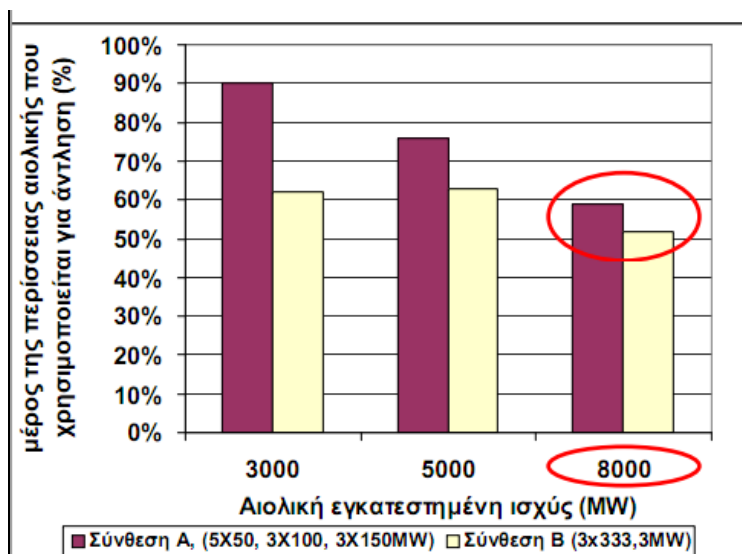
3 Σενάρια: αιολικά – ΦΒ: 1000-100 MW (σήμερα)

- ✓ 3000-500 MW
- ✓ 5000-1000 MW
- ✓ 8000-2000 MW

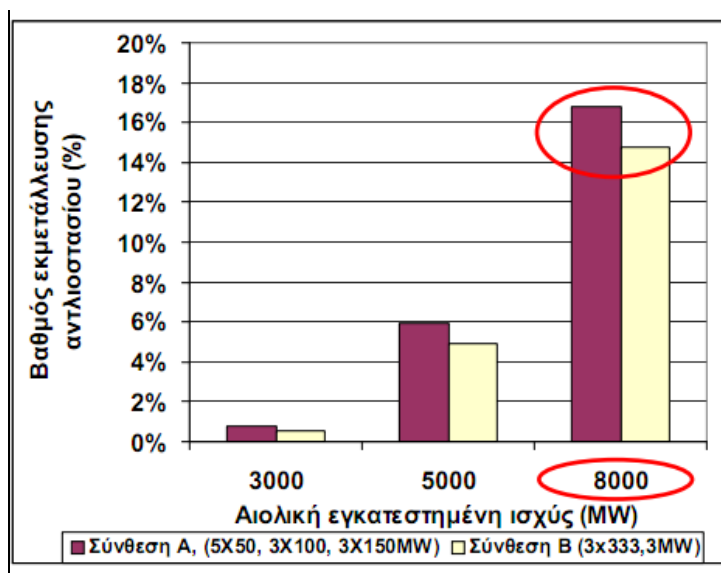


Σχήμα 6.7 Περίσσεια αιολικής ενέργειας με βάση τα 3 σενάρια[14]

- Σενάριο 3000MW - 500MW (αιολικά – ΦΒ), αντιστοιχεί σε 0,072TWh περίσσειας ενέργειας ετησίως.
- Σενάριο 5000MW - 1000MW, αντιστοιχεί σε 0,69TWh περίσσειας ενέργειας ετησίως.
- Σενάριο 8000MW - 2000MW, αντιστοιχεί σε 2,5TWh περίσσειας ενέργειας ετησίως.



Σχήμα 6.8 Ποσοστό της περίσσειας αιολικής που χρησιμοποιείται για άντληση

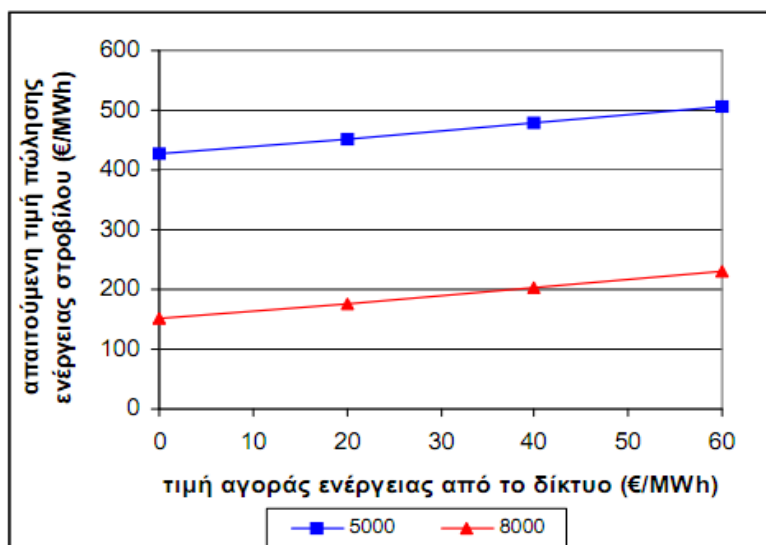


Σχήμα 6.9 Βαθμός εκμετάλλευσης αντλιοστασίου[14]

Βλέπουμε ότι αντλησιοταμίευση είναι πιο ελκυστική στα 5000 και στα 8000 MW αιολικής και ότι οι περισσότερες μονάδες (αλλά πιο μικρές) αποδίδουν καλύτερα ως προς το ποσοστό της αιολικής που χρησιμοποιείται τελικά για άντληση.

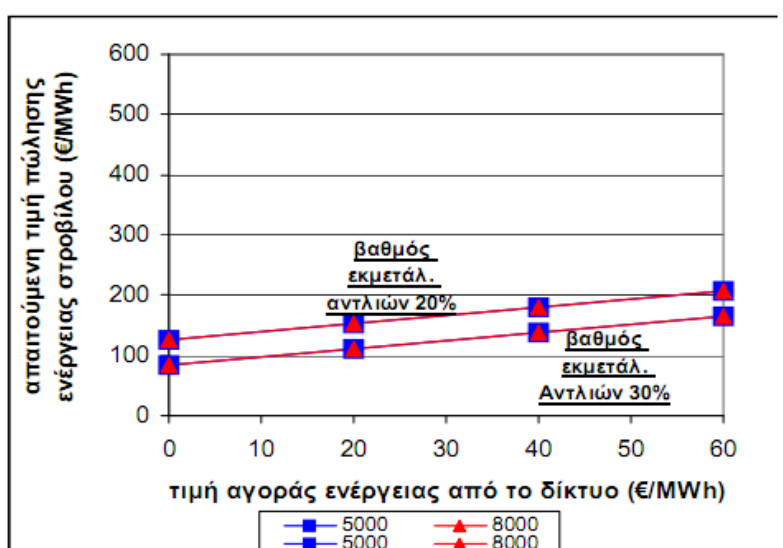
Επίσης στα ακόλουθα διαγράμματα φαίνεται η τιμολόγηση (σχέση τιμής πώλησης και αγοράς) που θα προκύψει αν η άντληση θα γίνει (για το σενάριο των 5000 και 8000MW) μόνο από την αιολική ενέργεια ή και από την λιγνιτική.

Άντληση μονάχα από περίσσεια αιολική



Σχήμα 6.10 Τιμολόγηση ενέργειας για άντληση μόνο από αιολική ενέργεια[14]

Άντληση από περίσσεια αιολική και από λιγνίτη



Σχήμα 6.11 Τιμολόγηση ενέργειας για άντληση από αιολική και από λιγνιτική ενέργεια[14]

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι για τα σενάρια των 5000 και 8000MW υπάρχει ανάγκη για άντληση και από τις λιγνιτικές μονάδες καθώς και ότι υπάρχει ανάγκη καθορισμού της τιμολόγησης.

Η δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων αντλησιοταμίευσης, εξετάζεται σε προκαταρκτική φάση από ομάδα του ΕΜΠ στην οποία συμμετέχει το Εργαστήριο

Υδροδυναμικών Μηχανών, χρηματοδοτούμενη από την ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή ενέργειας).

- Σκοπός είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης υφιστάμενων έργων
- Η μετατροπή ενός ΥΗΣ παραγωγής σε αναστρέψιμη μονάδα δεν αποτελεί πρακτική λύση, διότι απαιτεί εκτεταμένα έργα και τοποθέτηση της μονάδας εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα (ακόμη και σε έργα που βρίσκονται σε σειρά, π.χ: Κρεμαστά-Καστράκι, Καστράκι-Στράτος)
- Πιο απλή η εκμετάλλευση υφιστάμενων ταμιευτήρων, με την κατασκευή πρόσθετου άνω ή κάτω ταμιευτήρα.
- Η χρήση αιολικής ισχύος για άντληση είναι προτιμότερη εάν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων αιχμής είναι κατά πολύ ακριβότερο από αυτό των μονάδων βάσης.
- Η αποθηκευμένη ενέργεια ανακτάται μέσω του υδροστροβίλου κατά τις ώρες αιχμής, εξασφαλίζοντας στο ηλεκτρικό σύστημα παροχή εγγυημένης ισχύος και ενέργειας.
- Ταυτόχρονη λειτουργία στροβίλου και αντλιών είναι δυνατή με διπλή σωλήνωση, προσφέροντας λειτουργική ευελιξία.
- Ημερήσιος κύκλος λειτουργίας απαιτείται για την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

Διάφορα πολιτικές και στρατηγικές λειτουργίας έχουν προταθεί και αναλυθεί σχετικά με τον προγραμματισμό της παραγωγής του υδροστροβίλου.

- 1^η επιλογή: Η σταθερή ημερήσια ενεργειακή συνεισφορά του υδροστροβίλου που είναι ιδανική περίπτωση για την οικονομικότητα του συστήματος ΑΕΑ (Αιολικής Ενέργειας με Αντλησιοταμίευση).
- Επίσης, κατά τις περιόδους με μεγάλο άνεμο και συνεπώς μεγάλη διαθεσιμότητα νερού στην άνω δεξαμενή, πρόσθετη ενεργειακή προσφορά μπορεί να προταθεί από τον διαχειριστή του ΑΕΑ. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να προταθεί και χαμηλότερη τιμή.
- Από την άλλη πλευρά, η κάλυψη των ημερήσιων αιχμών του συστήματος είναι το ιδανικό για το ηλεκτρικό σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση, η ημερήσια ενεργειακή συνεισφορά του υδροστροβίλου αυξομειώνεται ανάλογα με την ημερήσια ζήτηση.
- Υποκατάσταση συμβατικής εγκατεστημένης ισχύος
- *εγγυημένη ισχύς* σε περιόδους χωρίς άνεμο, εξασφαλίζεται αφού επιτρέπεται άντληση με χρήση συμβατικής ισχύος υπό προϋποθέσεις (ώρες χαμηλής ζήτησης).
- ο διαχειριστής του συστήματος πρέπει να ορίζει πόση συμβατική ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άντληση.
- Η νομοθεσία ορίζει ότι η δυναμικότητα της αντλητικής εγκατάστασης πρέπει να είναι σε αναλογία με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.
- Αντίστοιχος περιορισμός πρέπει να εισαχθεί στη δυναμικότητα της δεξαμενής και τις ημέρες αυτονομίας που εξασφαλίζει.

- Η λειτουργία του ΑΕΑ δεν επηρεάζει την λειτουργία των υφιστάμενων αιολικών πάρκων.

Ο καθορισμός της στρατηγικής λειτουργίας εξαρτάται από την νομοθεσία και την τιμολόγηση. Υπάρχουν τρεις πηγές εσόδων για το σύστημα ΑΕΑ:

- Αιολική ισχύς απευθείας στο δίκτυο
- Παραγωγή στροβίλου – εγγυημένης ενέργειας Εξαρτάται από το μεταβλητό κόστος των μονάδων αιχμής.
- Εγγυημένη ισχύς. Τιμολογείται με βάση το κόστος που αποφεύγεται από την εγκατάσταση συμβατικής μονάδας
- Τέλος, η τιμολόγηση της συμβατικής ισχύος για άντληση εξαρτάται από το μεταβλητό κόστος των μονάδων βάσης.

6.2.3 Οικονομική και ενεργειακή αποτίμηση της προσομοίωσης της Ύδου[13]

Το υβριδικό σύστημα της Ύδου που αναφέραμε παραπάνω εξετάζεται να εκμεταλλευτεί το πλούσιο αιολικό δυναμικό της νήσου (που ανήκει ενεργειακά στο σύστημα της Παροναξίας) με την εγκατάσταση εκεί ενός αιολικού πάρκου που ανήκει στο υβριδικό σύστημα, ενώ επίσης θα χρησιμοποιεί και την υφιστάμενη λιμνοδεξαμενή στη θέση Επάνω Κάμπος, ονομαστικής χωρητικότητας 230.000m για ανακύκλωση των υδάτων προς αποθήκευση της ενέργειας. Ο άλλος προτεινόμενος ταμιευτήρας πρέπει να κατασκευαστεί σε επιλεγμένη θέση όπου θα προσφέρει ικανοποιητική υψομετρική διαφορά μεταξύ της υφιστάμενης λιμνοδεξαμενής ενώ παράλληλα θα βρίσκεται σε μικρή απόσταση από αυτή. Λόγω του χαμηλού υψόμετρου της υφιστάμενης λιμνοδεξαμενής στην απορροή των βρόχινων υδάτων, αυτή θα αποτελέσει τον κάτω ταμιευτήρα όπου θα λαμβάνει χώρα η ανακύκλωση των υδάτων. Ο άνω ταμιευτήρας θα κατασκευαστεί με ημίσεια εκσκαφή σε θέση που προσφέρει υψομετρική διαφορά 460m σε απόσταση $L=2.200m$ από την υφιστάμενη λιμνοδεξαμενή. Απαιτείται η κατασκευή διπλής σωλήνωσης, που λαμβάνεται υπόψη για όλα τα σενάρια, που θα συνδέει την άνω δεξαμενή με το κτίριο του αντλιοστασίου και των υδροστροβίλων αντίστοιχα. Επίσης κατά τη μελέτη των σεναρίων, λαμβάνεται υπόψη και η λειτουργία των αιολικών πάρκων που βρίσκονται εκτός του υβριδικού συστήματος. Το μέγεθός τους λαμβάνεται ίσο με 18,3 MW για το 2010, έτος προσομοίωσης.

Τα σενάρια τα οποία συγκρίνονται είναι :

- Σενάριο Α: Σενάριο μέγιστης άμεσης απορρόφησης αιολικής ισχύος με εγκατεστημένη ισχύ 32MW – 8MW αιολικών και στροβίλου αντίστοιχα και διπλή σωλήνωση.
- Σενάριο Β: Σενάριο σταθερής καθημερινής ενεργειακής συνεισφοράς στις αιχμές της ζήτησης με εγκατεστημένη ισχύ 8MW – 8MW αιολικών και στροβίλου αντίστοιχα.
- Σενάριο Γ: Σενάριο εγγυημένης ισχύος με σταθερή καθημερινή ενεργειακή συνεισφορά και προτεραιότητα στις αντλίες με εγκατεστημένη ισχύ 8MW – 8,4MW αιολικών και στροβίλου αντίστοιχα.

Για όλα τα σενάρια, ισχύουν οι παρακάτω τιμές: -το κόστος παραγόμενης ενέργειας (ΚΠΕ) πριν την ένταξη του υβριδικού συστήματος είναι 0,28 €/kWh

-το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του υβριδικού συστήματος λαμβάνεται ίση με 2% επί του συνολικού κόστους επένδυσης. Ως χρηματοδοτικό σχήμα λαμβάνεται για όλα τα σενάρια το παρακάτω:

-ιδία κεφάλαια 25% ,

-επιχορήγηση 30% και

-δάνειο 45%, χαρακτηριστικά δανείου:

-αποπληρωμή σε 10 χρόνια με επιτόκιο 6%,

-διάρκεια ζωής επένδυσης 20 έτη και

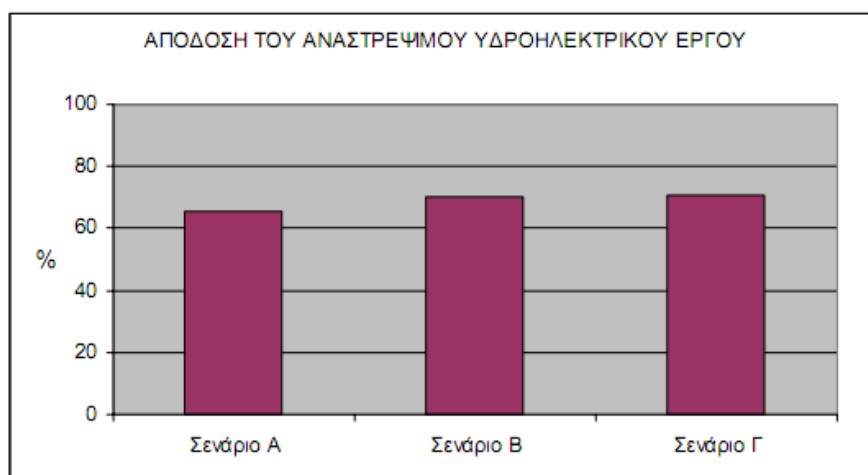
-υπολειμματική αξία 35%.

άλλες παραδοχές οικονομικής ανάλυσης:

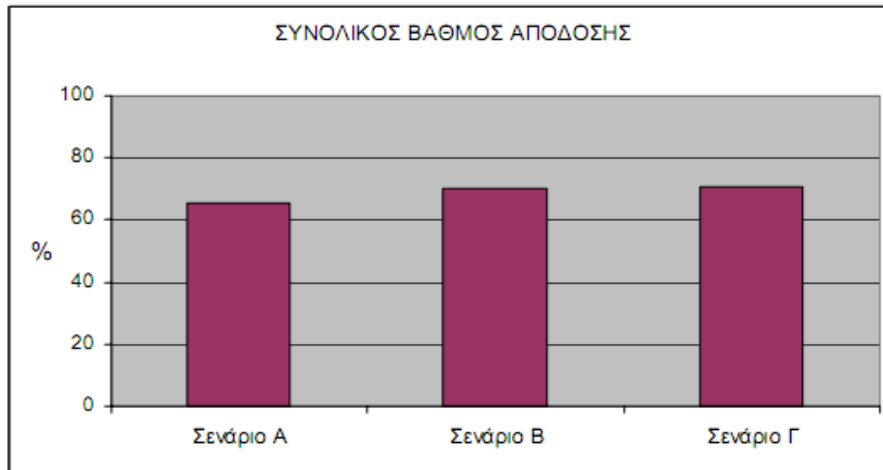
-απόσβεση 15έτη και

-φορολογία 25%.

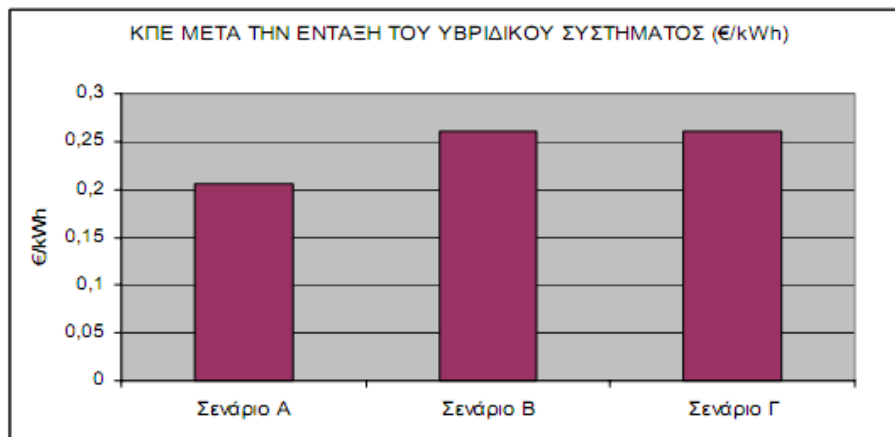
Ανάμεσα στα τρία σενάρια, υπάρχουν διαφορές αλλά και ομοιότητες. Ιδιαίτερα τα σενάρια Β και Γ έχουν πολύ κοντινές τιμές σε κάποιους από τους συντελεστές.



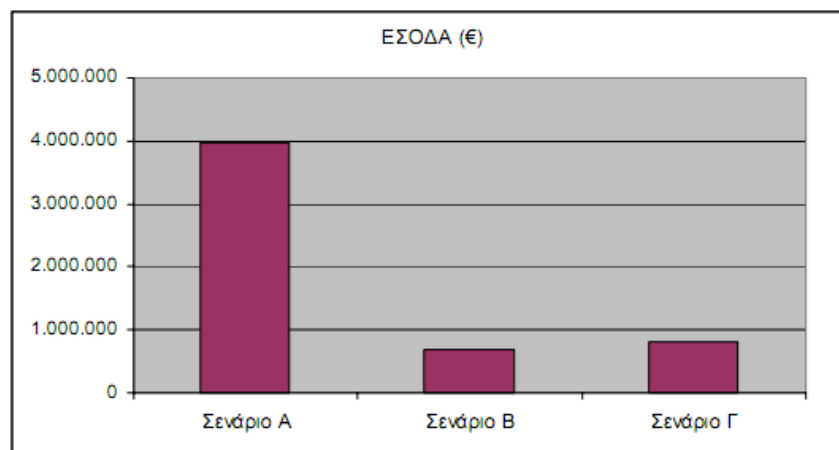
Σχήμα 6.12 Απόδοση του αναστρέψιμου έργου για τα 3 σενάρια



Σχήμα 6.13 Συνολικός Βαθμός Απόδοσης του αναστρέψιμου έργου για τα 3 σενάρια



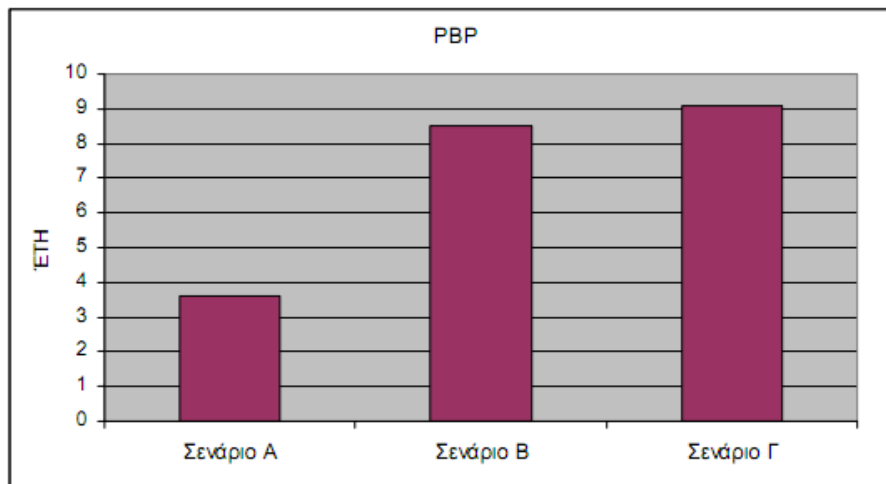
Σχήμα 6.14 Κόστος Παραγόμενης ενέργειας του υβριδικού συστήματος για τα 3 σενάρια



Σχήμα 6.15 έσοδα από τα υβριδικά συστήματα με βάση τα 3 σενάρια



Σχήμα 6.16 Συντελεστής εσωτερικής απόδοσης IRR (Internal Rate of Return) για τα 3 σενάρια



Σχήμα 6.17 Έτος αποπληρωμής (Pay Back Period-PBP) για τα 3 σενάρια

Με λίγα λόγια, με την ένταξη ενός υβριδικού συστήματος αιολικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση στο ηλεκτρικό σύστημα, συνολικά επιτυγχάνεται:

- μείωση της συμβατικής παραγωγής (εντονότερη στο σενάριο Α),
- μείωση του κόστους παραγόμενης ενέργειας (εντονότερη στο σενάριο Α),
- λειτουργία και αξιοποίηση μιας επικερδούς επένδυσης(περισσότερο στο σενάριο Α)
- αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού του νησιού με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας (εντονότερη στο σενάριο Α).

Με όλα τα παραπάνω, το ηλεκτρικό σύστημα του νησιού καταλήγει να έχει μικρότερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα σε κάθε περίπτωση και επιτυγχάνει πιο αποδοτική και συμφέρουσα λειτουργία των συμβατικών μονάδων. Οι συμβατικές μονάδες δεν καλούνται πλέον να καλύπτουν τα μικρά φορτία που προκύπτουν

εξαιτίας των μικρών ημερησίων μεταβολών, αλλά τη θέση τους παίρνει ο στρόβιλος με την ευέλικτη λειτουργία του.

Επίσης, περιορίζονται οι έντονες περικοπές της αιολικής ενέργειας, με την ύπαρξη του συστήματος αποθήκευσης, και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα του νησιού. Φαίνεται τελικά, πως όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών, τόσο πιο αποδοτική είναι και η λειτουργία των συστημάτων, του υβριδικού και του ηλεκτρικού, με βάση τα ενεργειακά και οικονομικά κριτήρια.

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθώς οι ενεργειακές ανάγκες μεγαλώνουν και η εξάρτηση από το πετρέλαιο γίνεται όλο και λιγότερο αποδοτική λύση, η ανάγκη για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διείσδυση αιολικής ενέργειας είναι φανερά επιτακτική. Ειδικότερα στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά, είδαμε από όλα τα παραπάνω, πως η λύση της αντλησιοταμίευσης μπορεί να γίνει βιώσιμη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους που, όπως είδαμε, ανάλογα με την γεωγραφική, κοινωνική, οικονομική και ενεργειακή κατάσταση του υπό μελέτης συστήματος. Το σημαντικότερο πρόβλημα που εντέλει μπορεί να υπάρξει στην ένταξη μιας μονάδας αντλησιοταμίευσης, είναι το πρόβλημα του μεγάλου αρχικού κόστους. Αυτό μπορεί όμως να ξεπεραστεί με μια τυχόν χρηματοδότηση από φορείς όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση ή άλλους φορείς που προσπαθούν να προωθήσουν 'πράσινες ενεργειακές πολιτικές'. Αν ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα η αντλησιοταμίευση εμφανίζεται ως περιβαλλοντικά και ενεργειακά 'καθαρή' πρόταση. Ειδικότερα, αν μπορεί είναι εφικτό ο κάτω ταμειυτήρας να είναι η θάλασσα ώστε να μειωθούν κάποια έξοδα από το αρχικό κόστος επένδυσης η αντλησιοταμίευση γίνεται ακόμα πιο ελκυστική σαν λύση στο μεγάλο ενεργειακό πρόβλημα των αυτόνομων νησιωτικών προβλημάτων.

Τέλος καταλήγουμε, πως θα πρέπει να μελετώνται συνεχώς καινούργιες μέθοδοι αποθήκευσης της ενέργειας για να δίνουν λύσεις εξόδου από την πετρελαϊκή κρίση και να προσφέρουν συνεχώς νέους τρόπους εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων καθαρών πηγών ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γιώργος Κάραλης, Μάνος Ζούλιας «Πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα αφαλάτωσης και παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ στην Το», ΗΜΕΡΙΔΑ: ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΚΕΔΚΕ, 18 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2008
- [2] Κατσαπρακάκης Δημήτρης, Στεφανάκης Κωνσταντίνος «Μελέτη Αντλησιοταμίευσης για εξοικονόμηση καυσίμου στο Ενεργειακό Σύστημα της Κρήτης», Ηράκλειο 2005
- [3] Νίκος Μπουλαξής, Ειρήνη Παντέρη, Ομάδα ΜΔΝ Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας « Η συμβολή της διασύνδεσης της Κρήτης στην ανάπτυξη της Πράσινης Ενέργειας», Διεθνής Συνάντηση για την Πράσινη Ανάπτυξη στην Πράξη, Σητεία, 21-22 Σεπτεμβρίου 2010
- [4] Μοσχονάς Μιχάλης, «Μελέτη Αισθητικής ορεινού τοπίου καλυμμένου με αιολικά Πάρκα και έργα Αντλησιοταμίευσης», Ηράκλειο 2006
- [5] Τάσσιου Ιωάννα, «Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας»
- [6] Γεραλής Νικόλαος, « Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και εφαρμογές στην μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας» Πάτρα 12/10/2009
- [7] Αγγελική Σαγάνη, «Η Ανάγκη Αποθήκευσης Ενέργειας – Μέθοδοι Αποθήκευσης και Εφαρμογές», Αθήνα 2009
- [8] Μαρία Γερανάκη, «Μελέτη της επίδρασης συστήματος αντλησιοταμίευσης στην δυναμική ασφάλεια του Σ.Η.Ε Ικαρίας», Αθήνα Ιούλιος 2009
- [9] Καψάλη Μαρίνα Σοφία, «Ανάλυση βιωσιμότητας συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα και υδροστροβίλους με αντλησιοταμίευση στο νησί της Λέσβου», Αθήνα 2010
- [10] Μενέλαος Μικεδής, «Δυνατότητες Αύξησης Της Απορρόφησης Αιολικής Παραγωγής Στο Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό Δίκτυο Της Ελλάδας Με Ανάπτυξη Μονάδων Αντλησιοταμίευσης», Αθήνα Μάρτιος 2011
- [11] Δημήτρης Παπαντώνης, «Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα -Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί», ΤΕΕ Ιωάννινα 2009
- [12] Γιώργος Τριανταφύλλης, «Η Ανάπτυξη του Ελληνικού Υδροδυναμικού & Τεχνολογία της ΔΕΗ Α.Ε.»
- [13] Κλειασού Ηλιάνα, «Διερεύνηση Της Φιλοσοφίας Της Λειτουργίας Υβριδικού Συστήματος Αιολικής Ενέργειας Με Αντλησιοταμίευση Στο Σύστημα Της Παροναζίας», Αθήνα Ιούλιος 2008
- [14] Γ. Καραλής «Τεχνικά και Θεσμικά ζητήματα για την διείσδυση των ΑΠΕ στο Ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα», ENERTECH' 10, 22/10/10, HOLIDAY INN Αττικής Οδού

- [15] Γ. Καραλής «Ένα ενεργειακό σενάριο για την Λέσβο», *ΗΜΕΡΙΔΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ, ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ*, Παρασκευή 12 Ιουνίου, Μυτιλήνη.
- [16] Ζήσιμος Δανιήλ Μαντάς, Πέτρος Θεοδωρόπουλος, Γεώργιος Μπέτζιος, Αρθούρος Ζερβός «Υβριδικό Σύστημα Με Χρήση Αντλησιοταμίευσης Για Μέγιστη Διείσδυση Της Αιολικής Ενέργειας Στη Νήσο Σέριφο»
- [17] Ευάγγελος Ι. Βρεττός «Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ – Συσσωρευτών – Υδρογόνου», Αθήνα Φεβρουάριος 2010
- [18] ΔΕΗ Ανανεώσιμες ΑΕ: «Διαχρονική πορεία πράσινης ανάπτυξης», ΗΜΕΡΙΔΑ «ΠΡΑΣΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ και ΕΞΩΣΤΡΕΦΕΙΑ» 14 Απριλίου 2010
- [19] ΔΕΗ Ανανεώσιμες ΑΕ: «Σχεδιασμός Ανάπτυξης ΔΕΗ Ανανεώσιμες ΑΕ», Αθήνα, 7 Οκτωβρίου 2010
- [20] ΔΕΗ Α.Ε « Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για το Έτος 2011»
- [21] Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ) «Συμβολή Της ΕΛΕΤΑΕΝ Στον Μακροχρονίο Ενεργειακό Σχεδιασμό 2008 -2020»,
- [22] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, www.dei.gr
- [23] http://www.storiesproject.eu/docs/Deliverable4_2_Greek_2_.pdf
- [24] http://www.storiesproject.eu/docs/energystorage_greek.pdf
- [25] http://www.eletaen.gr/drupal/sites/default/files/anemologia/t62-01_ETHNIKO_SXEDIO_DRASJS_APE_2020.pdf
- [26] http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/activity/demos/demo10
- [27] <http://www.oikologiko.com/int.htm>