



ΤΕΙ Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Πτυχιακή Εργασία

**Βιβλιογραφική Διερεύνηση Υβριδικού Αιολικού Πάρκου με
Σύστημα Αντλιοταμίευσης**

Αργύρης Πατακάκης (ΑΜ: 1537)

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Βουρδουμπάς

Ηράκλειο Κρήτης, 2016



Βιβλιογραφική Διερεύνηση Υβριδικού Αιολικού Πάρκου με Σύστημα Αντλιοταμίευσης

Αργύρης Πατακάκης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ιωάννης Βουρδουμπάς

ΑΤΕΙ Κρήτης

Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών

Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος



Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία εξετάζει την προοπτική κατασκευής υβριδικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με το συνδυασμό εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και αντλιοταμίευσης του παραγόμενου ηλεκτρικού φορτίου. Σταχυολογώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τις υπάρχουσες προσεγγίσεις στην Ελλάδα, απαριθμούμε τα σημαντικά πλεονεκτήματα που έχει η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, όσο και η υλοποίηση στην μετατροπή της δυναμικής ενέργειας των υδάτων σε ηλεκτρική με ένα φιλικό προ το περιβάλλον τρόπο. Συνδυάζοντας τις δύο προσεγγίσεις καταλήγουμε τόσο στη σκοπιμότητα όσο και στην πρακτικότητα του συγκεκριμένου εγχειρήματος. Εκμεταλλευόμενοι την υψηλή απόδοση των αιολικών πάρκων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η αντλιοταμίευση αποτελεί μια επιλογή υψηλής ικανότητας αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας για τις περιόδους υψηλής ζήτησης του δικτύου. Ιδιαίτερα η ιδιαίτερη υψηλή ταχύτητα εκκίνησης και παροχής φορτίου στο δίκτυο προβάλλουν την αντλιοταμίευση ως ιδανική επιλογή για την εξομάλυνση της σταθερότητας του δικτύου. Ωστόσο παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα του υβριδικού συστήματος δεν υπάρχουν υλοποιήσεις στην ελληνική επικράτεια.



Abstract

This thesis examines the potential of developing hybrid electric plant facilities through the combination of wind power production and pump-storage of the produced power. Scrapping through the existing literature and the existing approximations in Greece, we highlight the important advantages in exploiting wind energy in order to produce electric current, as well as the transformation of electric to dynamic power in order to store the produced energy in a nature friendly manner. Through the combination of the aforementioned approximations, we find that the specific field is both viable and practical. Wind energy parks possess high efficiency in transforming wind energy to electric power, while pump storage is a selection of high capacity in storing this energy for when the overall demand of the electric grid is high. Specifically, hydroelectric plants have significant high starting speed and immediate ability to provide power to the grid, acting as demand smoothers. Nevertheless, despite the significant characteristics of this hybrid system there is no existing application in Greece.



Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	12
2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	14
2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ευρώπη και την Ελλάδα	19
2.2 Το θεσμικό πλαίσιο εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	25
3. Συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.....	28
3.1 Ιστορική Αναδρομή συστημάτων εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας	28
3.2 Αιολικά Πάρκα.....	34
3.2.1 Ανεμογεννήτριες.....	36
3.2.2 Σύνδεση στο δίκτυο	40
3.3 Συνήθη προβλήματα από τη λειτουργία αιολικών πάρκων	41
3.3.1 Δημιουργία θορύβου.....	41
3.3.2 Οπτική όχληση.....	44
3.3.3 Επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα.	45
3.3.4 Ηλεκτρομαγνητική όχληση.....	49
3.3.5 Λοιπές Επιπτώσεις.....	50
4. Υδροηλεκτρικά Συστήματα.....	51
4.1 Τυπική Διάταξη ενός Υδροηλεκτρικού Συστήματος.....	52
4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικών σταθμών.....	60
5. Υβριδικά συστήματα αιολικής ενέργειας και αντλιοταμίευσης.....	64
5.1 Εφαρμογή Υβριδικού Συστήματος	68
5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υβριδικών σταθμών	72
5.3 Υπάρχοντες Υβριδικοί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί στην Ελλάδα.....	74



5.3.1	Το υβριδικό σύστημα της Ικαρίας	74
5.3.2	Το υβριδικό υδροηλεκτρικό έργο στην Κρήτη	76
5.4	Προτεινόμενα Υβριδικά συστήματα	78
5.4.1	Προτεινόμενο Υβριδικό σύστημα στη Σέριφο	78
5.4.2	Προτεινόμενο υβριδικό σύστημα στη νήσο Ίο	81
6.	Επίλογος	84
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	86



Ευρετήριο Πινάκων

1.....	
Εγκατεστημένη Ισχύς και παραγωγή ενέργειας για το έτος 2015	23
2.....	A
πόκλιση Στόχων εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ	24
3.....	A
ξία (m€) και Μεσοσταθμική Τιμή Ενέργειας (€/MWh) ΑΠΕ για το έτος 2015 ..	27
4.....	M
έθοδοι Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	65
5.....	T
μολογιακές επιλογές για ένα σύστημα αντλιοταμίευσης.....	73

Ευρετήριο Φωτογραφιών και Διαγραμμάτων

1.....	Π
υρηνική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.....	15
2.....	A
ρχή λειτουργίας πυρηνικού σταθμού.	15
3.....	Y
δροηλεκτρική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.	16
4.....	A
ρχή λειτουργίας Υδροηλεκτρικού Σταθμού παραγωγής ενέργειας.	17
5.....	Σ
υστοιχία Φωτοβολταϊκών συλλεκτών.....	18
6.....	A
ρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών συλλεκτών	18



7.	.....H
κατανομή της ενέργειας από ΑΠΕ 1990 -2004	21
8.	.....H
αιολική ενέργεια	29
9.	.....Ε
νας από τους πρώτους ελληνικούς ανεμόμυλους	30
10.	.....Ο
λλανδικός Ανεμόμυλος άντλησης υδάτων.....	31
11.	.....Α
νεμόμυλος Οριζόντιου άξονα	33
12.	.....Α
ξετροχάρηδες ανεμόμυλοι στο Σελί Αμπέλου	34
13.	.....Α
ιολικός χάρτης Ελλάδας.....	35
14.	.....Υ
περάκτιο αιολικό πάρκο.....	36
15.	.....Ε
ξέλιξη μεγέθους ανεμογεννητριών.	37
16.	.....Κ
ατακόρυφη ανεμογεννήτρια.....	37
17.	.....Ε
ίδη ανεμογεννητριών.	38
18.	.....Δ
ομή ανεμογεννήτριας.	39
19.	.....Τ
υπικός υποσταθμός υψηλής τάσης 50.000 KVA, 150/21 kV.....	40
20.	.....Σ
ύστημα μεταφοράς Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος	41
21.	.....Μ
εταβολή θορύβου ανεμογεννήτριας σε σχέση με την απόσταση.....	43



22.	.....	A
	νεμογεννήτριες και πτηνά.....	48
23.	.....	T
	υπική Διάταξη ενός Υδροηλεκτρικού έργου	53
24.	.....	T
	υπική τομή υδροληψίας ορεινού τύπου (αριστερά) και τύπου σίφωνα (δεξιά)....	53
25.	.....	T
	υπική διάταξη βαλβίδων ανακούφισης.....	55
26.	.....	Y
	δροστρόβιλος Francis	58
27.	.....	Y
	δροστρόβιλος Kaplan.....	59
28.	.....	Y
	βριδικός αιολικός σταθμός με σύστημα αντλιοταμίευσης.....	66
29.	.....	T
	ο φράγμα του Θησαυρού στο Νέστο	66
30.	.....	Φ
	ράγμα Σφηκιά στον Αλιάκμονα.....	67
31.	.....	E
	νδεικτικό φορτίο αστικού δικτύου ηλεκτροδότησης	68
32.	.....	Y
	βριδικό Σύστημα Αιολικού πάρκου με αντλιοταμίευση.....	69
33.	.....	E
	ναίος αναστρέψιμος εξοπλισμός.....	70
34.	.....	Σ
	ύνθετος Αναστρέψιμος Εξοπλισμός	71
35.	.....	Ξ
	εχωριστά συστήματα.....	72
36.	.....	T
	ο υπό κατασκευή υβριδικό σύστημα της Ικαρίας	75



37.	Κ
ατανομή φορτίου στις δύο λιμνοδεξαμενές για το 2002.....	76
38.	Δ
ιαχρονική εξέλιξη ηλεκτρικής παραγωγής στην Κρήτη	77
39.	Π
ροτεινόμενο υβριδικό σύστημα στη νήσο Ίο	83



Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Βουρδουμπά Ιωάννη για τη βοήθειά του κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας. Η συμβολή του στην παροχή των κατάλληλων κατευθύνσεων συνέβαλε σημαντικά στην ολοκλήρωσή της.

Παράλληλα θα ήθελα να αφιερώσω τη συγκεκριμένη εργασία στην οικογένεια μου που ήταν δίπλα σε όλη αυτή την προσπάθεια.



1. Εισαγωγή

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις παραγωγής ενέργειας για την εξυπηρέτηση των αναγκών του έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα σε μια στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) οι οποίες δεν θα επιβαρύνουν το φυσικό περιβάλλον, θα είναι αέναντες χωρίς το φαινόμενο της εξεύρεσης νέων πηγών ενώ παράλληλα θα δημιουργούν προοπτικές συνεχούς βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου με την πρόσθεση νέου ενεργειακού δυναμικού στο υφιστάμενο ηλεκτρικό πλέγμα. Παράλληλα, οι ΑΠΕ αποτελούν και μια απάντηση στο ενεργειακό πρόβλημα απομακρυσμένων περιοχών με ιδιόμορφες ανάγκες ηλεκτροδότησης (ακανόνιστες καταναλώσεις συνέπεια έντονων τουριστικών ροών, δυσκολίες στην πρόσβαση κ.ά.).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ έχει δημιουργήσει μια γκάμα επιλογών και εφαρμογών, ενώ παλαιότερες επιλογές (όπως οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί) έχουν αποκτήσει μεγαλύτερης ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με την αξιοποίηση νέων τεχνικών. Σε αυτά τα πλαίσια, μια επιλογή από αρχαιοτάτων χρόνων αποτελούσε η τιθάσευση της αιολικής ενέργειας και η εκμετάλλευσή της για την εκτέλεση παραγωγικών εργασιών. Στη σύγχρονη εποχή μεγάλα αιολικά πάρκα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος αναλαμβάνουν την ενεργειακή κάλυψη μικρών οικισμών και συνεισφέρουν στο ενεργειακό δυναμικό των σύγχρονων δυτικών κοινωνιών.

Ωστόσο ένα πάγιο πρόβλημα του συνόλου των μέσων παραγωγής που βασίζονται σε ΑΠΕ αποτελεί η εξάρτησή τους από το φυσικό στοιχείο. Οι διακυμάνσεις στα διάφορα καιρικά φαινόμενα και οι διαφορετικές χρονικές διαθεσιμότητες των φαινομένων που αποτελούν την «πρώτη ύλη» για την παραγωγή ενέργειας δημιουργούν αστάθεια στην τροφοδοσία του δικτύου, ενώ δεν είναι δυνατόν να εγγυηθούν την απρόσκοπτη τροφοδότησή του σε ώρες ιδιαίτερα υψηλής ζήτησης. Για την υπερπήδηση του συγκεκριμένου εμποδίου, μια προφανής λύση αποτελεί η αποθήκευση της



παραγόμενης ενέργειας κατά της ώρες πλεονάζουσας προσφοράς για την ικανοποίηση της μελλοντικής πλεονάζουσας ζήτησης. Ωστόσο, όσο απλό και αν ακούγεται, μια τέτοια λύση μπορεί να είναι κοστοβόρα και πιθανόν αδύνατη. Μια πιθανή λύση αποτελεί η προσφυγή σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας με διπλό ρόλο, παραγωγής και αποθήκευσης.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία μελετάται η ικανότητα υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν τα δύο αυτά χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των εξελίξεων στη δημιουργία υβριδικών συστημάτων παραγωγής αιολικής ενέργειας με το ρόλο της αποθήκευσης να αναλαμβάνει μια υδροηλεκτρική εγκατάσταση. Η τελευταία εκμεταλλεόμενη την παραγόμενη ενέργεια του αιολικού πάρκου λειτουργεί ως αντλιοστάσιο για την άντληση ύδατος από ένα ταμιευτήρα μικρού υψομέτρου σε ένα ταμιευτήρα μεγαλύτερου υψομέτρου. ΜΕ αυτό τον τρόπο η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε δυναμική. Σε ώρες αιχμής ή μικρής απόδοσης του αιολικού πάρκου, η υδροηλεκτρική εγκατάσταση λειτουργεί με την αντίστροφη διαδικασία παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια και συμπληρώνοντας το ενεργειακό κενό.

Η βιβλιογραφική αναζήτηση περιλαμβάνει την περιγραφή των σύγχρονων τάσεων που χρησιμοποιούνται στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της αιολικής. Στη συνέχεια επιχειρείται μια ανασκόπηση των κύριων τεχνολογιών στο τομέα του υδροηλεκτρισμού, ενώ ακολουθεί η λεπτομερής περιγραφή ενός υβριδικού συστήματος αντλιοταμίευσης, όπως αυτή συναντάται στη βιβλιογραφία. Τέλος, η εργασία σταχυολογεί υπάρχουσα και προτεινόμενα υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα της αντλιοταμίευσης και της αιολικής ενέργειας.



2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η συνεχής άνοδο του βιοτικού επιπέδου, σε συνδυασμό με τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και τον πολλαπλασιασμό των ενεργειακών απαιτήσεων, μπορούν να οδηγήσουν την ανθρωπότητα σε έναν μακρύ ενεργειακό χειμώνα. Οδηγούμεστε σε αυτό το συμπέρασμα βλέποντας την κατασπατάληση των αποθεμάτων πρώτων υλών και πηγών ενέργειας. Μέσα σε 100 χρόνια καταναλώθηκαν πρώτες ύλες που αποταμιεύονταν κατά την διάρκεια της μέχρι σήμερα ζωής του πλανήτη.

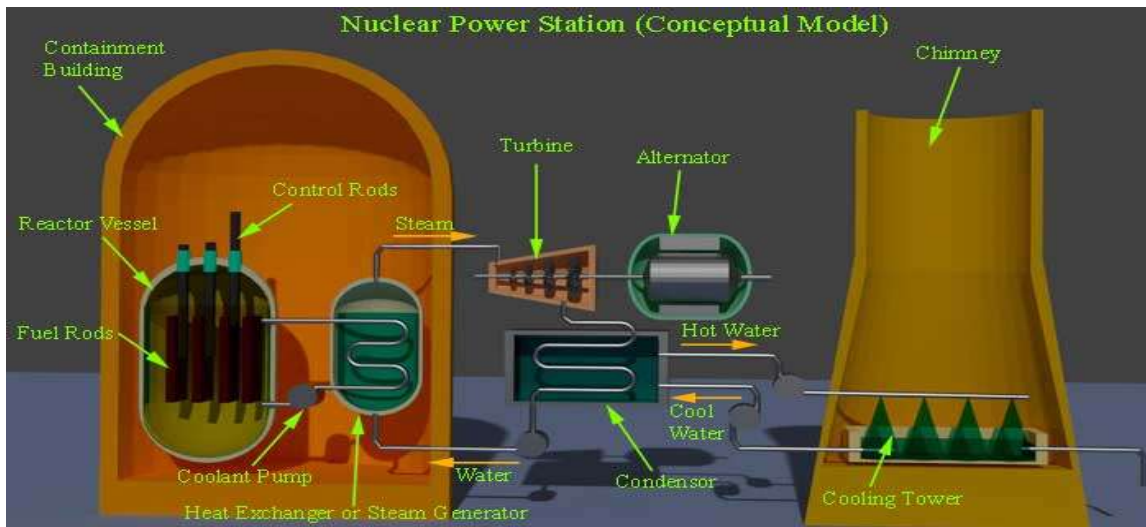
Στα πλαίσια μιας προσπάθειας εξοικονόμησης των ενεργειακών πόρων του πλανήτη, η παγκόσμια κοινότητα έστρεψε τις προσπάθειές της στην εκμετάλλευση πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιούν ανεξάντλητες ενεργειακές πηγές όπως η πυρηνική, η υδροηλεκτρική και η φωτοβολταϊκή παραγωγή ρεύματος.

Η βασική αρχή λειτουργίας κάθε συστήματος έγκειται στην θέρμανση ενός μέσου και η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρησιμοποίηση ενός στροβίλου/ τουρμπίνας ή η άμεση μετατροπή της πηγής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση της σχάσης πυρηνικού υλικού.



Εικόνα 1: Πυρηνική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο Διάγραμμα 2 απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας ενός πυρηνικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πυρηνική σχάση εκκρίνει υψηλά ποσά θερμότητας, τα οποία μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μια συστοιχίας στροβίλων.



Διάγραμμα 2: Αρχή λειτουργίας πυρηνικού σταθμού.

Αν και οι πυρηνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση, ωστόσο παράγει απόβλητα τα οποία είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για το περιβάλλον αι απαιτούν κοστοβόρες διαδικασίες διαχείρισης. Κατά συνέπεια, η

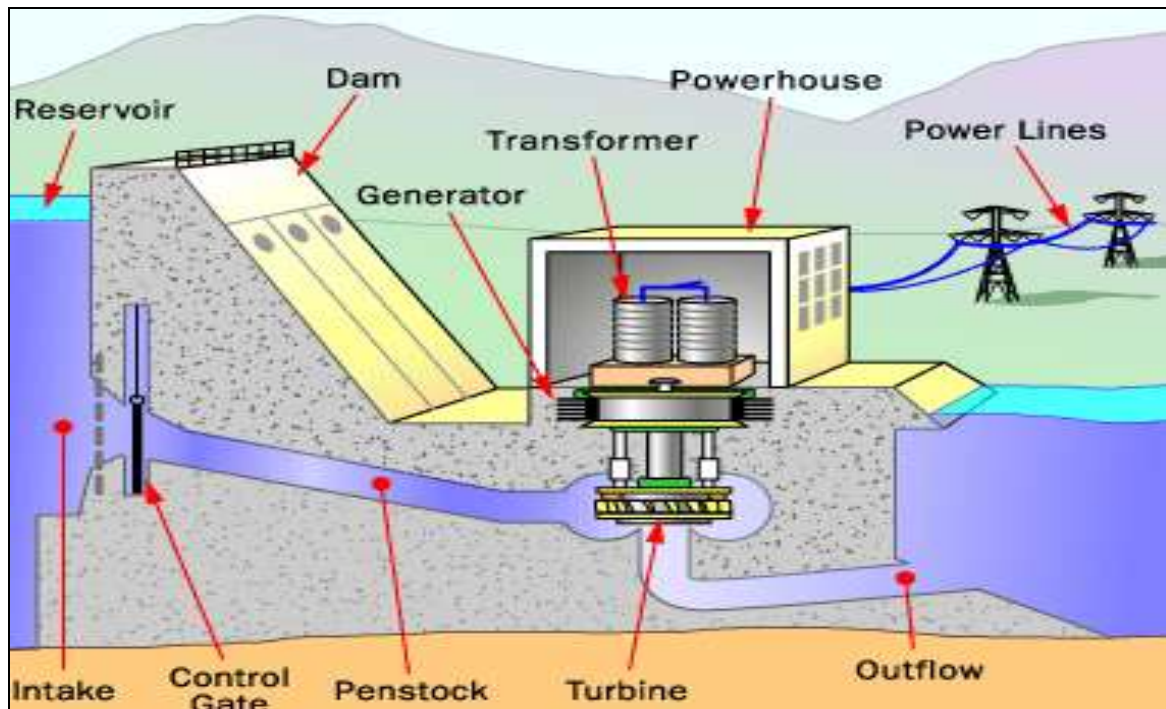


ανθρωπότητα έχει στραφεί στην εκμετάλλευση άλλων ΑΠΕ. Η πλέον διαδεδομένη αποτελεί η υδροηλεκτρική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 3: Υδροηλεκτρική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Η βασική αρχή της συγκεκριμένης υλοποίησης έγκειται στην μετατροπή της δυναμικής ενέργειας που περιέχει μια υδάτινη μάζα μέσω της κίνησής της προς χαμηλότερο υψόμετρο και η μετατροπή της ενέργειας που μεταβάλλεται σε ηλεκτρισμό με τη χρήση ενός συστήματος στροβίλων.

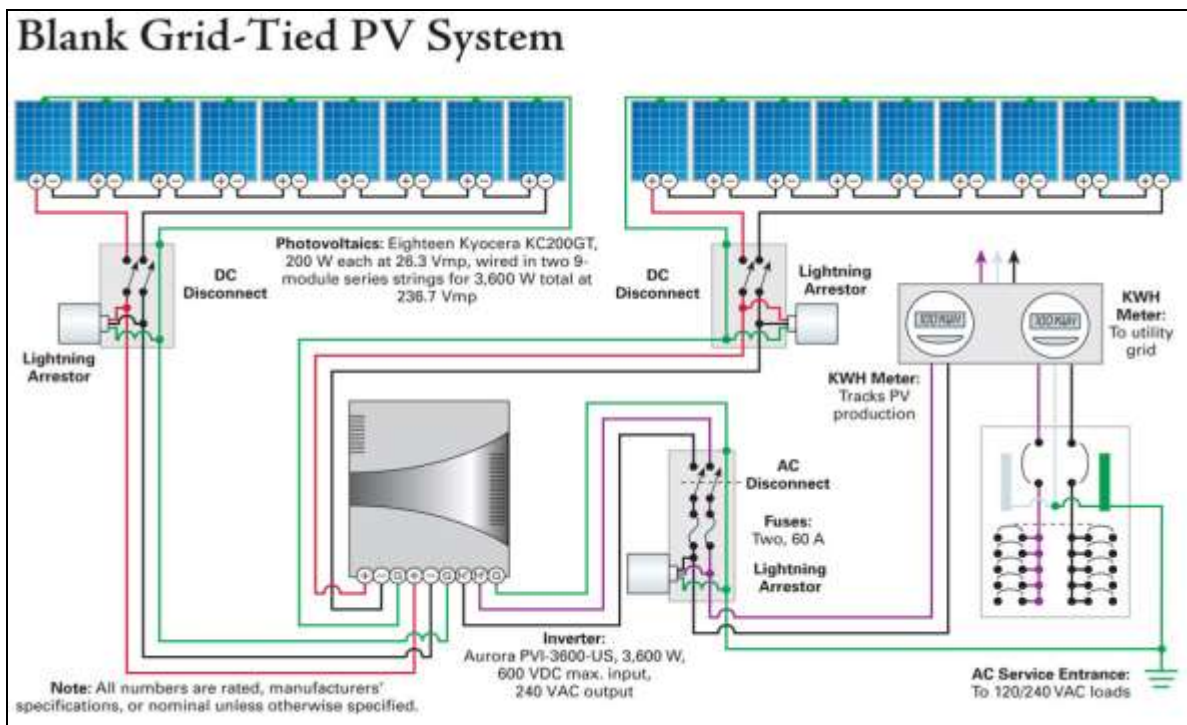


Διάγραμμα 4: Αρχή λειτουργίας Υδροηλεκτρικού Σταθμού παραγωγής ενέργειας.

Το βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης εγκατάστασης είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, ενώ η συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι δέσμια της ύπαρξης των απαραίτητων υδάτινων πόρων. Μια ακόμη εξαιρετικά διαδεδομένη μορφή παραγωγής ενέργειας είναι η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η συγκεκριμένη προσέγγιση έγκειται στην απευθείας σύλληψη των φωτονίων του ηλιακού φωτός και η χρησιμοποίησή τους για την ηλεκτρική πόλωση μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Αυτοί με τη σειρά τους παράγουν ηλεκτρικών ενέργεια (εικόνες 5 και 6 αντίστοιχα).



Εικόνα 5: Συστοιχία Φωτοβολταϊκών συλλεκτών



Διάγραμμα 6: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών συλλεκτών



Μια ακόμη διαδεδομένη μορφή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος αποτελεί η αιολική ενέργεια η οποία αποτελεί το βασικό στοιχείο μελέτης της πτυχιακή εργασίας και θα αναλυθεί διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ευρώπη και την Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση άρχισε το 1997 να επιδιώκει τον στόχο να ανέλθει σε 12% το μερίδιο που καταλαμβάνουν οι ΑΠΕ στην ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2010 (Ζερβός κ.ά., 2009), δηλαδή διπλασιασμό του μεριδίου των ΑΠΕ σε σύγκριση με το 1997. Έκτοτε, το μερίδιο των ΑΠΕ έχει αυξηθεί κατά 55% σε απόλυτα ενεργειακά μεγέθη (Μαθιουδάκης κ.ά., 2005). Το πρόσθετο κόστος κυμαίνεται μεταξύ 1,5 δις. ευρώ το 2006 και 26 έως 31 δις. ευρώ το 2020 (μοντέλο Green-X, σενάριο ελαχίστου κόστους και ισόρροπο σενάριο, 2006).

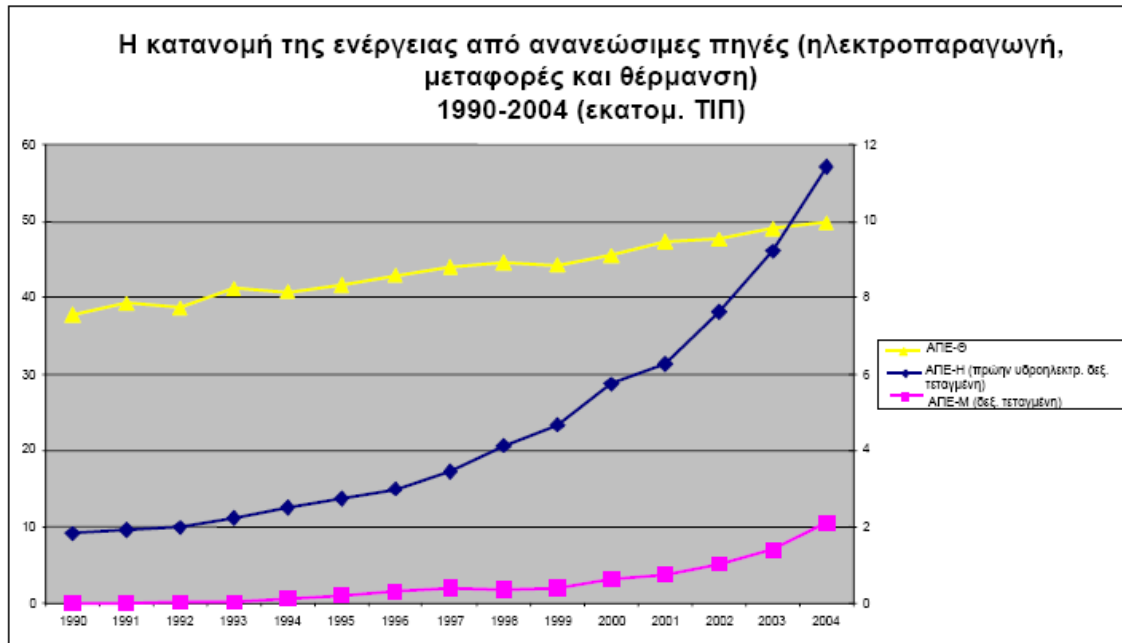
Παρότι το κόστος των περισσότερων ΑΠΕ φθίνει – σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις αρκετά θεαματικά – στο σημερινό στάδιο εξέλιξης της ενεργειακής αγοράς οι ΑΠΕ συχνά δεν πρόκειται να αποτελέσουν βραχυπρόθεσμα τις λιγότερο δαπανηρές ενεργειακές λύσεις. Το γεγονός ιδίως ότι το εξωτερικό κόστος δεν συμπεριλαμβάνεται συστηματικώς στις τιμές της αγοράς προσδίδει οικονομικώς αδικαιολόγητο πλεονέκτημα στα ορυκτά καύσιμα σε σύγκριση προς τις ΑΠΕ.

Υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί λόγοι για τους οποίους η ΕΕ δεν θα εκπληρώσει τους στόχους της για τις ΑΠΕ. Η πολυπλοκότητα, η καινοτομία και ο αποκεντρωμένος χαρακτήρας των περισσότερων εφαρμογών ανανεώσιμης ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα πολυάριθμα διοικητικά προβλήματα. Σημειώνονται εν προκειμένω οι ασαφείς και αποθαρρυντικές διαδικασίες αδειοδότησης για τον προγραμματισμό, την κατασκευή και τα συστήματα λειτουργίας, διαφορές στα πρότυπα και την πιστοποίηση και ασύμβατα μεταξύ τους συστήματα δοκιμαστικών ελέγχων των τεχνολογιών για τις ΑΠΕ. Πολλά είναι επίσης τα παραδείγματα αδιαφανών και μεροληπτικών κανονιστικών διατάξεων για την πρόσβαση στο δίκτυο, καθώς και γενικής έλλειψης ενημέρωσης σε όλα τα επίπεδα, όπου περιλαμβάνονται οι πληροφορίες στους προμηθευτές, τους πελάτες και τους εγκαταστάτες.



Όλοι αυτοί οι παράγοντες έχουν συμβάλει στην ανεπαρκή ανάπτυξη των κλάδων των ΑΠΕ ενέργειας. Η εξέλιξη που έχει σημειωθεί μέχρι τώρα συνίσταται σε κατά κανόνα εμβλασματική και άκρως ανομοιογενή πρόοδο ανά την ΕΕ, πράγμα που υπογραμμίζει την ανεπάρκεια των εθνικών πολιτικών για την επίτευξη του στόχου της ΕΕ. Μολονότι σε ορισμένα κράτη μέλη υιοθετήθηκαν φιλόδοξες πολιτικές που παρέχουν επενδυτική βεβαιότητα, οι εθνικές πολιτικές αποδείχθηκαν ευάλωτες στις μεταβαλλόμενες πολιτικές προτεραιότητες. Η έλλειψη νομικώς δεσμευτικών στόχων για τις ΑΠΕ σε επίπεδο ΕΕ, το σχετικά χαλαρό πλαίσιο κανονιστικών ρυθμίσεων της ΕΕ για τη χρήση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών καθώς και η πλήρης έλλειψη νομικού πλαισίου στον κλάδο της θέρμανσης και ψύξης είναι ενδείξεις ότι η πρόοδος οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις προσπάθειες που κατέβαλαν μερικά προσηλωμένα στο στόχο κράτη μέλη. Ουσιαστική πρόοδος σημειώθηκε στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση την οδηγία σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που εγκρίθηκε το 2001, και σχεδόν θα εκπληρωθούν οι στόχοι που τέθηκαν. Τα διαφορετικά καθεστάτα για την ηλεκτρική ενέργεια, τα βιοκαύσιμα και την θέρμανση και ψύξη που θεσπίστηκαν σε επίπεδο ΕΕ αντανακλά η εξέλιξη στους τρεις αυτούς κλάδους: σαφής αύξηση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, πρόσφατη εκκίνηση ισχυρής αύξησης στα βιοκαύσιμα, χαμηλοί ρυθμοί αύξησης στον κλάδο της θέρμανσης και ψύξης.

Πρέπει να επισημανθεί, ως περαιτέρω αίτιο, ότι η ενεργειακή απόδοση δεν ήταν τόσο υψηλή όπως αναμενόταν και ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας ήταν κατά συνέπεια υψηλότερη από την αναμενόμενη. Απαιτείται, κατά συνέπεια, σημαντικά υψηλότερο μερίδιο από ΑΠΕ για να επιτευχθεί ο στόχος 12%, που εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (και όχι ως μερίδιο της συνολικής παραγωγής ενέργειας). Επίσης, το γεγονός ότι ο στόχος 12% εκφράζεται ως ποσοστό της πρωτογενούς ενέργειας αποβαίνει εις βάρος του μεριδίου της αιολικής ενέργειας, κλάδος όπου μακράν σημειώθηκε η σημαντικότερη αύξηση κατά την υπό εξέταση περίοδο.



Διάγραμμα 7: Η κατανομή της ενέργειας από ΑΠΕ (ηλεκτροπαραγωγή, μεταφορές και θέρμανση) 1990 -2004

Σύμφωνα με την οδηγία 2001/77/ΕΚ, όλα τα κράτη μέλη θέσπισαν εθνικούς στόχους για το μερίδιο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ. Με τις σημερινές πολιτικές και τις προσπάθειες που καταβάλλονται, και εφόσον δεν μεταβληθούν οι τρέχουσες τάσεις, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα επιτύχει μάλλον ποσοστό 19% μέχρι το 2020. Το ποσοστό αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως μερική μόνο επιτυχία, αλλά η Ευρωπαϊκή Ένωση αναμφισβήτητα θα πλησιάσει το στόχο της για την ηλεκτροπαραγωγή από το 1997, οπότε και καθορίστηκε ο στόχος, αλλά τότε αναμενόταν ότι πολύ μικρότερο ποσοστό θα οφειλόταν στο μερίδιο της αιολικής ενέργειας από ό,τι στη βιομάζα. Επειδή η παραγωγή από βιομάζα είναι θερμική διεργασία όχι όμως η αιολική ενέργεια, μια μονάδα τελικής ενέργειας που παράγεται από βιομάζα υπολογίζεται 2,4 φορές περισσότερο από την μονάδα τελικής ενέργειας που παράγεται από αιολική και καταλογίζεται στην πρωτογενή ενέργεια.

Εννέα κράτη μέλη πορεύονται πλέον πλησίον προς την εκπλήρωση του στόχου τους, ορισμένα δε εξ αυτών θα τον επιτύχουν πρόωρα. Ικανοποιητική πρόοδος σημειώθηκε ιδίως στον κλάδο της αιολικής ενέργειας, που ξεπέρασε τον στόχο των 40



GW για το 2010 πέντε έτη νωρίτερα από ό,τι είχε προγραμματιστεί. Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα, από 7% τα προηγούμενα έτη, ανήλθε σε 13% το 2003 και 23% το 2005. Το 2005 η ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα ανήλθε σε 70 TWh, που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση 35 εκατομμυρίων τόνων CO₂ και περιορισμό της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων κατά 14,5 εκατομμύρια TΠΠ.

Ημερομηνία σταθμός για τη Δανία αποτελεί η 9 Ιουνίου 2015 που με τη βοήθεια των ισχυρών ανέμων κάλυψε το 116% των ενεργειακών της αναγκών από ανεμογεννήτριες. Τα ξημερώματα της Παρασκευής, 10 Ιουνίου, και όταν η ζήτηση μειώθηκε το ποσοστό ανέβηκε στο 140%. Η χώρα με σήμα κατατεθέν την υπεραιωνόβια "μικρή γοργόνα" κατάφερε όχι μόνο να καλύψει τις ηλεκτροδοτικές της ανάγκες αλλά και να πουλήσει πλεόνασμα ενέργειας στη Γερμανία, τη Σουηδία και τη Νορβηγία. Η κυβέρνηση της Δανίας έχει ως στόχο να παράγει το 84% των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μέσω αιολικής ενέργειας μέχρι το 2035. Η αιολική ενέργεια είναι ήδη υπεύθυνη για το 29 % της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στη χώρα αν και ο άνθρακας εξακολουθεί προς το παρόν να αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας στη Δανία (energinet.dk).

Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα της Στατιστικής της αιολικής ενέργειας για το πρώτο εξάμηνο του 2015 ανακοινώθηκαν από την Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ). Η συνολική καθαρή αιολικής ισχύς που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο ξεπέρασε τα 2.000MW στις 26 Απριλίου 2015. Η ανεμογεννήτρια που πάτησε το όριο των 2.000MW συνδέθηκε από την εταιρεία ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή στην θέση Μαυροβούνι του Δήμου Τανάγρας στη Βοιωτία. Πρόκειται για μια Vestas V90-2MW. Το ορόσημο των 2.000MW είναι μεν θετικό, βρίσκεται όμως μόλις στο 50% του εθνικού στόχου για το 2014. Κυρίως όμως διαψεύδει την άποψη που κατά καιρούς εκφράζεται ότι ο στόχος ΑΠΕ του 2020 έχει επιτευχθεί από το 2014. Συνολικά κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 συνδέθηκαν στο δίκτυο 103 MW νέας αιολικής ισχύος και απεγκαταστάθηκαν 440 kW. Η εξαμηνιαία αυτή επίδοση είναι πολύ κοντά στη συνολική ισχύ που είχε εγκατασταθεί σε ετήσια βάση καθ' όλο το 2014 (113MW), αλλά και το 2013 και το 2012. Πέραν αυτών βρίσκονται υπό κατασκευή ή



έχουν ήδη συμβολαιοποιηθεί νέα αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 198 MW. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 οι νέες επενδύσεις αιολικών πάρκων στην Ελλάδα διατήρησαν τη δυναμική που είχαν αποκτήσει κατά το κλείσιμο του 2014. Το σύνολο της αιολικής ισχύος που κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 είναι σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία προσεγγίζει τα 2081,5 MW. Δηλαδή καταγράφεται αύξηση σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με το τέλος του 2014.

Σε επίπεδο Περιφερειών η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων καθώς φιλοξενεί 625,8 MW (30,1% του συνόλου) και ακολουθούν η Πελοπόννησος με 411,8 MW (19,8%) και η Ανατολική Μακεδονία-Θράκη, όπου περιστρέφονται ανεμογεννήτριες ισχύος 298,7 MW (14,3%). Η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), στο διασυνδεδεμένο σύστημα, στην Ελλάδα, έφθασε τον Απρίλιο του 2015 στο 25,50%, ξεπερνώντας τον εθνικό δεσμευτικό στόχο για το 2020 που είναι στο 18%. Στον Πίνακα 1 αναφέρεται η εγκατεστημένη ισχύς για το σύνολο της Επικράτειας, ενώ στον Πίνακα 2 οι στόχοι και οι αποκλίσεις τους ανά έτος, όπως αναγράφονται στο μηνιαίο δελτίο της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) για τον Ιανουάριο 2016.

Μήνας	Αιολικά		Φ/Β		Φ/Β Στέγες		ΜΥΗΣ		Βιοαέριο-Βιομάζα		ΣΗΘΥΑ & Κατανεμόμενες ΣΗΘΥΑ		Σύνολο	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Ιαν	1.978	424	2.223	181	375	31	220	69	47	19	229	119	5.072	843
Φεβ *	1.980	438	2.228	176	375	21	220	77	47	17	230	108	5.080	838
Μαρ	1.980	380	2.228	234	375	23	220	102	47	19	230	120	5.080	879
Απρ	2.034	347	2.228	341	375	29	221	101	48	18	230	113	5.136	949
Μάι	2.054	275	2.228	365	375	41	223	78	49	18	230	108	5.159	886
Ιουν *	2.067	338	2.228	346	375	43	224	47	49	18	230	102	5.173	893
Ιουλ	2.084	423	2.228	404	375	52	224	37	49	18	230	102	5.190	1.036
Αυγ	2.084	454	2.228	376	375	53	224	29	49	18	230	102	5.190	1.032
Σεπ	2.084	302	2.228	308	375	63	224	27	50	18	230	98	5.191	816
Οκτ *	2.085	437	2.228	239	375	51	224	46	51	19	230	112	5.193	904
Νοε	2.089	415	2.229	227	375	46	224	43	51	19	230	108	5.198	859
Δεκ	2.091	387	2.229	208	375	41	224	52	52	20	230	117	5.201	825
Σύνολο Έτους	2.091	4.621	2.229	3.406	375	494	224	708	52	222	230	1.309	5.201	10.760

Πίνακας 1: Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) και παραγωγή ενέργειας (GWh) για το έτος 2015 (Πηγή: ΡΑΕ).



	Δεκέμβριος 2015	Στόχος 2014	Στόχος 2020
Υδροηλεκτρικά	3.393	3.700	4.650
Μικρά (0-15MW)	224	300	350
Μεγάλα (>15MW)	3.169	3.400	4.300
Φωτοβολταϊκά	2.467	1.500	2.200
Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες αγρότες της περίπτωσης (β) της παρ.6 του αρθ.15 του ν.3851/2010	287	500	750
Λοιπές Εγκαταστάσεις	2180	1.000	1.450
Ηλιοθερμικά	-	120	250
Αιολικά (περιλαμβανομένων θαλασσίων)	2.084	4.000	7.500
Βιομάζα-Βιοαέριο	51	200	350

Πίνακας 2: Απόκλιση Στόχων εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ (Πηγή: ΡΑΕ).

Όπως παρατηρούμε υπάρχει μικρή διείσδυση των ΑΠΕ στην ελληνική αγορά παραγωγής ενέργειας. Στην Τήλο πρόκειται να εφαρμοστεί και να λειτουργήσει ένα πρωτοπόρο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας προερχόμενης αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές. Το πρόγραμμα Tilos, όπως ονομάζεται, έχει ενταχθεί στο Horizon 2020, το μεγαλύτερο χρηματοδοτικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την καινοτομία, λαμβάνοντας κατά τη φάση της αξιολόγησης την υψηλότερη βαθμολογία ανάμεσα σε 80 ανταγωνιστικά έργα. Στο πρόγραμμα συμμετέχουν 15 εταίροι από 7 ευρωπαϊκές χώρες με επικεφαλής την ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας του Περιβάλλοντος του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. (πρώην ΤΕΙ Πειραιά), ενώ από τη χώρα μας συμμετέχουν ακόμα ο ΔΕΔΔΗΕ, το WWF Ελλάς και η Eunice, εταιρεία με μακροχρόνια δραστηριότητα στον χώρο των ΑΠΕ. Στο νησί θα εγκατασταθεί υβριδικός σταθμός παραγωγής ενέργειας από μικρής κλίμακας ανανεώσιμες πηγές (ένα μεσαίου μεγέθους φωτοβολταϊκό πάρκο και μια μικρή ανεμογεννήτρια) σε συνδυασμό με συσσωρευτές (μπαταρίες).

Η μετάβαση από το παθητικό σε ένα ενεργό δίκτυο, με νησιδοποιήσεις και έξυπνα δίκτυα μπορεί να δώσει απάντηση στο γεγονός ότι η ΕΕ αποτελεί τον



μεγαλύτερο εισαγωγέα ενέργειας στον κόσμο, καθώς εισάγει το 53% της ενέργειάς της, με ετήσιο κόστος περίπου 400 δισ. ευρώ.

Παρά την πρόοδο που σημειώθηκε, σε πολλά κράτη μέλη οι προσπάθειες εξακολουθούν να υστερούν σημαντικά από τις απαιτούμενες για την επίτευξη των συμφωνημένων στόχων, οπότε απαιτείται λοιπόν να καταβληθούν ακόμη πολλές προσπάθειες.

2.2 Το θεσμικό πλαίσιο εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

Οι ευνοϊκές ρυθμίσεις του Ν.2244/94 διατηρήθηκαν στον Ν. 2773/99, που προβλέπει την απελευθέρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δηλ. την λειτουργία της σχετικής αγοράς βάσει κανόνων ελεύθερης αγοράς και ανταγωνισμού. Οι ρυθμίσεις συνίστανται κυρίως στο ότι η τιμή αγοράς της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ είναι ρυθμιζόμενη, δηλ. δεν τίθεται σε βάση ανταγωνισμού με την προερχόμενη από συμβατικές πηγές, καθώς και ότι η διάθεση της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ γίνεται κατά προτεραιότητα. Επίσης προβλέφθηκε για πρώτη φορά η επιβολή τέλους υπέρ των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης, το οποίο έχει οριστεί στο 2% των ακαθαρίστων εσόδων από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, που ισοδυναμεί με 10% περίπου των ακαθαρίστων εσόδων της εγκαταστάσεως και θεσμοθετείται εκ νέου στο νέο νόμο για τα ΑΠΕ, βάζοντας τέλος στα προβλήματα ακυρότητας που αντιμετώπιζε στο Συμβούλιο της Επικρατείας (ΣτΕ).

Σύμφωνα με τον Ν.2773/99, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) γνωμοδοτεί σχετικά με τη χορήγηση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προς τον Υπουργό Ανάπτυξης, ο οποίος αποφασίζει περί της χορήγησης ή μη της άδειας παραγωγής. Κατά την αξιολόγηση των αιτήσεων από τη ΡΑΕ, λαμβάνονται υπόψη τα κριτήρια του άρθρου 9 του «Κανονισμού Αδειών Παραγωγής και Προμήθειας», όπως εξειδικεύονται στον «Οδηγό Αξιολόγησης αιτήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μικρή ΣΗΘ», που εξέδωσε η ΡΑΕ. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζεται η σκοπιμότητα πραγματοποίησης κάθε έργου και η ένταξή του στον γενικότερο προγραμματισμό



ανάπτυξης, τα δε κριτήρια επιλογής είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, η τεχνικοοικονομική δυνατότητα του αιτούντος να υλοποιήσει το έργο, η ασφάλεια του Συστήματος/Δικτύου κλπ. Μετά την Άδεια Παραγωγής απαιτείται η λήψη Άδειας Εγκατάστασης και στη συνέχεια Άδειας Λειτουργίας, οι οποίες χορηγούνται από την Περιφέρεια, μετά από γνωμοδοτήσεις και εγκρίσεις πλήθους Υπηρεσιών και φορέων.

Τα σημαντικότερα μέτρα πολιτικής που εφαρμόζονται στην Ελλάδα σήμερα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ και δη της αιολικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

Εγγυημένη τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας σε προκαθορισμένη τιμή που ορίζεται ως ποσοστό της εκάστοτε τιμής του Γενικού τιμολογίου Μέσης Τάσης. Υφίσταται διαφοροποίηση τιμών στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Σήμερα οι τιμές αυτές είναι: Αμοιβή ενέργειας 0,06842 €/kWh στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και στα διασυνδεδεμένα νησιά και αμοιβή ισχύος 1,75645 €/MW/μήνα (διαφορετικοί συντελεστές προσδιορισμού της τιμολογούμενης ισχύος για κάθε τεχνολογία ΑΠΕ) και αμοιβή ενέργειας 0,08458 €/kWh στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (δεν τιμολογείται η ισχύς).

Η διαφορά κόστους καλύπτεται μέσω ειδικού τέλους που καταβάλουν οι καταναλωτές και η οποία υπολογίζεται για το Σύστημα, βάσει της απόκλισης από την Οριακή Τιμή Συστήματος ενώ για τα νησιά, βάσει του μέσου μεταβλητού κόστους παραγωγής (κυρίως κόστος καυσίμου που σε ορισμένα νησιά η διαφορά είναι αμελητέα έως και αρνητική).

Επιχορηγήσεις για έργα ΑΠΕ είναι διαθέσιμες από το Γ' ΚΠΣ 2000-06 και τον Αναπτυξιακό Νόμο (Ν.2601/98 και εν συνεχεία Ν.3299/2004) συμπεριλαμβανομένων ειδικών επιχορηγήσεων για τα δίκτυα σύνδεσης (50% των επιλέξιμων δαπανών). Ειδικότερα η επιχορήγηση επιλέξιμων δαπανών για τους αιολικούς σταθμούς ανέρχεται σε ποσοστό 30%.

Εκτός από την προτεραιότητα ένταξης των σταθμών ΑΠΕ στο Σύστημα και στο Δίκτυο σημαντικό κίνητρο ανάπτυξης είναι και η απαλλαγή τους από την υποχρέωση



πληρωμής τελών χρήσης τους (Ν.2773/99). Στον Πίνακα 3 αναφέρεται η αξία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για το 2015.

Μήνας	Αιολικά		Φ/Β		Φ/Β Στέγες **		ΜΥΗΣ		Βιοαέριο-βιομάζα		ΣΗΘΥΑ (1) & Κατανεμόμενες ΣΗΘΥΑ (2)			Σύνολο	
	εκατ.€	€/MWh	εκατ.€	€/MWh	εκατ.€	€/MWh	εκατ.€	€/MWh	εκατ.€	€/MWh	εκατ.€	€/MWh (1)	€/MWh (2)	εκατ.€	€/MWh
Ιαν	37,9	89,4	53,6	296,0	12,2	393,2	6,0	87,1	2,0	103,5	6,4	160,8	29,3	118,1	140,1
Φεβ *	39,0	89,1	50,2	284,7	8,2	390,7	6,7	86,8	1,8	103,9	6,2	156,4	33,8	112,0	133,8
Μαρ	33,9	89,1	69,4	296,1	9,2	391,2	8,9	86,9	1,9	103,5	7,2	156,5	36,3	130,4	148,4
Απρ	30,6	88,2	99,2	290,9	11,5	399,0	8,7	86,9	1,9	104,1	6,1	155,5	32,6	158,0	166,6
Μάι	24,6	89,4	106,6	291,8	16,2	394,0	6,8	87,0	1,9	104,2	4,9	152,2	31,2	160,9	181,7
Ιουν *	30,3	89,6	101,3	292,6	16,7	390,8	4,1	86,9	1,9	104,6	4,4	152,8	31,5	158,6	177,5
Ιουλ	38,1	89,9	117,9	291,9	20,2	389,9	3,2	87,4	1,9	104,6	3,6	150,6	26,6	185,0	178,5
Αυγ	40,7	89,6	110,0	292,8	20,8	390,6	2,5	87,4	1,9	103,8	4,0	154,8	29,3	179,9	174,4
Σεπ	27,0	89,4	90,3	293,2	24,8	392,0	2,4	87,0	1,8	104,2	3,7	158,6	25,9	150,0	183,8
Οκτ *	39,1	89,4	71,0	297,0	19,8	389,8	4,0	87,0	2,0	105,3	4,8	151,1	25,4	140,6	155,6
Νοε	37,2	89,5	66,7	293,7	18,1	390,3	3,8	87,1	2,1	107,6	5,0	147,9	25,6	132,7	154,5
Δεκ	34,8	90,0	61,2	294,4	15,9	391,6	4,5	86,8	2,2	109,4	5,3	141,3	22,5	124,0	150,2
Σύνολο Έτους	413,2	89,4	997,5	292,8	193,4	391,7	61,5	87,0	23,3	104,9	61,5	153,1	29,2	1.750,3	162,7

Πίνακας 3: Αξία (m€) και Μεσοσταθμική Τιμή Ενέργειας (€/MWh) ΑΠΕ για το έτος 2015 (Πηγή: ΡΑΕ)



3. Συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας

Όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, σκοπός είναι η παρουσίαση των εξελίξεων στον τομέα της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και της περιγραφής υβριδικών συστημάτων μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Στο παρόν κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε στα αιολικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .

3.1 Ιστορική Αναδρομή συστημάτων εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας

Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Επίσης, οι Κινέζοι, οι Πέρσες, οι Έλληνες και οι Αιγύπτιοι έχουν χρησιμοποιήσει τους ανεμόμυλους για πολλούς αιώνες κυρίως για το άλεσμα των δημητριακών και για την άντληση νερού. Ο πρώτος ανεμόμυλος σχεδιάστηκε από τον Ήρωνα της Αλεξάνδρειας τον 1ο αιώνα μ.Χ. (Drachmann, 1961). Ήταν οριζόντιου άξονα περιστροφής και είχε τέσσερα πτερύγια. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα.



Εικόνα 8: Η αιολική ενέργεια

Στην Ολλανδία οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού από τις πλημμυρισμένες περιοχές και την μεταφορά τους στη θάλασσα. Στην Ελλάδα οι ανεμόμυλοι άντλησης νερού (περίπου 6000) χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στην Ανατολική Κρήτη. Κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα η ανακάλυψη των ατμοστρόβιλων άρχισε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους.



Εικόνα 9: Ένας από τους πρώτους ελληνικούς ανεμόμυλους

Το 1900, οι Δανοί παρήγαγαν ηλεκτρισμό από τον άνεμο. Το 1940 στο Βερμόντ (ΗΠΑ) κατασκευάστηκε μια δοκιμαστική ανεμογεννήτρια με δύο πτερύγια. Αλλά η αιολική ενέργεια δεν θεωρήθηκε σημαντική μέχρι τη δεκαετία του 70 όταν ο άνθρωπος συνειδητοποίησε το ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη μας και προσπάθησε να ξανασχεδιάσει την ανεμογεννήτρια. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J. Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε.



Εικόνα 10: Ολλανδικός Ανεμόμυλος άντλησης υδάτων

Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι 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.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80 και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 υπήρχαν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (μέχρι 20-25 κιλοβάτ) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 μεγαβάτ). Οι ανεμογεννήτριες προηγμένης τεχνολογίας που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως δύο τύπων: ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με πτερύγια και ανεμογεννήτριες Νταριέ με κατακόρυφο άξονα (από τον Γάλλο G.J.M.



Darrieus που τις εφεύρε το 1925). Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες και έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια.

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.

Τέσσερις φαίνεται πως είναι οι τύποι των χρησιμοποιούμενων αλεστικών ανεμόμυλων στον ελληνικό χώρο, που έχουν αρκετές διαφορές μορφολογικά και λειτουργικά, από τους αντίστοιχους ευρωπαϊκούς:

- ταράλης κατακόρυφου άξονα ή ταβλόμυλος
- ταράλης οριζόντιου άξονα
- αζετροχάρης ή μονόπαντος ή μονόκαιρος
- ζετροχάρης

Ιδιαίτερη κατηγορία αποτελούν οι αντλητικοί ανεμόμυλοι που εγκαταστάθηκαν στο οροπέδιο Λασιθίου στην Κρήτη.

Ο ταράλης ανεμόμυλος κατακόρυφου άξονα ή ταβλόμυλος είναι ο παλιότερος τύπος ανεμόμυλου που εμφανίζεται στην Ελλάδα και φαίνεται ότι προέρχεται από τον νερόμυλο, που είναι σε χρήση από τα αρχαία χρόνια. Στα Γεωγραφικά του Στράβωνα (63 π.Χ. - 23 μ.Χ.) αναφέρεται νερόμυλος (υδραλέτης) που λειτουργεί στα ανάκτορα στα Κάβειρα του βασιλιά του Πόντου Μιθριδάτη ΣΤ' του Ευπάτορα. Στον ταράλη κατακόρυφου άξονα το επίπεδο που ορίζεται από τα πτερύγια της πτερωτής είναι οριζόντιο, κάθετο στον άξονα και πάνω από τις μυλόπετρες. Η ξύλινη πτερωτή είναι μέσα στο κτίσμα, το οποίο επομένως είναι μεγάλο και ογκώδες. Ο ταράλης ανεμόμυλος οριζόντιου άξονα φαίνεται πως είναι μετεξέλιξη του ταράλη κατακόρυφου άξονα, έτσι ώστε το επίπεδο που ορίζεται από τα πτερύγια της πτερωτής είναι κατακόρυφο και κάθετο στον άξονα.



Εικόνα 11: Ανεμόμυλος Οριζόντιου άξονα

Ο αξετροχάρης (ή μονόπαντος ή μονόκαιρος) ανεμόμυλος έχει σύστημα οριζόντιου άξονα - κατακόρυφων πτερυγίων, που όμως δεν μπορεί να περιστραφεί. Ο πιο διαδεδομένος τύπος ανεμόμυλου στον ελληνικό χώρο και ιδίως στα αιγαιοπελαγίτικα νησιά και την Κρήτη, είναι ο λεγόμενος ξετροχάρης μύλος. Πρόκειται για ανεμόμυλο με σύστημα οριζόντιου άξονα - κατακόρυφων πτερυγίων, που μπορούν να περιστραφούν χειροκίνητα, με ειδική διάταξη ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου, ώστε να γίνεται η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της έντασης του ανέμου από τα πτερύγια.



Εικόνα 12: Αξετροχάρηδες ανεμόμυλοι στο Σελί Αμπέλου (Πηγή: costisnet.weebly.com)

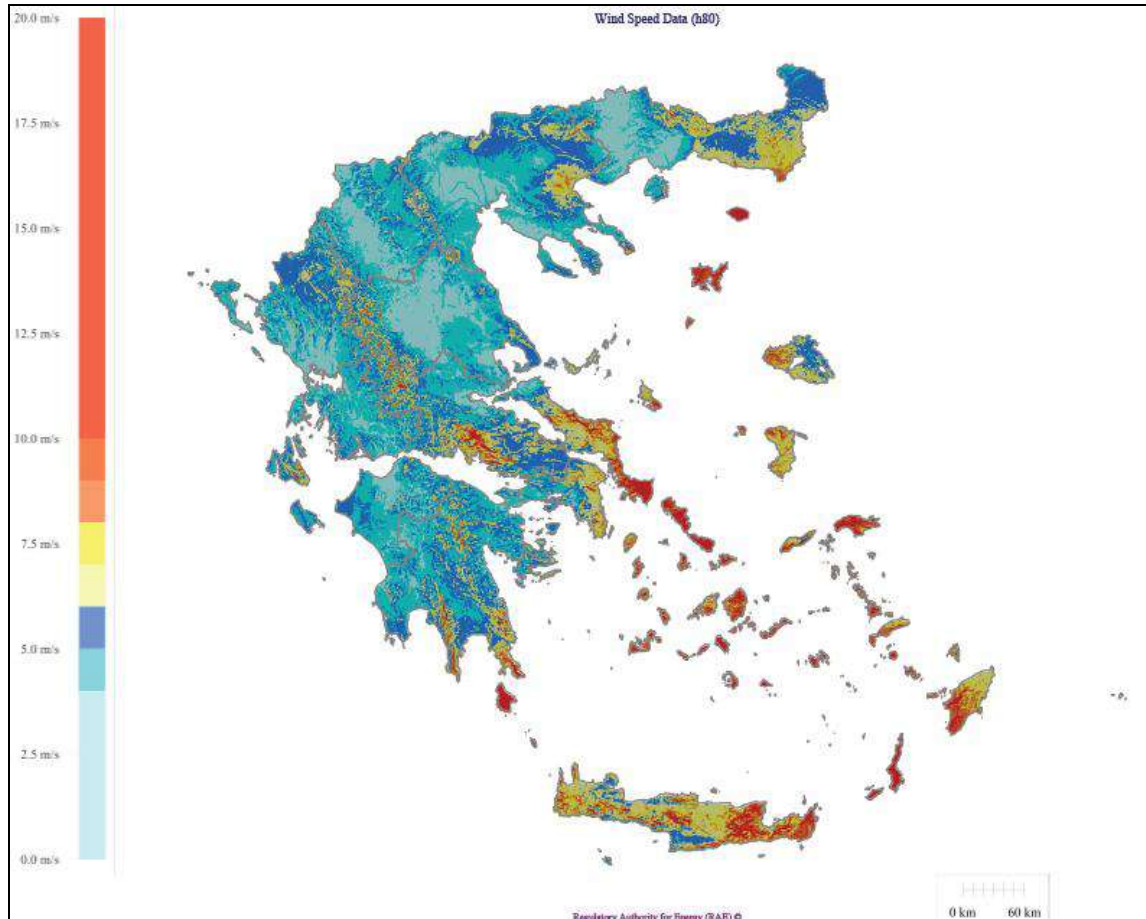
Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο αιολικό δυναμικό και γι' αυτό τις τελευταίες δεκαετίες εγκαθίστανται όλο και περισσότερες ανεμογεννήτριες. Πράγματι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα λειτουργούν ήδη σε αρκετές περιοχές, με τάση να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα, από το 1982 που εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΗ το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κύθνο, μέχρι σήμερα, έχουν δημιουργηθεί αιολικά πάρκα στην Κρήτη, την Εύβοια, τη Χίο, τη Μυτιλήνη, τη Σάμο κ.α.

3.2 Αιολικά Πάρκα

Η ανάγκη παραγωγής ηλεκτρισμού εκμεταλλευόμενοι την αιολική ενέργεια οδήγησε στη δημιουργία αιολικών πάρκων, συστάδων δηλαδή ανεμογεννητριών τοποθετημένων στην ίδια περιοχή. Οι βασικές περιοχές ανάπτυξης αιολικών πάρκων



είναι είτε πρόποδες βουνών είτε κορυφογραμμές που παρέχουν σταθερότερη ροή αέρα. Στην εικόνα 13 απεικονίζονται μετρήσεις της έντασης του αέρα για την ελληνική επικράτεια.



Εικόνα 13: Αιολικός χάρτης Ελλάδας

Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και υπεράκτια αιολικά πάρκα, εγκαταστάσεις δηλαδή εντός της θάλασσας για την αποφυγή των εμποδίων στη ροή του αέρα από υπέργειες μάζες (εικόνα 14).



Εικόνα 14: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο

Εκτός από την επιλογή της τοποθεσίας που θα αναπτυχθεί το πάρκο, βασικό χαρακτηριστικό είναι η επιλογή των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν.

3.2.1 Ανεμογεννήτριες

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

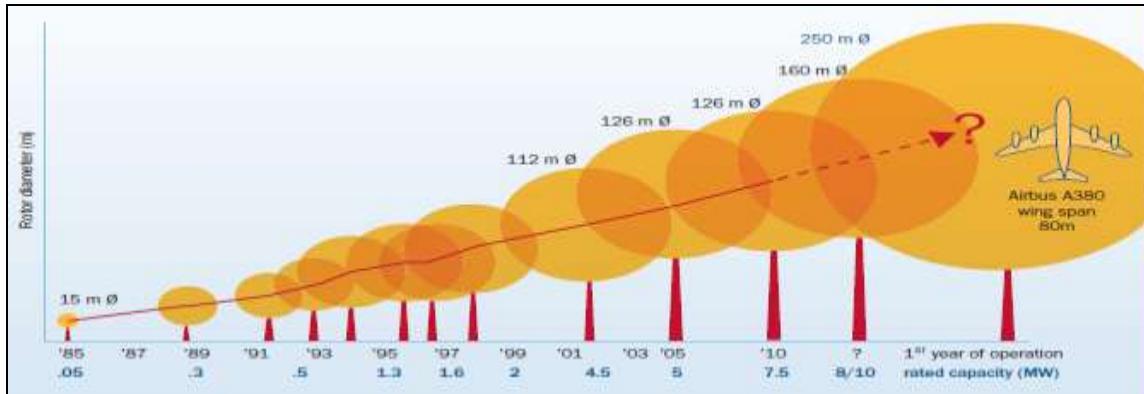
A) Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.

B) Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

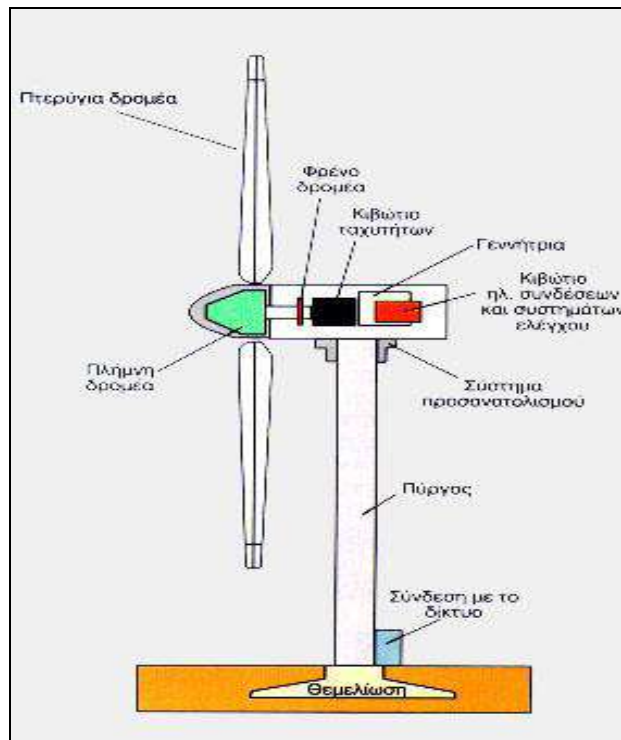


Στο Γράφημα 15 απεικονίζεται η εξέλιξη στο μέγεθος κατασκευής των ανεμογεννητριών.



Εικόνα 15: Εξέλιξη μεγέθους ανεμογεννητριών.

Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι: Διάμετρος δρομέα, 40 m και ύψος 40-50 m, ενώ αυτή των τριών MW οι διαστάσεις είναι 80 και 80–100 m αντίστοιχα. Μια τυπική ανεμογεννήτρια απεικονίζεται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16: Κατακόρυφη ανεμογεννήτρια



Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Η ποικιλία των υπάρχουσών επιλογών από πλευράς ανεμογεννητριών απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 17):



Εικόνα 17: Είδη ανεμογεννητριών (από αριστερά προς τα δεξιά, μονοπτέρυγη, διπτέρυγη, τριπτέρυγη, πολυπτέρυγη και κατακόρυφου άξονα).

Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα,

2. το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριε άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής,

3. την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι



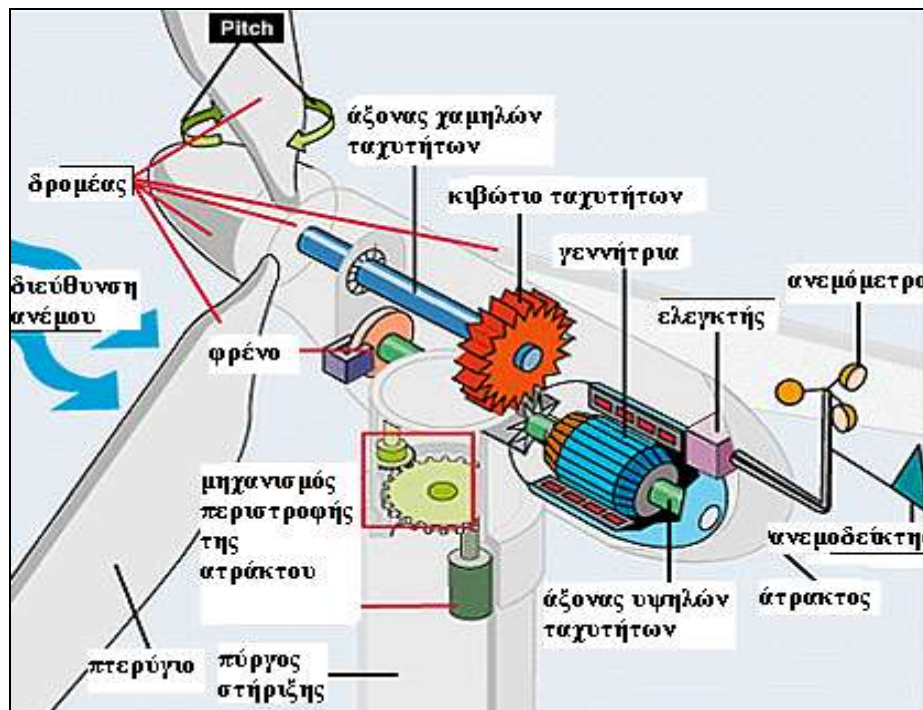
ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας,

4. το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου,

5. τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα,

6. τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.

Στο διάγραμμα 18 περιγράφονται αναλυτικά τα προαναφερόμενα κύρια μέρη της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 18: Δομή ανεμογεννήτριας.



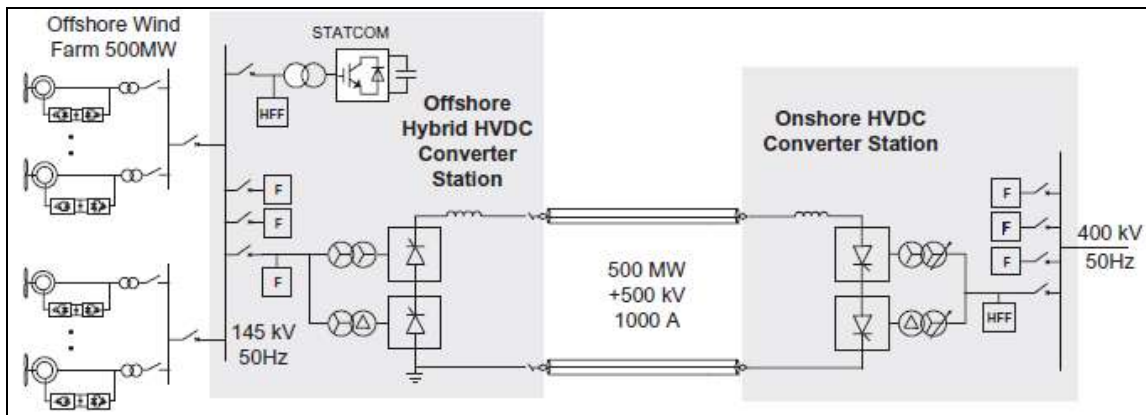
3.2.2 Σύνδεση στο δίκτυο

Τα αιολικά πάρκα μπορούν να λειτουργούν είτε ως αυτόνομα (Μη διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο- ΜΔΣ) παρέχοντας την ισχύ τους σε ένα ή περισσότερους τοπικούς καταναλωτές ή συνήθως να παρέχουν την παραγόμενη ισχύ στο δίκτυο της επικράτειας. Στην τελευταία περίπτωση απαιτείται η κατασκευή ενός Υποσταθμού μεταφοράς και διασύνδεσης (Εικόνα 19)



Εικόνα 19: Τυπικός υποσταθμός υψηλής τάσης 50.000 KVA, 150/21 kV.

Η διασύνδεση στο δίκτυο μπορεί να γίνει είτε με συνεχές (DC) είτε απευθείας με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν τα υπεράκτια πάρκα όπου απαιτείται πρώτα η μεταφορά στην ακτή. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιλέγονται συστήματα Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος για τη μεταφορά.



Εικόνα 20: Σύστημα μεταφοράς Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος

3.3 Συνήθη προβλήματα από τη λειτουργία αιολικών πάρκων

Εκτός από την επιλογή της τοποθεσίας και του εξοπλισμού, πριν την επένδυση στην κατασκευή ενός αιολικού πάρκου πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλα προβλήματα που πιθανόν να δημιουργηθούν με τη λειτουργία του.

3.3.1 Δημιουργία θορύβου

Το πρόβλημα θορύβου που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες είναι το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα, αλλά συγχρόνως και το ευκολότερο να ελεγχθεί και να προληφθεί. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση του: δηλαδή μηχανικός και αεροδυναμικός.

- Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κ.λπ.).
- Ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλαμα στήριξης. Αντίστοιχα ο αεροδυναμικός



θόρυβος αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωση του.

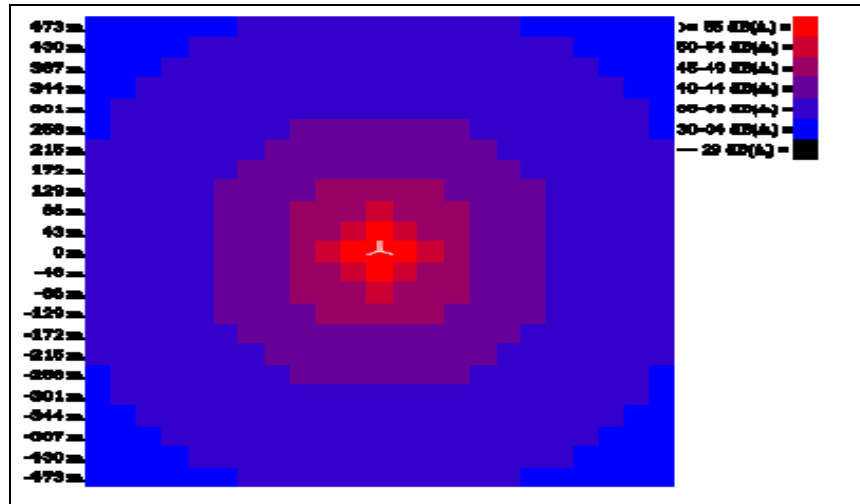
Το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 μέτρων, είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.

Τα τελευταία χρόνια τα διάφορα εξαρτήματα των ανεμογεννητριών σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παράγουν όσο το δυνατόν λιγότερο θόρυβο. Ο θόρυβος ως γνωστόν ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση. Έτσι σε απόσταση μερικών διαμέτρων του στροφέα της ανεμογεννήτριας, ο θόρυβος πλέον καλύπτεται από τους υπόλοιπους ήχους του περιβάλλοντος. Για να αντιληφθούμε πόσο ασήμαντο είναι το πρόβλημα του θορύβου των ανεμογεννητριών αρκεί να εξετάσουμε το Σχήμα 21 όπου κάθε τετράγωνο αντιπροσωπεύει περιοχή 43 m X 43 m (διάμετρος στροφέα μιας τυπικής ανεμογεννήτριας 600 kW). Κάθε φορά που διπλασιάζεται η απόσταση από μια ανεμογεννήτρια, μειώνεται ο θόρυβος κατά 6 db δηλαδή ακούγεται 2 φορές πιο σιγά.

Η ύπαρξη πολλών ανεμογεννητριών θα οδηγούσε σε πολύ μικρή αύξηση του θορύβου (2 ίδιες ανεμογεννήτριες παράγουν 3 db περισσότερο θόρυβο, 4 ίδιες ανεμογεννήτριες 6 db, 10 ίδιες ανεμογεννήτριες 10 db περισσότερο θόρυβο). Γενικά ο πιο εύκολος υπολογισμός του θορύβου ανεμογεννήτριας γίνεται με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή της ανεμογεννήτριας, την απόσταση και το είδος του περιβάλλοντος της ανεμογεννήτριας παρά με την πειραματική μέτρηση του θορύβου. Αυτό ισχύει διότι για να μετρηθεί σωστά ο θόρυβος της ανεμογεννήτριας πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 db δυνατότερος από τους υπόλοιπους ήχους του περιβάλλοντος. Συνήθως σε



αποστάσεις 300 m ο θόρυβος μιας υψηλής ποιότητας ανεμογεννήτριας είναι μικρότερος από 45 db (όσο ένα ψιθύρισμα).



Εικόνα 21: Μεταβολή θορύβου ανεμογεννήτριας σε σχέση με την απόσταση (Πηγή: www.windpower.dk)

Στο πλαίσιο της Συνδιάσκεψης για την Πρόληψη του Θορύβου στις 7 - 9 Μαΐου 1980, στο Παρίσι, διαπιστώθηκε ότι το επίπεδο θορύβου στο εσωτερικό των σπιτιών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 - 45 dB(A), και αυτό κατά τη διάρκεια της ημέρας (για τη νύχτα το επίπεδο αυτό καθορίστηκε στα 35 dB(A)). Για να περιοριστεί ο θόρυβος σε αυτά τα επίπεδα στο εσωτερικό των σπιτιών, θεωρήθηκε ότι το ανώτατο επιτρεπτό όριο θορύβου πλησίον της ζώνης κατοικίας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 60 - 65 dB(A) κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα 50 - 55 dB(A) κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Σύμφωνα με τις βρετανικές ισχύουσες προδιαγραφές (United Kingdom Land Compensation Act του 1973), καθορίστηκε ότι το επίπεδο θορύβου L10 για κυκλοφορία 18 ωρών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 68 dB(A), που αντιστοιχεί σε $Leq=65$ dB(A). Τα αντίστοιχα όρια, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία είναι L10 (18ώρου)=70dB(A) και $Leq=67$ dB(A). Η υφιστάμενη ελληνική νομοθεσία με το ΠΔ 1180/81, παρά το γεγονός ότι δεν αφορά ειδικά στο θέμα της προστασίας του ακουστικού περιβάλλοντος από ανεμογεννήτριες, ορίζει τη μέγιστη επιβάρυνση από τις σταθερές μηχανολογικές εγκαταστάσεις πάσης φύσεως, για τις περιοχές κατοικίας, σε 50 dB(A), ανεξαρτήτως ώρας και ημέρας.



Από τεχνολογικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί από εκπαιδευτικά ιδρύματα και οργανισμούς (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Υπουργείο Ενέργειας της Δανίας κ.λ.π.) προκύπτει ότι η στάθμη θορύβου μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας μέσου μεγέθους δεν ξεπερνάει τα 45,3 dB σε ακτίνα 150 μέτρων.

Μετρήσεις που έγιναν, στο πλαίσιο της διερεύνησης του προκαλούμενου θορύβου από τις εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων, στο αιολικό πάρκο που έχει εγκαταστήσει η Δ.Ε.Η. στην περιοχή Αγ. Τριάδα της Σάμου, κατέληξαν στο ότι σε απόσταση 50 μέτρων από το αιολικό πάρκο η στάθμη του θορύβου ήταν 48,9 dB(A), ενώ σε απόσταση 300 μέτρων ήταν 45 dB(A). Η ανακοίνωση των αποτελεσμάτων της έρευνας αυτής έγινε στο πλαίσιο του 5ου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας που πραγματοποιήθηκε το 1997, στη Λέσβο, υπό την αιγίδα του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

3.3.2 Οπτική όχληση

Η οπτική όχληση είναι κάτι υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Από έρευνες σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι κάποιος που είναι ευνοϊκά διατεθειμένος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται τις ανεμογεννήτριες και οπτικά πολύ πιο εύκολα από κάποιον που είναι αρνητικός εξ αρχής. Από τις ίδιες μελέτες, προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα είναι πιο αποδεκτά από αισθητικής άποψης σε ανθρώπους που είναι ενημερωμένοι για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση τους. Αν κάνουμε μια απλή σύγκριση μεταξύ ενός θερμικού σταθμού παραγωγής (π.χ. λιγνιτικού), και ενός αιολικού πάρκου είναι φανερό ότι η οπτική όχληση που προκύπτει από το πρώτο είναι εμφανώς και αντικειμενικά πολύ μεγαλύτερη. Δεδομένου βεβαίως ότι οι ανεμογεννήτριες είναι κατ' ανάγκη ορατές από απόσταση, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε τόπου εγκατάστασης και να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσής τους στο τοπίο.

Έρευνες που διεξήχθησαν στην Αγγλία σε περιοχή πριν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών έδειξαν ότι το 17% των ερωτηθέντων κρίνει θετικά την ύπαρξη των ανεμογεννητριών, 32% αρνητικά και 51% δεν ήταν σίγουροι. Μετά την εγκατάσταση



των ανεμογεννητριών στην ίδια περιοχή, το 85% έκριναν θετικά την ιδέα των ΑΠΕ, το 11% δεν ήταν σίγουροι και μόνο το 4% διαφωνούσαν με την εγκατάσταση. Ακόμα είναι προφανές ότι η συντριπτική πλειοψηφία του πληθυσμού ανεξαρτήτως περιοχής προτιμά την παραγωγή ηλεκτρισμού με ΑΠΕ παρά με συμβατικές μεθόδους. Τα θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια κατά γενική ομολογία προκαλούν κατά κανόνα μεγαλύτερες αντιδράσεις από τους κατοίκους (Boyle, 2012).

3.3.3 Επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα.

Πέρα της κατάληψης μιας έκτασης για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δεν υπάρχουν λοιπές επιπτώσεις στην πανίδα. Δεδομένου ότι περίπου το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις, μπορούμε να κατανοήσουμε ότι οι αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχίζονται και μετά την εγκατάσταση του. Οι συνήθεις θέσεις αιολικών πάρκων είναι σε ορεινές περιοχές με θαμνώδη βλάστηση ακριβώς λόγω των υψηλών ταχυτήτων του ανέμου που ευνοούν την εγκατάσταση του. Σε αυτές τις περιοχές, η χρήση γης είναι κυρίως για βοσκή αιγοπροβάτων οι οποία μπορεί να συνεχισθεί χωρίς κανένα πρόβλημα και μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου.

Τα πουλιά καθώς πετούν μερικές φορές συγκρούονται με κτίρια και άλλες σταθερές κατασκευές. Οι ανεμογεννήτριες όμως δεν προκαλούν ιδιαίτερο πρόβλημα όπως έχει φανεί από μελέτες που έχουν γίνει σε ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία, η Ολλανδία, η Δανία και η Αγγλία. Συγκεκριμένα, υπολογίσθηκε ότι στον συνολικό αριθμό πουλιών που σκοτώνονται ετησίως, μόνον 20 θάνατοι οφείλονται σε ανεμογεννήτριες (για εγκατεστημένη ισχύ 1000MW), ενώ αντίστοιχα 1.500 θάνατοι οφείλονται στους κυνηγούς και 2.000 σε πρόσκρουση με οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (καθότι είναι σχεδόν «αόρατες» για τα πουλιά).

Ο ρυθμός των αναφερόμενων θανάτων πουλιών λόγω πρόσκρουσης στα πτερύγια των ανεμογεννητριών ή άλλα δομικά στοιχεία των αιολικών πάρκων, ποικίλει ευρύτατα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, μεταξύ 0,01 και 23 πουλιά ανά ανεμογεννήτρια ανά έτος (Drewitt και Langston, 2006). Η Εθνική Επιτροπή Αιολικού



Συντονισμού (National Wind Coordination Committee ή NWCC) των ΗΠΑ το 2001 είχε καταλήξει σε έναν αριθμό θανάτων, κατά μέσο όρο 2,19 ανά ανεμογεννήτρια ανά έτος για όλα τα είδη πουλιών μαζί για τις ΗΠΑ και 0,033 για τα αρπακτικά (Erickson κ.ά., 2001). Ενδεικτικά, στη Βόρεια Καλιφόρνια, σε μια περιοχή δηλαδή με μεγάλο αριθμό ανεμογεννητριών (πάνω από 5000), σκοτώνονται κάθε χρόνο περίπου 1000 αρπακτικά (GAO 2005).

Η πλειονότητα των μελετών σημειώνουν έναν χαμηλό αριθμό θανάτων ανά ανεμογεννήτρια ανά έτος, αλλά σε πολλές περιπτώσεις οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται σε πτώματα ζώων που συλλέγονται (Langston και Pullan, 2004) με τη βέβαιη υποεκτίμηση που αυτό συνεπάγεται. Ωστόσο, ακόμη και χαμηλοί ρυθμοί θανάτωσης ή μικρή αύξηση του ρυθμού θανάτωσης, μπορούν να αποβούν σημαντικοί για τους πληθυσμούς κάποιων ειδών, ειδικά των μεγαλόσωμων, μακρόβιων ειδών που γενικά αργούν να φτάσουν σε αναπαραγωγική ωριμότητα και έχουν χαμηλό ετήσιο αναπαραγωγικό δυναμικό (Langston 2002).

Μεγάλο είναι το ερευνητικό ενδιαφέρον και η ανησυχία για τις επιπτώσεις που έχουν τα αιολικά πάρκα στα αρπακτικά πουλιά, καθώς αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα προσκρούσεων σε σχέση με άλλα είδη της ορνιθοπανίδας (Sturner κ.ά. 2007) για λόγους που δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί. Μεταξύ των υψηλότερων καταγεγραμμένων επιπέδων θνησιμότητας αρπακτικών έχουν αναφερθεί για την περιοχή Altamont Pass στην Καλιφόρνια και στις περιοχές Tarifa και Navarra στην Ισπανία (Drewitt και Langston 2006; Langston και Pullan 2004). Οι περιπτώσεις αυτές παρουσιάζουν ενδιαφέρον γιατί αφορούν μεγαλόσωμα και σχετικά σπάνια είδη, δηλαδή το Όρνιο στην Ισπανία και τον Χρυσαιτό στην Καλιφόρνια. Στην Ισπανία, το διάστημα 2000-2007, καταγράφηκαν εκατοντάδες θάνατοι όρνιων μετά από πρόσκρουση με ανεμογεννήτριες. Υπολογίζεται ότι το 5% των ανεμογεννητριών ευθύνεται για το 60% των θανάτων των γυπών από ανεμογεννήτριες στην χώρα αυτή τα τελευταία χρόνια. Οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες θεωρούνται υπεύθυνες λόγω της γεωγραφικής τους θέσης. Στην Ναβάρρα σε 13 αιολικά πάρκα σκοτώθηκαν σε τρία χρόνια (2000-2002) 227 όρνια από 360 συνολικά θανάτους όπου περιλαμβάνονταν πολλά σημαντικά είδη



αρπακτικών (Lekuona και Ursua, 2007). Σε έρευνα του 2004 στην Θράκη, σε περιοχή στα όρια της επικράτειας των όρνιων και γειτονική του Εθνικού Πάρκου της Δαδιάς όπου αυτά φωλιάζουν, δεν διαπιστώθηκαν θάνατοι όρνιων αλλά αυξημένο ρίσκο πρόσκρουσης στο 32% των πτήσεων (Ruiz κ.ά., 2005).

Ειδικά το θέμα της θανάτωσης των αρπακτικών γενικά, και του Χρυσαιτού ιδιαίτερα, έγινε αντιληπτό στην Καλιφόρνια, και συγκεκριμένα στο τεράστιο αιολικό πάρκο Altamont Pass Wind Resource Area ή APWRA, από τις αρχές λειτουργίας του στη δεκαετία του '80. Χρειάστηκε να καταμετρηθούν συστηματικά οι θάνατοι επί τρία και πλέον χρόνια, από το 1985 ως τις αρχές του 1988, για να διαπιστωθεί ότι ο αριθμός τους ήταν σημαντικός (34 ήταν μόνο οι Χρυσαιτοί που θανατώθηκαν στο APWRA), μεγαλύτερος από τον αναμενόμενο με δεδομένη τη σχετική αφθονία του στην περιοχή. Διαπιστώθηκε επομένως ότι άξιζε εκτενέστερη έρευνα και επένδυση χρόνου και χρήματος στην εκτίμηση του προβλήματος και στην αναζήτηση μέτρων αντιμετώπισης (Thelander και Swan, 2007). Ο Thelander στο προαναφερθέν άρθρο, στο οποίο ανακεφαλαιώνει το ιστορικό του θέματος στο APWRA, καταλήγει ότι παρά την επί δεκαετίες αναγνώριση του προβλήματος και την έρευνα πάνω στο θέμα της θανάτωσης των πουλιών, δεν εφαρμόζονται ούτε σήμερα, συστηματικά μέτρα μείωσης του αριθμού των θανάτων.



Εικόνα 22: Ανεμογεννήτριες και πτηνά

Η WWF Ελλάδα, στο πλαίσιο προγράμματος Life, έχει εκπονήσει μια μελέτη σχετικά με την παρακολούθηση των επιπτώσεων λειτουργίας των αιολικών πάρκων στα πουλιά. Η μελέτη αφορούσε στην παρακολούθηση δύο γειτονικών αιολικών πάρκων (73 Α/Γ συνολικά) το 2004 και 5 γειτονικών αιολικών πάρκων το 2005 (117 ανεμογεννήτριες συνολικά, συμπεριλαμβανομένων και των 2 αιολικών πάρκων που μελετήθηκαν το 2005). Τα αιολικά πάρκα χωροθετούνται στην ορεινή περιοχή μεταξύ των Νομαρχιών Έβρου και Ροδόπης, κοντά στο Εθνικό Πάρκο της Δαδιάς, όπου βρίσκεται η τελευταία αποικία του Μαυρόγυπα (*Aegypius monachus*) στα Βαλκάνια. Στα δύο χρόνια παρακολούθησης, πολύ λίγες περιπτώσεις πρόσκρουσης παρατηρήθηκαν και καμία πρόσκρουση δεν παρατηρήθηκε σε αρπακτικά πουλιά, γεγονός που υποδηλώνει ότι η θνησιμότητα πουλιών από αιολικά πάρκα είναι μικρή. Τα φαινόμενα θνησιμότητας, παρόλο που ήταν αραιά, ήταν συγκεντρωμένα σε μία μικρή περίοδο, στην αρχή της περιόδου αποδημησης.

Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί μεταναστευτικό διάδρομο για τα αποδημητικά πουλιά, αλλά χρειάζονται περισσότερα δεδομένα για την αποκρυπτογράφηση των επιπτώσεων των αιολικών πάρκων στα αποδημητικά πουλιά σε



αυτήν την περίοδο. Πολύ λίγα από τα τοπικά αρπακτικά πουλιά πετούσαν στην επικίνδυνη περιοχή, και ένα μικρό ποσοστό αυτών των πτήσεων βρέθηκε κοντά στην περιοχή σάρωσης των ανεμογεννητριών. Σε αντίθεση, οι γύπες πετούσαν στην επικίνδυνη περιοχή σε ποσοστό πολύ μεγαλύτερο, και σχεδόν το 100% των πτήσεων αυτών βρέθηκε στην περιοχή σάρωσης των ανεμογεννητριών. Ορισμένοι γύπες άλλαξαν πτήση, ψάχνοντας για κατάλληλο σημείο προσπέλασης μεταξύ των ανεμογεννητριών. Τελικά δεν παρατηρήθηκε κανένας νεκρός γύπας από τις Α/Γ.

Το θέμα της προστασίας του πληθυσμού των πουλιών σε ευαίσθητες οικολογικά και προστατευόμενες περιοχές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη φάση σχεδιασμού και χωροθέτησης του αιολικού πάρκου. Ο εκτοπισμός και η θανάτωση σπάνιων πτηνών μπορεί να οδηγήσει δυνητικά σε σημαντική διατάραξη της περιβαλλοντικής ισορροπίας της περιοχής.

3.3.4 Ηλεκτρομαγνητική όχληση

Η ανησυχία αυτή συνήθως αναφέρεται αφενός σε προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου και αφετέρου σε πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες.

Είναι γεγονός ότι, η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανάκλασεων. Αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς. Οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα



παρεμβολών μπορούν να προληφθούν με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά κόστος από τον κατασκευαστή του πάρκου με μια σειρά απλών τεχνικών μέτρων, όπως π.χ. η εγκατάσταση επιπλέον αναμεταδοτών. Σε σχέση με την συμβατότητα και τις παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, αξίζει να αναφέρουμε, ότι σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες οι πύργοι των ανεμογεννητριών όχι μόνον δεν δημιουργούν εμπόδια, αλλά χρησιμοποιούνται ήδη για την εγκατάσταση κεραιών προς διευκόλυνση υπηρεσιών επικοινωνιών, όπως η κινητή τηλεφωνία!

Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, όπως φαίνεται και από την περιγραφή των τμημάτων της ανεμογεννήτριας, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι «εκπέμπουν» ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου, είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφος της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40-50 μέτρα πάνω από το έδαφος. Για το λόγο αυτό δεν υφίσταται πραγματικό θέμα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ούτε καν στη βάση της ανεμογεννήτριας. Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η περίφραξη είναι τοποθετημένη σε τέτοια απόσταση που το επίπεδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι αμελητέο. Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε με βεβαιότητα, ότι αυτά που ακούγονται για εκπομπή ραδιενέργειας η ακτινοβολιών άλλου τύπου από τις ανεμογεννήτριες δεν ευσταθούν.

3.3.5 Λοιπές Επιπτώσεις

Ανησυχίες έχουν εκφραστεί στο παρελθόν για λοιπές επιπτώσεις στο περιβάλλον που προκύπτουν κατά τη φάση κατασκευής και λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου (π.χ. εκχωματώσεις, λύματα και εκλύσεις αερίων) αλλά οι εκπεμπόμενες ποσότητες και η επίδραση στο περιβάλλον είναι παροδική και ελάχιστη σε σύγκριση με λοιπές κατασκευές.



4. Υδροηλεκτρικά Συστήματα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρησιμοποίηση αιολικής ενέργειας εξαρτάται καθοριστικά από την απρόσκοπτη ροή ανέμου στις ανεμογεννήτριες το οποίο ως φυσικό μέγεθος δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί. Γι' αυτό το λόγο συνήθως προτιμάται ο συνδυασμός αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Η Υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια από τις πρώτες εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Βασίζεται στο φυσικό φαινόμενο μεταβολής της δυναμικής ενέργειας του νερού κατά την αλλαγή υψομέτρου. Η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω ενός συστήματος υδροστροβίλων, καθώς κατέρχεται σε χαμηλότερο υψόμετρο.

Ο πρώτος παγκοσμίως υδροηλεκτρικός σταθμός κατασκευάστηκε το 1882 στο Appleton του Wisconsin η παραγωγή του οποίου (12,5KW) χρησιμοποιήθηκε στην τροφοδότηση δύο χαρτοβιομηχανιών και ενός σπιτιού. Έκτοτε η ανάπτυξη υδροηλεκτρικής ενέργειας διαδόθηκε γρήγορα, εν τούτοις ακόμη και μέχρι το 1910 οι περισσότερες μονάδες παρήγαγαν μόνο εκατοντάδες ως μερικές χιλιάδες KW. Σταδιακά, η αύξηση των ενεργειακών αναγκών, που συμβάδιζε με τις τεχνολογικές προόδους και τα διαθέσιμα μέσα, επέτρεψε την κατασκευή όλο και μεγαλύτερων έργων μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική.

Στην Ευρώπη τουλάχιστον οι δυο-τρεις δεκαετίες μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως η χρυσή περίοδος των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων επειδή η έντονη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού έγινε με μονάδες μεγάλης ισχύος μερικών εκατοντάδων MW η κάθε μία.

Κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα η εφαρμογή νερόμυλων επεκτάθηκε επιπλέον στη βιομηχανία, οδηγώντας ένα ευρύ φάσμα μηχανών για διάφορες χρήσεις, οι οποίες εντοπίζονταν κυρίως στη βιομηχανία της υφαντουργίας. Έναν αιώνα αργότερα, υπήρχαν πάνω από 20,000 νερόμυλοι σε λειτουργία στην Αγγλία και μόνο. Η εμφάνιση του

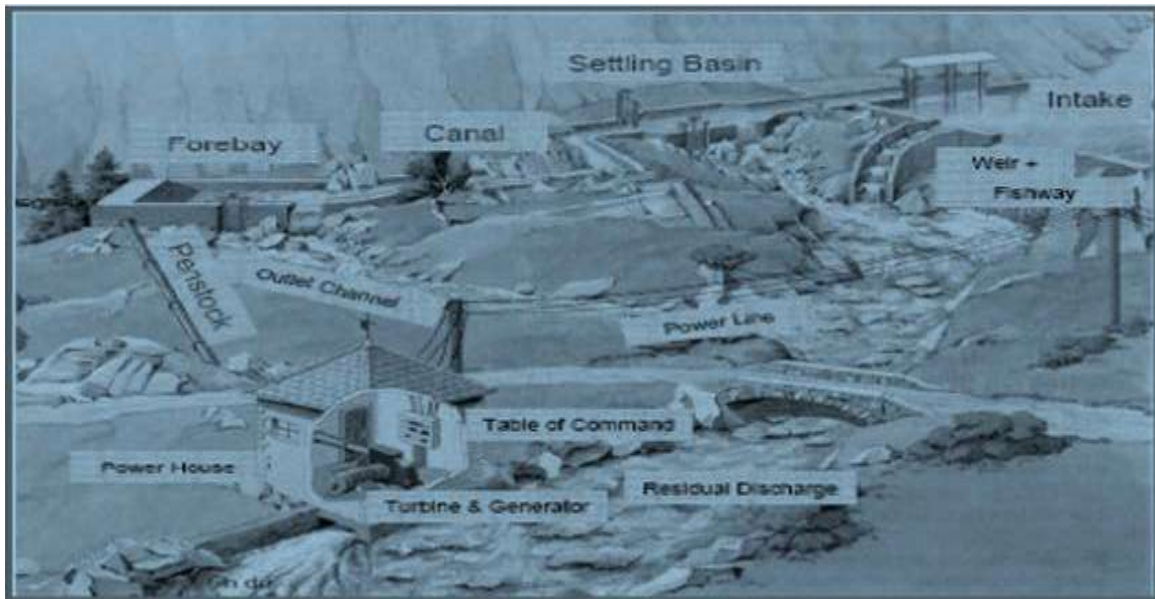


ατμού, φαινομενικά προσέφερε τη δυνατότητα παραγωγής ανεξάντλητης ποσότητας ενέργειας σε σχεδόν οποιαδήποτε τοποθεσία και σύντομα κυριάρχησε στο προσκήνιο. Στον ανεπτυγμένο κόσμο σήμερα, παρόλο που οι νερόμυλοι ουσιαστικά δε χρησιμοποιούνται πλέον, παραμένει ένα πλούσιο κληροδότημα και μηχανολογικό έργο στις περιοχές με ανεμόμυλους. Έχουμε την ευκαιρία να χρησιμοποιούμε τις εξελίξεις των μηχανών αυτών και μάλιστα, την πιο αποδοτική γεννήτρια υδατόπτωσης για παραγωγή ηλεκτρισμού που αποτελεί την πιο εύστροφη μορφή ενέργειας του κόσμου.

Σε σύγκριση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, τα παλαιάς τεχνολογίας μικρά υδροηλεκτρικά έργα που ήδη υπήρχαν αποδείχτηκαν αντικοινομικά και σταδιακά εγκαταλείφθηκαν. Κατά τις τελευταίες πέντε δεκαετίες παρατηρείται ιδιαίτερη πρόοδος στο σχεδιασμό υδραυλικών και μηχανικών διατάξεων και στην επιστήμη και τεχνολογία πολλαπλών μηχανικών αρχών στενά συσχετισμένων με τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η συγκεκριμένη πρόοδος οδήγησε σε βελτιωμένες και οικονομικότερες λύσεις και σε εντελώς νέες τεχνολογικές μεθόδους. αιώνα συνοδεύεται από την μείωση του ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη υδροηλεκτρικών σταθμών στο πλαίσιο του ανταγωνισμού από την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας. Από την δεκαετία του 1980 περίπου, παρατηρείται διεθνώς ένα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που εκδηλώνεται είτε με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων είτε με την επανασχεδίαση και επανεξοπλισμό των μικρών υδροηλεκτρικών που είχαν απομείνει ή εγκαταλειφθεί (Παπαντώνης, 2001).

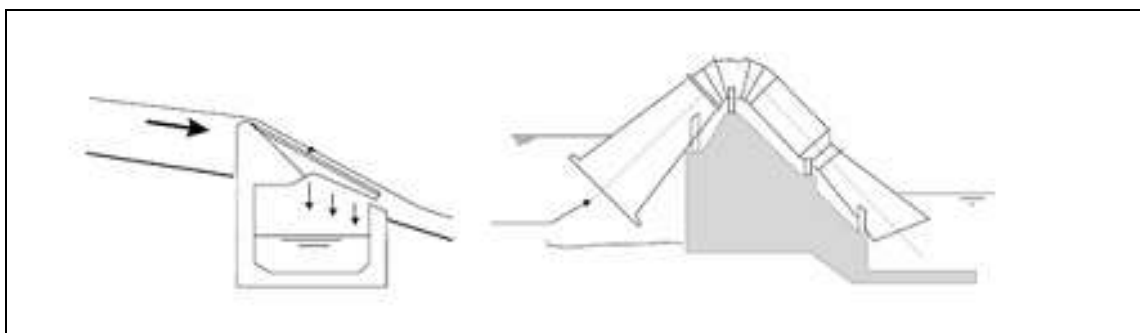
4.1 Τυπική Διάταξη ενός Υδροηλεκτρικού Συστήματος

Η εγκατάσταση ενός Υδροηλεκτρικού συστήματος αξιοποιεί τη φυσική πτώση των επιφανειακών υδάτων, μέσω ενός υπό πίεση υδραυλικού συστήματος που διοχετεύει το νερό στο στρόβιλο. Στην εικόνα 22 απεικονίζεται σκαριφηματικά η τυπική γενική διάταξη ενός Υδροηλεκτρικού συστήματος. Τα βασικά επιμέρους τεχνικά έργα, που παρουσιάζονται στη συνέχεια είναι η υδροληψία (intake), το σύστημα προσαγωγής και ο σταθμός παραγωγής (power house).



Εικόνα 22: Τυπική Διάταξη ενός Υδροηλεκτρικού έργου

Το πρώτο εν σειρά, από ανάντη, έργο είναι το τεχνικό υδροληψίας με το οποίο αποσπάται η ενεργειακά εκμεταλλεύσιμη παροχή από το φυσικό υδατόρευμα ή, γενικότερα από την πηγή ύδατος. Οι κύριοι τύποι υδροληψίας είναι η ορεινή (tyrolean intake), η πλευρική (side intake) και η υδροληψία τύπου σίφωνα (siphon intake). Οι δύο πρώτοι τύποι εφαρμόζονται συνήθως όταν το νερό προέρχεται από φυσικό υδατόρευμα, ενώ ο τρίτος εφαρμόζεται σε περιπτώσεις αξιοποίησης νερού από υφιστάμενο ταμιευτήρα ή κανάλι. Στην εικόνα 23 παρουσιάζονται μία τυπική τομή υδροληψίας ορεινού τύπου και τύπου σίφωνα.



Εικόνα 23: Τυπική τομή υδροληψίας ορεινού τύπου (αριστερά) και τύπου σίφωνα (δεξιά)



Η υδροληψία είναι σχεδιασμένη ώστε ένα μέρος της παροχής (οικολογική παροχή) να αποδίδεται απευθείας στο φυσικό υδατόρευμα, προκειμένου να διατηρούνται ικανές συνθήκες επιβίωσης για το παρόχθιο οικοσύστημα. Όπου απαιτείται κατασκευάζεται ειδικό τεχνικό για τη διευκόλυνση της μετακίνησης των ψαριών κατά μήκος της κοίτης (ιχθυόσκαλα, fish ladder). Στις πλευρικές υδροληψίες προβλέπεται η ενσωμάτωση θυροφραγμάτων στον αναβαθμό για την εκκένωση των φερτών, ώστε σε κάθε περίπτωση να μη παρεμποδίζεται η στερεομεταφορά κατά μήκος της κοίτης.

Αφού αποσπαστεί από την κοίτη το νερό διοχετεύεται με ελεύθερη ροή στη δεξαμενή καθίζησης ή εξαμμωτή (desilter), με εξαίρεση τις υδροληψίες τύπου σίφωνα, όπου δεν απαιτείται τεχνικό εξάμμωσης. Η δεξαμενή καθίζησης έχει κατάλληλες διαστάσεις ώστε να εξασφαλίζεται η κατακράτηση της ελάχιστης διάστασης κόκκου φερτών, η οποία καθορίζεται από τις προδιαγραφές του στρόβιλου.

Το βασικό τεχνικό έργο του συστήματος προσαγωγής είναι ο αγωγός, μέσω του οποίου μεταφέρεται η παροχή στο στρόβιλο. Το υλικό κατασκευής και οι διαστάσεις του αγωγού επιλέγονται με τεχνοοικονομικά κριτήρια, επιδιώκεται δηλαδή η βέλτιστη οικονομικά λύση που πληροί συγκεκριμένα τεχνικά κριτήρια σχεδιασμού. Η όδευση του αγωγού εξαρτάται από τη θέση της δεξαμενής φόρτισης και του σταθμού παραγωγής, την υφιστάμενη τοπογραφία και τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Το μήκος του μπορεί να είναι από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα.

Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο χάλυβας, συνθετικά υλικά (PVC, GRP1), οπλισμένο ή άοπλο σκυρόδεμα (σήραγγες) και, σπανιότερα, ξύλο. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού σχετίζεται με τις επιτόπου συνθήκες εγκατάστασης, τις αναμενόμενες καταπονήσεις και τα διατιθέμενα μέσα και κατασκευαστικές δυνατότητες. Βασικά κριτήρια για την επιλογή διαμέτρου είναι ο περιορισμός των υδραυλικών απωλειών και του κόστους, καθώς και η διατήρηση της ταχύτητας σε συγκεκριμένα επίπεδα (1~5 m/s). Προκειμένου να μειωθεί το κόστος μεταφοράς συχνά επιλέγονται δύο ή τρεις διαφορετικές κατηγορίες διαμέτρου και οι μικρότεροι σωλήνες τοποθετούνται μέσα στους μεγαλύτερους κατά τη μεταφορά (nesting).



Η εγκατάσταση του αγωγού μπορεί να είναι υπόγεια ή επιφανειακή, με πιο συνηθισμένη την πρώτη. Ο αγωγός τοποθετείται συνήθως σε σκάμμα και επιχωματώνεται, τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους, όσο και για προστασία από φυσική ή ανθρωπογενή φθορά. Παράλληλα στον αγωγό προσαγωγής τοποθετούνται και οι απαραίτητες καλωδιώσεις για τον τηλεέλεγχο των θυροφραγμάτων της υδροληψίας από το σταθμό παραγωγής.

Απαραίτητα συνοδευτικά τεχνικά έργα του αγωγού είναι οι εξαεριστικές βαλβίδες και οι βαλβίδες εκκένωσης φερτών, στα ψηλά και χαμηλά σημεία της χάραξης αντίστοιχα και το σύστημα αντιπληγματικής προστασίας, εφόσον είναι απαραίτητο. Σε συνθήκες απότομης εκκίνησης ή παύσης της λειτουργίας (απόρριψη φορτίου) μπορεί να αναπτυχθούν στον αγωγό υποπίεσεις ή υπερπίεσεις πολλαπλάσιες της στατικής, λόγω μεταβατικών δυναμικών φαινομένων που συνοψίζονται στον όρο υδραυλικό πλήγμα. Η ένταση του πλήγματος, που μπορεί να είναι καταστρεπτικό, εξαρτάται από τον τύπο στροβίλου, το μήκος, τη διατομή και το υλικό του αγωγού και τις συνθήκες εκκίνησης και παύσης. Οι συνήθεις κατασκευές περιορισμού του πλήγματος είναι οι βαλβίδες ανακούφισης, οι δεξαμενές και οι πύργοι ανάπλασης.



Εικόνα 24: Τυπική διάταξη βαλβίδων ανακούφισης



Οι μεγάλες πιέσεις που αναπτύσσονται στον αγωγό, συμπεριλαμβανομένων των υπερπίεσεων λόγω πλήγματος, έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη σημαντικών ωστικών δυνάμεων (thrust forces) στις θέσεις όπου υπάρχουν γωνίες ή αλλαγές διαμέτρου. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του αγωγού και, εφόσον είναι αυτοφερόμενος, να περιοριστούν οι τάσεις στα τοιχώματα, κατασκευάζονται σώματα αγκύρωσης (thrust blocks) από σκυρόδεμα με τα οποία μεταφέρονται οι ωθήσεις στο έδαφος. Οι διαστάσεις των σωμάτων αγκύρωσης εξαρτώνται από την εσωτερική πίεση σχεδιασμού, τη διάμετρο του αγωγού και τις υφιστάμενες εδαφικές συνθήκες (Κατερινόπουλος, 2007).

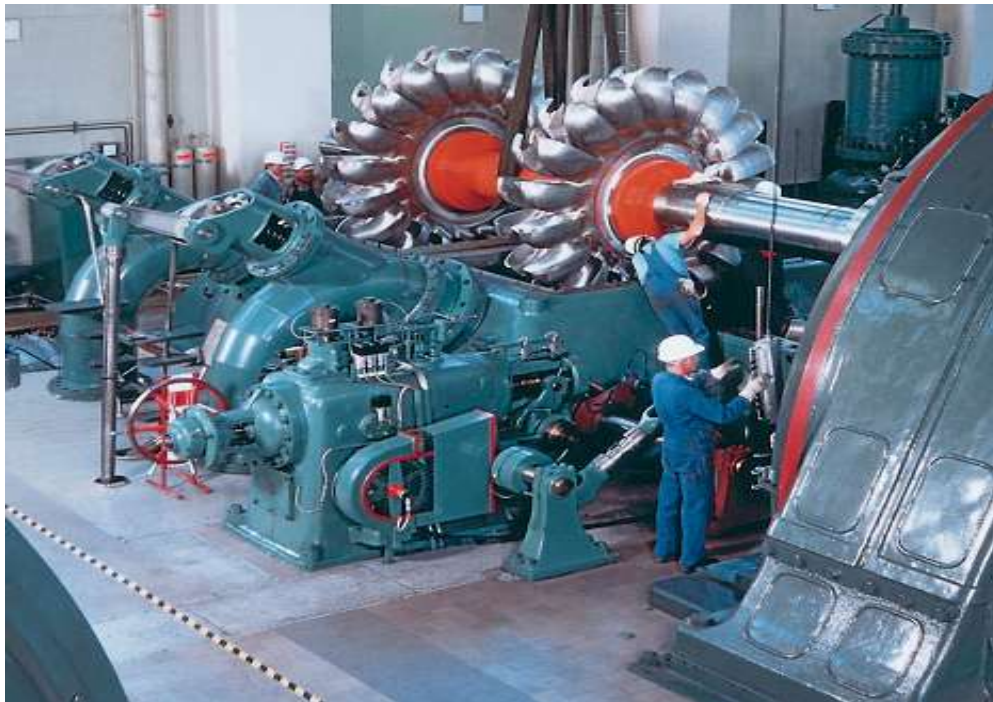
Ο σταθμός παραγωγής είναι ο χώρος όπου τερματίζει το σύστημα προσαγωγής και εγκαθίσταται ο ηλεκτρομηχανολογικός (Η/Μ) εξοπλισμός, δηλαδή οι στρόβιλοι, οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές και ο εξοπλισμός παρακολούθησης και ελέγχου του έργου. Ο τύπος και το πλήθος των στροβίλων επιλέγεται ανάλογα με τα μεγέθη σχεδιασμού (παροχή, ύψος πτώσης) και το βέλτιστο σενάριο λειτουργίας του σταθμού. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι στροβίλων είναι οι Francis, Kaplan, Pelton και Turgo. Από αυτούς οι δύο πρώτοι χρησιμοποιούνται κυρίως για μικρά και μεσαία ύψη πτώσης και μεγάλες παροχές, ενώ οι δύο τελευταίοι για μεγάλα ύψη πτώσης και έχουν μεγάλο εύρος παροχών λειτουργίας.

Μετά την έξοδο από το στρόβιλο το νερό αποδίδεται στη φυσική ροή του υδατορεύματος μέσω της διώρυγας φυγής (outlet channel). Η διώρυγα φυγής είναι σχεδιασμένη ώστε να διατηρούνται ομαλές συνθήκες ελεύθερης ροής και να αποφεύγεται το φαινόμενο της σπηλαιώσης, όταν πρόκειται για στροβίλους αντίδρασης (Kaplan, Francis).

Ο Υδροστρόβιλος Pelton χρησιμοποιείται για μεγάλες υψομετρικές διαφορές από 184 έως 1840 μέτρα. Αποτελείται από έναν υδραυλικό τροχό με σκαφίδια στα οποία προσπίπτει με μεγάλη ταχύτητα το νερό μέσα από ακροφύσια ρυθμιζόμενης ροής. Είναι δηλαδή υδροστρόβιλος δράσης στον οποίο το νερό φθάνει αποκλειστικά με κινητική ενέργεια μέσω των αγωγών πίεσης. Συγκεκριμένα έχει τις εξής δυνατότητες:



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



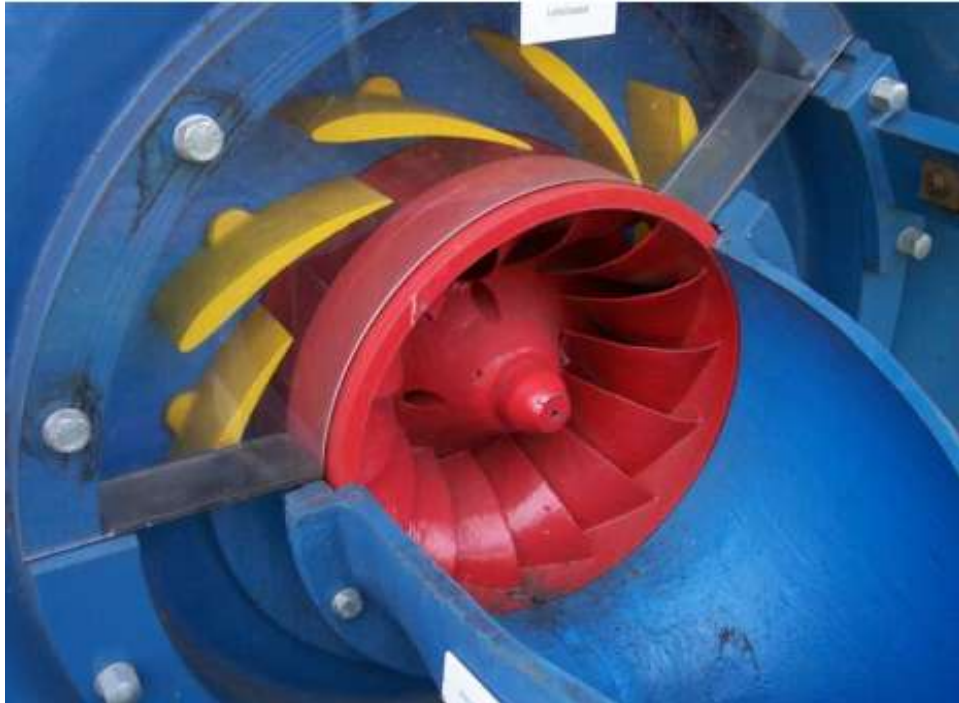
Εικόνα 25: Υδροστρόβιλος Pelton

Ο Francis στροβίλου χρησιμοποιείται για μέσες υψομετρικές διαφορές από 37 έως 490 μέτρα. Είναι υδροστρόβιλος αντίδρασης, καθώς το νερό έχει μικρή ταχύτητα και υψηλή πίεση και κατά την ροή του μέσα από τον στρόβιλο μειώνεται η πίεση και αυξάνεται η ταχύτητα. Η αντίδραση που προκαλείται από την μεταβολή της ταχύτητας περιστρέφει τον στρόβιλο. Εξωτερικά της περιμέτρου του στροβίλου υπάρχει ένας αριθμός πτερυγίων που απλά οδηγούν το νερό στο κέντρο του. Αυτή η διάταξη πτερυγίων ονομάζεται καταμεριστής. Συγκεκριμένα έχει τις εξής δυνατότητες:

- Δυνατός σχεδιασμός, μικρός χώρος στροβίλου.



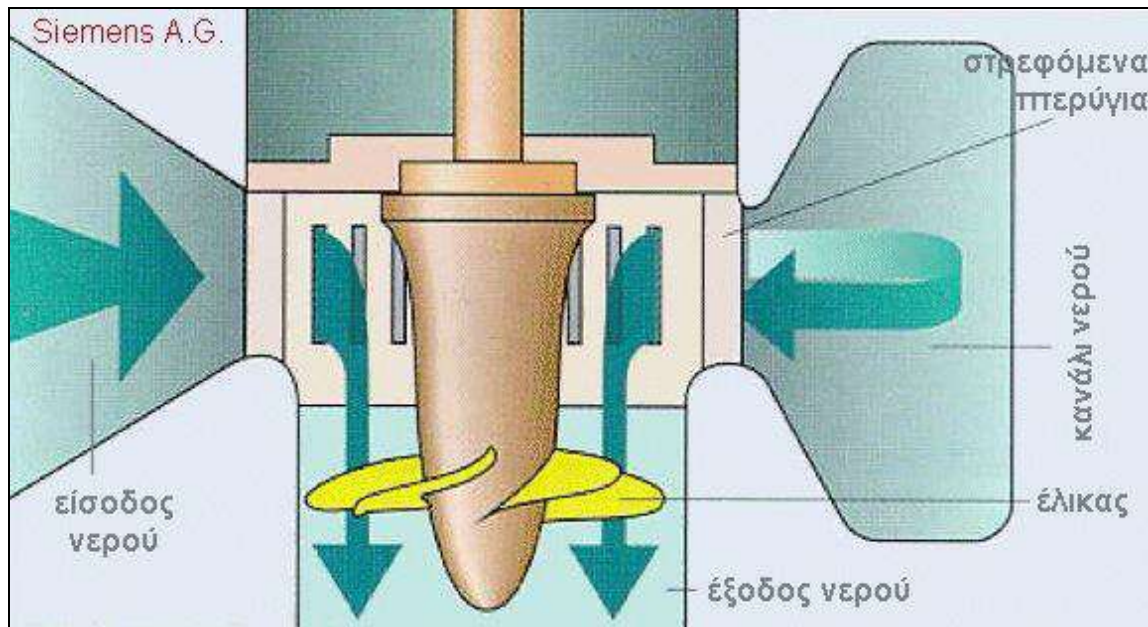
- Πολλές στροφές (ταχύτητα μηχανής) το λεπτό, κυρίως άμεση σύζευξη με το στρόβιλο.



Εικόνα 26: Υδροστρόβιλος Francis

Ο υδροστρόβιλος Kaplan είναι κατάλληλος για την εκμετάλλευση της φυσικής ροής ποταμών ή για μικρές δεξαμενές υψομετρικής διαφοράς το πολύ 61 μέτρων. Διαθέτει στροφέιο που χρησιμοποιεί αξονική ροή υδάτων καθώς και μεταβλητό βήμα πτερυγίων. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των μεταβαλλόμενων γωνιών στα πτερύγια επιτρέπει στον κινητήρα να λειτουργεί αποτελεσματικά με διαφορετικές υδροστατικές πιέσεις, που προκαλούν οι εποχιακές αλλαγές της στάθμης του νερού στα φράγματα. Συγκεκριμένα έχει τις εξής δυνατότητες:

- Κατάλληλη για υψηλές παροχές.
- Μικρή ευαισθησία κατά του πάγου, ζημιών και πλύσης - ξηράς σπασμένων βράχων.



Εικόνα 27: Υδροστρόβιλος Kaplan

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς που κατασκευάζονται σε περιοχές με ιδιαίτερη γεωγραφική διαμόρφωση ικανή να αξιοποιήσει τους πλησίον αυτής ευρισκόμενους υδάτινους πόρους. Η ενέργεια που παράγεται χρειάζεται να μεταφερθεί σε κόμβους του δικτύου διανομής που βρίσκονται είτε πλησίον αστικών κέντρων, είτε πλησίον βιομηχανικών περιοχών. Είναι προφανές ότι αυτοί οι κόμβοι είναι πιθανό να βρίσκονται δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει σαν συνέπεια οι γραμμές μεταφοράς να έχουν αντιστοίχου μεγέθους μήκη. Από το βασικό όμως νόμο της ηλεκτροτεχνίας που διέπει τα ηλεκτρικά δίκτυα, δηλαδή το νόμο του Ohm είναι γνωστό πως η απώλεια ενέργειας σε έναν αγωγό διαρρέομενο από ρεύμα είναι ανάλογη της αντίστασης του αγωγού, η οποία με τη σειρά της είναι ανάλογη του μήκους του αγωγού. Έτσι λοιπόν βλέπουμε πως η ηλεκτρική ενέργεια μεταφερόμενη από τους σταθμούς παραγωγής προς τους ευρισκόμενους σε απόσταση εκατοντάδων χιλιομέτρων κόμβους διανομής έχει πολύ μεγάλες απώλειες. Με δεδομένο το μήκος μιας γραμμής μεταφοράς η μείωση των απωλειών μπορεί να γίνει μόνο με την αύξηση της διατομής των αγωγών μεταφοράς.



Αυτό θα είχε σαν συνέπεια πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής των γραμμών μεταφοράς, αλλά και σημαντική δυσκολία στην εγκατάστασή τους καθώς το βάρος της κάθε γραμμής θα αυξανόταν πολύ. Οι μετασχηματιστές έδωσαν τη λύση στο πρόβλημα. Αυτοί επιτυγχάνουν να αφήσουν αμετάβλητη τη μεταφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ελαττώνουν την ένταση του ρεύματος και αυξάνουν την τάση του με συνέπεια οι θερμικές απώλειες πάνω στη γραμμή, οι οποίες είναι ανάλογες με το τετράγωνο της έντασης του ρεύματος να μειώνονται πάρα πολύ. Οι μετασχηματιστές ισχύος είναι μηχανήματα πολύ σημαντικά για τα ηλεκτρικά δίκτυα τόσο λόγω της μεγάλης ισχύος τους, όσο και λόγω των υψηλών τάσεων λειτουργίας τους.

Όταν το νερό είναι λίγο ή η ζήτηση φορτίου πολύ μικρή είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε την γεννήτρια του υδροστροβίλου ως κινητήρα και να αντλήσουμε νερό από την έξοδο του υδροστροβίλου και να το μεταφέρουμε στην επάνω δεξαμενή αποθήκευσης. Για να πραγματοποιηθεί όμως αυτό θα πρέπει να έχουμε προβλέψει την κατασκευή μιας δεύτερης δεξαμενής αποθήκευσης (ή αλλιώς ταμιευτήρα) στην έξοδο του υδροστροβίλου, απ' όπου και θα αντλήσουμε το νερό. Έτσι ο υδροστροβίλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αντλιοστροβίλος. Η αλλαγή μεταξύ των δύο αυτών καταστάσεων διαρκεί περίπου τέσσερα λεπτά και ο συνολικός βαθμός απόδοσης του υδροηλεκτρικού σταθμού φθάνει το 60- 70%, ενώ η σύγχρονη μηχανή που χρησιμοποιούν σαν γεννήτρια στην κανονική λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν αντισταθμιστής αέργου ισχύος για το δίκτυο στην κατάσταση άντλησης. Αυτού του τύπου οι σταθμοί ονομάζονται υδροαντλητικοί σταθμοί. Περισσότερα για αυτού του είδους σταθμούς θα δούμε στην συνέχεια.

4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικών σταθμών.

Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί παραγωγής ενέργειας παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα που έχουν καταστήσει τόσο διαδεδομένη τη χρήση τους. Σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή η παραγόμενη ενέργεια στη διάρκεια ζωής τους είναι πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία τους. Συγκεκριμένα ο



βαθμός ενεργειακής απόδοσης για τα Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια (ΥΗΕ) κυμαίνεται στο διάστημα 30-67, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για την αιολική ενέργεια, τη βιομάζα και τα φωτοβολταϊκά είναι 5-39, 3-27 και 1-4 αντίστοιχα (ESHA, 2005, σ. 6).

Παράλληλα, λόγω του ότι κατασκευάζονται σε απομονωμένες ορεινές περιοχές, οι οχλήσεις που προκαλούνται από τα ΥΗΕ είναι ελάχιστες. Ο αγωγός μεταφοράς είναι συνήθως υπόγειος, το κτίριο του σταθμού μπορεί να προσαρμοστεί στην τοπική αρχιτεκτονική φυσιογνωμία, η σύγχρονη τεχνολογία στροβίλων εξασφαλίζει μειωμένη ηχητική όχληση και δεν υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης νερού. Το αποτέλεσμα είναι όχι μόνο να μην αλλοιώνεται, αλλά συχνά να βελτιώνεται το εικαστικό περιβάλλον της περιοχής.

Η κατασκευή ενός ΥΗΕ επιβαρύνει ελάχιστα το εγγύς φυσικό οικοσύστημα, εφόσον γίνει σωστός περιβαλλοντικός σχεδιασμός. Υπάρχουν τεχνολογίες για τη διευκόλυνση μετακίνησης των ψαριών κατά μήκος των ποταμών, ενώ η πρόβλεψη ελάχιστης οικολογικής παροχής εξασφαλίζει την επιβίωση της παρόχθιας πανίδας και χλωρίδας, ενώ και η ποιότητα των υδάτων δεν υποβαθμίζεται καθόλου με τη διέλευση από το στρόβιλο και μπορεί να είναι κατάλληλα ακόμα και για πόση, μετά από την τυπική επεξεργασία. Αντίθετα, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας ενός ΥΗΕ μπορούν να αποδώσουν το νερό ακόμα πιο καθαρό στο φυσικό υδατόρευμα. στην περίπτωση που μεταφέρει μη χημικούς ρύπους.

Τα ΥΗΕ μπορούν εύκολα να συνδυαστούν με παράλληλες χρήσεις όπως ύδρευση και άρδευση, συντελώντας στη μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των υδατικών πόρων. Ενόψει των υποχρεώσεων της χώρας έναντι της Οδηγίας- Πλαίσιο 2000/60 για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού έως το 2009) και δεδομένης της ελλιπούς οργάνωσης δικτύου μετρήσεων στην πλειονότητα των λεκανών της χώρας, η ταχεία εξάπλωση των ΜΥΗΕ σε απομακρυσμένες και συχνά αναξιοποίητες λεκάνες, μπορεί να είναι μοναδική ευκαιρία για άντληση ποσοτικών υδρολογικών δεδομένων.



Παρά τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα, τα ΥΗΕ εμφανίζουν και ορισμένα μειονεκτήματα που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη από την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Όπως όλες οι τεχνολογίες ΑΠΕ, τα ΥΗΕ έχουν σημαντικά χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Αυτό σε όρους της ενεργειακής αγοράς σημαίνει ότι παράγουν ακριβή ενέργεια, εφόσον εξακολουθεί να υπάρχει επάρκεια ορυκτών καυσίμων. Σήμερα η προώθηση των ΜΥΗΕ εξαρτάται ουσιαστικά από τις κρατικές επιδοτήσεις και την υψηλή τιμή αγοράς της ανανεώσιμης ενέργειας από τη ΔΕΗ. Δεδομένου ότι η κρατική ενίσχυση μέσω των κοινοτικών κονδυλίων δεν είναι απεριόριστη, θα πρέπει να αναζητηθούν καινοτόμες τεχνολογικές λύσεις, ώστε να μειωθεί το κόστος της ενέργειας που παράγεται από ΥΗΕ.

Τα ΥΗΕ σε αντίθεση με τα μεγάλα δεν έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού σε ταμιευτήρα. Αυτό το χαρακτηριστικό, που αποτελεί πλεονέκτημα όσον αφορά το μέγεθος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, συνεπάγεται μηδενική ευελιξία στη διαχείριση της ενέργειας στο Σύστημα Μεταφοράς, αφού η παραγόμενη ενέργεια θα πρέπει να καταναλώνεται άμεσα. Για το λόγο αυτό η ενέργεια που παράγεται από ΜΥΗΕ δε χρησιμοποιείται σαν ενέργεια αιχμής, αλλά απορροφάται κατά προτεραιότητα από το Σύστημα. Εξάλλου τα ΥΗΕ εμφανίζουν τη μέγιστη παραγωγή κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ αντίθετα η αιχμή της ζήτησης σημειώνεται κατά τους θερινούς.

Η χωρική διασπορά των ΥΗΕ που είναι ευνοϊκή για την αποκέντρωση του Συστήματος Μεταφοράς, μεταφράζεται σε αντίστοιχη διασπορά της ανθρώπινης επέμβασης στο φυσικό περιβάλλον. Σε συνδυασμό με το μεγάλο πλήθος των έργων που διαχειρίζεται κυρίως ο ιδιωτικός τομέας και των εμπλεκόμενων υπηρεσιών που είναι αρμόδιες για την παρακολούθηση των έργων, ο έλεγχος τήρησης των περιβαλλοντικών όρων επέμβασης είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Η διαμόρφωση θεσμών και εργαλείων για την εφαρμογή της σχετικής νομοθεσίας είναι κρίσιμη παράμετρος, που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την προώθηση των ΜΥΗΕ με βέλτιστους τεχνικο-οικονομικούς όρους.



Οι δυσκολίες που παρουσιάζουν τα ΥΗΕ σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να θεωρηθεί ανασταλτικός παράγοντας για την προώθησή τους. Η εξασφάλιση της ενεργειακής επάρκειας και η προστασία του περιβάλλοντος επιβάλλουν την αξιοποίηση κάθε οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμης πηγής ενέργειας. Εξαρτάται από τις μεθόδους και τη φιλοσοφία που θα εφαρμοστούν αν η ένταξη των ΥΗΕ στο ενεργειακό σύστημα θα γίνει με ορθολογικό και αποδοτικό τρόπο.



5. Υβριδικά συστήματα αιολικής ενέργειας και αντλιοταμίευσης

Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή αιολικών πάρκων γίνεται απαραίτητη, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όταν η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία η διείσδυση της αιολικής ενέργειας προκαλεί αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επίσης, στις χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου και ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στον διαχειριστή ενός δικτύου η διαθεσιμότητα μεγάλης ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας τις ώρες που υπάρχει αυτή διαθέσιμη και η δυνατότητα διάθεσης ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής.

Πιθανοί τρόποι για την αποθήκευση ενέργειας είναι οι εξής:

- σε ηλεκτρική μορφή συνεχούς ρεύματος σε μια συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταρίες)
- σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο με την μορφή πεπιεσμένου αέρα ή αερίου γενικότερα σε αεριοφυλάκιο
- σε υδραυλική μορφή υπό την μορφή ποσότητας νερού που αντλείται από μια χαμηλότερη στάθμη σε μια υψηλότερη

Ο παρακάτω πίνακας 4 παραθέτει ενδεικτικά τον βαθμό απόδοσης και την ποσότητα της ενέργειας που μπορούμε να αποθηκεύσουμε σε κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους.

Μέθοδος	Ολικός βαθμός απόδοσης	Αποθηκεύσιμη ενέργεια (MWh)
Υδραυλικός ταμιευτήρας	~75%	0-20.000
Πεπιεσμένος αέρας	70%	250-2.200
Σφόνδυλος	90+%	0,1-20
Ηλεκτρ. συσσωρευτής	70-84%	17-40



Πίνακας 4 : Μέθοδοι Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

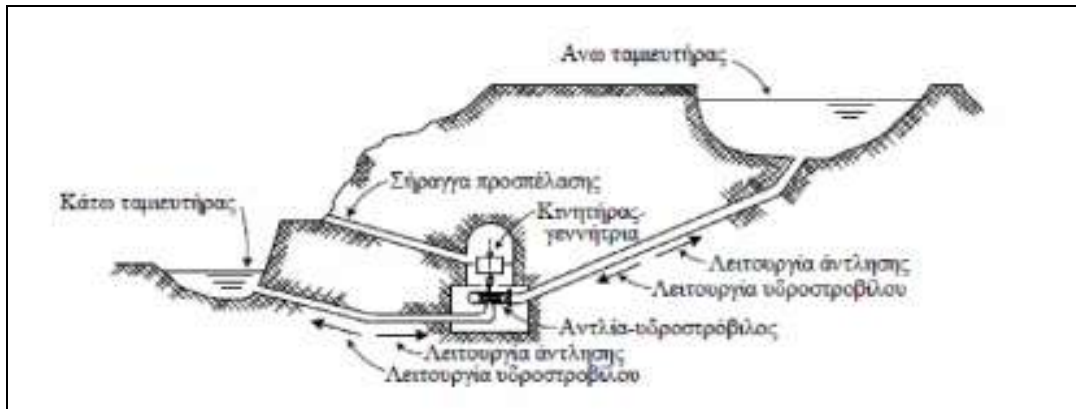
Από τον παραπάνω πίνακα, βλέπουμε ότι μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας και υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα καλύπτουν την περιοχή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όποτε είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου.

Η αποθήκευση όμως υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα βρίσκεται ακόμα σε δοκιμαστικό στάδιο και εγκυμονεί κινδύνους, αν σκεφτεί κανείς ότι το αέριο αποθηκεύεται σε υπόγειες δεξαμενές σε πίεση 40-80bar. Άρα η μόνη μέθοδος που καλύπτει μεγάλα ποσά ενέργειας και είναι εφαρμόσιμη είναι αυτή του Υδραυλικού Ταμιευτήρα. Η μέθοδος αυτή:

- Είναι αναστρέψιμη (αποθήκευση και τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου)
- Έχει γρήγορη απόκριση
- Έχει σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα πλήρη κύκλο

Τα έργα αυτά λειτουργούν ως εξής: η ενέργεια που παράγεται από ένα αιολικό πάρκο μεταφέρεται μέσω του συστήματος στην αντλία του υδροηλεκτρικού έργου. Με τη σειρά της η αντλία κινητοποιείται και μεταφέρει νερό από έναν ταμιευτήρα χαμηλού υψομέτρου σε έναν υψηλότερου υψομέτρου, όπου και «αποθηκεύεται» ως δυναμική πλέον ενέργεια.

Όταν χρειαστεί η ενέργεια αυτή να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική για να καλύψει τυχόν ανάγκες του συστήματος τότε ακολουθεί την αντίστροφη διαδρομή: δηλαδή το νερό μεταφέρεται από τον επάνω στον κάτω ταμιευτήρα. Εκεί ένας υδροστρόβιλος μετατρέπει την κίνηση του νερού σε ηλεκτρική και τη διοχετεύει πάλι πίσω στο σύστημα. Σε μέγεθος οι ταμιευτήρες αυτοί προβλέπεται να είναι μικρότεροι από τους σημερινούς της ΔΕΗ, διότι το νερό θα ανακυκλώνεται επομένως δεν θα υπάρχει ανάγκη για μεγάλες λεκάνες. Ο τρόπος λειτουργίας τους απεικονίζεται στην εικόνα 28.



Εικόνα 28: Υβριδικός αιολικός σταθμός με σύστημα αντλιοταμίευσης

Ήδη η ΔΕΗ διαθέτει δύο φράγματα που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο (Σφυκιά, Θησαυρός), με τη διαφορά ότι το βράδυ αντί για αιολική ενέργεια τροφοδοτούνται με λιγνιτική παραγωγή από γειτονικούς σταθμούς, την οποία και «αποθηκεύουν» για ώρα ανάγκης, ώστε να υποκαταστήσουν τη λειτουργία ακριβών μονάδων την ημέρα. Ίσως τα δύο αυτά φράγματα μελλοντικά να συνδεθούν με αιολικούς σταθμούς.



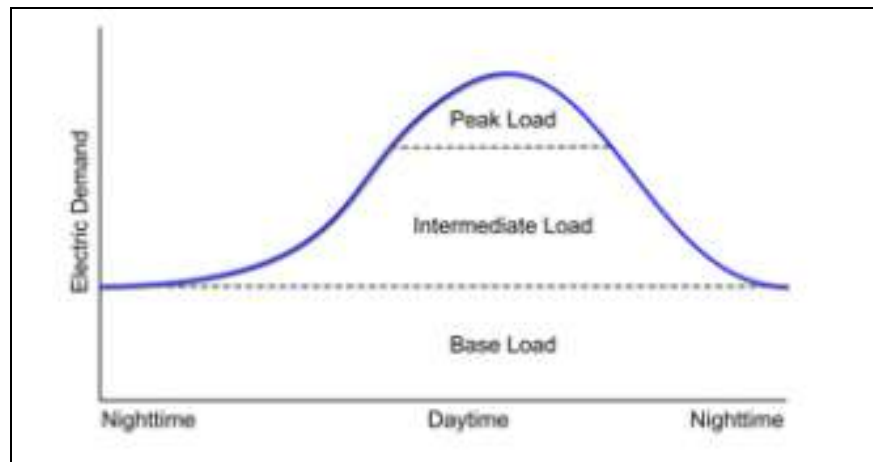
Εικόνα 29: Το φράγμα του Θησαυρού στο Νέστο



Εικόνα 30: Φράγμα Σφηκιά στον Αλιάκμονα

Με τον τρόπο αυτό, ο διαχειριστής τους ηλεκτρικού δικτύου, όχι μόνο καταφέρνει την οικονομική αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που θα είναι άμεσα διαθέσιμες σε οποιοδήποτε φορτίο αιχμής παρουσιαστεί, αλλά και την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι τις βραδινές για παράδειγμα ώρες που η ζήτηση ισχύος είναι πάρα πολύ χαμηλή, ο διαχειριστής μπορεί μόνος του να καταναλώσει ένα ποσό ενέργειας θέτοντας σε λειτουργία το σύστημα αντλιών για την αποθήκευση νερού, αυξάνοντας έτσι την ζήτηση ισχύος που οδηγεί σε μια πιο “επίπεδη” καμπύλη φορτίου. Σαν γενική παρατήρηση αξίζει να σημειωθεί ότι όσο πιο “επίπεδη” είναι η καμπύλη φορτίου τόσο πιο οικονομικά λειτουργεί ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και τόσο πιο φθηνό ρεύμα παράγει.

Παρατίθεται ενδεικτικά μια γενική περίπτωση καμπύλης φορτίου μιας αστικής περιοχής για περίοδο 24 ωρών (Εικόνα 31).

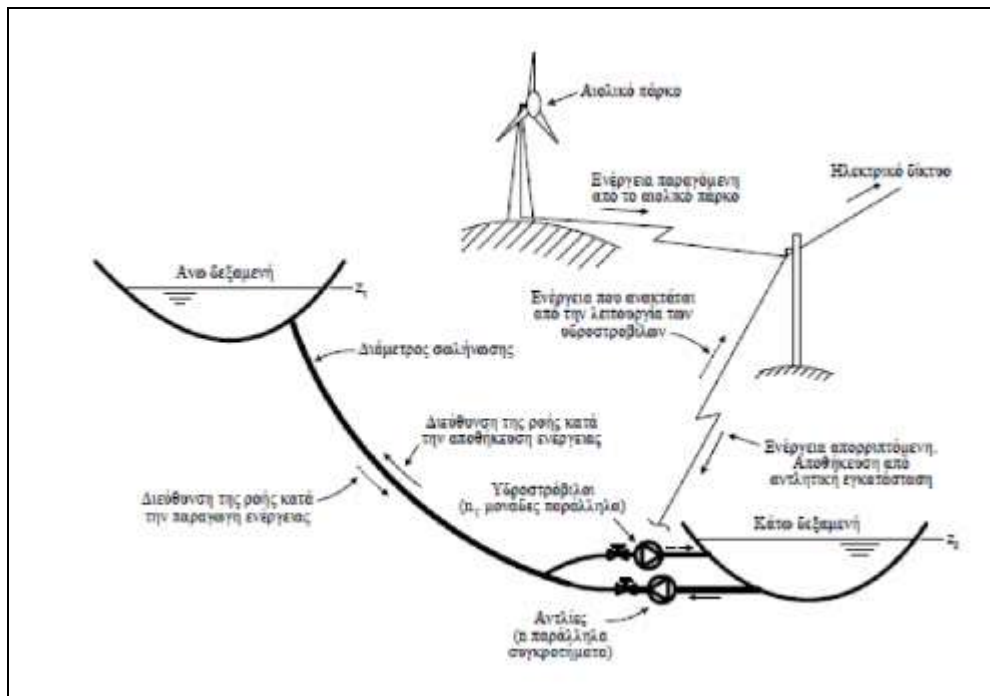


Εικόνα 31: Ενδεικτικό φορτίο αστικού δικτύου ηλεκτροδότησης

5.1 Εφαρμογή Υβριδικού Συστήματος

Η εφαρμογή της μεθόδου αποθήκευσης ενέργειας της αντλιοταμίευσης σε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας, και πιο συγκεκριμένα σε συνεργασία με ένα αιολικό πάρκο, θα μπορούσε να γίνει με δύο τρόπους, ανάλογα με το αν υπάρχει διασύνδεση του συστήματος σε ένα σταθερό δίκτυο ηλεκτροδότησης ή όχι.

Στην περίπτωση που υπάρχει διασύνδεση του υβριδικού συστήματος με ένα σταθερό δίκτυο ηλεκτροδότησης, το αιολικό πάρκο θα λειτουργεί συνέχεια συμπληρώνοντας τους σταθμούς βάσης συνεχούς λειτουργίας του δικτύου, ενώ ο υδροαντλητικός σταθμός θα λειτουργεί μόνο για την τροφοδότηση φορτίων αιχμής. Αυτό γιατί όπως αναφέραμε παραπάνω η ανάληψη φορτίου από υδροηλεκτρικούς σταθμούς γίνεται πολύ γρήγορα (σε περίπου 2 λεπτά). Όταν η ζήτηση φορτίου θα είναι πολύ χαμηλή, όπως για παράδειγμα της νυκτερινές ώρες, η λειτουργία των υδροαντλητικών σταθμών θα μπορεί να αντιστρέφεται, πετυχαίνοντας την αποδοτική αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για χρήση σε περιόδους αιχμής καθώς και την “εξομάλυνση” της καμπύλης φορτίου.



Εικόνα 32: Υβριδικό Σύστημα Αιολικού πάρκου με αντλιοταμίευση

Σε αντίθετη περίπτωση που το προαναφερθέν υβριδικό σύστημα δεν είναι διασυνδεδεμένο με ένα σταθερό δίκτυο ηλεκτροδότησης, τα πράγματα αλλάζουν ελαφρώς. Δεν θα υπάρχει καμία διαφοροποίηση, όπως άλλωστε είναι λογικό, στην συνεχή λειτουργία του αιολικού πάρκου (εφόσον υπάρχει αέρας), όμως θα υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση ως προς την λειτουργία του υδροαντλητικού σταθμού. Εφόσον λοιπόν μιλάμε γι' αυτόνομο σύστημα, η τροφοδότηση των φορτίων επωμίζεται εξ' ολοκλήρου στο αιολικό πάρκο και τον υδροαντλητικό σταθμό.

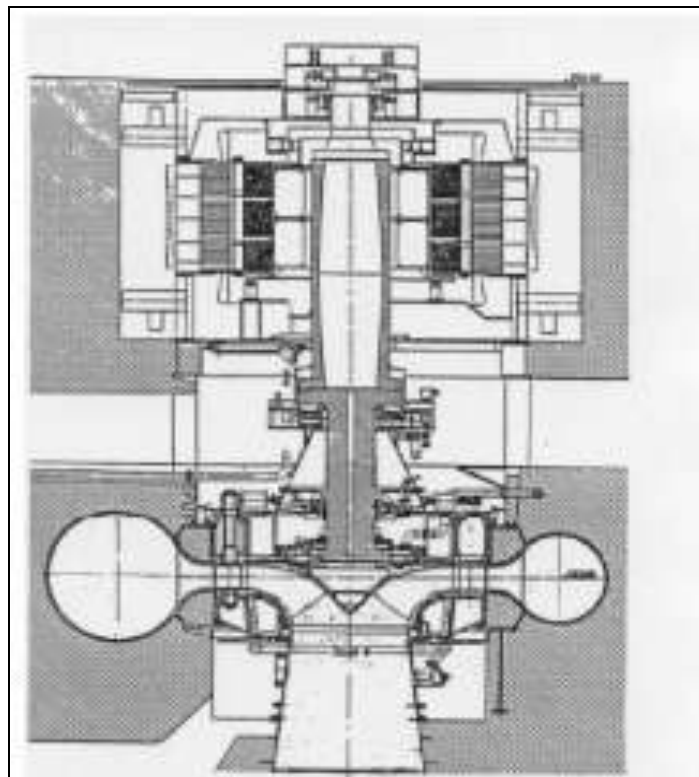
Όμως δεν είναι δεδομένο ότι υπάρχει πάντοτε η κατάλληλη ταχύτητα αέρα για την λειτουργία του αιολικού πάρκου, οπότε ο υδροαντλητικός σταθμός, που πλέον θα λειτουργεί συνεχώς, θα πρέπει να ελέγχει σε κάθε χρονική στιγμή την ζήτηση σε ισχύ του δικτύου και την παραγωγή ισχύος του αιολικού πάρκου και να προσαρμόζει την παραγωγή του αντίστοιχα. Ο υδροαντλητικός σταθμός, όπως είναι ήδη φανερό, θα παίζει τον ρόλο του σταθμού που τροφοδοτεί τόσο φορτία βάσης, όσο και αιχμής. Επειδή λοιπόν θα λειτουργεί σχεδόν συνεχώς, η ανάγκη για την αποθήκευση ενέργειας με τον τρόπο των υδραυλικών ταμιευτήρων, είναι επιτακτική. Παρόλα αυτά, σε αυτή τη



περίπτωση δεν θα αναστρέφεται η λειτουργία των υδροστροβίλων (κάτι που θα σήμαινε την διακοπή παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τον ΥΗΣ), αλλά θα χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά συγκροτήματα αντλιών για την μεταφορά του νερού από των κάτω στον άνω ταμιευτήρα και την επιτυχή αποθήκευση του.

Υπάρχουν τρία ξεχωριστά είδη στροβίλων αντλιών που χρησιμοποιούνται συνήθως στους υδροαντλητικούς σταθμούς, μια σύντομη παρουσίαση των οποίων παρατίθεται παρακάτω.

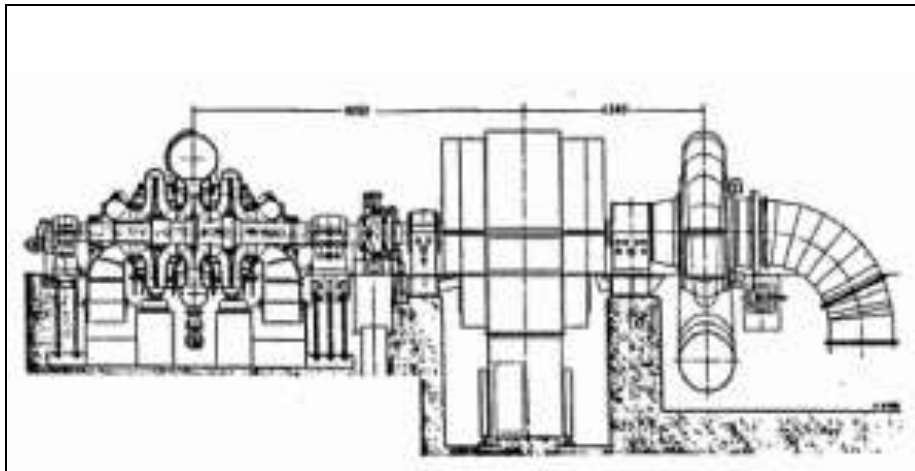
α) **Ενιαίος αναστρέψιμος εξοπλισμός**: Σε αυτή την περίπτωση ο στρόβιλος είναι ένας, κοινός και για την λειτουργία άντλησης και για την λειτουργία παραγωγής ενέργειας. Πλεονεκτήματα αυτού του είδους εξοπλισμού είναι η εξοικονόμηση χώρου και το μικρό κόστος του, ενώ σαν μειονεκτήματα είναι η αργή αλλαγή λειτουργίας και η δυσκολία στην εκκίνηση της αντλίας, λόγω της αδράνειας των κινούμενων μαζών (Εικόνα 33).



Εικόνα 33: Ενιαίος αναστρέψιμος εξοπλισμός

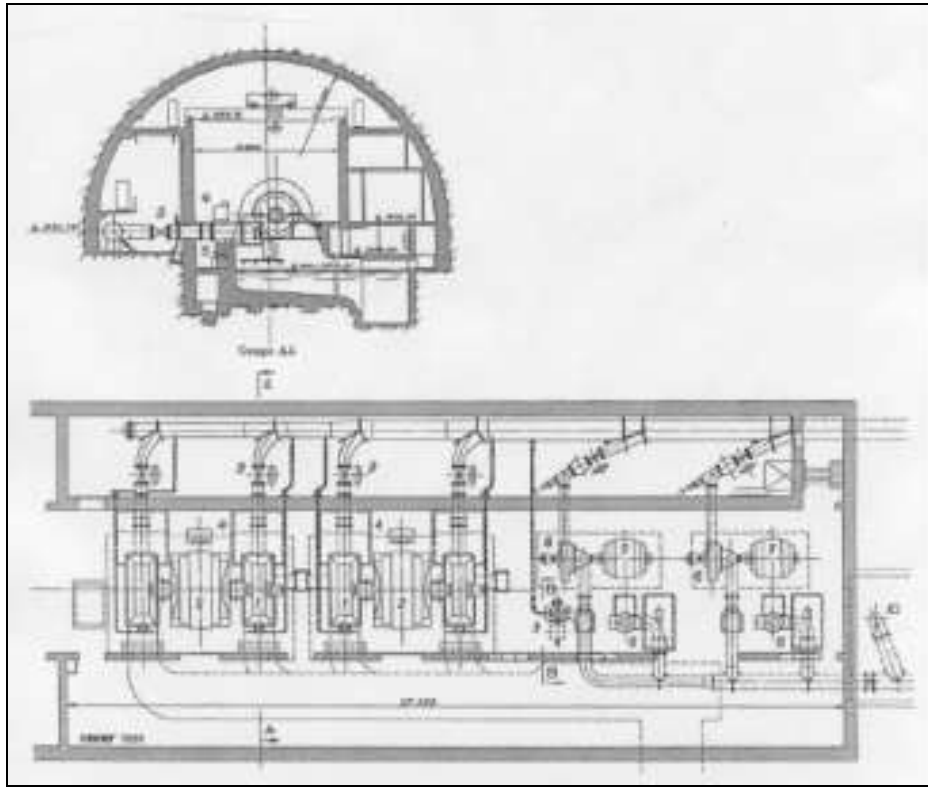


β) **Σύνθετος αναστρέψιμος εξοπλισμός**: Σε αυτή την περίπτωση ο υδροστρόβιλος και η αντλία έχουν ξεχωριστές πτερωτές, αλλά σε κοινό άξονα, δηλαδή συνδέονται στην ίδια ηλεκτρική μηχανή που μία λειτουργεί σαν γεννήτρια και μία σαν κινητήρας αντίστοιχα. Πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης είναι η γρήγορη αντιστροφή λειτουργίας (σε σχέση με την προηγούμενη), ευκολότερη εκκίνηση της αντλίας και η μικρότερη απαιτούμενη βύθιση. Σαν μειονεκτήματα παρατίθενται το μεγάλος κόστος, η πολυπλοκότητα της διάταξης και οι ογκώδεις βοηθητικές εγκαταστάσεις που απαιτούνται (εικόνα 34).



Εικόνα 34: Σύνθετος Αναστρέψιμος Εξοπλισμός

γ) **Ξεχωριστά συγκροτήματα**: Πρόκειται για ξεχωριστά συγκροτήματα υδροστρόβιλων και αντλιών, το καθένα με τις δικές του, ξεχωριστές ηλεκτρικές μηχανές. Αυτού του είδους οι διατάξεις επιλέγονται κατά κόρον για έργα μικρής ισχύος και στα πλεονεκτήματα τους συγκαταλέγονται το χαμηλό κόστος, ο πολύ μικρός χρόνος αντιστροφής λειτουργίας (σε σχέση με τις δύο παραπάνω διατάξεις) και ο τυποποιημένος εξοπλισμός. Σαν μειονεκτήματα μπορούν να σημειωθούν η πολύπλοκη απαιτούμενη διάταξη σωληνώσεων και ηλεκτρικών πινάκων και ο μεγάλος χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση των ξεχωριστών συγκροτημάτων.



Εικόνα 35: Ξεχωριστά συστήματα

5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υβριδικών σταθμών

Τα πλεονεκτήματα από την κατασκευή αιολικών που θα υποστηρίζονται από υδροηλεκτρικά είναι πολλαπλά:

- Δεδομένου ότι η τιμή των καυσίμων και η οριακή τιμή του συστήματος αυξάνονται συνεχώς, η λειτουργία τους θα είναι ανταγωνιστική.
- Όσο θα αυξάνεται η παραγόμενη ενέργεια από αιολικά, τόσο θα μειώνεται το σύνολο των εκπομπών CO₂ της χώρας, άρα και το κόστος για τη ΔΕΗ και τους ιδιώτες παραγωγούς, το οποίο προφανώς θα καταλήγει στον καταναλωτή.
- Αυξάνεται πάρα πολύ η εγχώρια παραγωγή και μειώνεται έτσι η εξάρτηση από εισαγωγές.
- Όσο μεγαλύτερη κατακράτηση νερού έχουμε τόσο θα εξασφαλίζεται και η αποτελεσματικότερη ύδρευση περιοχών αλλά και η άρδευση καλλιεργήσιμης γης.



Σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία (Katsigiannis και Karapidakis, 2016) , οι τιμές αγοράς / πώλησης ενός αντλιοταμιευτικού συστήματος είναι όπως παρακάτω (Πίνακας 5):

Μεγέθη Ενέργειας και Ισχύος	Τιμή
Ενέργεια που αποδίδεται από τους υδροστροβίλους	236 €/MWh
Ενέργεια που αποδίδεται από τα αιολικά πάρκα απευθείας στο δίκτυο	100 €/MWh
Ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο	186 €/MWh
Διαθεσιμότητα Ισχύος	127.000 €/MW

Πίνακας 5 : Τιμολογιακές επιλογές για ένα σύστημα αντλιοταμίευσης

Όπως παρατηρούμε στον Πίνακα 5, η ενέργεια που παράγεται από τους υδροστροβίλους και αποδίδεται στο δίκτυο αποδίδει την υψηλότερη χρηματική απόδοση σε σχέση με την ενέργεια που αποδίδεται από τις ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, η απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο για την άντληση του νερού στον υψηλό υψομέτρου ταμιευτήρα είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα και γι' αυτό θα πρέπει να επιδιώκεται η παράλληλη απόδοση ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες στο δίκτυο για την μείωση του κόστους ($186-100=86$ €/MWh).

Το μόνο μειονέκτημα ενός υδροηλεκτρικού είναι το κόστος κατασκευής του. Το κόστος ανά μεγαβάτ ενός υδροηλεκτρικού κυμαίνεται στα 2-3 εκατ. ευρώ, έναντι 1,3 εκατ. ευρώ για μια μονάδα λιθάνθρακα και 700.000 ευρώ για μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου (φυσικό αέριο). Αν και ακριβά στην κατασκευή τους, είναι ωστόσο πολύ πιο φθηνά στη λειτουργία τους συγκριτικά με τις συμβατικές μονάδες, δεδομένης της συνεχούς τα τελευταία χρόνια αύξησης των τιμών των καυσίμων.



5.3 Υπάρχοντες Υβριδικοί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί στην Ελλάδα

5.3.1 Το υβριδικό σύστημα της Ικαρίας

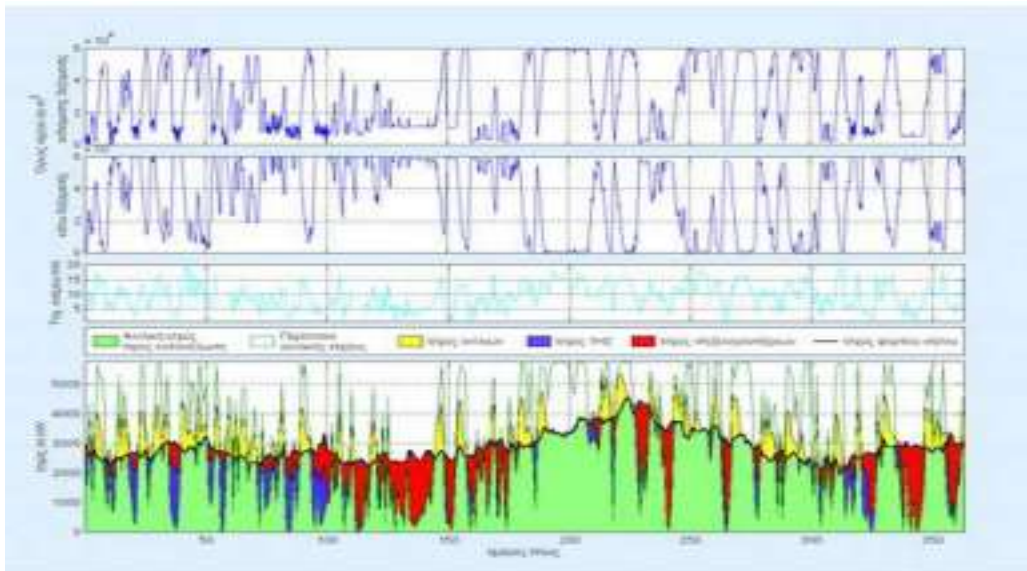
Η κατασκευή προ εξαετίας περίπου μιας λιμνοδεξαμενής στο νησί από το Υπουργείο Γεωργίας χωρητικότητας $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ σε υψόμετρο μάλιστα 720 μέτρων και το υψηλό κόστος της παρεχόμενης από συμβατικά καύσιμα Η/Ε σε συνδυασμό με την συνολική κατανάλωση του νησιού ήταν οι βασικοί παράγοντες που συντέλεσαν στην επιλογή της Ικαρίας για μελέτη και εγκατάσταση του πρώτου υβριδικού συστήματος με κύριο χαρακτηριστικό τη μεσοπρόθεσμη (για μερικά 24ωρα) αποθήκευση Η/Ε υπό μορφή δυναμικής ενέργειας του νερού. Οι ανάγκες Η/Ε του νησιού καλύπτονται σήμερα από τον ΑΣΠ συνολικής ισχύος 6.160 kW και από το Α/Π συνολικής ισχύος 385 kW (7 Α/Γ των 55 kW η καθεμία). Αναμένεται το υβριδικό σύστημα να λειτουργήσει το 2017.

Με στοιχεία τον 1999 η μέγιστη αιχμή της ζήτησης ήταν το καλοκαίρι 5.940 kW ενώ το χειμώνα η ελάχιστη κατανάλωση έπεσε στα 540 kW περίπου και η ετήσια κατανάλωση του νησιού ήταν 18.604 MWh. Παρά το γεγονός ότι η εγκατεστημένη ισχύς των Α/Γ είναι μικρή, (κάτω από το 7% του μέγιστου φορτίου) τις νυχτερινές ώρες της χειμερινής περιόδου η απορρόφηση της συνολικής ισχύος των Α/Γ δημιουργεί προβλήματα στις πετρελαϊκές μονάδες του ΑΣΠ με αποτέλεσμα μέρος των Α/Γ να τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι η διείσδυση της Αιολικής Ενέργειας στο σημερινό σύστημα της Ικαρίας δεν ξεπερνά το 8%. Από προκαταρκτικές μελέτες που έγιναν κατά καιρούς από το 1994 και μετά, τα κύρια χαρακτηριστικά του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος της Ικαρίας έχουν ως εξής :

- Συνολική ισχύς Α/Π υφισταμένου + νέου (385 + 5400) σε kW : 5.785
- Ισχύς υδροστροβίλων (1 χ 900 + 2 χ 1.400) σε kW : 3.700
- Ισχύς αντλιοστασίου 10 αντλίες των 160 kVA η κάθε μία : 1.600
- Χωρητικότητα υφιστάμενης λιμνοδεξαμενής σε $\text{m}^3 \times 10^3$: 1.000
- Χωρητικότητα δύο πρόσθετων λιμνοδεξαμενών σε m χ 10 η κάθε μία : 60
- Συνολικές δαπάνες επένδυσης υβριδικού συστήματος σε εκ. δρχ.: 4.500
- Επιδότηση 40% σε εκ δρχ.: 1.620



περιττή η εγκατάσταση μιας εκ των δυο πετρελαϊκών μονάδων ισχύος 4-5,5 MW και προϋπολογιζόμενη δαπάνης 1,25 δις δρχ. η κάθε μια. Στην περίπτωση αυτή εξοικονομούνται σημαντικές δαπάνες επένδυσης και μειώνεται το κόστος παραγωγής Η/Ε για το 2002 από το υβριδικό σύστημα από 17,1 δρχ/kWh στις 11,5 δρχ/kWh. Το ετήσιο όφελος στην περίπτωση αυτή θα είναι 397 εκ. δρχ. για το 2002 και 501 εκ. δρχ. για το 2010. Διευκρινίζεται ότι για λόγους οικονομικότερης λειτουργίας του συστήματος στο έργο συμπεριλαμβάνονται τρεις λιμνοδεξαμενές ήτοι: η υπάρχουσα συν δυο πρόσθετες (60.000 m³ η κάθε μια) (Θεοδωρόπουλος, 2001).



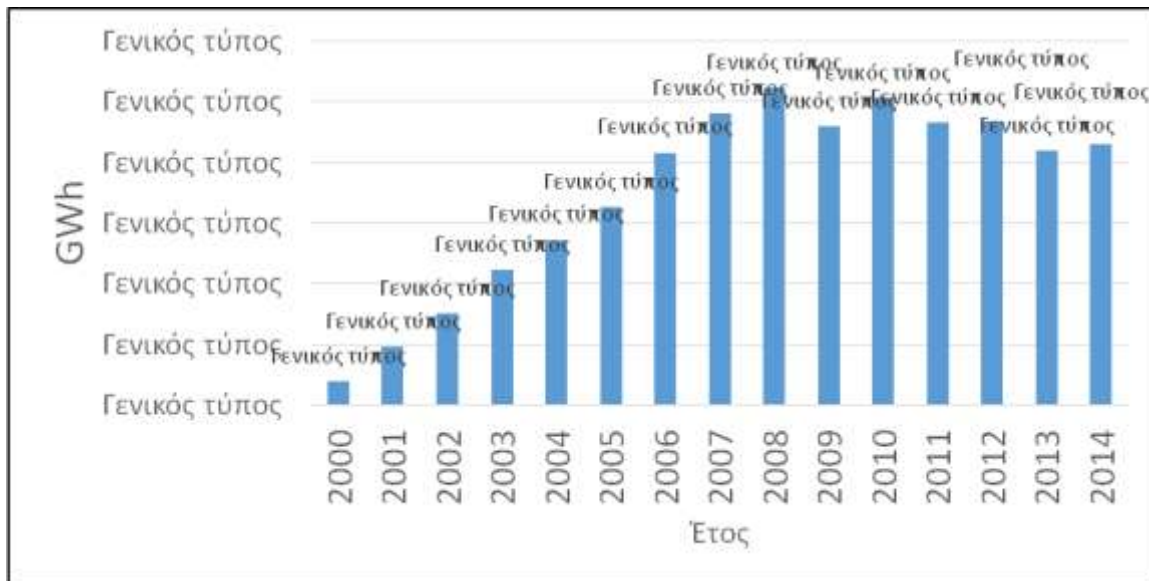
Εικόνα 37: κατανομή φορτίου στις δύο λιμνοδεξαμενές για το 2002 (Πηγή: Θεοδωρόπουλος, 2001)

5.3.2 Το υβριδικό υδροηλεκτρικό έργο στην Κρήτη

Το νησί της Κρήτης αποτελεί μια ιδιαίτερη αγορά ηλεκτρισμού για το ελληνικό σύστημα διανομής, τόσο λόγω της απόστασής της από τις κύριες περιοχές παραγωγής ενέργειας του ελληνικού ηπειρωτικού χώρου, την ευρεία έκταση της αγοράς (περίπου 600.000 κάτοικοι σε έκταση 8.500 Km²) καθώς και την ύπαρξη σημαντικών εποχιακών αυξήσεων λόγω της τουριστικής κίνησης, τα οποία δεν δικαιολογούν μόνιμες επενδύσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σύμφωνα με τους Katsigiannis και Karapidakis (2016), κατά την περίοδο 2000-2008 σημειώνεται αύξηση της παραγωγής



ηλεκτρικής ενέργειας κατά περίπου 7%, ενώ στη συνέχεια η παραγωγή είναι σταθερή περίπου στα 3 TWh κάθε έτος, με κύριες πηγές την παραγωγή ενέργειας από την καύση πετρελαίου. Στο διάγραμμα 38 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη της παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας στην Κρήτη.



Διάγραμμα 38: Διαχρονική εξέλιξη ηλεκτρικής παραγωγής στην Κρήτη

Για την μείωση της εξάρτησης στην παραγωγή ενέργειας από το πετρέλαιο, στην Κρήτη αναμένεται η έκδοση της άδειας παραγωγής ενός επίσης εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Το σύστημα αποτελείται από ένα σταθμό ανάστροφης άντλησης στο Νομό Ηρακλείου και από 3 Αιολικά πάρκα στους νομούς Ρεθύμνου και Χανίων (Βαρδουμπάς, 2014).

Ειδικότερα το συγκεκριμένο υβριδικό έργο εκτιμώμενου ύψους 450 εκ. € θα υλοποιηθεί από την γαλλική εταιρεία EdF και περιλαμβάνει ως προς το αιολικό μέρος ένα πάρκο στη θέση Σπίνα του Δήμου Πλατανιά αποτελούμενο από 34 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 28,9 MW, ένα πάρκο στη θέση Πλακάκια του Δήμου Πλατανιά αποτελούμενο από 14 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 11,9 MW, πάρκο στη θέση Λαμπινή του Δήμου Αγ. Βασιλείου Ρεθύμνου αποτελούμενο από 11 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 9,35 MW και από πάρκο στη θέση Καλή Συκιά στον Δήμο Αγ.



Βασιλείου Ρεθύμνου αποτελούμενο από 47 ανεμογεννήτριες και συνολικής ισχύος 39,95 MW. Κάθε ανεμογεννήτρια έχει σχεδιαστεί να αποδίδει ισχύ 850 KW.

Η αποθήκευση της αιολικής ενέργειας θα γίνεται σε δύο ταμιευτήρες νερού χωρητικότητας 1,2 εκατ κυβ. μέτρων ο κάθε ένας κατασκευασμένοι σε διαφορετικό υψόμετρο, στη τοποθεσία “Κουτράλια – Άνω Λιμνιά” στα σύνορα των Νομών Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου με σύστημα αντλιοταμίευσης τεσσάρων υδροστροβίλων συνολικής ισχύος 100 MW.

Η συνολική ισχύς των 4 αιολικών πάρκων θα είναι 90,1 MW (που αντιστοιχεί περίπου στο 10% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτροπαραγωγής στη Κρήτη). Η αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα 4 προαναφερθέντα αιολικά πάρκα αναμένεται να είναι της τάξης των 200 - 250 GWH ετησίως που αντιστοιχεί σε λίγο λιγότερο από το 10% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα στην Κρήτη.

Ωστόσο τόσο μεγάλα έργα ΑΠΕ συχνά συναντούν την αντίδραση του τοπικού πληθυσμού (παραδείγματος χάριν η ματαιώση πριν από αρκετά χρόνια ενός μεγάλου έργου αξιοποίησης της ηλιακής ενέργεια για τη παραγωγή ηλεκτρισμού στο Φραγκοκάστελο Χανίων), λόγω τόσο μεροληπτική αντιμετώπισής τους όσο και ελλειπών ενημέρωσης. Κατά συνέπεια, κρίνεται απαραίτητη η πρότερη ενημέρωση και συζήτηση με τους τοπικούς φορείς για την άμβλυνση τυχόν διαφορετικών απόψεων.

Παράλληλα, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την διασύνδεση της Κρήτης με το ηπειρωτικό δίκτυο ηλεκτροδότησης μέσω υποβρύχιου καλωδίου συνολικής ισχύς 1000MW.

5.4 Προτεινόμενα Υβριδικά συστήματα

5.4.1 Προτεινόμενο Υβριδικό σύστημα στη Σέριφο

Το συγκεκριμένο σύστημα προτάθηκε από τον καθηγητή κ. Μπέτζιο το 2006. 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 Υβριδικό Σύστημα της Σερίφου θα 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.

Κάτω Ταμιευτήρας

Το Υπουργείο Γεωργίας έχει κατασκευάσει φράγμα με τη χρήση σκυροδέματος δημιουργώντας μία τεχνητή λιμνοδεξαμενή με συνολική εκτιμώμενη χωρητικότητα 700.000m^3 . 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 απόληξης νερού.

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 κολούρης 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 60.800m^3 , όπως προέκυψε από τη βελτιστοποίηση που ακολουθεί, ενώ οι βέλτιστες διαστάσεις του ταμιευτήρα είναι και οι μέγιστες επιτρεπόμενες.

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 υπολογίζεται να έχει 3000kW εγκατεστημένης ισχύος και να απαρτίζεται από 5 ανεμογεννητριών (μεταβλητών στροφών μεταβλητού βήματος σύγχρονης γεννήτριας) ονομαστικής ισχύος 600kW έκαστη. Ως γνωστόν οι ανεμογεννήτριες 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.

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.

Συμβατικός Τοπικός Σταθμός Παραγωγής (ΤΣΠ)

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.

5.4.2 Προτεινόμενο υβριδικό σύστημα στη νήσο Ίο

Το συγκεκριμένο σύστημα προτάθηκε από τον καθηγητή κ.. Μπέτζιο το 2006. Το Υβριδικό Σύστημα της Ίου θα εκμεταλλεύεται το πλούσιο αιολικό δυναμικό της νήσου με την εγκατάσταση εκεί ενός Αιολικού Πάρκου, ενώ επίσης θα χρησιμοποιεί και την υφιστάμενη λιμνοδεξαμενή στη θέση «Μυλοπότας» ονομαστικής χωρητικότητας 230.000m³ μόνο για ανακύκλωση των υδάτων προς αποθήκευση της ενέργειας. Ο προτεινόμενος έτερος ταμιευτήρας πρέπει να κατασκευαστεί σε επιλεγμένη θέση όπου θα προσφέρει ικανοποιητική υψομετρική διαφορά μεταξύ της υφιστάμενης λιμνοδεξαμενής ενώ παράλληλα θα ευρίσκεται σε μικρή απόσταση από αυτή. Λόγω του



χαμηλού υψομέτρου 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 σε θέση που προσφέρει υψομετρική διαφορά περίπου 460m σε απόσταση $L=2200m$ από την υφιστάμενη λιμνοδεξαμενή. Απαιτείται η κατασκευή διπλής σωλήνωσης που θα συνδέει την άνω δεξαμενή με το κτήριο του αντλιοστασίου και των υδροστροβίλων αντίστοιχα.

Ο Υβριδικός Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση αντλιοταμίευσης που προτείνεται να κατασκευαστεί στο νησί της Ίου περιλαμβάνει τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- το Αιολικό Πάρκο (Α/Π), όπου θα απαρτίζεται από ανεμογεννήτριες σύγχρονης γεννήτριας μεταβλητών στροφών και μεταβαλλόμενου βήματος πτερυγίων. Το Α/Π του Υβριδικού Σταθμού θα αποτελεί τη μη ελεγχόμενη μονάδα παραγωγής ΗΕ (ηλεκτρικής ενέργειας) από ΑΠΕ.
- το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, δηλαδή το αντλιοστάσιο, οι δύο αγωγοί αναρρόφησης και προσαγωγής, και οι ταμιευτήρες με την κατάλληλη υψομετρική διαφορά μεταξύ τους.
- το σύστημα των υδροστροβίλων που θα αποτελεί την ελεγχόμενη μονάδα παραγωγής ΗΕ του συστήματος.
- τα συστήματα ελέγχου.
- τα συστήματα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το παραπάνω σύστημα εμπίπτει στον ορισμό του Υβριδικού Σταθμού παραγωγής ΗΕ από ΑΠΕ σύμφωνα με το ν.3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις», όπως αναφέρεται στο άρθρο 2 παράγραφος 25.



Εικόνα 39: Προτεινόμενο υβριδικό σύστημα στη νήσο Ίο



6. Επίλογος

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η βιβλιογραφική διερεύνηση συνεργασίας ενός αιολικού πάρκου για την εξυπηρέτηση ενός υδροηλεκτρικού σταθμού. Πρόκειται για το λεγόμενο υβριδικό έργο αντλιοταμίευσης, το οποίο συνδυάζει την αιολική με την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Η φιλοσοφία της λειτουργίας του υβριδικού Σταθμού συνοψίζεται στην αποθήκευση της μη δυνάμενης να εγχυθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο αιολικής ισχύος μέσω του υποσυστήματος άντλησης και αποταμίευσης στον άνω Ταμιευτήρα και κατόπιν η μετατροπή της αποθηκευμένης υδροδυναμικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω των υδροστροβίλων, σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής του αιολικού σκέλους.

Το εξεταζόμενο υβριδικό Σύστημα αποτελεί μια εφικτή και οικονομικά προσοδοφόρα λύση για αυτόνομα δίκτυα, όπου το κόστος της παραγόμενης ενέργειας είναι αρκετά υψηλό, ενώ το υψηλό αιολικό δυναμικό της ελληνικής επικράτειας, λόγω τεχνικών και άλλων περιορισμών, παραμένει μερικώς ή τελείως αναξιοποίητο.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση στον τομέα κατέδειξε τις κύριες τάσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τόσο με την εκμετάλλευση της αιολικής, όσο και με την τιθάσευση της υδροδυναμικής ενέργειας. Ωστόσο, όπως κατέστη σαφές, παρά τις εξαιρετικές προοπτικές από τον συνδυασμό των δύο μεθόδων παραγωγής ενέργειας, δεν υπάρχουν εφαρμογές στην ελληνική επικράτεια αφού ακόμη και το φράγμα του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο και των Σφακιών στον ποταμό Αλιάκμονα που λειτουργούν ως αντλιοταμιευτήρες αλλά τροφοδοτούνται με την καύση λιγνίτη. Οι προοπτικές αυτόνομων ΑΠΕ συστημάτων μπορούν να αποτελέσουν τη λύση στο ενεργειακό πρόβλημα απομακρυσμένων και δύσβατων περιοχών σε πρώτη φάση και να τροφοδοτήσουν επαρκώς το συνολικό δίκτυο σε ένα περαιτέρω στάδιο.

Εν κατακλείδι, η επένδυση σε υβριδικά συστήματα αιολικών πάρκων με αντλιοταμίευση πέρα από τη εξάλειψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί μια



συμφέρουσα οικονομικά και ενεργειακά λύση που θα αποτελέσει την απάντηση στο ενεργειακό πρόβλημα της χώρας μας.



Βιβλιογραφικές Αναφορές.

Ξενόγλωσσες

- Boyle G. (2012) «Renewable Energy: Power for a sustainable future» 440-443, 445, 300,101,103,104,108-110,95,147-152,286,.
- Drachmann A.G. (1961) "Heron's Windmill", Centaurus, vol. 7, pp. 145-151.
- Drewitt, A.L. and R.H.W. Langston (2006) Assessing the impacts of wind farms on birds. Ibis: 148 (s1), p.p. 29-42.
- Erickson, W.P., G.D. Johnson, M.D. Strickland, D.P. Young Jr., K.J. Sernka and R.E. Good (2001) Avian collisions with wind turbines: a summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States. 2001. National Wind Coordination Committee. Resource Document.
- Katsigiannis Y and Karapidakis E. (2016) Effect of Pumped Hydro Storage Units Installation on the Operation of the Autonomous Cretan Power System, DEMSEE'16 11th International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South Eastern Europe, 22-23 September 2016, Heraklion, Crete, Greece.
- Langston, R (2002) Wind energy and birds: results and requirements. RSPB Research Report No 2.
- Langston, R.H.W. and J.D. Pullan. (2004) Effects of wind farms on birds. Convention on the Conservation of European Wildlife and Habitats (Bern Convention). Nature and Environment, No 139. Council of Europe Publishing.
- Lekuona, J.M. and C. Ursua. (2007) Avian mortality in wind power plants of Navarra (Northern Spain). Risk assessment and mitigation. pp. 177-192. Quercus, Madrid.
- Ruiz, C., S. Schindler and K. Poirazidis. (2005) Impact of wind farms on birds in Thrace, Greece. Technical Report, WWF Greece, Athens.
- Sterner, D, S. Orloff, and L. Spiegel. (2007) Wind turbine collision research in the United States. Risk assessment and mitigation. Quercus, Madrid. pp. 275.
- Thelander, C.G. and K.S. Smallwood. (2007) The Altamont Pass Wind Resource area's effects on birds. Σελ. 25-46 Στο: de Lucas, M., G.F.E. Janss and M. Ferrer (editors). Birds and windfarms : Risk assessment and mitigation. 2007. Quercus, Madrid. 275 pp.

Ελληνικές

- Βαρδουμπάς Ι. (2014) Μεγάλο έργο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Κρήτη, Χανιώτικα Νέα, 06 Οκτωβρίου 2014.
- Ζερβός Α., Κάραλης Γ. (2009) Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας, Ε.Μ.Π., Αθήνα.



Θεοδωρόπουλος Π., (2001) “Μοντελοποίηση και διαστασιολόγηση υβριδικού συστήματος - Εφαρμογή στην Ικαρία”, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κατερινόπουλος Φ (2007), “Μικροδραστηλετρικά έργα: τεχνολογία, διαδικασία μελέτης και εφαρμογές”, ΕΜΠ, Αθήνα.

Μαθιουλάκης Δ., Αναγνωστόπουλος Ι., Τουζόπουλος Δ. (2005) Βιομηχανική Ρευστομηχανική, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Μπέτζιος Γ., (2006α), “Εμπειρίες από την λειτουργία των συστημάτων ΑΠΕ στην Ελλάδα” 6^ο Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, Α' τόμος σελ. 375

Μπέτζιος Γ., (2006β) Υβριδικό σύστημα αντλιοταμίευσης νήσου Ίου, Ημερίδα ΤΕΕ, Δήμος Ιητών Κυκλάδες.

Παπαντώνης Δ., (2001) “Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα”, Εκδ. Συμμεών, Αθήνα

Ιστοσελίδες

www.energinet.dk

www.rae.gr

www.costisnet.weebly.com

www.windpower.dk

www.wwf.gr