



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κομνά – Μηνά Κώτση

Επιβλέπων: Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ **ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κομνά – Μηνά Κώτση

Επιβλέπων: Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....2013.

.....
Μ. Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2013

.....
Κομνάς – Μηνάς Κ. Κώτσης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κομνάς – Μηνάς Κ. Κώτσης, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

*Στους γονείς μου,
στον αδερφό μου,
στους φίλους
και συμφοιτητές μου.*

Περίληψη

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα παρουσιάζει την τάση για απελευθέρωση και απορρύθμιση. Αυτό, σε συνδυασμό με την αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής, δηλαδή τη διεξόδυση Μικρών Μονάδων Παραγωγής και κυρίως Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) θέτουν νέες προκλήσεις, καθιστώντας απαραίτητη την δυνατότητα αποθήκευσης της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Κατά τα τελευταία χρόνια επίσης παρατηρείται η τάση για ανάπτυξη αυτόνομων δικτύων τα οποία βασίζονται ως επί το πλείστον σε ΑΠΕ. Ωστόσο η χρήση τους σε τέτοιου είδους δίκτυα απαιτεί κάποιους περιορισμούς.

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παρουσίαση και η περιγραφή των αυτόνομων δικτύων καθώς επίσης αναφέρονται και αποτελεσματικοί τρόποι αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ. Γίνεται μια αναλυτική περιγραφή στις ανεμογεννήτριες και στον έλεγχο που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία του αυτόνομου δικτύου το οποίο βασίζεται εξολοκλήρου σε ΑΠΕ.

Τέλος πραγματοποιείται με τη βοήθεια του προγράμματος MATLAB Simulink μια εφαρμογή πάνω στον έλεγχο της παραγόμενης ενέργειας από ανεμογεννήτριες σε αυτόνομο δίκτυο ώστε ο αναγνώστης να έχει και μια περισσότερο πρακτική εικόνα της εργασίας.

Λέξεις Κλειδιά:

Σύστημα Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας (EES) , συσσωρευτές , ανεμογεννήτριες , σύστημα ελέγχου , αυτόνομο δίκτυο , ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .

Abstract

The electricity production today presents the trend for liberalization and deregulation. This, coupled with increasing dispersed production, ie the penetration small production units and mainly Renewable Energy Sources (RES) poses new challenges, necessitating the ability to store electricity. In recent years also there is a tendency for development of independent networks based mostly in RES. However their use in such networks requires some restrictions.

The subject of this thesis is the presentation and description of independent networks, also mention effective ways to store the energy produced from RES. An analytic description of the wind turbines and control required for the smooth operation of the grid which is entirely based on RES.

Finally effected by means of a program MATLAB Simulink application over the control of the energy produced from wind turbines in a local network , so that the reader has a more practical illustration of work.

Key words:

Battery Energy Storage System (BESS), battery, wind turbin , control panel , independent network , renewable energy , energy production .

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέποντα καθηγήτρια μου, κ. Ιωαννίδου, για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με ένα θέμα που ανταποκρίνεται πλήρως στα ενδιαφέροντά μου, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Η ενασχόληση με την εργασία αυτή μου έδωσε το ερέθισμα και το κίνητρο για την ενασχόλησή μου με τον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και γενικότερα των σύγχρονων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και γι αυτό την ευχαριστώ βαθύτατα.

Θα ήθελα επίσης να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον αδερφό μου Κώτση Γρηγόριο, μηχανικό και μεταπτυχιακό φοιτητή, για την πολύτιμη βοήθειά του από τα πρώτα ως τα τελευταία στάδια της εργασίας, καθώς επίσης και για τη στήριξη και τις συμβουλές που μου παρείχε, συμβάλλοντας στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και στα άτομα που ήταν δίπλα μου, αλλά και σε όλους τους φίλους και συμμαθητές μου για όλα τα όμορφα χρόνια που μοιράστηκα μαζί τους.

Κομνάς – Μηνάς Κ. Κώτσης
Σεπτέμβριος 2013.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κεφάλαιο 1	14
Εισαγωγή	14
1.1	Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....14
1.2	Αυτόνομο δίκτυο.....15
1.3	Δομή της εργασίας16
1.4	Βιβλιογραφία.....16
Κεφάλαιο 2	17
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	17
2.1	Εισαγωγή.....17
2.2	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....19
2.2.1	Γενικές Πληροφορίες.....20
2.3	Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....20
2.3.1	Αιολική ενέργεια.....20
2.3.1.1	Υψηλό επίπεδο τεχνολογίας.....20
2.3.1.2	Οφέλη από την χρήση Αιολικής Ενέργειας.....21
2.3.1.3	Παγκόσμιος Χάρτης Αιολικής Ενέργειας.....21
2.3.1.4	Περιορισμοί Εγκατάστασης των Α/Γ.....22
2.3.1.5	Μελοντική Επέκταση του Αιολικού Δυναμικού.....22
2.3.2	Ηλεκτρισμός από τον ήλιο.....23
2.3.2.1	Ανάπτυξη αγοράς διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών.....24
2.3.2.2	Προοπτικές ηλιακής ενέργειας.....24
2.3.2.3	Αυτόνομες Αγορές Εκτός Δικτύου-Ηλιακός ηλεκτρισμός.....24
2.3.2.4	Φωτοβολταϊκά.....25
2.3.2.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της ηλιακής ισχύος...25
2.3.2.6	Ηλιακά Θερμικά.....26
2.3.2.7	Ηλιακό Οικιακό ζεστό νερό και θέρμανση χώρου.....27

2.3.2.8	Ηλιακή Ψύξη.....	27
2.3.2.9	Διαδικασία Θέρμανσης και άλλες Εφαρμογές.....	28
2.3.3	Μικρά Υδροηλεκτρικά.....	29
2.3.3.1	Σημεία κλειδιά των Μικρών Υδροηλεκτρικών.....	30
2.3.3.2	Ανάπτυξη της Αγοράς.....	30
2.3.3.3	Δυναμικό.....	31
2.3.4	Βιοενέργεια.....	31
2.3.4.1	Είδη Βιοενέργειας.....	32
2.3.4.2	Πλεονεκτήματα Βιομάζας.....	32
2.3.4.3	Δυναμικό Βιομάζας.....	32
2.3.4.4	Δημιουργία εργασίας.....	33
2.3.4.5	Σχέδιο Δράσης για Βιομάζα	33
2.3.4.6	Προβληματισμοί για τη χρήση βιοκαυσίμων.....	33
2.3.5	Ενέργεια από Γεωθερμία.....	34
2.3.5.1	Ισχύς από Γεωθερμία.....	35
2.3.5.2	Βαθιά και άμεσα.....	36
2.3.5.3	Γεωθερμία σε μικρό βάθος.....	36
2.3.5.4	Ενέργεια από Γεωθερμία.....	36
2.3.5.5	Μία ασφαλής και ελέγξιμη τεχνολογία.....	36
2.3.5.6	Μία οικονομικά διατηρούμενη ενέργεια.....	37
2.3.5.7	Προβλήματα Παραγωγής και Ρύπανσης.....	37
2.3.6	Λοιπές Α.Π.Ε. – Ενέργεια από κύματα, παλίρροια.....	37
2.3.6.1	Ενέργεια από την ταχύτητα των Κυμάτων.....	37
2.3.6.2	Δυναμικό από ενέργεια Κυμάτων.....	38
2.3.6.3	Κόστος και Τεχνολογίες.....	38
2.3.6.4	Ενέργεια από Παλίρροια.....	39
2.3.6.5	Δυναμικό ενέργειας από παλίρροια.....	39

2.3.6.6	Κόστος και Τεχνολογίες ενέργειας από παλίρροια.....	39
2.3.6.7	Ενεργειακά παλιρροιακά έργα.....	40
2.4	Ανεμογεννήτριες (Wind Turbins)	40
2.4.1	Είδη ανεμογεννητριών.....	40
2.4.2	Ανεμογεννήτριες σταθερών ή μεταβλητών στροφών.....	44
2.4.2.1	Ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών.....	44
2.4.2.2	Ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών.....	45
2.4.2.3	Τύποι ελέγχου των πτερυγίων των ανεμογεννητριών.....	45
2.4.2.4	Έλεγχος του βήματος πτερυγίου (pitch control).....	46
2.4.2.5	Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control).....	47
2.4.2.6	Έλεγχος ενεργητικής απώλειας στήριξης (active stall control).....	47
2.4.3	Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα	48
2.5	Βιβλιογραφία.....	50

Κεφάλαιο 351

Μέθοδοι αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ σε αυτόνομο δίκτυο.....51

3.1.1	Εισαγωγή.....	51
3.1.2	Διαχείριση της Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	52
3.1.3	Επικουρικές υπηρεσίες	53
3.1.4	Αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές και ποιότητα ισχύος	54
3.1.5	Εξασφάλιση παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και χρονική μετατόπιση της παραγωγής	54
3.2	Πως αποθηκεύεται η Ηλεκτρική Ενέργεια.....	55
3.2.1	Ηλεκτρικά Συστήματα Αποθήκευσης	55
3.2.1.1	Magnetic Energy Storage – SMES.....	55
3.2.1.2	Πυκνωτές – Υπερπυκνωτές	57
3.2.2	Ηλεκτροχημικά Συστήματα Αποθήκευσης ..	59
3.2.2.1	Μπαταρίες Μολύβδου – Οξέως	59
3.2.2.2	Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου	61

3.2.2.3	Μπαταρίες Ροής	63
3.2.2.4	Vanadium Redox Flow Battery	64
3.2.2.5	Κριτήρια των τεχνολογιών αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας	65
3.3	Βιβλιογραφία	66

Κεφάλαιο 467

Έλεγχος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ.....67

4.1	Εισαγωγή στα αυτόνομα δίκτυα.....	67
4.2	Εφαρμογή σε μικρό αυτόνομο δίκτυο.....	69
4.2.1	Εισαγωγή.....	69
4.2.2	Αποτύπωση προβλήματος.....	70
4.2.3	Περιγραφή στοιχείων του συστήματος.....	72
4.2.4	Οικονομική σκοπιμότητα.....	81
4.3	Βιβλιογραφία	84.

Κεφάλαιο 585

Αποτελέσματα εφαρμογής και συμπεράσματα.....85

5.1	Αποτελέσματα εφαρμογής.....	85
5.2	Επίλογος.....	95
5.3	Βιβλιογραφία.....	95

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο Simulink /MATLAB.....	96
--	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Ισοσταθμισμένο κόστος της ενέργειας.....	98
--	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Υπολογισμός NPV και Πίνακες.....	99
----------------------------------	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) καλείται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ : την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες με οικονομικό τρόπο, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Κύριοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι θερμικοί και οι υδροηλεκτρικοί. Τελευταία γίνεται μια ανάπτυξη στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως με την εκμετάλλευση του αέρα και του ήλιου.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς, από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσης.

Η δομή του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρονική της μεταβολή κατά τη διάρκεια του 24ώρου και από τη χωροταξική της κατανομή. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60Hz, χρησιμοποιούνται όμως και συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση λειτουργίας πρέπει να παραμένει σταθερή στην ονομαστική τιμή. Οι γραμμές μεταφοράς και οι γραμμές διανομής μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης διαθέτουν επίσης και τον ουδέτερο αγωγό.

Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι στην πλειονότητά τους βιομηχανικοί καταναλωτές ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο μέρος των πελατών εμπορικής χρήσης [1.1-1.2].

1.2 ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΔΙΚΤΥΟ

Σε παγκόσμια κλίμακα ,υπάρχει ακόμα και σήμερα ένας μεγάλος αριθμός περιοχών οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες με κάποιο τοπικό ή ηπειρωτικό δίκτυο παραγωγής .Οι λόγοι για τους οποίους καθίσταται η διασύνδεση του δικτύου αδύνατη ποικίλουν. Η γεωγραφική θέση των περιοχών αυτών μπορεί να αποτελέσει τεράστιο εμπόδιο για την κατασκευή υποδομών εξυπηρέτησης της τοπικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς η επένδυση είναι ασύμφορη από οικονομική άποψη.

Στη χώρα μας για παράδειγμα η οποία αποτελείτε από τεράστιο αριθμό νησίδων, η σύνδεση όλων τους με το ηπειρωτικό δίκτυο είναι πρακτικά αδύνατη. Μόνο ένα μικρό μέρος αυτών έχει συνδεθεί μέσω υποβρύχιων καλωδίων. Πρόσφατες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από ειδικευμένους επιστήμονες για επέκταση των υποδομών διασύνδεσης ωστόσο, δεν προβλέπουν να αλλάξει σημαντικά η παρούσα κατάσταση. Τέτοιου είδους λόγοι καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη αυτόνομων δικτύων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των καταναλωτών.

Τέτοια δίκτυα είναι κατάλληλα για περιοχές όπου δεν υπάρχει πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο ή το κόστος σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι υψηλό. Τα αυτόνομα συστήματα βασίζονται στην αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (όπως π.χ φωτοβολταϊκά πάνελ ή και ανεμογεννήτριες) σε συσσωρευτές. Η αποθηκευμένη ενέργεια διοχετεύεται μέσω ενός αντιστροφέα στις ηλεκτρικές συσκευές έτσι ώστε ο καταναλωτής να μπορεί να τη χρησιμοποιήσει χωρίς περιορισμό σαν να εφοδιαζόταν την ενέργεια αυτή από το κεντρικό σύστημα παραγωγής της χώρας. Σε επόμενα κεφάλαια θα γίνει πιο εκτενής αναφορά στα αυτόνομα δίκτυα και στους περιορισμούς που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία τους.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστούν και να αναλυθούν οι προϋποθέσεις που απαιτούνται από τους μηχανικούς, προκειμένου να αξιοποιηθεί με ασφάλεια η αιολική ενέργεια και να καλύψει πλήρως την ηλεκτροδότηση ενός αυτόνομου δικτύου ανάλογα με τις ανάγκες που διαμορφώνονται κάθε στιγμή.

Πιο αναλυτικά, η δομή της εργασίας οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια ως εξής :

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στην Αιολική Ενέργεια ώστε ο αναγνώστης να είναι σε θέση να κατανοήσει καλύτερα έννοιες που σχετίζονται με αυτή τη μορφή ενέργειας. Επιπλέον περιγράφονται τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν μια ανεμογεννήτρια και παρουσιάζονται διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών που συντελούν στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται οι μέθοδοι αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες με σκοπό την αξιοποίησή της όταν το αυτόνομο δίκτυο την χρειάζεται

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται λεπτομερής ανάλυση στα αυτόνομα συστήματα και περιγράφεται η διαδικασία ελέγχου της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς παρουσιάζεται εκτενώς μία εφαρμογή ελέγχου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες σε αυτόνομο δίκτυο της Νορβηγίας .

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, συμπεράσματα της εφαρμογής και γίνεται μια σύνοψη της εργασίας

1.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1.1] Β. Κ. Παπαδιάς, “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας,” τόμ. Ι, Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985.

[1.2] Κ. Βουρνάς, και Γ. Κονταξής, “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας,”

Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2001.

[1.3] N. G Boulaxis, S.A. Papathanassiou , M.P. Papadopoulos, “Wind turbine effect on the voltage profile of distribution networks”. Renewable Energy, Vol. 25, No. 3, March 2002, Pages 401 - 415

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τη τελευταία δεκαετία παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο, τεράστια ανάπτυξη στο τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Αντικείμενο μελέτης για την πλειοψηφία των μηχανικών, υπέρογκα ποσά επενδύονται από κυβερνήσεις και επιχειρήσεις προκειμένου να αναπτυχθούν και να αξιοποιηθούν με το καλύτερο τρόπο οι ΑΠΕ. Νέου τύπου ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται βελτιώνοντας αισθητά την απόδοση των αιολικών πάρκων, τα φωτοβολταϊκά συστήματα γνωρίζουν μια εντυπωσιακή άνοδο με αισθητή μείωση του κόστους επένδυσης, η βιοενέργεια παρέχει λύσεις για περισσότερο οικονομική θέρμανση ισχύ και καύσιμα μεταφορών και τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραμένουν μια αξιόπιστη οικονομική λύση στην ανανεώσιμη ηλεκτροπαραγωγή.

Κύριος στόχος για κάθε κυβέρνηση σήμερα είναι η ενεργειακή πολιτική με πλήρη σεβασμό στο περιβάλλον εξαιτίας του αυξημένου κινδύνου που προκαλεί η περιβαλλοντική ρύπανση. Η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα αποτελεί επιτακτική ανάγκη στην εποχή μας. Δεν το επιβάλλουν μόνο η δραματική μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων -με την παράλληλη αύξηση των τιμών τους- και η μόλυνση του περιβάλλοντος, αλλά και η ανάγκη για την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της χώρας μας (ενεργειακή ασφάλεια). Ειδικά σε μία χώρα με πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ΑΠΕ όπως η Ελλάδα. Συγκεκριμένα μετά την διάσκεψη στο Κιότο (1997) και το πρωτόκολλο που υπογράφηκε από τις χώρες που συμμετείχαν, η ανάγκη για μείωση εκπομπών αερίων και η αποτροπή της κλιματικής αλλαγής, έφερε τις ανανεώσιμες πηγές στο προσκήνιο. Η παγκόσμια διάσκεψη για τις κλιματικές αλλαγές στην Κοπεγχάγη (7-19 Οκτωβρίου 2009) ήταν ο επόμενος σταθμός στην ιστορία που δείχνει πόσο επίκαιρες είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τον σπουδαίο ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν για την επίτευξη των παγκόσμιων στόχων.

Οι συνέπειες των κλιματικών αλλαγών δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στη γη. Είναι τόσο σημαντικές και τόσο άμεσες που με δυσκολία προλαβαίνουν να αποτυπωθούν πια στις νέες χαρτογραφικές εκδόσεις. Κάθε νέα έκδοση έχει πια σημαντικές διαφορές με την προηγούμενη: νέα νησιά έχουν εμφανιστεί και άλλα έχουν εξαφανιστεί εξαιτίας της ανόδου της στάθμης των υδάτων, ποταμοί δεν έχουν νερό λόγω της ξηρασίας και λίμνες έχουν αλλάξει σχήμα εξαιτίας της ανόδου της μέσης θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των επιστημόνων, αναμένεται μέσα στις επόμενες δεκαετίες μια επιπλέον αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη κατά 1,5-5,2°C, αύξηση που δεν έχει προηγούμενο στην

ανθρώπινη ιστορία. Η αναμενόμενη αυτή υπερθέρμανση της επιφάνειας του πλανήτη οφείλεται στο εντεινόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

Πολύαριθμες και τεκμηριωμένες εκθέσεις περιγράφουν τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στη δημόσια υγεία, τη βιοποικιλότητα των οικοσυστημάτων, τους φυσικούς πόρους, την οικονομία, καθώς και τις ανθρώπινες κοινωνίες. Μαζική μετανάστευση λόγω οικολογικών κρίσεων, εξάπλωση ασθενειών, επιδείνωση της υγείας, ιδιαίτερα στις πιο φτωχές περιοχές, αύξηση του αριθμού και της έντασης των φυσικών καταστροφών, απώλειες εδαφών, ειδών και οικοσυστημάτων, απειλή καταστροφών στα δίκτυα αποχέτευσης, τις λιμενικές εγκαταστάσεις και τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, αυξημένη πίεση σε παραγωγικές δραστηριότητες που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη είναι μερικά από τα αναμενόμενα αποτελέσματα που σε κάποιο βαθμό βιώνουμε ήδη τα τελευταία χρόνια.

Τα τελευταία 50 χρόνια παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο σταθερή αύξηση της συχνότητας (υπερ-τετραπλασιασμός) των φυσικών φαινομένων μεγάλης έντασης (πλημμύρες, τυφώνες κ.), αλλά κυρίως της σφοδρότητάς τους, με αποτέλεσμα να υπερ-δεκαπλασιαστεί την ίδια περίοδο το ύψος των ζημιών που προκαλούν στις υποδομές. Στα επίσημα στοιχεία πρέπει να προσθέτουμε και το κόστος που συνεπάγεται η μείωση της παραγωγής (γεωργικής, κτηνοτροφικής, αλιευτικής, τουριστικής, κ.α.), η άνοδος των τιμών των αντιστοίχων προϊόντων, η απώλεια θέσεων εργασίας και η καταστροφή στο οικοσύστημα που δεν αποτιμάται σε χρήματα.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα μετά την συμφωνία της Κοπεγχάγης. 120 αρχηγοί κρατών και 192 χώρες έλαβαν μέρος στη Διάσκεψη της Κοπεγχάγης, επιδιώκοντας την επίτευξη μίας νέας, παγκόσμιας, ενιαίας, καθολικής και νομικά δεσμευτικής συμφωνίας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η οποία θα αντικαταστήσει το Πρωτόκολλο του Κιότο, που λήγει το 2012. Το πρώτο επίσημο σχέδιο έπεσε στο τραπέζι των διαπραγματεύσεων αρκετά νωρίς, σύμφωνα με το οποίο οι ανεπτυγμένες χώρες θα έπρεπε, έως το 2020, να μειώσουν τις εκπομπές αερίων κατά 70-85%. Ένα άκρως φιλόδοξο σχέδιο, το οποίο απορρίφθηκε, όπως αναμενόταν, από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Κίνα, για διαφορετικούς λόγους από την κάθε πλευρά, προκαλώντας την έντονη δυσαρέσκεια των φτωχότερων χωρών. Οι διαφωνίες μεταξύ αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και οι διαφωνίες μεταξύ Κίνας και ΗΠΑ, οι οποίες ευθύνονται για το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών στον πλανήτη, κυριάρχησαν στην 15η Σύνοδο του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή στην Κοπεγχάγη. Οι αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες διαφωνούσαν ως προς το ποσοστό μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και ως προς το ποσό χρηματοδότησης για τις φτωχότερες χώρες, στην προσπάθειά τους να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Είναι γεγονός, ότι τα φτωχότερα κράτη είναι ευάλωτα στην κλιματική αλλαγή, με τις αφρικανικές χώρες να πληρώνουν το μεγαλύτερο μέρος του τιμήματος. Για τον λόγο αυτό, οι εκπρόσωποί τους έκαναν σαφές ότι οι πλούσιες χώρες θα έπρεπε να δεσμευτούν για τη μείωση των εκπομπών και να μην εγκαταλειφθεί η βάση που θέτει το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η χωρίς δεσμευτικού χαρακτήρα Συμφωνία της Κοπεγχάγης αναγνωρίζει την ανάγκη περικοπών των εκπομπών ρύπων με κύριο στόχο να συγκρατηθεί η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου, ώστε να αποφευχθούν φυσικές καταστροφές όπως οι πλημμύρες, οι καύσωνες, η εξαφάνιση διάφορων ειδών της πανίδας και της χλωρίδας και η αύξηση της στάθμης των ωκεανών. Το νέο σχέδιο διακήρυξης θέτει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 50% μέχρι το 2050, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Καθορίζει εθελοντικές δεσμεύσεις των μεγάλων

αναπτυσσόμενων χωρών για περιορισμό των ρύπων, χωρίς να αναφέρει όμως συγκεκριμένα ποσοστά για τη μείωση τους μέχρι το 2020 ή να επιβάλλει σαφείς χρονικές προθεσμίες.

2.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Ανανεώσιμη ενέργεια είναι η ενέργεια που αντλείται από πηγές, οι οποίες δεν εξαντλούνται ή αντικαθίστανται, όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική η γεωθερμική και η ενέργεια από βιομάζα. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους έγκειται μόνο στην ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα δεσμεύουν το δυναμικό τους. Το ενδιαφέρον στη σύγχρονη εποχή για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών και την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο μόνος δυνατός τρόπος που διαφαίνεται για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο του περιορισμού των ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο τέλος του 2008 ήταν 1.128 GW. Τα μεγάλης υδροηλεκτρικής ισχύος έργα αποτελούν περίπου τα τρία τέταρτα του συνόλου και τα αιολικά περίπου το 11%. Το νέο εγκατεστημένο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2008, ήταν τουλάχιστον 40 GW (εξαιρουμένων των μεγάλης υδροηλεκτρικής ενέργειας έργα), με την υψηλότερη αύξηση στην αιολική ενέργεια.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) με μεγαλύτερη έμφαση στην αιολική ενέργεια.

2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΗΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.3.1 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι ώριμη πια. Αντίθετα από τα συμβατικά καύσιμα, η αιολική ενέργεια είναι μεγάλη, εγχώρια πηγή ισχύος και είναι μόνιμα διαθέσιμη. Δεν έχει περιορισμούς από πηγές: το «καύσιμο» είναι δωρεάν και απεριόριστο. Επιπρόσθετα η αιολική ενέργεια αποφεύγει το κόστος του άνθρακα και απαλλάσσεται από το γεωπολιτικό ρίσκο που έχει να κάνει με τα εμπόδια εφοδιασμού και υποδομών ή ενεργειακή εξάρτηση από άλλες χώρες. Η Ευρώπη έχει πάρει τα ηνία στην τεχνολογική ανάπτυξη και έχει ενισχύσει τη θέση της ως πρωταγωνιστής στη παγκόσμια αγορά. «Περισσότερες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας μπορούν να βοηθήσουν στη κάλυψη της ανάγκης της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη και ταυτόχρονα να παρέχουν στην ΕΕ, υψηλή τεχνολογία».



Σχήμα 2.1: Αιολικό Πάρκο

2.3.1.1 Υψηλό επίπεδο τεχνολογίας

Μία μοντέρνα ανεμογεννήτρια σχεδιάστηκε να παράγει υψηλής ποιότητας ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει αρκετός αέρας. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς παρακολούθηση με χαμηλή συντήρηση και περίπου 120.000 ώρες ενεργούς λειτουργίας αναμένονται στο κύκλο ζωής τους των 20 χρόνων. Για λόγους συγκρίσεως ένας τυπικός κινητήρας αυτοκινήτου έχει σχεδιασθεί στο κύκλο ζωής του για λειτουργία 6.000 ωρών. Από τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1980, η δυναμικότητα της ανεμογεννήτριας αυξήθηκε σε ένα συντελεστή πάνω από 200. Τα κόστη παραγωγής έπεσαν κάτω από το 80%. Αρθρωτές και γρήγορες στην εγκατάσταση, οι ανεμογεννήτριες ποικίλουν στο μέγεθος από μερικά KW σε 5.000 KW. Οι ανεμογεννήτριες είναι εξαιρετικά αξιόπιστες με διαθεσιμότητα λειτουργίας (σε αναλογία με το χρόνο με τον οποίο είναι διαθέσιμες για λειτουργία) σε ποσοστό

98%. **Καμία άλλη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα.** Πολλές αναπτύξεις και βελτιώσεις έλαβαν χώρα από το 1980 και μετά αλλά η βασική αρχιτεκτονική του σχεδίου δεν έχει αλλάξει πολύ. Τα στρεφόμενα μέρη των ανεμογεννητριών στρέφονται προς τον άνεμο και παρεκκλίνουν ώστε να ακολουθούν την διεύθυνση του ανέμου. Η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων μπορεί να είναι τόσο μικρή όσο μία μοναδική ανεμογεννήτρια και τόσο μεγάλη όσο μερικές εκατοντάδες MW. Ευρισκόμενη σε μία καλή περιοχή αιολικού δυναμικού, μία μοναδική ανεμογεννήτρια του 1 MW, μπορεί να δώσει ισχύ σε 650 νοικοκυριά.

2.3.1.2 Οφέλη από την χρήση Αιολικής Ενέργειας

- Φιλική προς το περιβάλλον. Καθαρή ενέργεια – δεν εκπέμπει CO₂
- Χαμηλό κόστος παραγωγής ενέργειας – στις βέλτιστες περιοχές ο άνεμος μπορεί να είναι ανταγωνιστικός με την πυρηνική ενέργεια, τον άνθρακα, ακόμα και το αέριο καύσιμο
- Εύκολη και γρήγορη στην εγκατάσταση
- Το καύσιμο (άνεμος) είναι δωρεάν, άφθονο και ανεξάντλητο
- Παρέχει μία προστασία ενάντια στην μεταβλητότητα της τιμής των καυσίμων
- Ασφάλεια εφοδιασμού καθώς αποφεύγει την εξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα
- Παρέχει μεγάλη ισχύ ισοδύναμη με αυτή των συμβατικών πηγών.
- Είναι φιλική με το έδαφος – αγροτικές / βιομηχανικές δραστηριότητες μπορούν να συνυπάρξουν γύρω από αυτή.

2.3.1.3 Παγκόσμιος Χάρτης Αιολικής Ενέργειας

- Απασχολεί περίπου 120.000 ανθρώπους
- Έχει ετήσιο όγκο συναλλαγών πάνω από 12 δις
- Αναπτύσσεται με ετήσιο βαθμό πάνω από 30% τα τελευταία 8 χρόνια
- Ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας για πάνω 25 εκατομμύρια νοικοκυριά
- Είναι συγκεντρωμένη στην Ευρώπη η οποία απαριθμεί το 70% της συνολικής δυναμικότητας
- Πάνω από 85.000 ανεμογεννήτριες είναι εγκατεστημένοι σήμερα
- Πάνω από 58.000 MW εγκατεστημένης ισχύος

2.3.1.4 Περιορισμοί Εγκατάστασης των Ανεμογεννητριών

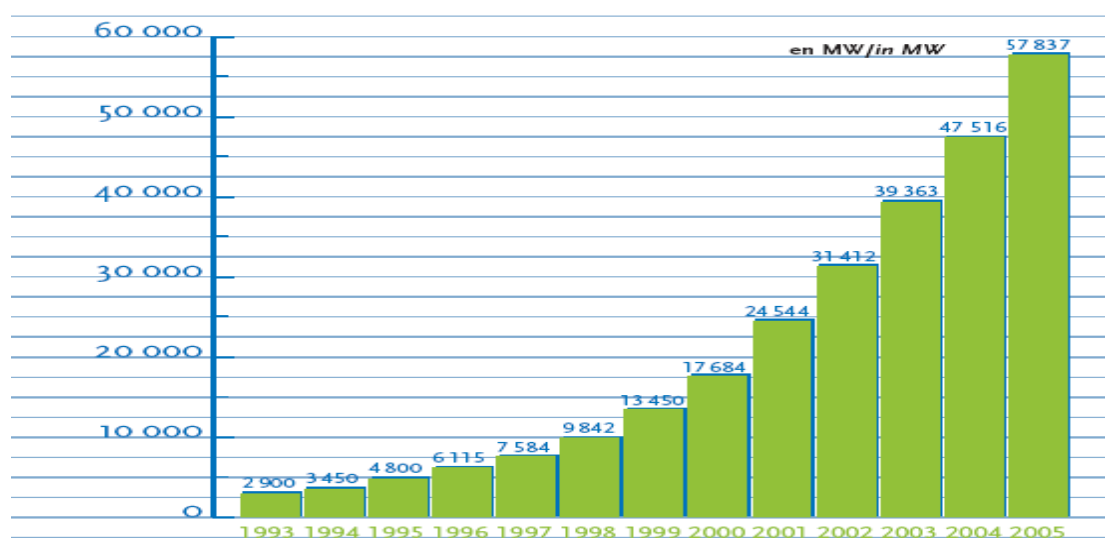
Τα περισσότερα αιολικά ενεργειακά έργα απαιτούν μία περιβαλλοντική μελέτη κάτω από εθνικούς και ευρωπαϊκούς νόμους η οποία δίδει πλήρεις λεπτομέρειες και περιβαλλοντικά κόστη και πλεονεκτήματα ενός έργου ώστε να εξεταστεί εξονυχιστικά στο δημόσιο χώρο. Ενώ η αιολική ενέργεια είναι μία καθαρή τεχνολογία, δεν είναι όμως χωρίς επίδραση στο περιβάλλον. Τα κυριότερα θέματα που τίθενται αναλύονται παρακάτω :

- **Οπτική αισθητική:** οι ανεμογεννήτριες είναι ένα σχετικά νέο χαρακτηριστικό στην περιοχή έξω από τις πόλεις και γενικώς επηρεάζει. Σύσκεψη και αποδοχή με τις τοπικές κοινότητες είναι σημαντική. Προκειμένου να διατηρήσουμε την αποδοχή του κοινού τα αιολικά πάρκα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται αισθητικά οι επιρροές.
- **Ηχητική ρύπανση:** Ο μοντέρνος σχεδιασμός των ανεμογεννητριών έχει βελτιωθεί στο βαθμό που ο μηχανικός θόρυβος είναι ασήμαντος, ώστε το θέμα που τίθεται είναι από τους περιστρεφόμενους έλικες. Σε μία απόσταση 300 μέτρων από μία ανεμογεννήτρια του 1 MW, το επίπεδο θορύβου αναμένεται στα 45 decibel (dBA).
- **Πανίδα:** σύγκρουση με τις ανεμογεννήτριες ήταν ένα θέμα σε μερικά παλιά αιολικά πάρκα χτισμένα το 1980, ειδικά στο πέρασμα Altamont στην Καλιφόρνια, ένα αποτέλεσμα της επιλογής της τοποθεσίας και απαρχαιωμένης τεχνολογίας ανεμογεννήτριας και πύργου. Επακόλουθη εμπειρία στη Γερμανία και Δανία δείχνει ότι τέτοια αποτελέσματα μπορούν να αποφευχθούν με υπεύθυνη σχεδιαστική πρακτική. Η κατάλληλη επιλογή τοποθεσίας για τις ανεμογεννήτριες είναι σημαντική εάν θέλουμε να αποφύγουμε αντιδράσεις. Το αρνητικό αντίκτυπο όσον αφορά τα πουλιά, πρέπει να τεθεί με την έννοια ότι το 99% από τις απειλές για αυτά προκαλείται από τον άνθρωπο, από την απώλεια του φυσικού τους περιβάλλοντος με τη βιομηχανοποίηση, με την υπέρ-εκμετάλλευση των φυσικών πηγών, του κυνηγιού, το εμπόριο των ζώων, μόλυνση, κ.λ.π. Η απώλεια του φυσικού τους περιβάλλοντος είναι η μοναδικά μεγαλύτερη απειλή για τα πουλιά και το 12% από τα 9.800 είδη πουλιών αντιμετωπίζουν την εξαφάνιση.

2.3.1.5 Μελλοντική Επέκταση του Αιολικού Δυναμικού

Η βιομηχανία της αιολικής ισχύος έχει αναπτυχθεί με εντυπωσιακό ρυθμό, εντός και εκτός Ευρώπης. Τα τελευταία στοιχεία της βιομηχανίας για την ΕΕ όσον αφορά την αιολική ενέργεια δείχνουν ότι η συσσωρευμένη δυναμικότητα αιολικής ισχύος αυξήθηκε 18% σε 40 MW στο τέλος του 2005, πάνω από τις 34 MW στο τέλος του 2004. Τα περασμένα χρόνια εγκαταστάθηκαν 6 MW αιολικής ισχύος, παρουσιάζοντας ένα κύκλο εργασιών κατασκευής ανεμογεννητριών 6 δις €.

Η αιολική ισχύς έχει το δυναμικό να συνεισφέρει σημαντικά στις αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις στο κόσμο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (EWEA) παρουσιάζει μια εκτίμηση ότι 180 GW αιολικής ενέργειας θα μπορούσαν να παράγουν 425 TWh ετήσια έως το 2020. Στη διαδικασία θα αποφεύγαμε 215 εκατομ. τόνους CO₂ έως το 2020. Η Wind Force 12, μια δημοσίευση από το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας (GWEC), EWEA και Greenpeace δείχνει ότι το 12% από τον παγκόσμιο ηλεκτρισμό μπορεί να εφοδιαστεί από την αιολική ισχύ με το 2020, εάν πολιτικές αλλαγές και τακτική επιδιωχθούν, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τεχνικοί και οικονομικοί περιορισμοί. [2.1 – 2.2]



Σχήμα 2.2: Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών συστημάτων στον κόσμο μέχρι το 2005 (σε MW). Πηγή: 49 EurObserv'ER.

2.3.2 Ηλεκτρισμός από τον ήλιο

Μέχρι σήμερα, η συνδεδεμένη με το δίκτυο αγορά φωτοβολταϊκών είχε να κάνει με την επιτυχή ανάπτυξη της Γερμανικής αγοράς. Κείμενη ευνοϊκά στις ανανεώσιμες ενέργειες, η

Γερμανική Κυβέρνηση έχει υιοθετήσει δραστήριες πολιτικές με την έννοια αυτή. Η αναθεώρηση του νόμου τιμολόγησης (EEG – Feed in tariff law) το 2003 επιβεβαίωσε η αποτελεσματικότητα αυτού του μηχανισμού να αναπτύξει διασυνδεδεμένη ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά και την αρχηγική θέση της Γερμανίας με 80% στο μερίδιο της Ευρωπαϊκής αγοράς.

2.3.2.1 Ανάπτυξη αγοράς διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών

Στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες ο συμβατικός ηλεκτρισμός επιδοτείται σε μεγάλο βαθμό και οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιρροές δεν αντανακλώνται στο κόστος των τελικών χρηστών. Προσφέρει στους πελάτες μία ελκυστική τιμή για να πουλήσουν τη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο και τους ανταμείβει που επιλέγουν να εφοδιάζονται με ηλεκτρισμό από τον ήλιο. Τα πλεονεκτήματα που καθιστούν την ηλιακή ενέργεια ελκυστική μπορούν να περιγραφούν παρακάτω :

- Η τιμή τίθεται στο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο.
- Το επίπεδο της τιμής είναι εγγυημένο για 20 χρόνια το οποίο προσφέρει στους πελάτες μια ασφάλεια σχεδιασμού και κάνει την επένδυση σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο ελκυστική.
- Το κόστος της τιμής υποστηρίζεται από όλους τους χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας, δεν βασίζεται στο προϋπολογισμό του Κράτους. Αυτό διασφαλίζει ότι το έργο είναι λιγότερο πιθανό να είναι πολιτικά εξαρτώμενο από μειώσεις στο προϋπολογισμό σε κυβερνητικό επίπεδο.
- Η απλότητα της ιδέας τιμολόγησης και το χαμηλό διοικητικό κόστος σημαίνει ότι είναι ένα υψηλά αποτελεσματικό και αποδοτικό εργαλείο για τη προώθηση του ρόλου του ηλιακού ηλεκτρισμού στο ενεργειακό μείγμα

2.3.2.2 Προοπτικές ηλιακής ενέργειας

Εκτιμάται ότι το 2020, ο ηλιακός ηλεκτρισμός μπορεί να παρέχει ηλεκτρισμό σε παραπάνω από 1 δισ. ανθρώπους παγκοσμίως. Θα μπορούσε επίσης να παρέχει περισσότερο από 2.000.000 δουλειές στη παραγωγή, εγκατάσταση και συντήρηση. Εκτιμάται ότι η ετήσια αγορά μπορεί να μεγαλώσει σε μέσο όρο 35% από το 2005 μέχρι το 2010, εάν επαρκείς μηχανισμοί υποστήριξης υιοθετηθούν από τις κυβερνήσεις. Ακολουθώντας αυτή τη τάση, ο ηλιακός ηλεκτρισμός μπορεί να είναι ανταγωνιστικός με τις τιμές αιχμής του ηλεκτρισμού με το 2010.

Επισημαίνεται επίσης και η συνεισφορά της τεχνολογίας των ηλιακών θερμικών συστημάτων που αξιοποιεί τους καθρέπτες για παραγωγή ηλεκτρισμού

2.3.2.3 Αυτόνομες Αγορές Εκτός Δικτύου - Ηλιακός ηλεκτρισμός.

Η πρόσβαση στον ηλεκτρισμό είναι ιδιαίτερα σημαντική στην ανάπτυξη του ανθρώπου. Σήμερα περίπου 1,3 εκατ. άνθρωποι (το ένα τρίτο της ανθρωπότητας) στις αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν πρόσβαση στον ηλεκτρισμό, από αυτούς τέσσερις στους πέντε ζουν σε αγροτικές περιοχές. Η πρόσβαση στην ενέργεια είναι κλειδί ώστε να διατηρηθεί η ανάπτυξη στις αγροτικές περιοχές.

2.3.2.4 Φωτοβολταϊκά: Τα φωτοβολταϊκά σαν μία αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας μπορεί να δώσει τη καλύτερη προσαρμοσμένη λύση στον αγροτικό ηλεκτρισμό και στον εφοδιασμό καθαρού νερού.



Σχήμα 2.3: Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλους τρόπους όπως είναι για παράδειγμα:

- Ηλιακά οικιακά συστήματα
- Ηλιακοί φάροι
- Ηλιακά συστήματα ψύξης εμβολίων για αποθήκευση φαρμάκων.
- Συστήματα άντλησης νερού
- Συστήματα χρήσης νερού
- Απομονωμένα συστήματα επικοινωνιών τα οποία τροφοδοτούνται με ηλιακό ηλεκτρισμό

2.3.2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της ηλιακής ισχύος

Τα Φ/Β συστήματα ωστόσο έχουν και κάποια μειονεκτήματα :

- Παρόλο που στην Φ/Β εγκατάσταση υπάρχουν συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, το σύστημα δεν έχει απόλυτη αυτονομία μιας και σε ακραία καιρικά φαινόμενα μπορεί να μην επαρκεί για την τροφοδοσία του καταναλωτή. Επιπλέον, η Φ/Β εγκατάσταση έχει μεγάλο κόστος εγκατάστασης (ιδίως για τους οικιακούς καταναλωτές

φτάνει τα 7.000 €) με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να μην προτιμούν τα Φ/Β έναντι άλλων φθηνότερων λύσεων

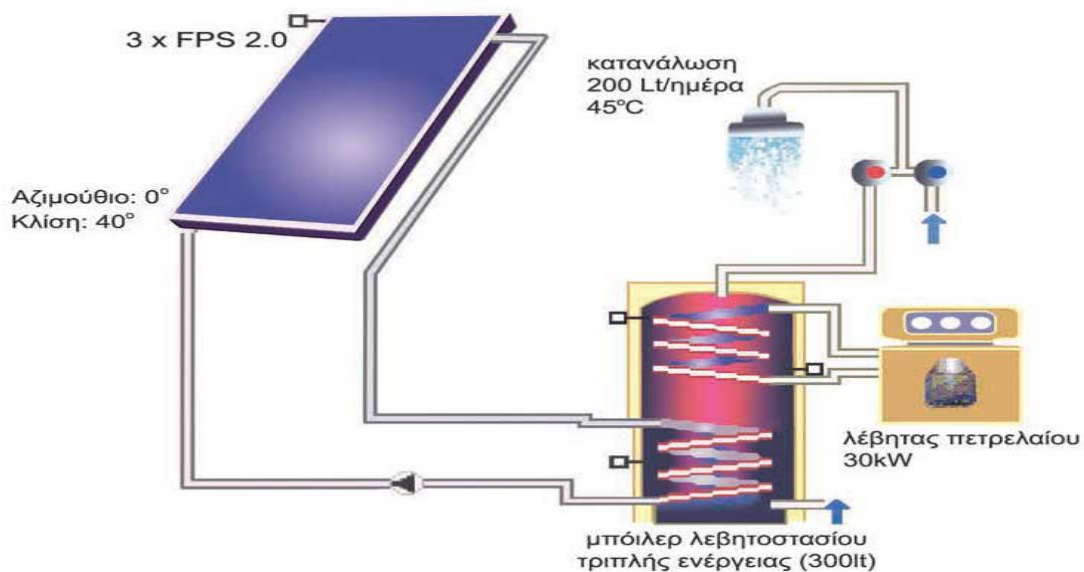
- Μία κριτική σχετικά με τα πρώτα Φ/Β πλαίσια ήταν ότι κατανάλωναν περισσότερη ενέργεια κατά την παραγωγή τους από όση παρήγαγαν κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Με τις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής και τις βελτιωμένες αποδοτικότητες λειτουργίας αυτός ο ισχυρισμός δεν ευσταθεί. Η ακριβής ενεργειακή απολαβή εξαρτάται προφανώς από τον διαθέσιμο ηλιακό πόρο και τον βαθμό στον οποίο το σύστημα είναι λειτουργικό. Τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και ένας υψηλός συντελεστής αξιοποίησης αποφέρουν πιο γρήγορες ενεργειακές απολαβές απ' ό,τι εάν υπάρχει λιγότερο ηλιακό φως και λιγότερη χρήση, αλλά συνήθως η απόσβεση επιτυγχάνεται εντός δύο ετών.

Τα πλεονεκτήματα από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας :

- Η ηλιακή ενέργεια είναι δωρεάν – οι τεχνολογίες ηλιακού ηλεκτρισμού παράγουν ισχύ ακόμη και στις ημέρες συννεφιάς
- Δεν παράγει θόρυβο ούτε επιβλαβείς εκπομπές ή μολυσμένα αέρια
- Δεν έχει κινούμενα τμήματα
- Είναι εξίσου κατάλληλη για εγκατάσταση σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα του βιομηχανοποιημένου κόσμου ή σε απομακρυσμένες περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών
- Απαιτείται ελάχιστη συντήρηση ώστε να λειτουργεί το σύστημα
- Αρθρωτά συστήματα μπορούν γρήγορα να εγκατασταθούν παντού και εύκολα καθώς αυξάνουν οι απαιτήσεις ή οι οικονομικές πηγές.

2.3.2.6 Ηλιακά Θερμικά

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα βασίζονται σε μία απλή αρχή, γνωστή για αιώνες. Ο ήλιος ζεσταίνει νερό το οποίο εμπεριέχεται σε ένα μαύρο δοχείο. Οι ηλιακές θερμικές τεχνολογίες είναι τώρα στην αγορά αποδοτικές και υψηλά αξιόπιστες, παρέχοντας ηλιακή ενέργεια σε μία ευρεία ακτίνα εφαρμογών όπως οικιακό ζεστό νερό και θέρμανση χώρων σε οικιστικά και εμπορικά κτίρια, υποστήριξη στη περιφερειακή θέρμανση, ηλιακή ψύξη, βιομηχανική θέρμανση, αφαλάτωση, πισίνες.



Σχήμα 2.4: Ηλιακό Θερμικό Σύστημα

2.3.2.7 Ηλιακό Οικιακό ζεστό νερό και θέρμανση χώρου

Δεν είναι παράλογο να εξαντλούμε χρήσιμο πετρέλαιο ή αέριο ώστε να πετύχουμε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν αυτή μπορεί εύκολα να παρασχεθεί από τον ήλιο; Ακόμη και τα πιο απλά ηλιακά θερμικά συστήματα μπορούν να δώσουν ένα μεγάλο μέρος των αναγκών οικιακού ζεστού νερού. Με μεγαλύτερη αρχική επένδυση, το 100% της ζήτησης του ζεστού νερού και ένα ουσιαστικό μερίδιο των αναγκών της θέρμανσης χώρου μπορεί να καλυφθεί με ηλιακή ενέργεια. Συστήματα φυσικής ροής δουλεύουν χωρίς καμία ανάγκη για αντλίες ή σταθμούς ελέγχου. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην νότια Ευρώπη. Εξαναγκασμένα συστήματα κυκλοφορίας είναι περισσότερο πολύπλοκα και μπορούν επίσης να καλύψουν θέρμανση χώρου. Είναι όλο και περισσότερο συνηθισμένα στη Κεντρική και Νότια Ευρώπη.

2.3.2.8 Ηλιακή Ψύξη

Ένας αναπτυσσόμενος αριθμός ερευνητικών έργων δείχνει το τεράστιο δυναμικό για την ηλιακή ψύξη. Ηλιακοί ψύκτες χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για να παράγουν κρύο και/ή ξήρανση. Όταν αποθηκεύονται σε λέβητες βιομάζας, συστήματα ψύξης από ανανεώσιμες είναι πιθανά σε ποσοστό 100%. Η ηλιακή ψύξη είναι στο χείλος εισαγωγής μίας ευρείας αγοράς και σημαντικές μειώσεις του κόστους προσδοκείται στα επόμενα χρόνια. Η αλλαγή της αιχμής των απαιτήσεων ηλεκτρισμού από το χειμώνα στο καλοκαίρι, αιτιολογείται από την εκρηκτική απαίτηση για ψύξη διακινδυνεύοντας την σταθερότητα του δικτύου. Η αιχμή της απαίτησης ψύξης

συνδέεται με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ψύξη θα είναι μία απάντηση κλειδί στην πρόκληση αυτή τα επόμενα χρόνια.

2.3.2.9 Διαδικασία Θέρμανσης και άλλες Εφαρμογές

Ο ήλιος μπορεί επίσης να παρέχει την θέρμανση που χρειάζονται πολλές βιομηχανικές διαδικασίες, όπως η παραγωγή του φαγητού και η ξήρανση, η αφαλάτωση του πόσιμου νερού, βιομηχανικά πλυντήρια κ.α. Ενώ οι συνηθισμένοι ηλιακοί συλλέκτες τυπικά παρέχουν 60-100 °C, οι συγκεντρωμένοι συλλέκτες μπορούν να φτάσουν θερμοκρασίες 300 °C και παραπάνω. Στην κατηγορία χαμηλότερων θερμοκρασιών οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ένας αποδοτικός τρόπος για να μειωθεί η απαίτηση θέρμανσης για πισίνες.

- Πλεονεκτήματα Ηλιακής Θέρμανσης

- Μειώνει την εξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα
- Βελτιώνει την ποικιλία του ενεργειακού εφοδιασμού
- Διασώζει σπάνιες φυσικές πηγές
- Εξοικονομεί εκπομπές CO₂ με πολύ χαμηλό κόστος
- Εμποδίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις
- Είναι αποδεδειγμένη και αξιόπιστη
- Είναι άμεσα διαθέσιμη – σε όλη την Ευρώπη
- Οι ιδιοκτήτες των συστημάτων επί της ουσίας εξοικονομούν χρήματα από τους λογαριασμούς θέρμανσης
- Δημιουργεί εργασία στη τοπική κοινωνία και διεγείρει την οικονομία
- Είναι ανεξάντλητη

- Αναπτυσσόμενη Αγορά

Η Ηλιακή θέρμανση στην Ευρώπη αναπτύσσεται με ένα εντυπωσιακό ρυθμό. Η δυναμικότητα σε λειτουργία ήταν 5 GWh το 1997, 10 GWh το 2004 και αναμένεται να φτάσει 15 GWh το 2008. Παραπάνω από 1 εκατομμύριο οικογένειες στην Ευρώπη ήδη επωφελούνται από την ηλιακή θερμική ενέργεια. Το 2006, η αγορά θα ξεπεράσει για πρώτη φορά τα 2 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα νέων εγκατεστημένων συλλεκτών (1,4 GWh).

Εν τούτοις, η ανάπτυξη αυτή καθοδηγείται από λίγες χώρες δεδομένου ότι οι

περισσότερες χώρες πρέπει να ξεκινήσουν μία σοβαρή ανάπτυξη αγοράς. Σχεδόν τα τρία τέταρτα της αγοράς της ΕΕ ακόμη συγκεντρώνονται σε μόνο τρεις χώρες: Γερμανία, Ελλάδα και Αυστρία. Η δυναμικότητα ανά πρωτεύουσα (KWth/1000 κατοίκους) εκτείνεται από 431 στη Κύπρο σε 179 στην Αυστρία και Ελλάδα, σε λιγότερο από 10 σε χώρες υψηλού δυναμικού όπως η Ιταλία, Γαλλία και Ισπανία. Εάν όλη η ΕΕ είχε το ίδιο επίπεδο κατά κεφαλήν όπως η Αυστρία σήμερα, η ετήσια αγορά θα ήταν πάνω από 10 εκατομμύρια m^2 με μία δυναμικότητα 82 GWth. Αυτό θα παρείχε περισσότερο από 70 TW ώρες ηλιακής θερμικής ενέργειας, αντικαθιστώντας σημαντικές ποσότητες πετρελαίου, αερίου και ηλεκτρισμού. Ακόμα και η Αυστρία δεν έχει εκμεταλλευθεί πλήρως το τεχνικό δυναμικό των ηλιακών θερμικών. [2.3 – 2.4]

2.3.3 Μικρά Υδροηλεκτρικά

Η Ισχύς από υδροηλεκτρικά παρέχει σε όλο τον κόσμο το 17% του ηλεκτρισμού από μία εγκατεστημένη ισχύ μερικών 730 GW κάνοντας την ισχύ από υδροηλεκτρικά μέχρι τώρα την πιο σημαντική ανανεώσιμη ενέργεια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Η συμμετοχή των μικρών υδροηλεκτρικών στην παγκόσμια ηλεκτρική ισχύ, είναι ίδιας κλίμακας με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (1-2% της συνολικής ισχύος) η οποία ανέρχεται σε περίπου 47 GW. Η Ευρώπη με περίπου 12 GW εγκατεστημένη ισχύ, έχει την δεύτερη μεγαλύτερη συμμετοχή στην εγκατεστημένη ισχύ στον κόσμο αμέσως μετά την Ασία.

Δεν υπάρχει διεθνής συμφωνία στον καθορισμό της έννοιας «Μικρά υδροηλεκτρικά». Στην Κίνα αναφέρεται η ισχύς μέχρι 25 MW, στην Ινδία μέχρι 15 MW. Παρόλα αυτά μία ισχύς μέχρι 10 MW στο σύνολο, γενικά γίνεται αποδεκτή στην Ευρώπη και υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση Μικρών Υδροηλεκτρικών (ESHA) και Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Τα μικρά υδροηλεκτρικά παράγουν ηλεκτρισμό η μηχανική ισχύ μετατρέποντας τη διαθέσιμη ισχύ των τρεχούμενων νερών, καναλιών και ρεμάτων. Ο αντικειμενικός σκοπός του πλάνου ενεργειών από υδροηλεκτρικά, είναι να μετατραπεί το ενεργειακό δυναμικό της μάζας του νερού, το οποίο τρέχει σε ένα ρέμα με κάποια πτώση («αρχή») σε ηλεκτρική ενέργεια στο κάτω μέρος του συστήματος, όπου βρίσκεται το οίκημα παραγωγής ισχύος. Η ισχύς του έργου είναι αναλογική με την ροή και την «αρχή». Ένα καλά σχεδιασμένο μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα μπορεί να ταιριάζει με τον περιβάλλοντα χώρο και να έχει ελάχιστη αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα χρησιμοποιούν κυρίως το νερό του ποταμού με μικρή ή καθόλου ανάγκη χρήσης δεξαμενής. Τα μικρά υδροηλεκτρικά δε είναι απλά μία μειωμένη έκδοση των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων. Ειδικός εξοπλισμός είναι απαραίτητος ώστε να καλύψει τις θεμελιώδεις απαιτήσεις λαμβάνοντας υπόψη την απλότητα, την υψηλή ενεργειακή

απόδοση και τη μέγιστη αξιοπιστία.



Σχήμα 2.5: Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο

2.3.3.1 Σημεία κλειδιά των Μικρών Υδροηλεκτρικών

- Προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης εκπομπών του CO₂
- Αποδεδειγμένη και αξιόπιστη τεχνολογία
- Μείωση της εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα
- Βελτιώνει την ποικιλία του ενεργειακού εφοδιασμού
- Σταθερότητα του δικτύου
- Μειωμένες απαιτήσεις στη ξηρά
- Τοπική και περιφερειακή ανάπτυξη
- Καλές ευκαιρίες για εξαγωγή τεχνολογίας
- Βοηθά στη διατήρηση των λεκανών των ποταμών
- Κατάλληλη τεχνολογία για αγροτική ηλεκτροδότηση σε αναπτυσσόμενες χώρες
- Υψηλή αναλογία ανταπόδοσης της ενέργειας

2.3.3.2 Ανάπτυξη της Αγοράς

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) των 25 περίπου 17.200 Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα είναι σε λειτουργία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 11 GW. Η Ιταλία έχει περίπου το 21% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από υδροηλεκτρικά στην ΕΕ των 25 , ακολουθούμενη από τη Γαλλία (17%) και Ισπανία (16%). Η Πολωνία και η

Δημοκρατία της Τσεχίας μαζί με 2% από την συνολική ισχύ της ΕΕ των 25, είναι τα προεξέχοντα από τα νέα μέλη.

2.3.3.3 Δυναμικό

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έχουν ένα πελώριο μερικά ανεκμετάλλευτο δυναμικό, το οποίο θα επέτρεπε να γίνει μία σημαντική συνεισφορά στις ενεργειακές ανάγκες. Περισσότερο από το 65% όλου του οικονομικά εφικτού δυναμικού έχει προωθηθεί μέχρι τώρα στην Ευρώπη των 25. Το υπόλοιπο οικονομικά εφικτό δυναμικό ανέρχεται:

- Περίπου 20 TWh/year στην ΕΕ-25
- Περίπου 27 TWh/year στα νέα μέλη και τις υποψήφιες χώρες

Ένα μεγάλο μερίδιο του δυναμικού στην Ευρώπη περιλαμβάνει έργα μικρού ύψους (low-head plants) και την ανακαίνιση των υπαρχόντων τοποθεσιών. Εκτός Ευρώπης υπάρχουν νέες ευκαιρίες για εξαγωγή και μεταφορά τεχνολογίας που προσφέρουν καλές προοπτικές για κατασκευαστές της ΕΕ, οικονομική ανάπτυξη και μία αύξηση των ενεργειακών αναγκών θα κατευθύνουν την πρόοδο των μικρών υδροηλεκτρικών. Η Ασία (ειδικά η Κίνα και η Ινδία) γίνονται επικεφαλής στα υδροηλεκτρικά. Στην Αφρική όπου μόνο το 5% της υδραυλικής ενέργειας έχει εκμεταλλευθεί, υπάρχουν επίσης καλές προοπτικές. [2.5]

2.3.4 Βιοενέργεια

Βιοενέργεια είναι ποικίλα συστήματα που μετατρέπουν πηγές από βιομάζα σε θέρμανση, ισχύ και καύσιμα μεταφορών. Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών, τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Συνηθισμένη σοδειά που δε προσφέρεται για φαγητό: αμυλούχες σοδειές (καλαμπόκι, σιτάρι, κόκκοι δημητριακών, κριθάρι), στέμφυλα, ηλιάνθοι και ζαχαρότευτλα. Δασοκομία όπως ξυλεία ιτιάς, λεύκας και φυλλώδη προϊόντα: νωπά κατάλοιπα κ.λ.π. Παραπροϊόντα γεωργίας: άχυρο, κοπριά ζώων, κ.λ.π. Βιομηχανικά παραπροϊόντα: κατάλοιπα από φαγητό και βιομηχανικά απόβλητα βιομάζας βασισμένα στη ξυλεία, απόβλητα κατεδαφίσεων όσον αφορά το ξύλο, ακαθαρσίες υπονόμων και μέρος από οργανικά δημοτικά στερεά απόβλητα.

2.3.4.1 Είδη Βιοενέργειας

Τρεις τρόποι χρήσης πηγών από βιομάζα συνθέτουν τον βιοενεργειακό τομέα: βιομάζα για σκοπούς θέρμανσης (βιοθέρμανση), βιομάζα για παραγωγή ηλεκτρισμού (βιοηλεκτρισμός), βιομάζα για καύσιμα μεταφορών (βιοκαύσιμα μεταφορών)

Όλες αυτές οι διαδικασίες αποδίδουν κέρδος με τη μείωση του CO₂ του δυναμικού της βιομάζας. Το CO₂ που απελευθερώνεται είναι ισοδύναμο με το ποσό του CO₂ που απορροφάται από τη βιομάζα (φωτοσύνθεση) στην φάση ανάπτυξης.

Πρακτικά, το ισοδύναμο του 10-30% του ενεργειακού περιεχομένου της ακατέργαστης βιομάζας χρησιμοποιείται στην καλλιέργεια, μεταφορά, μετατροπή και αναβάθμιση. Αυτό το ποσό ενέργειας μπορεί τμηματικά να προέλθει από την ίδια τη βιομάζα, η οποία κάνει την ισορροπία του CO₂ σχεδόν ουδέτερη.

Επομένως η βιομάζα μπορεί ουσιαστικά να συνεισφέρει να φτάσουμε τους στόχους του πρωτοκόλλου του Κιότο και να μειώσει μακροπρόθεσμα τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

2.3.4.2 Πλεονεκτήματα Βιομάζας

- Ευρεία διαθεσιμότητα στην Ευρώπη και στο εξωτερικό
- Συνεισφορά στη ασφάλεια του εφοδιασμού της ενέργειας
- Χαμηλό κόστος καυσίμου συγκρινόμενο με τα ορυκτά καύσιμα
- Μπορεί να αποθηκευθεί και να χρησιμοποιηθεί με τη ζήτηση
- Σθεναρές ευκαιρίες απασχόλησης, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές
- Καλές ευκαιρίες για εξαγωγές τεχνολογίας
- Μειωμένες τιμές CO₂ και άλλων εκπομπών
- Πηγή πολλών δυνατοτήτων για επιχειρήσεις
- Συμμετοχή σε μία ισορροπημένη ανάπτυξη της γεωργίας

2.3.4.3 Δυναμικό Βιομάζας

Το δυναμικό της βιοενέργειας είναι πολύ μεγάλο και ευρέως διαδεδομένο σε όλο τον κόσμο. Σήμερα η βιομάζα συνεισφέρει σημαντικά στις ενεργειακές ανάγκες στο κόσμο με όλες τις διαθέσιμες ανανεώσιμες τεχνολογίες ενέργειας και φτάνει το 12%

(50 EJ/y) της συνολικής ανάγκης στον κόσμο (406 EJ/y). Η χρήση βασίζεται κυρίως στα δασικά - γεωργικά απόβλητα και στα φυσικά δάση. Επειδή η βιοενέργεια μπορεί να υλοποιηθεί σε μικρή, μεσαία και μεγάλη κλίμακα είναι εφαρμόσιμη σε μία ευρεία ποικιλία πηγών και έργων. Υπάρχει ανάγκη για ευρύτερη διαθεσιμότητα μοντέρνας και αποδοτικής τεχνολογίας της βιοενέργειας και γίνονται μεγάλες προσπάθειες ώστε να προαχθεί η συνεισφορά περιβαλλοντικά, τεχνικά και οικονομικά διατηρούμενη χρήση των πηγών. Στο μέλλον μία μεγάλη συμμετοχή στην παραγωγή βιοενέργειας μπορεί να προέλθει από κατάλληλες σοδειές (σύντομη ανακύκλωση της βλάστησης του δάσους, φυλλώδης βλάστηση)

2.3.4.4 Δημιουργία εργασίας

Η παραγωγή βιοενέργειας δημιουργεί νέες και σταθερές δουλειές κυρίως σε αγροτικές περιοχές. Συνεισφέρει σε μία ισορροπημένη ανάπτυξη της γεωργίας. Υψηλή απαίτηση μετατροπής της βιομάζας και χρήση τεχνολογιών αναμένεται στο μέλλον στις βιομηχανικές και αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτό σημαίνει ευκαιρίες εξαγωγής ευρωπαϊκών τεχνολογιών, τεχνογνωσία και υπηρεσίες ιδιαίτερα για μικρές και μεσαίων δυνατοτήτων εγκαταστάσεις.

2.3.4.5 Σχέδιο Δράσης για Βιομάζα

Το σχέδιο δράσης για τη βιομάζα, αναλαμβάνει μέτρα ώστε να αυξηθεί η ανάπτυξη της βιομάζας, ενέργεια από ξυλεία, απόβλητα και γεωργικά αγαθά δημιουργώντας κίνητρα βασισμένα στην αγορά και μετακινώντας εμπόδια στην ανάπτυξη της αγοράς. Το σχέδιο δράσης για τη βιομάζα είναι ένα συντονισμένο πρόγραμμα για δράση από τη κοινότητα συμπεριλαμβανομένου μέτρων ώστε να βελτιωθεί η ζήτηση για τη βιομάζα, βελτίωση του εφοδιασμού, υπερνίκηση των τεχνικών εμποδίων, ανάπτυξη της έρευνας. Με αυτό τον τρόπο η Ευρώπη μπορεί να κόψει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα να περικόψει εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και να διεγείρει οικονομική δραστηριότητα σε αγροτικές περιοχές. Μέτρα κόστους αποτελέσματος σε όφελος της βιομάζας πρέπει να αναπτυχθούν σε ευρωπαϊκό επίπεδο ώστε: να φανούν τα μέγιστα αποτελέσματα από εθνικές και τοπικές καινοτομίες και να παρέχουν ένα σαφή δρόμο προς τα εμπρός για σημαντικές βιομηχανίες οργανωμένες δίκαια σε μία ευρωπαϊκή κλίμακα.

2.3.4.6 Προβληματισμοί για τη χρήση βιοκαυσίμων

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να βοηθήσουν στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και να δημιουργήσουν θέσεις εργασίας στον αναπτυσσόμενο κόσμο, ωστόσο τα οφέλη ίσως αντισταθμιστούν από σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα και αυξήσεις τιμών στα τρόφιμα, αναφέρει ο ΟΗΕ στην πρώτη του μεγάλη έκθεση για τη βιοενέργεια.

Η έκθεση του UN-Energy, μιας κοινοπραξίας 20 φορέων των Ηνωμένων Εθνών, έχει στόχο να βοηθήσει τις κυβερνήσεις στον καθορισμό πολιτικών βιοενέργειας που μεγιστοποιούν τα οφέλη και ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις της νέας τεχνολογίας.

Τα βιοκαύσιμα, που παράγονται από καλαμπόκι, φοινικέλαιο, ζαχαρότευτλα και άλλα είδη βιομάζας, προωθούνται ως καθαρότερη, φθηνότερη και πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα.

Η ΕΕ πρόσφατα αποφάσισε τα βιοκαύσιμα να αντιστοιχούν στο 10% των καυσίμων έως το 2020, ενώ το αμερικανικό Κογκρέσο επεξεργάζεται πρόταση που θα επταπλασίαζε την παραγωγή βιοκαυσίμων έως το 2022.

Η έκθεση αναφέρει ότι η βιοενέργεια αποτελεί «εξαιρετική ευκαιρία» για τη μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Προειδοποιεί όμως ότι **«η ταχεία ανάπτυξη στην παραγωγή βιοκαυσίμων θα έχει σημαντικές απαιτήσεις, όσον αφορά τους πόρους γης και νερού, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται ταχύτατα οι ανάγκες για τρόφιμα και προϊόντα από τα δάση».**

Πράγματι, στην αμερικανική αγορά οι τιμές της ζάχαρης και του καλαμποκιού ανέβηκαν απότομα καθώς οι καλλιέργειες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για παραγωγή βιοκαυσίμων. Η έκθεση επισημαίνει επίσης ότι η αυξημένη ζήτηση για φοινικέλαιο οδηγεί σε αποψίλωση των δασών στη Νοτιοανατολική Ασία.

Σοβαρές επιφυλάξεις έχουν εκφράσει και περιβαλλοντικές οργανώσεις, υποστηρίζοντας ότι η νέα τάση δημιουργείται από συμφέροντα στον τομέα της αγροτικής παραγωγής τα οποία αναζητούν νέες αγορές.

«Όλο και περισσότερο, ο κόσμος συνειδητοποιεί ότι υπάρχουν σοβαρά περιβαλλοντικά θέματα και σοβαρά θέματα ασφάλειας τροφίμων», δήλωσε, ειδικός της Greenpeace για τα βιοκαύσιμα.

Η έκθεση συνιστά στις κυβερνήσεις να αποφύγουν πηγές βιομάζας που χρειάζονται καλά εδάφη, πολύ νερό και πολλά λιπάσματα. Ζητά επίσης τη δημιουργία διεθνούς πλαισίου για την πιστοποίηση των βιοκαυσίμων, ώστε τα προϊόντα πληρούν τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές «από το χωράφι έως τις δεξαμενές καυσίμων». [2.5]

2.3.5 Ενέργεια από Γεωθερμία

Για τον καθορισμό της έννοιας, η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται με τη μορφή ζέστης κάτω από την επιφάνεια της γης. Έχει χρησιμοποιηθεί από τα αρχαία χρόνια για θέρμανση και για 100 χρόνια επίσης για δημιουργία ηλεκτρισμού. Το δυναμικό του είναι ανεξάντλητο σε ανθρώπινους όρους, συγκρίσιμο με αυτό του ήλιου. Εκτός από τη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, η ενέργεια από γεωθερμία σήμερα χρησιμοποιείται για περιφερειακή θέρμανση, καθώς

επίσης για θέρμανση (ψύξη) μεμονωμένων κτιρίων, γραφείων συμπεριλαμβανομένων, καταστημάτων, μικρών οικιστικών σπιτιών, κ.λ.π.

Ηλεκτρική ενέργεια από γεωθερμία αρχικά παρήχθη στο Larderello στην Ιταλία το 1904. Η Ισλανδία, η Ιταλία, η Τουρκία και η Γαλλία είναι οι επικεφαλές χώρες στην Ευρώπη σήμερα στον υπόψη τομέα. Τα μεγαλύτερα περιφερειακά συστήματα θέρμανσης από γεωθερμία στην Ευρώπη μπορούν να βρεθούν στην περιοχή του Παρισιού στην Γαλλία με την Αυστρία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Πολωνία, Σλοβακία και άλλες να παρουσιάζουν ένα ουσιαστικό αριθμό από ενδιαφέροντα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης. Η Σουηδία, η Ελβετία, Γερμανία και Αυστρία είναι οι χώρες που καθοδηγούν με όρους αγοράς σε γεωθερμικές αντλίες θέρμανσης στην Ευρώπη.



Σχήμα 2.6: Πηγή Γεωθερμίας

2.3.5.1 Ισχύς από Γεωθερμία

Σήμερα, συγκροτήματα γεωθερμίας υπάρχουν σε κάθε ήπειρο, σε κάθε μέρος όπου μπορούν να βρεθούν αποθέματα ατμού ή υπόγειων ζεστών νερών. Παράγουν με συνήθη τεχνολογία, 820 MW ηλεκτρικής ισχύος στην ΕΕ ημέρα και νύχτα. Οι κατάλληλες πηγές είναι αρκετά μακριά από το να αναπτυχθούν πλήρως στην Ευρώπη. Η ιδέα των εμπλουτισμένων συστημάτων γεωθερμίας (συμπεριλαμβανομένης της ιδέας “Hot-Dry-Rock”) πρόκειται να αυξήσει τρομακτικά το δυναμικό.

2.3.5.2 Βαθιά και άμεσα

Η γη είναι γεμάτη ενέργεια: σχεδόν οποιοδήποτε επίπεδο θερμοκρασίας στο υπέδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα με βαθιές τρύπες. Σχεδόν 4.500 MWh έχουν ήδη εγκατασταθεί στην Ευρώπη με φανερό το κέρδος για το περιβάλλον. Ωστόσο, για μία ακόμα φορά, αυτό είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα των πηγών που θα μπορούσαν να είναι εκμεταλλεύσιμες.

2.3.5.3 Γεωθερμία σε μικρό βάθος

Σχεδόν οποιοδήποτε θερμοκρασιακό επίπεδο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενέργεια από γεωθερμία ακόμα και αν αυτό σημαίνει θερμοκρασίες 3-15 °C, όπως είναι το συνηθισμένο σε μικρό βάθος του Ευρωπαϊκού κλίματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις μία αντλία θέρμανσης απαιτείται και μπορεί επίσης να δοθεί τόσο θέρμανση όσο και ψύξη. Αυτή η τεχνολογία αποδίδει επίσης περί τα 4.500 MWh ικανότητα θέρμανσης.

2.3.5.4 Ενέργεια από Γεωθερμία

- Μία πηγή ενέργειας σχεδόν απεριόριστη που προσφέρει ζέστη και ισχύ 24 ώρες όλο το χρόνο και διαθέσιμη σε όλο τον κόσμο.
- Εφοδιασμός με ενέργεια με χρήση της τεράστιας εσωτερικής θέρμανσης της γης και της υψηλής θερμοκINETΙΚΗΣ αποθηκευτικής ικανότητας του εδάφους.
- Φιλική με το περιβάλλον: συμμετοχή στη μείωση του CO₂
- Πολύ χαμηλή οπτική επίδραση – το μεγαλύτερο μέρος της υποδομής δύναται να καλυφθεί κάτω από το έδαφος.

2.3.5.5 Μία ασφαλής και ελέγξιμη τεχνολογία

- Δεν εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες
- Αποδεδειγμένη και τεχνικά ελεγχόμενη: σχέδιο, γεωτρύπανα
- Συστατικά (κέντρα ισχύος, περιφερειακή θέρμανση, αντλίες θέρμανσης)
- Εξαιρετική ανάδραση από τις χώρες που είναι επικεφαλής
- Μία απάντηση σε διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες: ηλεκτρική ισχύς, θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό
- Διαμορφούμενη ανάλογα με το είδος της πηγής, το μέγεθος και τη φύση του εξοπλισμού ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις
- Στον τομέα θέρμανσης: προσαρμόσιμη σε παλιά ή νέα κτίρια, μικρά ή μεγάλα, ατομική ή περιφερειακή θέρμανση

2.3.5.6 Μία οικονομικά διατηρούμενη ενέργεια

- Μεγάλη μείωση της τιμής της ενέργειας
- Μακροπρόθεσμη αντοχή των εγκαταστάσεων
- Όχι ευαισθησία στις συμβατικές τιμές ενέργειας

2.3.5.7 Προβλήματα Παραγωγής και Ρύπανσης

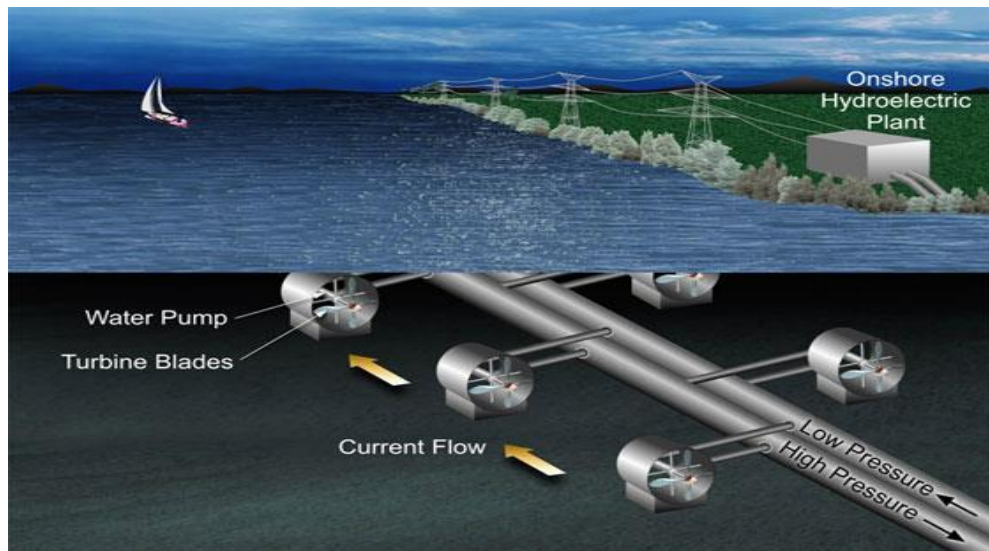
Στα κύρια προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- Αποθέσεις μετάλλων (σε μερικά πεδία όπου επικρατεί το νερό μπορεί να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το ζέων γεωθερμικό ρευστό)
- Μεταβολές στις υδρολογικές αλλαγές (η εκτεταμένη παραγωγή από τα φρέατα αλλάζει τις τοπικές υδρολογικές συνθήκες)
- Διάβρωση (τα γεωθερμικά νερά προκαλούν την ταχεία διάβρωση των περισσότερων κραμάτων μετάλλων, αλλά αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα κατά τη χρήση τους εκτός από τις περιοχές όπου αντλούνται υψηλής θερμοκρασίας όξινα ύδατα (πολύ σπάνια), για παράδειγμα σε ενεργειακές ηφαιστειακές ζώνες
- Ρύπανση (από τις μη ηχομονωμένες γεωτρήσεις εκροής μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120 db), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να ψεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και στα κτίρια)
- Επανεύχυση (το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανεύχυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στα έγκατα μέσω φρεάτων απόρριψης) [2.5]

2.3.6 Λοιπές Α.Π.Ε. – Ενέργεια από κύματα, παλίρροια

a) 2.3.6.1 Ενέργεια από την ταχύτητα των Κυμάτων

Η εντατική μελέτη της έρευνας και ανάπτυξης της μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων, άρχισε μετά την δραματική αύξηση των τιμών του πετρελαίου το 1973.



Σχήμα 2.7: Σύστημα Ενέργειας Κυμάτων

2.3.6.2 Δυναμικό από ενέργεια Κυμάτων

Το παγκόσμιο δυναμικό από κύματα σε βαθιά νερά (π.χ 100 μέτρα ή περισσότερο) εκτιμάται σε 110 TW (Panicker 1976). Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ποικίλλει από 140-750 TWh/y για τα υπάρχοντα σχέδια συσκευών στη πλήρη ανάπτυξή τους (Wavenet 2003) και θα

μπορούσαν να αυξηθούν σε 2.000 TWh/y (Thorpe 1999), αν υλοποιηθούν βελτιώσεις στις υπάρχουσες συσκευές. Η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρισμού είναι περίπου 15.400 TWh/y (BP, IEA), έτσι τα κύματα θα μπορούσαν να εφοδιάσουν το 13% της παρούσας κατανάλωσης ηλεκτρισμού στον κόσμο το οποίο είναι ισοδύναμο με περίπου το 70% που παρέχεται από υδροηλεκτρικά.

2.3.6.3 Κόστος και Τεχνολογίες

Το προβλεπόμενο κόστος ηλεκτροπαραγωγής από μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων έχει δείξει μία σημαντική βελτίωση τα τελευταία 20 χρόνια, η οποία έχει φτάσει μία μέση τιμή κάτω από 10 c€/KWh. Συγκρινόμενη π.χ. με τη μέση τιμή ηλεκτρισμού στην ΕΕ η οποία είναι περίπου 4 c€/KWh, η τιμή ηλεκτρισμού που παράγεται από τα κύματα είναι ακόμα υψηλή. Αλλά προβλέπεται να μειωθεί περαιτέρω με την ανάπτυξη των τεχνολογιών.

Ο πιο σημαντικός αντικειμενικός σκοπός στον τομέα ενέργειας των κυμάτων είναι η ανάπτυξη πλήρους μεγέθους πρωτοτύπων ώστε να αποδειχθεί η απόδοσή τους στη

θάλασσα και να έρθει η τεχνολογία σε ένα τέτοιο σημείο ώστε να είναι συγκρίσιμο με άλλες Α.Π.Ε. όπως η αιολική ενέργεια.

Τα συστήματα ενέργειας των κυμάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες:

- Συσκευές στην Ακτή (Shoreline devices)
- Συσκευές κοντά στην Ακτή (Near Shore devices) σε μέτρια βάθη νερών (20-25 μέτρα), σε αποστάσεις μέχρι 500 μέτρα από την ακτή
- Συσκευές σε απόσταση από την Ακτή (Offshore devices), εκμεταλλεύονται το δυναμικό των κυμάτων σε βαθιά νερά > 25 μέτρα

2.3.6.4 Ενέργεια από Παλίρροια

Οι τεχνικές μετατροπής της ενέργειας της παλίρροιας εκμεταλλεύονται τη φυσική ανύψωση και πτώση του επιπέδου των ωκεανών που προκαλείται κυρίως από την αλληλεπίδραση των πεδίων βαρύτητας του πλανητικού συστήματος της γης, τον ήλιο και το φεγγάρι. Οι κάθετες κινήσεις που έχουν να κάνουν με την ανύψωση και πτώση των παλιρροιών συνοδεύονται από απότομες οριζόντιες κινήσεις νερού που σχηματίζουν ρεύματα παλιρροιών.

2.3.6.5 Δυναμικό ενέργειας από παλίρροια

Το παγκόσμιο ενεργειακό δυναμικό από παλίρροιας εκτιμάται σε 200 TWh/y από το οποίο περίπου το 1 TW είναι διαθέσιμο σε συγκριτικά χαμηλά νερά. Στην ΕΕ η Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο έχουν με επάρκεια υψηλές παλιρροιακές διακυμάνσεις πάνω από 10 μέτρα. Εκτός της ΕΕ, ο Καναδάς, η Αργεντινή, η Δυτική Αυστραλία και η Κορέα διαθέτουν ενδιαφέρουσες περιοχές με δυναμικό. Επί του παρόντος τρία (3) τεχνητά παλιρροιακά φράγματα λειτουργούν ως εμπορικά πάρκα ισχύος ανερχόμενα παγκοσμίως σε ένα συνολικό εγκατεστημένο δυναμικό των 260 MW.

2.3.6.6 Κόστος και Τεχνολογίες

Τα παλιρροιακά ενεργειακά έργα απαιτούν υψηλές επενδύσεις κεφαλαίου στην έναρξη, έχουν σχετικά μακρές περιόδους κατασκευής και ανταπόδοσης χρημάτων. Κατά συνέπεια, το κόστος ηλεκτρισμού είναι ιδιαίτερα ευπαθές με το χρησιμοποιούμενο βαθμό έκπτωσης. Το θέμα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί με Κυβερνητική χρηματοδότηση ή με την εμπλοκή μεγάλων οργανισμών με την παλιρροιακή ισχύ. Όσον αφορά τα μακροπρόθεσμα κόστη, από την στιγμή που η κατασκευή του φράγματος έχει ολοκληρωθεί, υπάρχουν πολύ μικρά κόστη που αφορούν στη συντήρηση και στα τρέχοντα έξοδα και οι στρόβιλοι χρειάζονται αντικατάσταση κάθε 30 χρόνια. Η ζωή των εγκαταστάσεων είναι απεριόριστη και για

όλη του τη λειτουργία, θα λαμβάνει δωρεάν ενέργεια από την παλίρροια.

Τα οικονομικά θέματα ενός παλιρροιακού φράγματος είναι περίπλοκα. Ο ευνοϊκότερος σχεδιασμός θα είναι αυτός, που παράγει την περισσότερη ισχύ με το μικρότερο δυνατό φράγμα.

Η τεχνολογία που απαιτείται για να μετατραπεί παλιρροιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό μοιάζει πολύ με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε παραδοσιακά υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η τεχνολογία για τη μετατροπή της ενέργειας της παλίρροιας θεωρείται ώριμη αλλά όπως όλα τα μεγάλα σχεδιαστικά έργα θα πρέπει να επιλύσει μία σειρά τεχνικών και περιβαλλοντικών θεμάτων.

2.3.6.7 Ενεργειακά παλιρροιακά έργα

Επί του παρόντος τρία παλιρροιακά φράγματα λειτουργούν ως εμπορικά εργοστάσια. Ένα από αυτά είναι αυτό που κατασκευάστηκε σε ένα αγρόκτημα στις εκβολές ενός ποταμού στη Γαλλία στη δεκαετία του 60 και τώρα έχει συμπληρώσει πάνω από 40 χρόνια επιτυχούς λειτουργίας. Εξαιτίας του υψηλού κόστους παραγωγής, της μακροπρόθεσμης περιόδου ανταπόδοσης και της περιβαλλοντικής επιρροής στα τοπικά οικοσυστήματα είναι απίθανο η παλιρροιακή ενέργεια να αναπτυχθεί εμπορικά. [2.5 – 2.6]

2.4 ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (Wind Turbins)

2.4.1 ΕΙΔΗ ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται πολλά είδη Α/Γ, οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που εκμεταλλεύονται τον άνεμο:

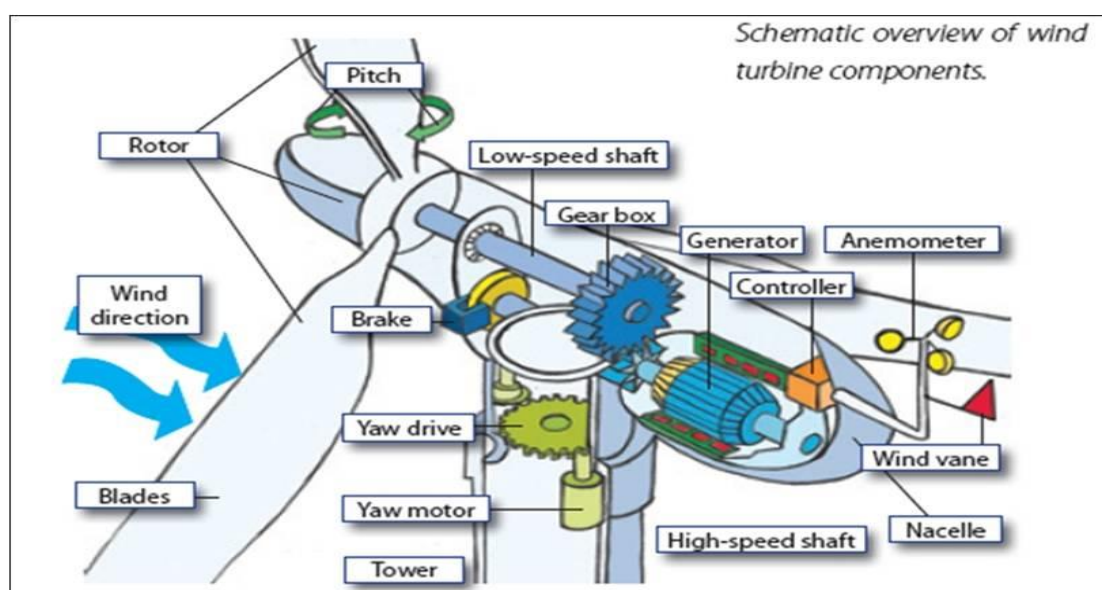
- **Οριζοντίου άξονα** : Στις Α/Γ οριζοντίου άξονα ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.

- **Κάθετου άξονα** : Στις Α/Γ κάθετου άξονα, ο άξονας περιστροφής τους είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου.

Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα με δύο ή τρία πτερύγια σε μεγάλο ποσοστό της τάξεως του 90 %. Για το λόγο αυτό αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά μίας κλασσικής Α/Γ οριζοντίου άξονα.

Οι **ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα** έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης, ο οποίος επίσης περιστρέφεται ώστε να είναι πάντοτε παράλληλος

και με τη διεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως 2 ή 3 πτερύγια (τύπου έλικας), σε αντίθεση με τους κλασικούς ανεμόμυλους που έχουν πολλά πτερύγια. Το 75% των σύγχρονων ανεμογεννητριών έχουν τρία πτερύγια. Η βελτίωση του σχεδιασμού των ανεμογεννητριών, που συνεχίζεται ακόμη, υποβοηθήθηκε σημαντικά από τις εξελίξεις στον τομέα της αεροδυναμικής. Ένα από τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων πτερυγίων είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους. Ο δρομέας της ανεμογεννήτριας τοποθετείται συνήθως σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης.



Σχήμα 2.8: Κύρια συστατικά μιας ανεμογεννήτριας

Πιο συγκεκριμένα μία τυπική Α/Γ οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα παρακάτω βασικά μέρη:

➤ **Δρομέας:**

Αποτελεί ίσως το σημαντικότερο ζήτημα στη σχεδίαση του όλου συστήματος. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διάφορων παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα : ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές. Το κριτήριο επιλογής για το συνδυασμό είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Συνήθως 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 τους. Το μήκος τους εξαρτάται από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης τους. Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής του αεροδυναμικού συντελεστή c_p .

➤ Σύστημα μετάδοσης της κίνησης

Αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο ταχυτήτων (στις μεγάλες Α/Γ), το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στην σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας.

➤ Σύστημα πέδησης

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα [2.7] :

- Μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου
- Στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει σε διαφορετική κατεύθυνση από αυτήν του ανέμου
- Αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με την ενεργοποίηση αεροπέδης
- Πέδηση του άξονα που πραγματοποιείται με δισκόφρενο τύπου ασφάλειας αστοχίας που ενεργεί αυτόματα στον άξονα.

➤ Ηλεκτρική γεννήτρια

Ο μηχανισμός αυτός παράγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει ικανοποιητικός αέρας για να περιστρέψει τα πτερύγια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στο επόμενο στάδιο (είτε για αποθήκευση, είτε στο σύστημα διανομής, είτε για άμεση χρήση) χρησιμοποιώντας καλωδίωση. Υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις, σύγχρονη ή ασύγχρονη γεννήτρια, η οποία συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η θέση τοποθέτησης της είναι στην κορυφή του πύργου της Α/Γ. Συνήθως χρησιμοποιείται η ασύγχρονη γεννήτρια λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει όσον αφορά στο κόστος, στο βάρος, στην απλότητα κατασκευής, στην αξιοπιστία, στις ανάγκες συντήρησης, στην καλύτερη ποιότητα ισχύος και στις μεμονωμένες μηχανικές καταπονήσεις [2.8]. Η σύγχρονη γεννήτρια, η οποία μειονεκτεί στα παραπάνω, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο, δηλαδή σε αυτόνομα συστήματα με συσσωρευτές για την αποθήκευση της ενέργειας, αφού η προτιμώμενη ασύγχρονη γεννήτρια χρειάζεται να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο.

➤ Σύστημα προσανατολισμού

Οι Α/Γ οριζόντιου άξονα απαιτούν έναν μηχανισμό (yaw control system) που να τις τοποθετεί προς την κατεύθυνση του ανέμου. Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως μια ουρά που τις περιστρέφει προς την σωστή κατεύθυνση. Οι μεγάλες μηχανές έχουν συνήθως έναν σερβοκινητήρα ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και που τις προσανατολίζει στην κατεύθυνση της μέγιστης αιολικής δύναμης.

➤ Πύργος

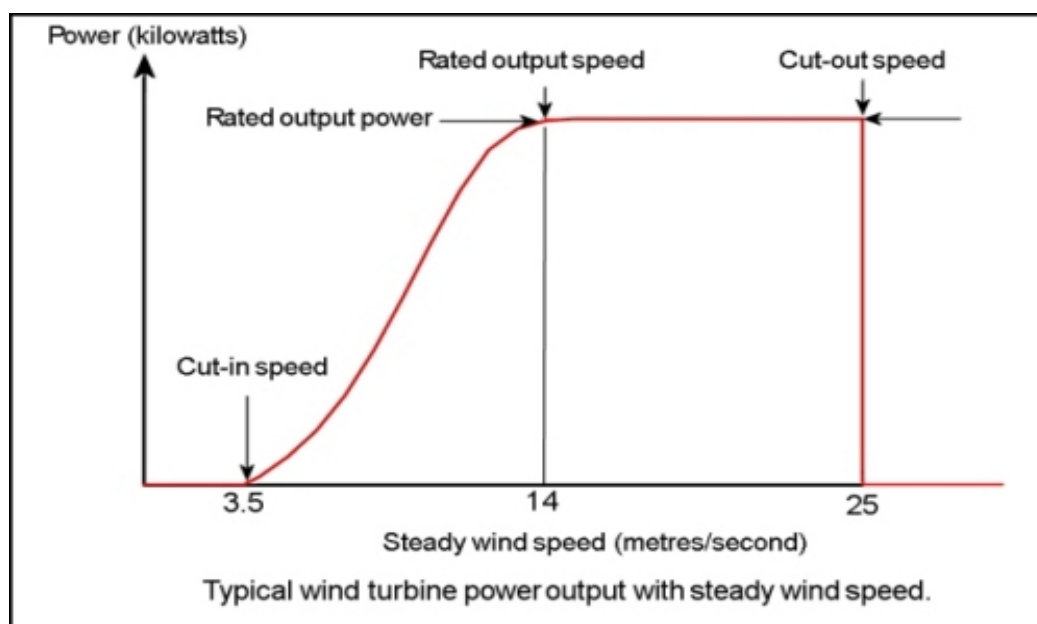
Ο πύργος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Δύο είναι οι κύριοι τύποι πύργων που έχουν επικρατήσει, ο σωληνωτός κι ο τύπου δικτυώματος. Ο δικτυωτός είναι ευκολότερος στην συναρμολόγηση κι ανάρτηση, ελαφρύτερος και φθηνότερος. Ο σωληνωτός, από την άλλη, είναι αισθητικά

καλύτερος και το εσωτερικό του όταν πρόκειται για μεγάλες Α/Γ είναι δυνατό να αποτελέσει και το θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων της Α/Γ, ενώ μπορεί να έχει εσωτερική σκάλα ή ανελκυστήρα για την πρόσβαση στο κουβούκλιο (νασέλα) στην κορυφή του. Ο πύργος στήριξης μιας ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως από μεταλλικό σωλήνα (για μεγάλα συστήματα) ή από ένα μεταλλικό δικτύωμα ή από μία στήλη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το ελάχιστο ύψος του προφανών θα πρέπει να υπερβαίνει την ακτίνα του δρομέα. Η ισχύς των περισσότερων ανεμοστρόβιλων κυμαίνεται από 100 μέχρι 2000 kW, αν και βρίσκονται υπό πειραματική λειτουργία ή υπό σχεδιασμό ανεμοστρόβιλους με ισχύ 4,5 kW. Η τυπική τιμή ισχύος των ανεμοκινητήρων σήμερα είναι τα 1000 kW, με διάμετρο δρομέα 60 m και σε ύψος 60-80 m.

➤ Πίνακας ελέγχου

Βρίσκεται συνήθως τοποθετημένος στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει κι ελέγχει όλες τις λειτουργίες της Α/Γ, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία της.

Στην πράξη οι ανεμογεννήτριες είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε μια περιοχή ταχυτήτων του ανέμου. Η χαμηλότερη ταχύτητα, η *ταχύτητα έναρξης* (cut-in speed) είναι περίπου 4-5 m/s, καθώς για χαμηλότερες ταχύτητες η παραγόμενη ενέργεια είναι πολύ μικρή (μικρότερη από τις απώλειες του συστήματος). Η *ταχύτητα αποκοπής* (cut-out speed) καθορίζεται από την ικανότητα της συσκευής να αντέχει την υψηλή ταχύτητα του ανέμου. Η *ονομαστική ταχύτητα* (rated speed) είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η συσκευή επιτυγχάνει τη μέγιστη ονομαστική ισχύ. Πάνω από αυτήν την ταχύτητα υπάρχουν μηχανισμοί για να διατηρείται η παραγόμενη ενέργεια σταθερή για αυξανόμενη ταχύτητα του ανέμου (Σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9: Η αποδιδόμενη ισχύς μιας ανεμογεννήτρια ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. V_c ταχύτητα έναρξης περιστροφής της α/γ, V_r ονομαστική ταχύτητα, V_f ταχύτητα αποκοπής P_r ονομαστική ισχύς της συσκευής.

2.4.2 Ανεμογεννήτριες σταθερών ή μεταβλητών στροφών

2.4.2.1 Ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών

Είναι οι Α/Γ που έχουν πρακτικά σταθερή ταχύτητα περιστροφής ανεξαρτήτως ταχύτητας ανέμου. Αποτελούν τις πρώτες Α/Γ που άρχισαν να χρησιμοποιούνται, ενώ ακόμα και σήμερα υπάρχουν σε μεγάλο ποσοστό από τις ήδη εγκατεστημένες. Συνδυάζονται είτε με σύγχρονες γεννήτριες είτε με γεννήτριες επαγωγής. Η μεγάλη εξάπλωσή τους οφείλεται στο κόστος τους, αφού για τη σύνδεση τους με το δίκτυο δεν απαιτούνται και δεν παρεμβάλλονται ηλεκτρονικοί μετατροπείς κι αντιστροφείς, των οποίων το κόστος μόνο αμελητέο δεν είναι. Η απευθείας με το δίκτυο σύνδεση έχει ως αποτέλεσμα η ταχύτητα του δρομέα να είναι σταθερή και πρακτικά ίση με τη σύγχρονη (Σχέση 2.1).

$$N_s = \frac{120 f_s}{p} = \text{σταθερή (2.1)}$$

Όπου,

- N_s , η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (*rpm*)
- f_s , η συχνότητα στο στάτη, που ισούται με τη συχνότητα του δικτύου ($f_s=50\text{Hz}$)
- p , ο αριθμός των πόλων της γεννήτριας (πάντα ζυγός)

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι Α/Γ λειτουργίας σταθερών στροφών αφορούν στην εξαιρετική τους απλότητα, αξιοπιστία και στις ελάχιστες ανάγκες συντήρησής τους. Παράλληλα, όμως εμφανίζουν και κάποια μειονεκτήματα, τα σοβαρότερα εκ των οποίων είναι :

- Αδυναμία συνεχούς λειτουργίας με το μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή c_p,max
- Αυξημένη μεταβλητότητα ισχύος εξόδου
- Χαμηλός συντελεστής ισχύος εξόδου
- Μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης και ζεύξης – απόζευξης

Εξαιτίας αυτών των αδυναμιών, οι κατασκευάστριες εταιρείες ξεκίνησαν την παραγωγή Α/Γ μεταβλητών στροφών, οι οποίες δίνουν λύση σε μεγάλο βαθμό στα προαναφερθέντα προβλήματα.

2.4.2.2 Ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών

Στη λειτουργία αυτή, για να υπάρχει η καλύτερη απόδοση της Α/Γ, απαιτείται η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα να είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχουν μεγάλες μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων. Για την πραγματοποίηση αυτής της αναλογίας (στροφές δρομέα - ταχύτητα ανέμου) χρησιμοποιούνται συστήματα ηλεκτρονικών αντιστροφών (*inverters*) που ελέγχουν τις στροφές του δρομέα, αποδεσμεύοντας έτσι την Α/Γ από τη συχνότητα του δικτύου κι επιτρέποντας της να κυμαίνεται σε μεγάλα διαστήματα συχνοτήτων με αποτέλεσμα τη βέλτιστη λειτουργία (Σχέση 2.2), αφού σε κάθε περίπτωση μπορεί να λειτουργεί με το μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή c_p,max , το οποίο επιτυγχάνεται μέσω του λόγου ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ (Σχέση 2.3).

Επιπροσθέτως, ο inverter επιτυγχάνει την ομαλή σύνδεση στο δίκτυο με την προσαρμογή της ισχύος εξόδου στην ονομαστική συχνότητα του δικτύου.

$$N_s = \frac{120 f_s}{p} = \text{μεταβαλόμενη} \quad (2.2)$$

Όπου, η διαφορά της από τη σχέση 2.1 είναι στην :
ο f_s , τη συχνότητα στο στάτη που μεταβάλλεται κι ελέγχεται από τον αντιστροφέα, ο οποίος μεταβάλλει τις στροφές της Α/Γ σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_s = \frac{60 v_w \lambda}{2\pi R} \quad (2.3)$$

Όπου,

- v_w , η ταχύτητα του ανέμου
- λ , ο λόγος ταχυτήτων ακροπτερυγίου (*tip speed ratio*)
- R , η ακτίνα των πτερυγίων

Η χρήση τους γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη και προτιμούνται πλέον από των σταθερών στροφών, καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι [2.6]:

- Αύξηση ενεργειακής απόδοσης
- Μείωση των μηχανικών καταπονήσεων (περύγια, σύστημα μετάδοσης της κίνησης και δομικό σύστημα) - μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
- Δυνατότητα απαλοιφής του κιβωτίου ταχυτήτων
- Μείωση του ακουστικού θορύβου
- Προσαρμογή της Α/Γ στις τοπικές συνθήκες ανέμου
- Καλύτερη ποιότητα ισχύος (Μείωση διακυμάνσεων ισχύος εξόδου)
- Δυνατότητα ελέγχου άεργου ισχύος
- Δυνατότητα ρύθμισης τάσης (σε ασθενή δίκτυα) και της συχνότητας (σε αυτόνομα)
- Διευκόλυνση διαδικασιών εκκίνησης

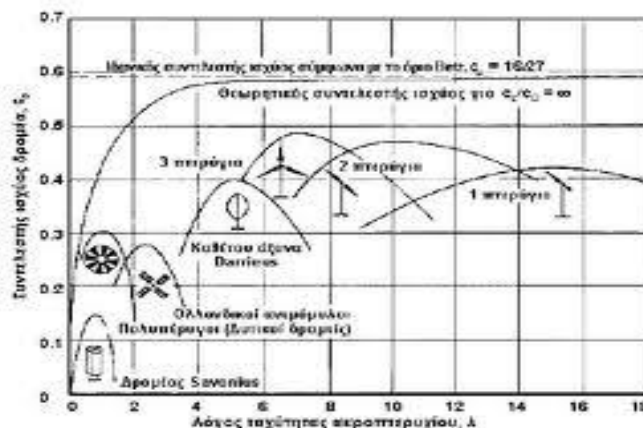
Τα μειονεκτήματα τους αφορούν κυρίως τον οικονομικό τομέα, αφού απαιτούν σύνδεση ηλεκτρονικών ισχύος που, όπως φαίνεται και στο Κεφάλαιο 9, συνιστούν σημαντικό μέρος των εξόδων μίας εγκατάστασης τέτοιας Α/Γ. Επιπλέον, εμφανίζουν κι αδυναμίες που αφορούν στην αυξημένη πολυπλοκότητα των ηλεκτρονικών μετατροπέων, στην έγχυση αρμονικών στο δίκτυο και στην αύξηση των απωλειών λόγω της παραμόρφωσης των ρευμάτων της γεννήτριας.

2.4.2.3 Τύποι ελέγχου των πτερυγίων των ανεμογεννητριών

Όπως προαναφέρθηκε οι Α/Γ οριζοντίου άξονα συναντώνται με δύο και κυρίως με τρία πτερύγια, που αποτελούν τη φτερωτή ή την έλικα όπως επίσης είναι γνωστή. Η επιλογή των τριών πτερυγίων, που αποτελεί και την εικόνα που έχει ο περισσότερος κόσμος στο μυαλό του όταν σκέφτεται ή αναφέρεται σε Α/Γ, δεν είναι

38
αυθαίρετη, αλλά αποτελεί συνδυασμό διάφορων παραγόντων. Βασικό κριτήριο είναι ο αεροδυναμικός συντελεστής c_p που παίρνει μεγάλες τιμές για αριθμό πτερυγίων ίσο

με 3 (Σχήμα 2.9), το κόστος κατασκευής τους, τα δυναμικά φορτία που αναπτύσσονται στην πλήμνη του δρομέα, την ταχύτητα περιστροφής τους, τα επίπεδα θορύβου και το συνολικό βάρος τους.

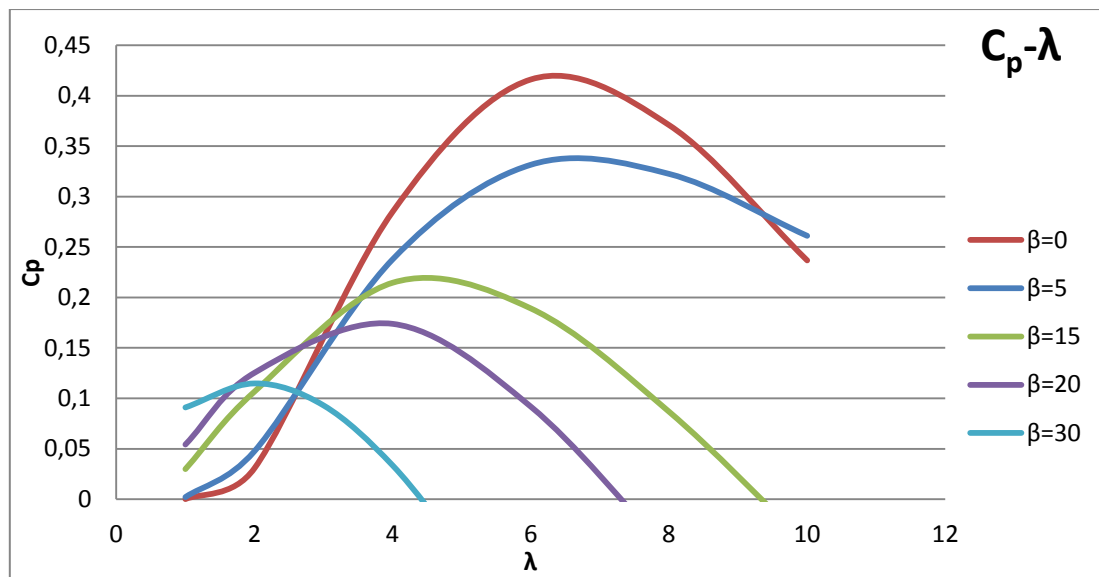


Σχήμα 2.9 : Μεταβολή του αεροδυναμικού συντελεστή c_p συναρτήσει του λόγου ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ για διαφορετικό αριθμό πτερυγίων.

Πέραν όμως του αριθμού των πτερυγίων, το σημαντικότερο με το οποίο διαχωρίζονται οι Α/Γ είναι ο τύπος ελέγχου των πτερυγίων που χρησιμοποιούνται. Διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι ελέγχου πτερυγίων που αναλύονται παρακάτω.

2.4.2.4 Έλεγχος του βήματος πτερυγίου (pitch control)

Το χαρακτηριστικό αυτών των πτερυγίων είναι η δυνατότητα περιστροφής κατά το διαμήκη άξονα τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατός ο έλεγχος της γωνίας πρόσπτωσης του ανέμου και κατά προέκταση της απορριφθείσας αεροδυναμικής ισχύος από το δρομέα. Σε αυτού του τύπου πτερύγια ο c_p αποτελεί συνάρτηση εκτός του λ και της γωνίας $pitch$. Έτσι επιτυγχάνεται περιορισμός της ισχύος πάνω από την ονομαστική ταχύτητα ανέμου, για λόγους ασφαλείας, ώστε η Α/Γ να παράγει την ονομαστική ισχύ για μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου λειτουργώντας στο νέο μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή που ορίζεται για τις διαφορετικές γωνίες $pitch$ (Σχήμα 2.10). Με αυτόν τον τρόπο η Α/Γ λειτουργεί, σε αυτό το φάσμα ταχυτήτων ανέμου, στις ονομαστικές της στροφές, που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η καλύτερη απόδοση σε χαμηλούς ανέμους και η μείωση των φορτίων κόπωσης στα πτερύγια και γενικότερα σε όλο το σύστημα της Α/Γ. Στα αρνητικά συγκαταλέγονται η αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω του συστήματος ελέγχου τους, αλλά και λόγω της χρήσης υδραυλικών κι ηλεκτρομηχανικών μέσων, τα οποία αυξάνουν και την ανάγκη συντήρησης αυτών των πτερυγίων, ενώ κι η κόπωση των πτερυγίων λόγω αδρανειακής φόρτισης αποτελεί μειονέκτημά τους.



Σχήμα 2.10 : Μεταβολή του αεροδυναμικού συντελεστή c_p συναρτήσει του λόγου ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ για διαφορετικές γωνίες βήματος των πτερυγίων

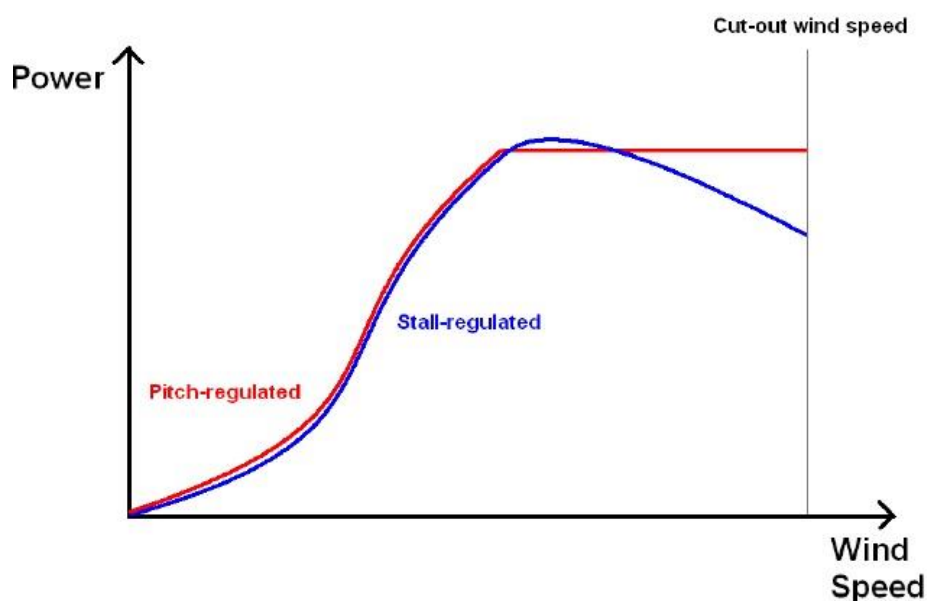
2.4.2.5 Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control)

Οι Α/Γ με αεροδυναμικό έλεγχο (*stall control*) της ροής και της ισχύος που δεσμεύει ο δρομέας διαθέτουν πτερύγια με σταθερή γωνία, τα οποία παρουσιάζουν απώλεια αεροδυναμικής στήριξης σε υψηλούς ανέμους. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η αναπτυσσόμενη ροπή κι άρα η παραγόμενη ισχύς. Τύπος παθητικού *stall* αποτελεί και το *furling*, που θα αναλυθεί σε επόμενα κεφάλαια και συναντάται συχνά στις μικρές ανεμογεννήτριες, στο οποίο ο περιορισμός της ισχύος επιτυγχάνεται μέσω αλλαγής της γωνίας πρόσπτωσης της κύριας κατεύθυνσης ανέμου προς τη φτερωτή, το οποίο βασίζεται στην ουρά που διαθέτουν αυτού του τύπου Α/Γ. Τα θετικά αυτών των πτερυγίων αφορούν στην απλότητα, στο χαμηλό κόστος, στην αξιοπιστία και στην ελάχιστη ανάγκη συντήρησής τους. Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι τα υψηλότερα δυναμικά φορτία που δέχεται ο δρομέας κι η αδυναμία ελέγχου και ρύθμισης της ισχύος εξόδου. Επιπλέον, υπάρχει ελλιπής κατανόηση του δυναμικού φαινομένου *stall* κι είναι δυνατόν να εμφανιστούν μεταβολές της καμπύλης ισχύος με την πάροδο του χρόνου.

2.4.2.6 Έλεγχος ενεργητικής απώλειας στήριξης (active stall control)

Τα τελευταία χρόνια έχει εμφανιστεί ο ενεργός έλεγχος της γωνίας βήματος των πτερυγίων. Ο έλεγχος *active stall* συνδυάζει ουσιαστικά τα θετικά των δύο παραπάνω ελέγχων, αφού βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτή του *pitch*, αλλά χρησιμοποιώντας την ικανότητα της απώλειας της αεροδυναμικής στήριξης (*stall*) των πτερυγίων αποφεύγονται τα μεγάλα δυναμικά φορτία κι οι διακυμάνσεις της ισχύος, τα οποία λαμβάνουν χώρα στον κλασικό έλεγχο του βήματος των πτερυγίων. Η διαφορά τους

έγκειται στο ότι η γωνία *pitch* μεταβάλλεται αντίθετα στον ενεργό έλεγχο, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο το πλεόνασμα της αεροδυναμικής ισχύος που απορροφάται από την έλικα. Επομένως, παρουσιάζει γενικά μεγαλύτερη παραγωγή από τον παθητικό έλεγχο, αφού η γωνία των πτερυγίων βελτιστοποιείται σύμφωνα με τον υπάρχον άνεμο. Η ικανότητα των πτερυγίων να αλλάζουν μέχρι και 90 μοίρες τη γωνία τους (*feathering*) μειώνει την ύπαρξη χαρακτηριστικά μεγάλων φορτίων κόπωσης, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους. Με τη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων είναι πιθανή η πιο ομαλή έγχυση ισχύος στο δίκτυο κατά την ταχύτητα ένταξης και η διακοπή παροχής ισχύος κατά το "κλείσιμο" της Α/Γ στην ταχύτητα αποκοπής, έχοντας ως αποτέλεσμα δημιουργία μικρότερου θορύβου στο δίκτυο σε αυτές τις δύο ακραίες περιπτώσεις. Ο έλεγχος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλης ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριες της τάξεως των MW.



Σχήμα 2.11 : Διαφορά στην καμπύλη ισχύς των δύο βασικών τρόπων ελέγχου των πτερυγίων

2.4.3 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι **ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα** μπορούν να εκμεταλλευτούν το άνεμο ανεξάρτητα από τη κατεύθυνση του ανέμου και δεν υπάρχει η ανάγκη ρύθμισης του δρομέα με αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες αυτές περιστρέφονται γύρω από έναν κάθετο άξονα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα έχουν πρόβλημα κατά την εκκίνηση, για την οποία απαιτείται εξωτερική βοήθεια. Ένα άλλο πρόβλημα σχετίζεται με τις δυσκολίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των μακρόστενων πτερυγίων. Οι σύγχρονες

ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα αναπτύχθηκαν γύρω από τις ιδέες του Γάλλου μηχανικού Georges Darrieus (η πρώτη ευρεσιτεχνία υποβλήθηκε το 1925). Τα Σχήματα 2.10 και 2.11 παρακάτω παρουσιάζουν σκαριφήματα των ανεμογεννητριών τύπου Darrieus και τύπου Savonius.



Σχήμα 2.10: Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus.



Σχήμα 2.11: Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius

Αν και μεμονωμένες ανεμογεννήτριες μπορούν να ικανοποιήσουν χρήστες εκτός δικτύου, συχνά το μοντέλο αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εστιάζεται στη σύνδεση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τα λεγόμενα «αιολικά πάρκα» (wind farms), δηλαδή από ομάδα ανεμογεννητριών. Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου είναι:

- 1) Χωροθέτηση του πάρκου απομακρυσμένη τοποθεσία
- 2) Ομάδα 10-100 ανεμογεννητριών
- 3) Απόσταση ανάμεσα σε γειτονικές ανεμογεννήτριες 5-10 διαμέτρους δρομέα (ή περίπου 18 ανεμογεννήτριες ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.
- 4) Κοινός μετασχηματιστής για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος.

2.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] Βιβλίο "Αιολική Ενέργεια ,Σχεδιάζοντας στις αυλές των ανέμων"
- [2.2] Wind Power in Power Systems,[T. Ackermann (Ed.). John Wiley & Sons], 2005
- [2.3] Βιβλίο "Έναλλακτικές μορφές ενέργειας ,φωτοβολταϊκά συστήματα, αιολικά συστήματα, υβριδικά συστήματα"
- [2.4] Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation [Mukund R. Patel] ,Εκδόθηκε από CRC Press, 2006
- [2.5] Περιβάλλον & ΑΠΕ <http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>
- [2.6] <http://www.econews.gr/2012/08/16/stathmos-thalassias-energeias/>
- [2.7] Γ. Μπεργελές, *Ανεμοκινητήρες*, Εκδόσεις Συμεών, 2005
- [2.8] Σταύρος Παπαθανασίου, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Σημειώσεις παραδόσεων, ΕΜΠ 2008

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α/Γ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΔΙΚΤΥΟ

3.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γεγονός ότι η αιολική ισχύς χαρακτηρίζεται από τυχαίες μεταβολές τόσο σε βραχεία όσο και σε μακρά χρονική κλίμακα επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στη λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος, τόσο κατά τις περιόδους μη αναμενόμενης πτώσης όσο και σε περιόδους απότομης αύξησης της προσφοράς σε αιολική ισχύ. Στη χειρότερη περίπτωση, απότομες πτώσεις της αιολικής ισχύος μπορούν να οδηγήσουν το σύστημα σε αστάθεια όταν δε υπάρχει στρεφόμενη εφεδρεία προκειμένου να καλύψει την ανάγκη του φορτίου. Από την άλλη οι απότομες αυξήσεις της αιολικής ισχύος δεν μπορούν πάντα να απορροφηθούν από το δίκτυο και συχνά απορρίπτονται. Από τα παραπάνω καθίστανται φανερά τα οφέλη που συνδέονται με τη χρήση αποθηκευτικών διατάξεων.

Επιπλέον, όπως προαναφερθηκε, η σχέση ζήτησης με την παραγωγή δεν είναι πάντα ίδια. Αυτό που ενδιαφέρει τους μηχανικούς είναι να καλύπτεται ανα πάσα στιγμή η ζήτηση του φορτίου από τους καταναλωτές. Ωστόσο σε ένα αυτόνομο δίκτυο με ανεμογεννήτριες μπορεί η παραγόμενη ενέργεια να είναι περισσότερη από αυτή που έχει ανάγκη το φορτίο και άλλες φορές λιγότερη ώστε να μη μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση των καταναλωτών. Η ιδιαιτερότητα αυτή που παρουσιάζεται σε τέτοιου είδους δίκτυα με ΑΠΕ κρίνει αναγκαία την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης της ενέργειας αυτής, για τη διατήρηση του ενεργειακού αποθέματος και χρήση του σε κρίσιμες περιπτώσεις απότομης απώλειας φορτίου. Με τον τρόπο αυτό επίσης όταν έχουμε υπερκάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας που ζητείται, η υπολοιπόμενη ενέργεια προκειμένου να μη χαθεί έχουμε απορρόφηση ανανεώσιμου ενεργειακού πλεονάσματος σε κατάλληλα συστήματα αποθήκευσης, ώστε σε περίπτωση που δεν καλύπτεται από τις Α/Γ η ζήτηση, να καλύπτεται από την αποθηκευμένη ενέργεια.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο, το κάρβουνο ή το πετρέλαιο, η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιείται ακριβώς τη στιγμή που παράγεται. Αυτό σημαίνει ότι οι τυχόν αλλαγές στη ζήτηση δεν είναι εύκολο να αντιμετωπιστούν, χωρίς να κόβεται η παροχή ενέργειας κάποιες στιγμές ή χωρίς να αποθηκεύεται κάπως το πλεόνασμα. [3.1]

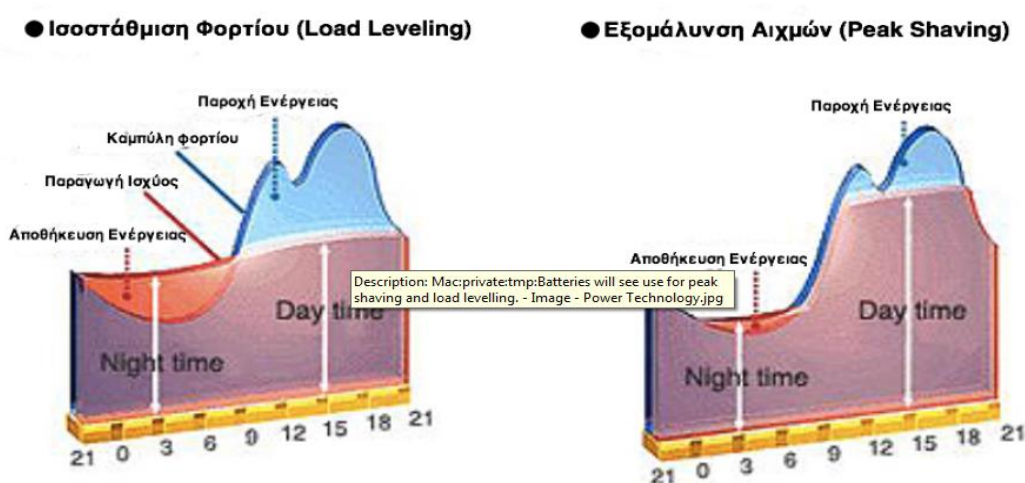
Τα συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ESS) έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών. Οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι οι εξής:

- Για μικρές χρονικές περιόδους, βασική απαίτηση αποτελεί ο έλεγχος της ποιότητας ισχύος, Τα ESS μπορούν ταχύτατα να απορροφήσουν ή να αποδώσουν στο σύστημα τα αναγκαία ποσά αέργου ισχύος, έτσι ώστε να διατηρηθεί η σταθερότητα της τάσης στο σύστημα μεταφοράς. Παρέχουν επίσης στρεφόμενη εφεδρεία για να διατηρηθεί η συχνότητα του συστήματος.
- Για μεγάλες χρονικές περιόδους, οι βασικές απαιτήσεις είναι η διαχείριση και ανταλλαγή ενέργειας (arbitrage), η πρόβλεψη και αποφυγή απρόοπτων και ανεπιθύμητων γεγονότων και σφαλμάτων που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία του συστήματος και κατ' επέκταση την παροχή υπηρεσιών στους καταναλωτές. Το ESS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει ενεργό ισχύ στην περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο μεταφοράς ή διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας ή για να τροφοδοτήσει με ενέργεια ένα μέρος του δικτύου αμέσως μετά την εκδήλωση ενός blackout.

3.1.2 Διαχείριση της Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι επιχειρήσεις παροχή ηλεκτρικής ενέργειας συχνά χρεώνουν τους εμπορικούς και βιομηχανικούς τους πελάτες με πρόσθετη επιβάρυνση που συνδέεται με το φορτίο αιχμής τους (Peak Load). Προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό κόστος οι καταναλωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ESS ώστε να μειώσουν το φορτίο αιχμής και τη χρέωση που αυτό συνεπάγεται.

Αυτή η εφαρμογή καλείται εξομάλυνση των αιχμών (γνωστότερη ως Peak Shaving) και συνίσταται από την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και την επαναχρησιμοποίησή της σε περιόδους μεγάλης ζήτησης, με σκοπό τη μείωση της τιμής της κορυφής (αιχμής). Η εξομάλυνση των αιχμών απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 3.1



Σχήμα 3. 1 Αριστερά : Ισοστάθμιση φορτίου (Load Leveling) με αποθήκευση παραγόμενης ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες (χαμηλή ζήτηση) και απόδοσή της κατά τη διάρκεια της μέρας, Δεξιά : Εξομάλυνση Αιχμών με απόδοση αποθηκευμένης ενέργειας κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης

Άλλη μια εφαρμογή ενός ESS σε συντομότερη και πιο επαναλαμβανόμενη χρονική κλίμακα, η εξομάλυνση των αιχμών μπορεί να εφαρμοστεί στα ηλεκτρικά μέσα μεταφοράς. Συγκεκριμένα το ESS θα μπορούσε να εξομαλύνει τις σύντομες «ριπές» ισχύος στο δίκτυο διανομής, που παράγονται όταν το ηλεκτρικό όχημα φρενάρει ή επιταχύνει.

Άλλος ένας τρόπος Διαχείρισης της Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι η διαχείριση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας κατά την ώρα της χρήσης. Ουσιαστικά οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζονται σε κατηγορίες (εκτός αιχμής-off peak, μέσης mid-peak, αιχμής on-peak) με διαφορετική κοστολόγηση για την κάθε κατηγορία. Έτσι με την ίδια φιλοσοφία όπως στο αρμπιτράζ, οι καταναλωτές μπορούν να επωφεληθούν από τη διαφορά της τιμής, αποθηκεύοντας ενέργεια σε περίοδο που δεν έχουμε αιχμή.

3.1.3 Επικουρικές υπηρεσίες

Οι επικουρικές υπηρεσίες είναι όλες οι λειτουργίες που εκτελούνται από τον εγκατεστημένο εξοπλισμό και το προσωπικό που ελέγχει τη διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, προς υποστήριξη της κύριας λειτουργίας του συστήματος που είναι η παροχή ενέργειας και η διανομή της ισχύος. Η ρυθμιστική αρχή του συστήματος ορίζει αυτές τις υπηρεσίες ως απαραίτητες λειτουργίες για την υποστήριξη της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας από τον παραγωγό στον τελικό καταναλωτή, διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα και την αξιοπιστία του διασυνδεδεμένου συστήματος. Οι επικουρικές υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει ο ESS είναι οι εξής:

- **Παροχή αέργου ισχύος και έλεγχος της τάσης:** Γίνεται έγχυση ή απορρόφηση αέργου ισχύος από το ESS με σκοπό να διατηρηθεί η τάση στους ζυγούς του συστήματος μεταφοράς στο απαιτούμενο εύρος τιμών
- **Ρύθμιση:** Εξισορρόπηση παραγωγής/φορτίου κάθε χρονική στιγμή για να πληρούνται οι προδιαγραφές
- **Στρεφόμενη Εφεδρεία Συστήματος:** Δυνατότητα άμεσης παροχής ενεργούς ισχύος στο δίκτυο έτσι ώστε να υπάρχει άμεση απόκριση σε περίπτωση διακοπής της παροχής ισχύος από το δίκτυο λόγω σφάλματος. Συνήθως γίνεται με μονάδες παραγωγής που βρίσκονται σε λειτουργία και είναι συγχρονισμένες με το δίκτυο αλλά δεν είναι ενταγμένες σε αυτό, δηλαδή δεν εξυπηρετούν κάποιο φορτίο
- **Δευτερεύουσα Στρεφόμενη Εφεδρεία Συστήματος:** Δυνατότητα παροχής ενεργούς ισχύος στο δίκτυο έτσι ώστε να υπάρχει απόκριση εντός 10λέπτου σε περίπτωση διακοπής της παροχής ισχύος από το δίκτυο λόγω σφάλματος.
- **Παρακολούθηση φορτίου:** Κάλυψη των ωριαίων και ημερησίων μεταβολών στο φορτίο
- **Εξισορρόπηση Ενέργειας:** Διόρθωση ασυμφωνίας μεταξύ προγραμματισμένης και πραγματικής ανταλλαγής ενέργειας σε ωριαία βάση
- **Στατή Εφεδρεία (Backup):** Δυνατότητα παραγωγής επιπλέον ενεργούς ισχύος Σε διάστημα μιας ώρας από το σφάλμα.
- **Αναπλήρωση απωλειών ενεργούς ισχύος:** Παραγωγή που αναπληρώνει τις απώλειες λόγω του δικτύου μεταφοράς και διανομής
- **Επανεκκίνηση συστήματος (Black start):** Δυνατότητα ενεργοποίησης μέρους του δικτύου μετά από blackout χωρίς τη χρήση εξωτερικής βοήθειας

- **Σταθερότητα δικτύου:** Απόκριση σε πραγματικό χρόνο σε διαταραχές του συστήματος για να διατηρηθεί η σταθερότητά και η ασφάλεια

3.1.4 Αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές και ποιότητα ισχύος

Η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές και ταυτόχρονα η διατήρηση καλής ποιότητας στην παρεχόμενη ισχύ αποτελούν δύο πολύ σημαντικές εφαρμογές του ESS

Αξιοπιστία

Οι καταναλωτές που χρίζουν μεγάλης αξιοπιστίας στην παροχή ηλεκτρικής ισχύος μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ESS για ασφάλεια απέναντι σε μια γενική διακοπή τροφοδοσίας (blackout). Σε αυτήν την περίπτωση το ESS πρέπει να παρέχει αρκετή ενέργεια ώστε

- Να μπορεί να αντεπεξέλθει σε διακοπές τροφοδοσίας εκτεταμένης διάρκειας
- Να μπορεί να ολοκληρώσει την ομαλή διακοπή όλων των διαδικασιών

Ποιότητα Ισχύος

Υψηλή ποιότητα ισχύος μπορεί να επιτευχθεί με ένα ESS που προστατεύει το φορτίο από συμβάντα μικρής διάρκειας που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα της ισχύος. Κάποιες εκδηλώσεις κακής ποιότητας ισχύος είναι οι εξής:

- Μεταβολές στην τιμή της τάσης
- Μεταβολές στη συχνότητα
- Χαμηλός συντελεστής ισχύος (το ρεύμα και η τάση έχουν πολύ μεγάλη διαφορά φάσης)
- Εμφάνιση Αρμονικών (ρεύματα ή τάσεις σε συχνότητες διαφορετικές από την κύρια συχνότητα)
- Διακοπές στην παροχή ισχύος, από κλάσματα του δευτερολέπτου έως αρκετά λεπτά

3.1.5 Εξασφάλιση παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και χρονική μετατόπιση της παραγωγής

Σε μια ανοιχτή και ελεύθερη αγορά, ο παραγωγός προσφέρει συγκεκριμένο ποσό ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επειδή η προσφορά του είναι σταθερή, του επιβάλλεται πρόστιμο όταν δεν μπορεί να παρέχει την προσυμφωνημένη ισχύ στον καταναλωτή. Έτσι ο παραγωγός πολλές φορές προστατεύει την προσφορά του με εφεδρική μονάδα παραγωγής. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency – IEA) αναφέρει ότι σε ακραίες περιπτώσεις, για 100 MW αιολικής παραγωγής, απαιτούνται έως και 100 MW εφεδρείας από συμβατικές ή υδροηλεκτρικές μονάδες για να επιτευχθεί η απαραίτητη αξιοπιστία. Προφανώς τα ESS είναι κατάλληλα για αυτό το έργο.

Τα ESS μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης (και άρα χαμηλής τιμής). Την ενέργεια αυτή ο παραγωγός μπορεί να την πουλήσει σε διαστήματα αυξημένης ζήτησης σε καλύτερη τιμή. Επιτυγχάνει έτσι χρονική μετατόπιση της παραγωγής του, διαφέρει δηλαδή η στιγμή της παραγωγής από τη στιγμή της κατανάλωσης, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας και τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

3.2 Πως αποθηκεύεται η Ηλεκτρική Ενέργεια

Προηγουμένως παρουσιάστηκε το ευρύ φάσμα εφαρμογών ενός Συστήματος Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ESS). Τώρα θα παρουσιαστούν κάποιοι από τους σημαντικότερους τρόπους αποθήκευσης της ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα. Με την πάροδο των ετών, πολλές τεχνολογίες έχουν εμφανιστεί. Κάποιες από αυτές έχουν ήδη εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία (για παράδειγμα η αντλιοσταμείωση), ενώ κάποιες άλλες δεν έχουν καταφέρει ακόμη να γίνουν εμπορικά εκμεταλλεύσιμες.

Όλες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, η κάθε μία τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και χρησιμοποιούνται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χωριστούν σε 3 κύριες κατηγορίες:

- **Μηχανικά Συστήματα Αποθήκευσης:** Αποθηκεύουν σε μορφή κινητικής ενέργειας (σφόνδυλοι) ή σε μορφή δυναμικής ενέργειας (PHS και CAES)
- **Ηλεκτρικά Συστήματα Αποθήκευσης:** Ηλεκτροστατική αποθήκευση με τη χρήση πυκνωτών και υπερπυκνωτών, καθώς και μαγνητική αποθήκευση με τη χρήση τεχνολογίας SMES
- **Θερμικά Συστήματα Αποθήκευσης :** Αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας
- **Ηλεκτροχημικά Συστήματα Αποθήκευσης:** Αποθηκεύουν με τη μορφή ηλεκτροχημικής ενέργειας (συμβατικές μπαταρίες, μπαταρίες ροής) ή με τη μορφή χημικής ενέργειας (κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες μετάλλου αέρα) ή με τη μορφή θερμοχημικής ενέργειας (τεχνολογία solar fuel)

Η κατηγορία **ηλεκτρικά συστήματα αποθήκευσης και ηλεκτροχημικά συστήματα αποθήκευσης** θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω.

3.2.1 Ηλεκτρικά Συστήματα Αποθήκευσης

3.2.1.1 **Magnetic Energy Storage – SMES)** **Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση (Superconducting**

Η τεχνολογία SMES είναι η μοναδική γνωστή τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας άμεσα με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ενέργεια αποθηκεύεται στο συνεχές ρεύμα που ρέει σε ένα υπεραγώγιμο πηνίο, κυκλικής κατασκευής, ώστε το ρεύμα να το διαρρέει συνεχώς με σχεδόν μηδενικές απώλειες, κάτι που επιτυγχάνεται με τη λειτουργία του συστήματος σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι ουσιαστικά η

κύρια πάλεια ενέργειας του συστήματος ωφείλεται στην ενέργεια που καταναλώνεται για τη διατήρηση της θερμοκρασίας των υπεραγωγίων υλικών σε τόσο χαμηλά επίπεδα.

Η αποθήκευση ενέργειας γίνεται με τη μορφή του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Προκειμένου να διατηρηθεί το πηνίο στην υπεραγωγίμη κατάσταση του είναι βυθισμένο σε ένα κρυοστάτη που περιέχει υγρό ήλιο. Τυπικά, το πηνίο κατασκευάζεται από νιόβιο-τιτάνιο και το ψυκτικό υγρό μπορεί να είναι υγρό ήλιο σε θερμοκρασία 4.3 K ή super fluid ήλιο θερμοκρασίας 1.8 K.

Συνήθως, ένα σύστημα SMES περιλαμβάνει 4 βασικές συνιστώσες :

- Τη μονάδα του υπεραγωγού
- Το κρυογόνο σύστημα ψύξης
- Το μονωμένο δοχείο
- Ένα σύστημα μετατροπής της ισχύος

Η αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα πηνίο SMES δίνεται από την εξίσωση:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

Όπου

L : η επαγωγή του πηνίου

I : το ρεύμα που το διαρρέει

Οι διατάξεις SMES παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης ενέργειας (τυπικά μεγαλύτερο του 97%) και ταχεία απόκριση ισχύος σε χρόνο λίγων ms συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης. Ένα πλεονέκτημα έναντι των συσσωρευτών είναι ότι η ικανότητα απόδοσης ενέργειας εξαρτάται σε πολύ μικρότερο βαθμό από το ρυθμό εκφόρτισης. Επιπλέον τα συστήματα SMES χαρακτηρίζονται από υψηλή διάρκεια ζωής και άρα είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν συνεχείς πλήρεις εκφορτίσεις.

Τα παραπάνω στοιχεία καθιστούν ελκυστική την τεχνολογία για εφαρμογές:

- Σταθεροποίησης τάσης (voltage stability)
- Σταθεροποίησης συχνότητας (frequency control)
- Ποιότητας ισχύος (power quality)
- Ανάκτησης ενέργειας σε συστήματα διαμετακόμισης, όπως σε συστήματα ηλεκτρικών σιδηροδρόμων

Τυπικά μεγέθη ικανότητας είναι 1-10 MW για μερικά δευτερόλεπτα, αν και διεξάγεται έρευνα για την ανάπτυξη μεγαλύτερων συστημάτων SMES στο εύρος των 10 - 100 MW για διάστημα μερικών λεπτών.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι οι πολύ μικροί χρόνοι εκφόρτισης, ενώ προβληματισμό προκαλεί το υψηλό επενδυτικό κόστος και

τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τα ισχυρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται. [3.2]



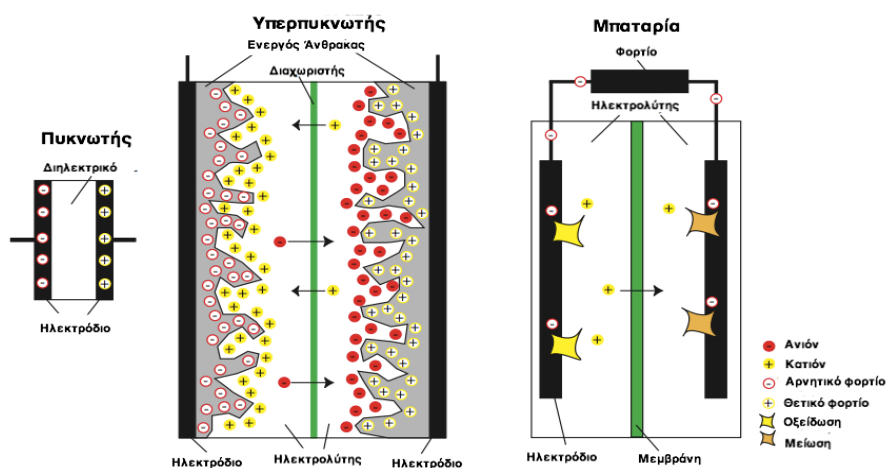
Σχήμα 3. 2 : Εμπορικά συστήματα Υπεραγωγίμης Μαγνητικής Αποθήκευσης (SMES)

3.2.1.2 Πυκνωτές – Υπερπυκνωτές (Supercapacitors – SC)

Ο πιο άμεσος τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι χρησιμοποιώντας το ηλεκτρικό πεδίο ενός πυκνωτή. Οι πυκνωτές μπορούν να φορτιστούν σημαντικά ταχύτερα από τις συμβατικές μπαταρίες και να υποστούν δεκάδες χιλιάδες κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης με υψηλό βαθμό απόδοσης. Συμβατικοί πυκνωτές έχουν αναπτυχθεί για κάλυψη αιχμακτού φορτίου της τάξης μεγέθους των λίγων kW για διάστημα μικρότερο της μιας ώρας. Ωστόσο, το κυριότερο πρόβλημα των πυκνωτών είναι η μικρή τιμή πυκνότητας ενέργειας, με συνέπεια μεγάλες χωρητικότητες να απαιτούν εξαιρετικά μεγάλη επιφάνεια διηλεκτρικού υλικού, με αποτέλεσμα το σύστημα να είναι μη οικονομικό.

Η πρόσφατη πρόοδος των ηλεκτροχημικών πυκνωτών ή υπερπυκνωτών (SC) έχει οδηγήσει σε πολύ μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας, ενέργειας και χωρητικότητας σε σχέση με τους συμβατικούς πυκνωτές, που κατά προσέγγιση διαφέρουν κατά δύο τάξεις μεγέθους (10 – 100 kW) [3.2]. Οι SC έχουν χωρητικότητα έως και μερικές χιλιάδες Farads. Ουσιαστικά, οι SC γεφυρώνουν το κενό μεταξύ των συμβατικών πυκνωτών και των μπαταριών όσον αφορά την ισχύ και την πυκνότητα ενέργειας. Αν και μικροί SC αποτελούν ώριμη τεχνολογία, SC με πυκνότητα ενέργειας άνω των 20 kWh/m³ είναι ακόμη σε επίπεδο ανάπτυξης.

Οι SC αντί για στερεό διηλεκτρικό χρησιμοποιούν ως διαχωριστικό μεταξύ των δύο οπλισμών ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη. Αν και η λειτουργία του SC βασίζεται στην κίνηση ιόντων μέσα σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα, δεν τον εντάσσουμε στην κατηγορία των ηλεκτροχημικών συστημάτων αποθήκευσης διότι δε συμβαίνει καμία χημική αντίδραση στον ηλεκτρολύτη, κατά τη λειτουργία του SC. Στην πραγματικότητα η αποθήκευση ενέργειας γίνεται μέσω ηλεκτροστατικού φορτίου, ακριβώς όπως σε έναν συμβατικό πυκνωτή.



Σχήμα 3.3: Σχηματική αναπαράσταση ενός πυκνωτή, ενός υπερπυκνωτή και μιας μπαταρίας. Στον πυκνωτή το φορτίο αποθηκεύεται σε δύο ηλεκτρόδια που χωρίζονται από ένα διηλεκτρικό υλικό. Στον υπερπυκνωτή το φορτίο αποθηκεύεται σε πορώδες ενεργό άνθρακα και σε ιόντα μέσα στον ηλεκτρολύτη. Στη συμβατική μπαταρία, τα ηλεκτρόνια αποθηκεύονται στα ηλεκτρόδια μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης.

Σημαντικό μειονέκτημα των SC αποτελεί η πολύ μικρή διάρκεια εκφόρτισης, καθώς και η υψηλές απώλειες ενέργειας λόγω αυτοεκφόρτισης. Για το λόγο αυτό οι SC δεν πρόκειται να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες, αλλά να συνδυαστούν με αυτές ώστε να βοηθήσουν στην παροχή ισχύος.



Σχήμα 3.4 Μονάδα υπερπυκνωτών (SC).

Η χρήση τους είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν υψηλά ποσά ισχύος για χρόνο από λίγα ms έως αρκετά λεπτά. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ποιότητας ισχύος όπως ride-through και power bridging, καθώς και εφαρμογές ανάκτησης ενέργειας σε εκτεταμένα συστήματα διαμετακόμισης (transit systems).

3.2.2 Ηλεκτροχημικά Συστήματα Αποθήκευσης

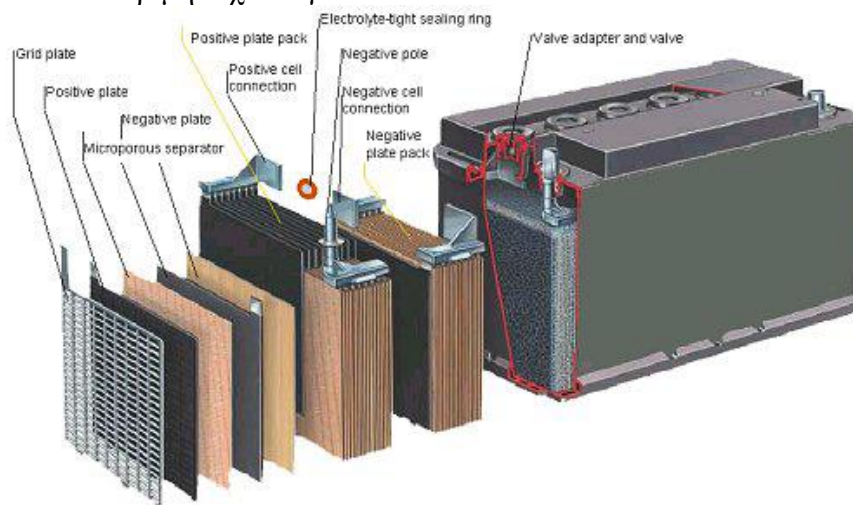
Η ηλεκτροχημικές διατάξεις χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποθήκευση ενέργειας σε καταναλωτικές συσκευές, ενώ μεγαλύτερες εφαρμογές (αιολικά πάρκα, υβριδικά πάρκα κτλ) βασίζονται πλέον σε μπαταρίες προηγμένης τεχνολογίας.

Οι μπαταρίες αποτελούνται από δύο τύπους ηλεκτροχημικών διατάξεων, τα γαλβανικά κελιά (**galvanic cells**) και τα κελιά ροής (**flow cells**). Με την πάροδο των ετών έχουν προταθεί πολλά σχέδια και τεχνολογίες βασισμένες σε διαφορετικά χημικά στοιχεία, με την κάθε τεχνολογία να παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθιστώντας την κατάλληλη για συγκεκριμένη χρήση.

Σε γενικές γραμμές, όλες οι μπαταρίες παρουσιάζουν ταχύτατους χρόνους απόκρισης. Επίσης έχουν πολύ μικρές απώλειες κατά τη standby λειτουργία τους και άρα πολύ μικρή αυτοεκφόρτιση. Τέλος τα περισσότερα είδη παρουσιάζουν πολύ υψηλή απόδοση κύκλου φόρτισης – εκφόρτισης.

3.2.2.1 Μπαταρίες Μολύβδου – Οξέως (Lead Acid Batteries)

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως (lead - acid), που εφευρέθηκαν το 1859, αποτελούν την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών συσκευών. Έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε αυτόνομα υβριδικά συστήματα και αποτελούν πλέον ώριμη τεχνολογία.



Σχήμα 3.5 : Σύστημα μπαταρίας μολύβδου – οξέως

Στην κατάσταση πλήρους φόρτισης αποτελούνται από ένα ηλεκτρόδιο μολύβδου (Pb) που αποτελεί την άνοδο και ένα ηλεκτρόδιο διοξειδίου του μολύβδου (PbO₂) που αποτελεί την κάθοδο, βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη με περιεκτικότητα περίπου 37% σε θειικό οξύ. Σε κατάσταση πλήρους εκφόρτισης και τα δύο ηλεκτρόδια αποτελούνται από θειικό μολύβδο, η τάση στα άκρα του στοιχείου μηδενίζεται και ο ηλεκτρολύτης δεν περιέχει πλέον θειικό οξύ και ουσιαστικά μετατρέπεται σε νερό.

Οι δύο κύριοι τύποι μπαταριών μολύβδου οξέως είναι οι flooded batteries και οι VRLA.

- **Flooded bateries** : Ο ηλεκτρολύτης είναι σε υγρή μορφή και απαιτείται συστηματική προσθήκη αποσταγμένου νερού για σωστή λειτουργία. Σε περίπτωση υπερφόρτισης παρατηρείται υπερβολική ηλεκτρόλυση του νερού με ταυτόχρονη εκπομπή υδρογόνου και οξυγόνου από κάθε κελί, αέρια που συνιστούν ένα εκρηκτικό μίγμα. Για αυτό το λόγο απαιτείται η παρουσία μηχανισμού που σταματά τη διαδικασία φόρτισης όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη (trickle charge) .
- **VRLA** : Οι μπαταρίες VRLA διαφέρουν στο ότι σφραγίζονται με μία βαλβίδα ελέγχου της πίεσης και στο ότι ο ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος σε μορφή gel ή σε απορροφητικό γυαλί (absorbent glass mat). Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των τελευταίων είναι η δραματική μείωση της απαιτούμενης συντήρησης, η μη εκπομπή όξινων αερίων, το μικρότερο βάρος και η πιο εύκολη τοποθέτηση, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος [3.3]

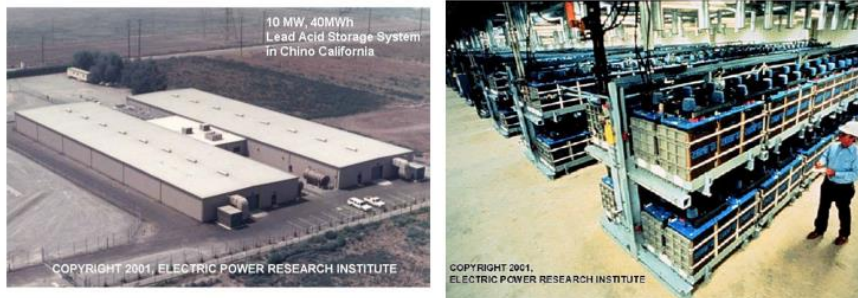
Τα πλεονεκτήματα των μπαταριών αυτών είναι τα εξής:

- Το μικρό κόστος τους συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες μπαταριών (\$200 - \$400 ανά kWh), σε συνδυασμό με την εμπορική τους διαθεσιμότητα
- Η πολυετής συσσωρευμένη λειτουργική εμπειρία
- Ο υψηλός βαθμός απόδοσης (roundtrip efficiency) της τάξης του 70 - 90%
- Η υψηλή τους αξιοπιστία αφού η εμπειρία έχει δείξει ότι ο ρυθμός αστοχίας των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι μικρότερος από 0,25% [3.4]
- Οι μικροί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης που παρουσιάζει
- Η εξαιρετική συμπεριφορά στην παροχή βηματικής τάσης.

Για τον τελευταίο λόγο οι μπαταρίες αυτές μπορούν να παρακολουθήσουν αποτελεσματικά τις γρήγορες αλλαγές του φορτίου, ιδιότητα που τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος, UPS, διατήρησης στρεφόμενης εφεδρείας και για power bridging σε υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν ΑΠΕ.

Από την άλλη, οι εφαρμογές τους για διαχείριση ενέργειας μεγάλης κλίμακας είναι πολύ περιορισμένες λόγω των παρακάτω μειονεκτημάτων τους:

- Μικρή διάρκεια ζωής
- Χαμηλή ειδική ενέργεια, που εν γένει κυμαίνεται μεταξύ 25 και 55 Wh/kg
- Μειωμένη απόδοση σε πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές θερμοκρασίες (σύνηθες θερμοκρασιακό εύρος -20ο C έως 50ο C)
- Χρήση μη φιλικών προς το περιβάλλον υλικών
- Ανάγκη για συχνή αναπλήρωση νερού
- Μικρό συνιστώμενο βάθος εκφόρτισης.
- Παρόλα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί σε μερικές εμπορικές εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας μεγάλης κλίμακας όπως στα BEWAG, Iberdrola, PREPA, Chino [3.2]
Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι ελκυστικές ως διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας για εφαρμογές ισχύος 100 kW έως 10 MW.



Σχήμα 3.6 : Μπαταρίες μολύβδου-οξέως σε ESS.

3.2.2.2 Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου (Lithium-Ions Batteries)

Οι μπαταρίες που βασίζονται στο λίθιο συνιστούν μία σχετικά νέα τεχνολογία η οποία σήμερα εφαρμόζεται κυρίως σε φορητές συσκευές, αλλά στο σύντομο μέλλον αναμένεται η χρήση τους σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα.

Η τεχνολογία περιλαμβάνει δύο κύριους τύπους μπαταριών, τις ιόντων λιθίου (Li-ion) και τις λιθίου πολυμερούς (Li-poly):

- **Ιόντων λιθίου (Li-ion):** Η κάθοδος κατασκευάζεται από μεταλλικό οξείδιο λιθίου που συνήθως είναι LiCoO_2 , LiMO_2 ή LiNiO_2 , η άνοδος από γραφιτικό άνθρακα με δομή στοιβάδας, ενώ ο ηλεκτρολύτης από τη διάλυση αλάτων λιθίου (όπως το LiPF_6) σε οργανικούς ανθρακικούς διαλύτες. Κατά τη φάση της φόρτισης, τα άτομα λιθίου στην κάθοδο μετατρέπονται σε ιόντα και μετακινούνται διαμέσου του ηλεκτρολύτη προς την άνοδο, όπου συνδυάζονται με ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και τοποθετούνται ως άτομα λιθίου μεταξύ των ανθρακικών στοιβάδων. Αυτή η διαδικασία αντιστρέφεται κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης [3.4]
- **Λιθίου πολυμερούς (Li-poly):** Η σημαντικότερη διαφορά των μπαταριών Li-poly είναι ότι ο διαλύτης είναι από στερεό πολυμερές και χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως διαχωριστής

Το βασικότερο πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι οι πολύ υψηλές τιμές ειδικής ενέργειας που κυμαίνονται μεταξύ 80 - 150 Wh/kg για τις μπαταρίες Li-ion και 100 - 150 Wh/kg για τις Li-poly, καθώς και οι πολύ μεγάλοι βαθμοί απόδοσης που μπορεί να αγγίζουν και το 100% [3.5]. Πιο συγκεκριμένα, οι μπαταρίες Li-ion εμφανίζουν αξιοσημείωτη διάρκεια ζωής συνδυασμένη με αρκετά βαθιές εκφορτίσεις, καθώς 3000 κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης με βάθη εκφόρτισης 80% αποτελούν τυπικές τιμές. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα αποτελούν ο χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης (<5% ανά μήνα), η μικρή ανάγκη για συντήρηση και η ικανότητα παροχής ρευμάτων πολύ υψηλής τιμής.

Ωστόσο, η διάρκεια ζωής τους επηρεάζεται αρνητικά σε μεγάλο βαθμό από τις υψηλές θερμοκρασίες, ενώ μπορεί να μειωθεί δραστικά σε περίπτωση υπερβολικά βαθιάς εκφόρτισης, γεγονός που τις καθιστά ακατάλληλες για εφαρμογές εφεδρείας. Επιπλέον αρνητικά στοιχεία αποτελούν ο περιορισμένος ρυθμός φόρτισης και

εκφόρτισης για λόγους αποφυγής δημιουργίας metallic lithium plating και η μεγάλη ευαισθησία σε περίπτωση υπερφόρτισης. Οι μπαταρίες Li-poly πλεονεκτούν έναντι των Li-ion από άποψη βάρους και ασφάλειας, καθώς σε αντίθεση με τις τελευταίες δεν εμφανίζουν κίνδυνο αυτανάφλεξης.

Κοινό πλεονέκτημα και των δύο τεχνολογιών είναι ότι η ονομαστική τάση του κελιού είναι 3,7 Volt, δηλαδή μεγαλύτερη από τις άλλες τεχνολογίες. Για αυτό το λόγο απαιτείται η σύνδεση μικρότερου αριθμού κελιών σε σειρά ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο τάσης, οδηγώντας ίσως έτσι σε μικρότερο τελικό κόστος κατασκευής. Αντίθετα, σημαντικό κοινό μειονέκτημα συνιστά ο μικρότερος βαθμός αξιοπιστίας συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες μολύβδου οξέως και νικελίου καδμίου.

Σήμερα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου καλύπτουν το 50% της αγοράς των μικρών φορητών συσκευών αν και υπάρχουν προκλήσεις για την επέκτασή τους σε εφαρμογές μεγάλης ισχύος. Το μεγαλύτερο εμπόδιο είναι το μεγάλο κόστος εξαιτίας της ακριβούς παραγωγής και συσκευασίας, καθώς και της παρουσίας ειδικών κυκλωμάτων προστασίας από υπερφόρτιση [3.5].



Σχήμα 3.7: Παράδειγμα εφαρμογής μπαταριών λιθίου σε ESS.

Η έρευνα στις μπαταρίες τεχνολογίας λιθίου επικεντρώνεται κυρίως στη μείωση του κόστους που κυμαίνεται γενικά μεταξύ \$900 - \$1300/kWh με τη χρήση φθηνότερων υλικών, την αύξηση της διάρκειας ζωής και τη μείωση του κινδύνου αυτανάφλεξης στην περίπτωση της τεχνολογίας Li-ion. Αρκετές εταιρίες προσπαθούν να μειώσουν το κόστος παραγωγής των μπαταριών Li-ion με σκοπό την επέκτασή τους στην αγορά μεγάλης κλίμακας ισχύος και προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν παραχθεί μοντέλα επίδειξης ισχύος 3 kW. Το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ έχει χρηματοδοτήσει ένα έργο των εταιριών SAFT και SatCon για τη σχεδίαση και την κατασκευή συστήματος αποθήκευσης αποτελούμενου από μία μπαταρία Li-ion ικανότητας παροχής ισχύος 100 kW για ένα λεπτό, για χρήση παροχής ποιότητας ισχύος για διασυνδεδεμένες μικροτουρμπίνες [3.3].

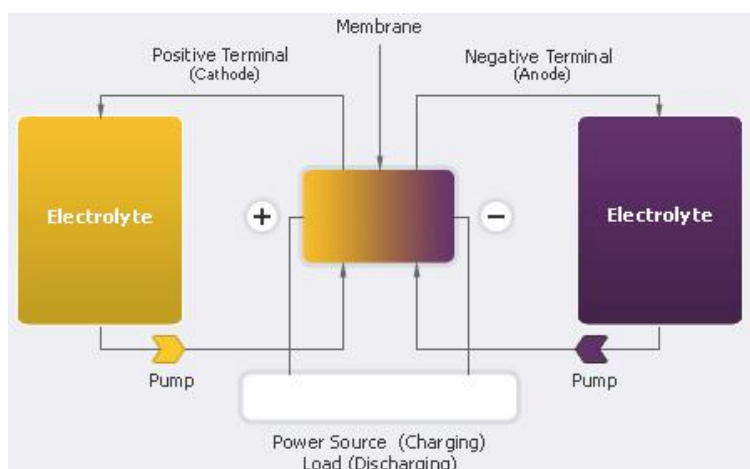
3.2.2.3 Μπαταρίες Ροής (Redox Flow batteries)

Οι μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής (redox flow batteries), ή πιο απλά μπαταρίες ροής, συνιστούν μία σχετικά νέα τεχνολογία ηλεκτροχημικής αποθήκευσης με δυνατότητα επαναφόρτισης. Σε γενικές γραμμές, αποτελούνται από έναν αριθμό ηλεκτροχημικών κυψελών, δύο ηλεκτρολύτες και δύο δεξαμενές για την αποθήκευσή τους. [3.6, 3.7, 3.8]

Οι μπαταρίες ροής διαφέρουν από τις συμβατικές μπαταρίες σε δύο σημεία:

- Η αντίδραση γίνεται μεταξύ των δύο ηλεκτρολυτών και όχι μεταξύ του ηλεκτρολύτη και ενός ηλεκτροδίου. Έτσι δεν έχουμε αλλοίωση του ηλεκτροδίου ή απώλειας των ηλεκτρικά ενεργών χημικών στοιχείων όταν η μπαταρία φορτίζεται και εκφορτίζεται κατ'επανάληψη σε μεγάλο βάθος.
- Οι ηλεκτρολύτες αποθηκεύονται σε εξωτερικές δεξαμενές και κυκλοφορούν μέσω αντλιών στην κυψέλη.
- Ουσιαστικά οι μπαταρίες ροής αποτελούνται από 3 κύρια μέρη :
- Την κυψέλη, όπου η ηλεκτροχημική αντίδραση λαμβάνει μέρος
- Τις δεξαμενές, όπου αποθηκεύονται οι ηλεκτρολύτες
- Το σύστημα κυκλοφορίας, δηλαδή τις αντλίες που κινούν τους ηλεκτρολύτες, καθώς και το σύστημα ελέγχου τους

Κάθε κυψέλη περιλαμβάνει δύο διαμερίσματα, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται από μία μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων και είναι ένα για κάθε ηλεκτρολύτη. Με τη βοήθεια αντλιών οι δύο ηλεκτρολύτες κυκλοφορούν διαμέσου των κυψελών και καθώς περνάνε από τη μεμβράνη ο ένας ηλεκτρολύτης οξειδώνεται και ο άλλος ανάγεται, με αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα. Με αυτόν τον τρόπο η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική κατά τη φάση της εκφόρτισης. Η χρήση των αντλιών έχει σαν συνέπεια κάποιες παρασιτικές απώλειες στη διάταξη, αλλά παράλληλα συνεισφέρει στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα.



Σχήμα 3.8: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας των μπαταριών ροής.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες, οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ενέργεια στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη και επιπλέον η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας είναι ανεξάρτητη από την ικανότητα παροχής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, η χωρητικότητα αποθήκευσης καθορίζεται από την ποσότητα του διαθέσιμου ηλεκτρολύτη και το μέγεθος των δεξαμενών, ενώ η ικανότητα απόδοσης ισχύος εξαρτάται από το ενεργό εμβαδό της στοίβας των κυψελών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες ροής διαφέρουν από τις κυψέλες καυσίμου, αφού στις τελευταίες μόνο τα ηλεκτρικά ενεργά χημικά στοιχεία (υδρογόνο, μεθανόλη, οξυγόνο) ρέουν διαμέσου της κυψέλης, ενώ ο ηλεκτρολύτης παραμένει συνεχώς στο εσωτερικό της. Η σημαντικότερη, βέβαια, διαφορά με τις κυψέλες καυσίμου είναι το γεγονός ότι στις μπαταρίες ροής η χημική αντίδραση είναι αντιστρέψιμη, οπότε είναι secondary αποθηκευτικά μέσα και μπορούν να επαναφορτιστούν χωρίς αντικατάσταση του ηλεκτρικά ενεργού υλικού.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ηλεκτρολυτών που ορίζουν ισάριθμες κατηγορίες μπαταριών ροής:

- ηλεκτρολύτης θεικού οξέως με vanadium redox couples
- ηλεκτρολύτης βρωμιούχου ψευδαργύρου
- ηλεκτρολύτης βρωμιδίου του νατρίου / πολυθειούχου νατρίου

Οι τρεις τύποι μπαταριών ροής παρουσιάζουν κάποια κύρια κοινά χαρακτηριστικά :

- ❖ Υπάρχει η δυνατότητα παροχής μεγάλων ποσών ισχύος, αλλά και η δυνατότητα συνεχούς απόδοσης ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα έως και δέκα ώρες
- ❖ Επιτρέπεται η ευέλικτη διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης δεδομένου ότι η χωρητικότητα και η ικανότητα απόδοσης ισχύος είναι ανεξάρτητα μεγέθη
- ❖ Εμφανίζουν γρήγορη απόκριση και μπορούν να μεταβούν από λειτουργία φόρτισης σε λειτουργία εκφόρτισης σε περίπου 1 ms επειδή η διάρκεια των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής είναι πολύ μικρή
- ❖ Οι ηλεκτρολύτες μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα
- ❖ Η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος επιτυγχάνεται απλά με την προσθήκη μεγαλύτερων δεξαμενών και περισσότερου ηλεκτρολύτη.
- ❖ Δεν υφίστανται αυτοεκφόρτιση αφού οι ηλεκτρολύτες είναι αποθηκευμένοι ξεχωριστά και δε μπορούν να αντιδράσουν.

3.2.2.4 Vanadium Redox Flow Battery (VRB)

Αυτός ο τύπος μπαταρίας ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες μπαταρίες ροής λόγω του πολύ ανταγωνιστικού του κόστους και της απλότητας κατασκευής του. Η απλότητα αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η VRB χρησιμοποιεί τον ίδιο ηλεκτρολύτη και στις δύο ημι-κυψέλες. Η VRB αποθηκεύει ενέργεια με τη χρήση οξειδοαναγωγικών ζευγών βαναδίου (vanadium redox couples), που είναι V^{2+}/V^{3+} στην άνοδο και V^{4+}/V^{5+}

(V_{O2+}/V_{O2+}) στην κάθοδο της κυψέλης, και που περιέχονται σε ήπιο διάλυμα ηλεκτρολύτη θειικού οξέως.

Κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης ανταλλάσσονται κατιόντα υδρογόνου μεταξύ των δύο ηλεκτρολυτών διαμέσου της περατής μεμβράνης πολυμερούς. Η τάση κάθε κυψέλης κυμαίνεται μεταξύ 1,4 - 1,6 Volt και ο βαθμός απόδοσης μπορεί να είναι έως και 85%.

Τα **πλεονεκτήματα** των VRB είναι τα εξής :

- Η μεγάλη διάρκεια ζωής υπό καθεστώς βαθιών εκφορτίσεων, καθώς έχουν αναφερθεί διάρκειες ζωής έως και πάνω από 10.000 κύκλους (7-15 χρόνια) με βάθη εκφόρτισης 75%. [3.9]
- Υψηλή απόδοση, έως και 85%
- Πολύ γρήγορος χρόνος απόκρισης
- Απαιτείται μικρή συντηρηση
- Μπορούν να εκφορτιστούν σε μεγάλα βάθη χωρίς τον κίνδυνο ζημιάς
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι φιλικά προς το περιβάλλον και η θερμοκρασία κανονική

Οι μπαταρίες VRB είναι κατάλληλες για μία γκάμα εφαρμογών αποθήκευσης ενέργειας για επιχειρήσεις ηλεκτρισμού και για βιομηχανικούς καταναλωτές. Αυτές περιλαμβάνουν βελτίωση ποιότητας ισχύος με εξομάλυνση της τάσης, UPS, κάλυψη αιχμής (peak shaving), αύξηση της ασφάλειας τροφοδοσίας και ενσωμάτωση με συστήματα ΑΠΕ. Η πλειονότητα των έργων ανάπτυξης της τεχνολογίας εστιάζει σε σταθερές εφαρμογές εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας ενέργειας [3.2].

Συστήματα VRB ικανότητας ισχύος έως 500 kW για δέκα ώρες, δηλαδή χωρητικότητας 5 MWh, έχουν εγκατασταθεί στην Ιαπωνία από την SEI για το πανεπιστήμιο Kwansai Gakuin. Επίσης, τέτοια συστήματα έχουν εφαρμοστεί για βελτίωση ποιότητας ισχύος, όπως για παράδειγμα το σύστημα ικανότητας ισχύος 3 MW για 1,5 δευτερόλεπτα για την εταιρία Tottori Sanyo Electric. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται παραδείγματα εφαρμογής των VRB σε υβριδικά συστήματα.

3.2.2.5 Κριτήρια των τεχνολογιών αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας

Η σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών είναι αρκετά δύσκολη, για το λόγο ότι η καθεμία από αυτές έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια μπαταρία διαφέρουν ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Εδώ παρουσιάζονται 3 συγκρίσεις, βασισμένες στα εξής χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική ισχύς και χρόνος εκφόρτισης
- Κόστος κεφαλαίου
- Απόδοση και διάρκεια ζωής

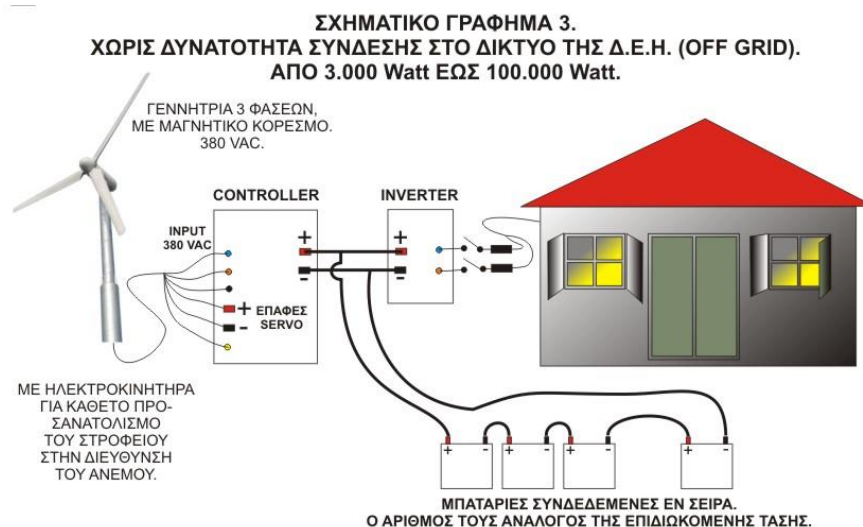
3.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] Eyer, J. Iannucci, and G. Corey, “Energy storage benefits and market analysis handbook,” Sandia Report, vol. SAND2004-6177, 2004.
- [3.2] HAISHENG CHEN et al, Progress in electrical energy storage system: A critical review, Progress in Natural Science, Vol. 19 (2009)
- [3.3] K.C. DIVYA, JACOB OSTERGAARD, Battery energy storage technology for power systems – An overview, Electric Power Systems Research, Vol. 79 (2009)
- [3.4] MARCO SEMADENI, Storage of energy, Overview, Encyclopedia of Energy, Vol. 5(2004)
- [3.5] I. HADJIPASCHALIS, A. POULIKKAS, V. EFTHIMIOU, Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13 (2009)
- [3.6] The Energy Blog – Vanadium Redox Flow Batteries (2006)
- [3.7] VRB Power Systems Incorporated – The VRB Energy Storage System (VRB – ESS)
- [3.8] Energy Storage Technologies and Policies Needed to Support California’s RPS Goals of 2020 – California Energy Commission Staff Workshop (Prudent Energy Inc.) (2009)
- [3.9] C. Lotspeich, “A Comparative Assessment of Flow Battery Technologies,” EESAT 2002, 2002.

ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α/Γ

4.1 Εισαγωγή στα αυτόνομα δίκτυα

Ακόμα και σήμερα υπάρχουν ανα τον κόσμο περιοχές οι οποίες είναι αδύνατο να συνδεθούν με κάποιο μεγάλο ηπειρωτικό ή τοπικό δίκτυο. Η αδυναμία αυτή οφείλεται συνήθως σε παράγοντες που έχουν να κάνουν με την γεωγραφική απομόνωση των περιοχών καθώς και οικονομικούς παράγοντες. Για παράδειγμα στην Ελλάδα μόνο ένα μικρό ποσοστό των νησιών του αιγαίου έχουν συνδεθεί με το ηπειρωτικό δίκτυο παραγωγής μέσω υποθαλάσσιων καλωδιώσεων. Αυτός είναι ένας βασικός παράγοντας που καθιστά σημαντική τη ανάπτυξη αυτόνομων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες των καταναλωτών. **Αυτόνομο σύστημα παραγωγής**, είναι ένα δίκτυο το οποίο παράγει ενέργεια αποκλειστικά μόνο του χωρίς να έχει συνδεθεί στο εθνικό δίκτυο παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνετε είτε μέσω ντίζελογεννητριών πολύ περισσότερο όμως σήμερα από διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4.1 : Αυτόνομο οικιακό σύστημα παραγωγής ενέργειας

Η λειτουργία των μονάδων παραγωγής σε αυτόνομα δίκτυα, όπως αυτά των απομονωμένων συστημάτων, συνοδεύεται από ένα μεγάλο αριθμό περιοριστικών παραγόντων, οι οποίοι δεν υπάρχουν στον ίδιο βαθμό στα διασυνδεδεμένα δίκτυα και κατά βάση σχετίζονται με:

- Τη μεταβλητότητα της ζήτησης : σε απομακρυσμένες περιοχές με λίγους καταναλωτές οι μεταβολές της ζήτησης είναι αρκετά πιο γρήγορες σε σχέση με ένα μεγάλο δίκτυο και η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του φορτίου εμπεριέχει μεγαλύτερα σφάλματα.
- Τον αριθμό των γεννητριών ΑΠΕ: Οι μεταβολές της ανανεώσιμης ισχύος εξομαλύνονται σε μεγάλο βαθμό, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των γεννητριών, ενώ η χωροθέτησή τους παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο.
- Τον αριθμό και το μέγεθος των θερμικών μονάδων: Η λειτουργία μονάδων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και κόστος είναι ένα επιπλέον πρόβλημα, αλλά από την άλλη συμβάλλει στην πιο ευέλικτη κάλυψη του φορτίου όλες τις ώρες - μέρες του χρόνου.
- Το γεγονός ότι ο προγραμματισμός (scheduling) και η ένταξη (dispatch) των συμβατικών μονάδων πραγματοποιούνται σε ένα ιδιαίτερα ασταθές περιβάλλον.

Το βασικό πρόβλημα που αφορά τα αυτόνομα συστήματα είναι η διασφάλιση της κάλυψης της ζήτησης μέσα σε αποδεκτά όρια διακυμάνσεων συχνότητας και τάσης, παρά τις μεταβολές στην παραγωγή ισχύος, που προκαλούνται από τη στοχαστική φύση των φυσικών φαινομένων . Επιπλέον, τα ίδια τα μέρη του συστήματος επιβάλλουν έναν αριθμό περιορισμών. Κάτω από τις συνθήκες αυτές, επιδιώκεται η βέλτιστη επιλογή των μερών του συστήματος που αφενός μεν καλύπτουν τις παραπάνω επιταγές, αφετέρου συμβάλλουν στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.

Οι συνιστώσες που σχετίζονται με τον έλεγχο της λειτουργίας ενός απομονωμένου συστήματος είναι βασικά δυο :

- ❖ Ο *δυναμικός έλεγχος*, που λαμβάνει χώρα σε κλίμακα δευτερολέπτων ή κλασμάτων του δευτερολέπτου και περιλαμβάνει τον έλεγχο συχνότητας και τάσης καθώς και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με την ασφαλή λειτουργία του συστήματος.
- ❖ Η *στρατηγική λειτουργίας*, που αντανακλά τις αποφάσεις που σχετίζονται με τη ροή ισχύος στο σύστημα σε χρονική κλίμακα πολλών λεπτών ι και ωρών (στα διασυνδεδεμένα συστήματα ακόμη και ημερών).

Αν και τα μέρη που απαρτίσουν ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής έχουν ελεγκτές που πραγματοποιούν δυναμικό έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος, η βέλτιστη λειτουργία του συστήματος σαν σύνολο μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω μεθόδων συνολικής επίβλεψης και κεντρικής διαχείρισης, ώστε να λαμβάνονται οι βέλτιστες αποφάσεις στρατηγικού έλεγχου [4.1]

Γενικότερα, στόχος των μηχανικών είναι να καλυπτεται η συνάρτηση ζήτησης. Στις περιπτώσεις που η παραγωγή ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ, η βασικότερη στρατηγική ελέγχου είναι η στρεφόμενη εφεδρεία (*spinning reserve*), η οποία εκφράζει την ελάχιστη επιπλέον ισχύ που πρέπει να είναι σε θέση να καλύψουν οι θερμικές μονάδες εκτός από την τρέχουσα ζήτηση θερμικής ισχύος, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για παροχή ποιοτικής ισχύος. Επομένως η συνάρτηση ζήτησης διαμορφώνεται ως εξής

$$P_D = P_L + P_{RES}$$

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι όταν η πρωτογενής παραγωγή ενέργειας προέρχεται από ανεμογεννήτριες, λόγω της ιδιαιτερότητας του ανέμου ο οποίος δεν είναι σταθερός, δεν μπορούμε να επαναπαυστούμε αποκλιστικά σε αυτή. Για να καταπολεμήσουμε λοιπόν αυτό το περιορισμό, οφείλουμε να τοποθετήσουμε μια δευτερογενή πηγή (γεννήτρια diesel, μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός κτλ) για να καλύψει τις διαφορές που προκύπτουν από τη παραγωγή και από τη ζήτηση. Επιπλέον στο σύστημα οφείλει να υπάρχει αποθηκευτικό σύστημα το οποίο θα έχει το ρόλο να αποθηκεύει ενέργεια όταν η παραγωγή υπερκαλύπτει το φορτίο και αντίστοιχα να εφοδιάζει το δίκτυο με ενέργεια όταν η παραγωγή δεν επαρκεί. Για την περίπτωση όπου το σύστημα αποθήκευσης είναι πλήρες και η παραγωγή συνεχίζει να υπερκαλύπτει τη ζήτηση είναι αναγκαία η τοποθέτηση ενός θερμαντικού συστήματος αποριπτόμενου φορτίου (**dump system**) ώστε να υπάρχει ισοροπία στο σύστημα.

Τέλος όλα τα παραπάνω στοιχεία από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου το οποίο έχει προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να ρυθμίζει ανα πάσα στιγμή τυχών «ανωμαλίες» του συστήματος και να ικανοποιούνται οι καταναλωτές.

Όλα αυτά που προαναφέρθηκαν παρουσιάζονται λεπτομερώς παρακάτω με τη μορφή εφαρμογής σε ένα αυτόνομο δίκτυο παραγωγής ενέργειας με κύρια πηγή την αιολική ενέργεια.

4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΔΙΚΤΥΟ

4.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

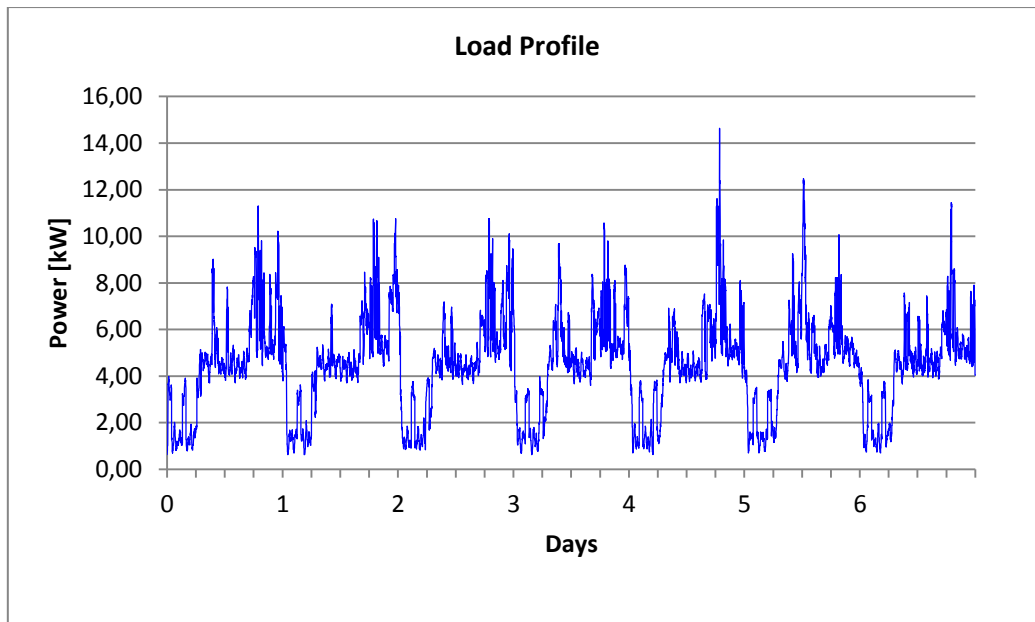
Στη παρακάτω εφαρμογή διερευνάτε ο καλύτερος τρόπος για την παροχή 10 νοικοκυριών σε μια απομακρυσμένη τοποθεσία της Νορβηγίας, παρέχοντας αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψει τα τρέχοντα φορτία τους, χωρίς την ανάγκη για την ακριβή από οικονομικής άποψης σύνδεση με το δίκτυο. Στο κεφάλαιο αυτό παρέχεται μια βιώσιμη λύση στο πρόβλημα. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα προσομοίωσης **MATLAB / Simulink** ένα μοντέλο που αποτελείται από μια ανεμογεννήτρια **9,8 kW**, υδροηλεκτρική **5 kW** τουρμπίνα και 8 μπαταρίες με συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας του **2856 Ah** για να καλύψει το φορτίο των 10 νοικοκυριών σε ένα ψυχρό κλίμα. Η υδροηλεκτρική τουρμπίνα μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να αποσυνδεθεί ανάλογα με την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για σενάρια υψηλής, μεσαίας, χαμηλής και

άνευ ταχύτητας ανέμου . Σε όλες τις περιπτώσεις, το σύστημα θα μπορούσε να εκπληρώσει τις απαιτήσεις, με ελάχιστη **ενέργεια ντάμπινγκ**. Οικονομικά, το σύστημα είναι φθηνότερη από την αξιοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, δεδομένου ότι ο χρόνος αποπληρωμής προεξόφλησης είναι περίπου 22 χρόνια, όταν η διάρκεια ζωής των συστημάτων είναι 25 έτη. Τέλος, ένα 98,5% μείωση των εκπομπών CO₂ μπορεί να επιτευχθεί σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας γεννήτριας ντίζελ. Ως εκ τούτου, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι αυτό το μικρής κλίμακας αειφόρο ενεργειακό σύστημα είναι μια βιώσιμη επιλογή για την απομακρυσμένη εκτός δικτύου περιοχές, τόσο από τεχνική, οικονομική και περιβαλλοντική άποψη.

4.2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην κοινότητα των 10 οικισμών που περιγράψαμε παραπάνω πρέπει να ικανοποιείται το δίκτυο με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το σύστημα έχει μια σύνδεση στο δίκτυο που παρέχει τη συχνότητα και τον έλεγχο της τάσης. Ωστόσο, **δεν υπάρχει ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας** στο δίκτυο, ως εκ τούτου, τα νοικοκυριά πρέπει να είναι εντελώς ανεξάρτητα ενεργειακά.

Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με το συνδυασμό μιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, όπως η αιολική και εγκατάσταση αποθήκευσης της, η οποία απορροφά και απελευθερώνει την ενέργεια σύμφωνα με την ζήτηση. Ως **failsafe** συμπεριλαμβάνεται μια δευτερεύουσα πηγή ενέργειας. Το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στο προφίλ φορτίου των νοικοκυριών ανά πάσα στιγμή. Το **Σχήμα 4.2** δείχνει ότι το προφίλ του φορτίου έχει μια εκτενή διακύμανση άνω των 10 kW μεταξύ ημέρας και νύχτας στις ενεργειακές απαιτήσεις.



Σχήμα 4.2: Εβδομαδιαίο προφίλ φορτίου για τα 10 νοικοκυριά

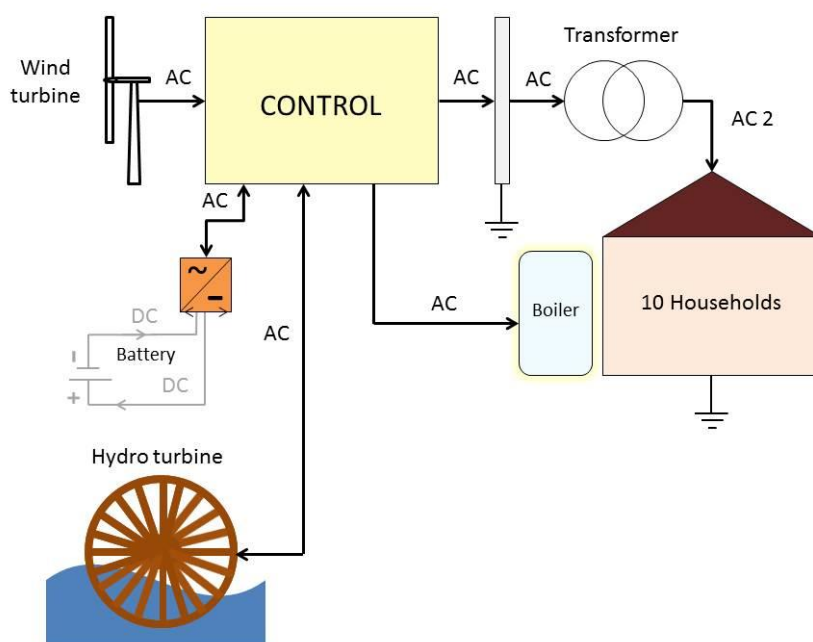
Η μέση ζήτηση φορτίου θεωρείται ότι είναι 4.51 kW. Οι συνιστώσες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα παρατίθενται στον **πίνακα 1**.

Φορτίο	10 οικισμοί
Πρωτογενής Πηγή	Wind turbines
Δευτερογενής Πηγή	Hydro turbine
Σύστημα Αποθήκευσης	Συσσωρευτές- Μπαταρίες
Control	Power Electronic Control
Dump Σύστημα	Βύθιση θερμαντικού στοιχείου

Πίνακας 1: Συνιστώσες Δικτύου

Η εγκατεστημένη ισχύς της πρωτογενούς πηγής πρέπει να παρέχονται κυρίως από τις ανεμογεννήτριες. Οι ιδιότητες των διαφόρων συστατικών πρέπει να επιλέγονται σε συνάρτηση με τον άνεμο και το προφίλ του φορτίου με τον πιο οικονομικά και ενεργειακά αποδοτικό τρόπο.

Ο σχεδιασμός του συστήματος έγινε επί τη βάσει του προφίλ φορτίου, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ζήτηση φορτίου των 4,51 kW. Το συνολικό ποσό της ενέργειας που θα χρειαστούν ετησίως για την ικανοποίηση των 10 νοικοκυριών είναι **39.535 kWh**, ή **758 kWh ανά εβδομάδα**. Μια ανεμογεννήτρια, μπαταρίες, μια υδροηλεκτρική τουρμπίνα και ένας λέβητας είναι εγκατεστημένα να παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια και τα αποτελέσματα ρυθμίζονται από ένα σύστημα ελέγχου. Αυτά τα συστατικά διατάσσονται στο σύστημά μας ως εξής, βλ. **Σχήμα 4.3**



Σχήμα 4.3 : Απεικόνιση του συστήματος

4.2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

❖ Πρωτογενής Πηγή: Ανεμογεννήτριες

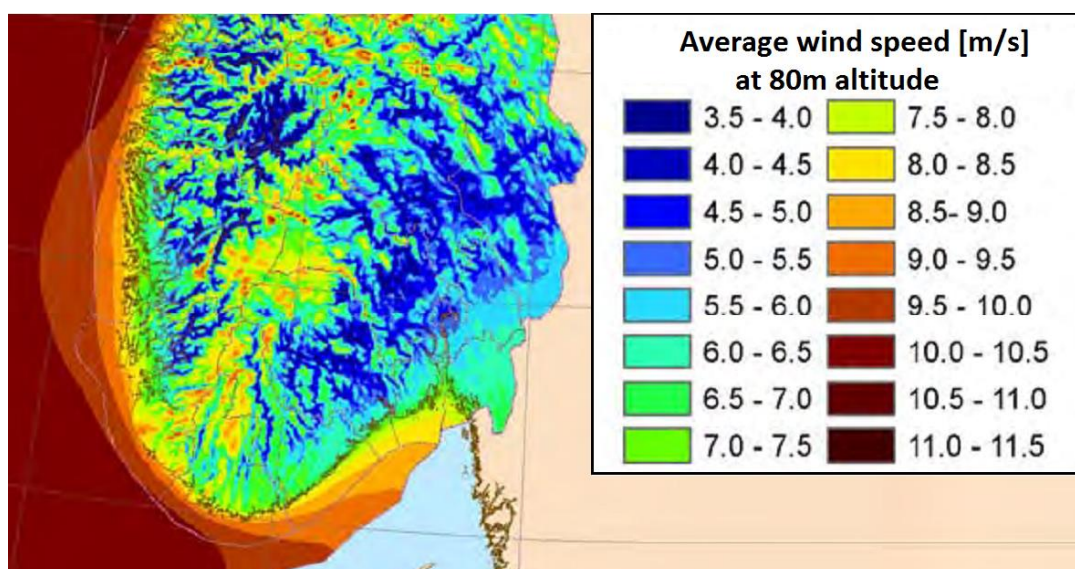
Ως πρωταρχική πηγή ισχύος επιλέχθηκε αιολική ενέργεια. Μια κρύα χώρα του κλίματος, όπως η Νορβηγία, έχει ένα εξαιρετικό κλίμα για εφαρμογή ανεμογεννητριών με μέση παράκτια ταχύτητα του ανέμου να κυμαίνεται μεταξύ **7,0 - 8,5 m / s**.

Ωστόσο, αυτές οι ταχύτητες του ανέμου μπορεί να ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό κάτι που μπορεί να οφείλεται στο τραχύ τοπίο, π.χ. στο σημείο μεταξύ βουνών οι ταχύτητες ανέμου μπορεί να αυξηθούν δραματικά. Κατά την τοποθέτηση της τουρμπίνας τέτοιες διακυμάνσεις στη ταχύτητα ανέμου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Τα διάφορα σενάρια προσομοίωσης ανέμου είναι εβδομαδιαία . Παρακάτω φαίνεται η μέση ταχύτητα του ανέμου για κάθε σενάριο και είναι δεδομένη. (Ολόκληρο το προφίλ του ανέμου μπορεί να φανεί στο σχήμα 3.5.)

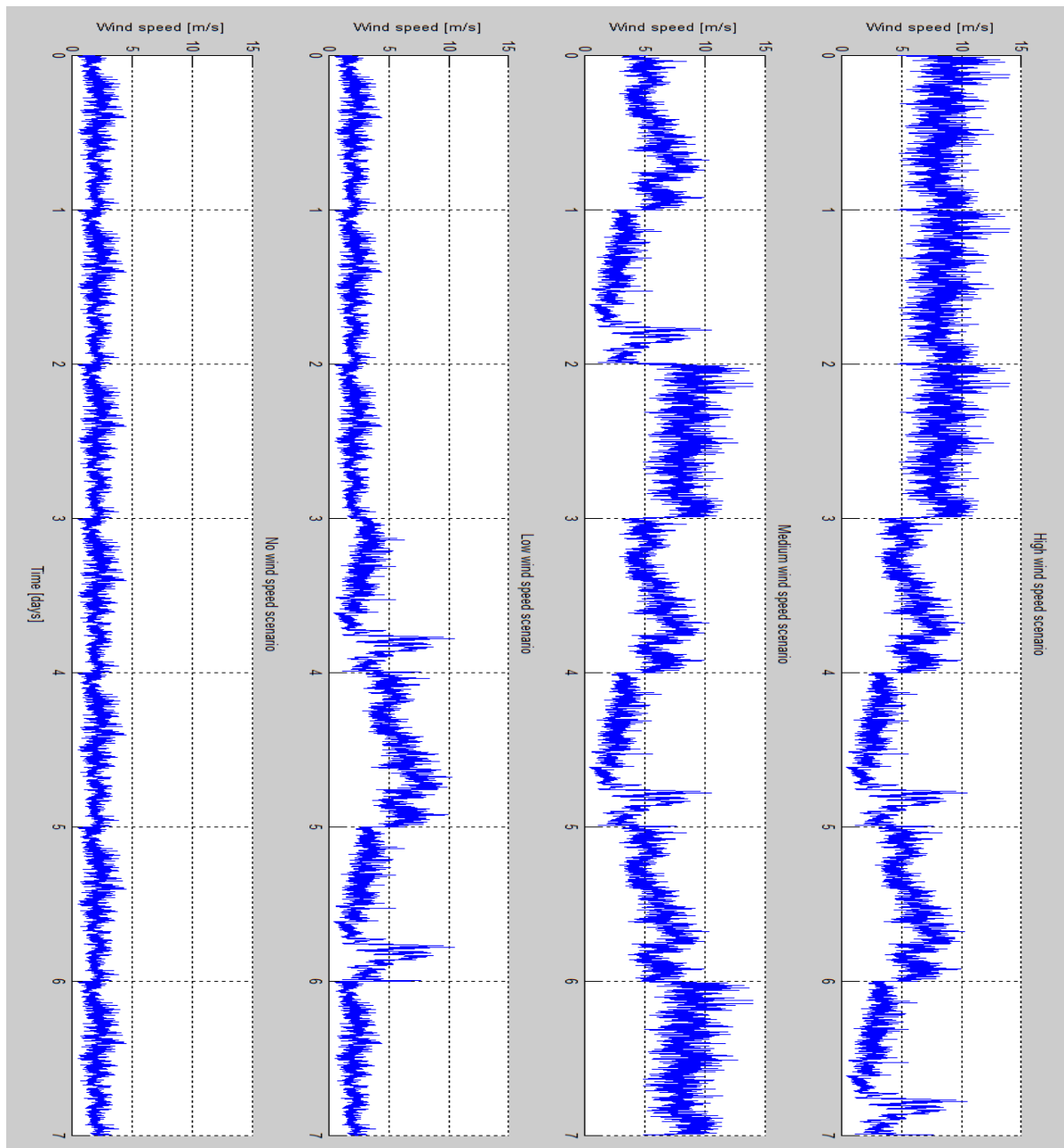
- **Σενάριο 1:** Υψηλή ταχύτητα ανέμου 6,2 m / s
- **Σενάριο 2:** Μεσαία ταχύτητα ανέμου 5,8 m / s
- **Σενάριο 3:** Χαμηλή ταχύτητα ανέμου 2,9 m / s
- **Σενάριο 4:** Δεν ταχύτητα ανέμου 2,0 m / s

Φαίνεται ότι τα υψηλής και μέσης ταχύτητας ανέμου σενάρια έχουν μια σχεδόν ίδια μέση τιμή ταχύτητα του ανέμου. Ωστόσο, η υψηλή ταχύτητα του ανέμου προσομοιώνει την επίδραση του υψηλού ανέμου τριών ημερών στη σειρά. Το σενάριο χαμηλής και άνευ ταχύτητας του ανέμου έχουν επίσης similar μέσες ταχύτητες ανέμου. Εξακολουθεί να υπάρχει μία μεγάλη διαφορά ωστόσο, το χαμηλό σενάριο ταχύτητας του ανέμου έχει πολύ περισσότερο χρόνο, όπου η ταχύτητα ανέμων είναι πάνω από την **cut-in** ταχύτητα του ανέμου της ανεμογεννήτριας. Αυτό σημαίνει διαφορά μεταξύ ορισμένων την παραγωγή ενέργειας και καθόλου παραγωγής. Για να δούμε εάν τα σενάρια ταχύτητας του ανέμου είναι ρεαλιστικά μια σύγκριση μπορεί να γίνει με χρήση του **σχ. 4.4**.



Σχήμα 4.4: Μέσος όρος ανέμων στην Νορβηγίας σε ύψος 80 m

Εδώ η μέση ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο 80 μ. είναι δεδομένη. Χερσαία αυτή η ταχύτητα ανέμου μπορεί να είναι περίπου 7,5 m / s σε ύψος 80m, χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο για το προφίλ διάτμησης του ανέμου με το μήκος τραχύτητας $z_0 = 0.5$. Η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης 20m γίνεται **5,5 m / s**. Αυτό είναι της τάξης του μέσου σεναρίου ταχύτητας του ανέμου.

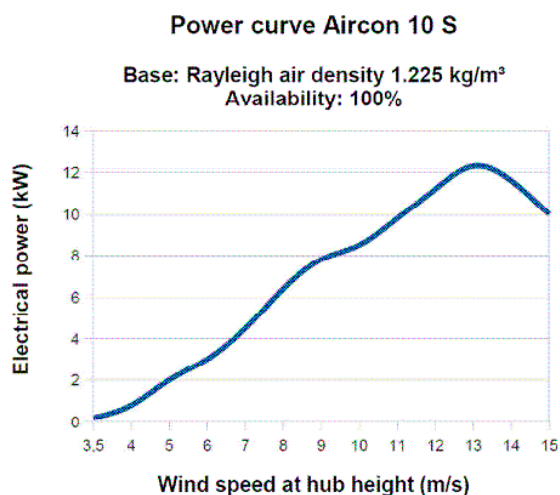


Σχήμα 4.5: Όλα τα εβδομαδιαία σενάρια ταχύτητας του ανέμου

Η ανεμογεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση είναι Aircon 10S (βλέπε Πίνακα 2 και **Εικόνα 4.7** για τεχνικές προδιαγραφές)



Σχήμα 4.6 : Α/Γ Aircon 10 S



Σχήμα 4.7: Καμπύλη Ισχύος

Ο στόχος της εξομοίωσης ήταν να μειώσει την απόρριψη της ενέργειας όσο το δυνατόν περισσότερο. Λόγω της χρήσης ενός υδροστροβίλου ως δευτερεύουσα πηγή η ανάγκη για μια πολύ μεγάλη ανεμογεννήτρια ή ένα υψηλότερο πύργος είναι περιττή

Aircon 10 S – technical parameters	
Rated power output [kW]	9,8
Rotor diameter [m]	7,54
Swept Area [m ²]	44,6
Rated generator speed [rpm]	130
Cut-in wind speed [m/s]	3,5
Rated wind speed [m/s]	11
Cut-out wind speed [m/s]	25
Rotor mass [kg]	144
Tower height [m]	18, 24 or 30
Generator system	Direct drive permanent magnet synchronous generator

Πίνακας 2 : Τεχνικές Προδιαγραφές Α/Γ Aircon 10S

Ωστόσο, όταν κάποιος θεωρεί μια γεννήτρια diesel ως δευτερεύουσα πηγή ενέργειας, το ύψος της πλύμης της ανεμογεννήτριας μπορεί να αυξηθεί για την αύξηση της απόδοσης ενέργειας που θα οδηγηθεί δευτεροβάθμια

πηγή, βλέπε πίνακα 3. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα να μεταβάλει την ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτρια σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία.

Wind speed at hub height [m/s]	Energy yield [kWh]
4	9065
5	17488
6	26714
7	35599
8	43549
9	50302
10	55731

Πίνακας 3 : Ισχυς για διαφορετικά ύψη πλύμης

❖ Σύστημα Αποθήκευσης : Μπαταρίες

Οι μπαταρίες αποθηκεύουν το πλεόνασμα της ενέργειας που παρέχεται από την ανεμογεννήτρια και την παροχή ενέργειας στην περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετός αέρας για την κάλυψη της αιχμής της ζήτησης ενέργειας. Επιπλέον, οι μπαταρίες, μαζί με την υδροηλεκτρική τουρμπίνα αν χρειαστεί, παρέχουν ενέργεια στα νοικοκυριά, αν υπάρχει έλλειψη ανέμου.

Αιολικά συστήματα χρησιμοποιούν Deep-Cycle μπαταρίες, η οποία μπορεί να παρέχει μια σταθερή ποσότητα ρεύματος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτές οι μπαταρίες έχουν σχεδιαστεί να αποφορτίζονται ολοκληρωτικά, αρκετές φορές ωστόσο, για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του και, συνεπώς, η αποτελεσματικότητα του κόστους, οι μπαταρίες περιορίζονται σε μια αποφόρτιση 40%. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η ονομαστική χωρητικότητα της τράπεζας των μπαταριών θα είναι 2856 Ah. Το μοντέλο που επιλέγεται είναι η σειρά Rolls 5000, μοντέλο 12CS11P και τα χαρακτηριστικά της αναφέρονται στον Πίνακα 4. Ο συνολικός αριθμός των μπαταριών είναι δύο όχθες των 1428 Ah από τέσσερις μπαταρίες. [4.2]

Capacity @20h	Voltage V	Dimension [L x W x H] mm	Weight Kg
357 Ah	12 V	559 x 286 x 464	(dry 100kg)

Πίνακας 4: Προδιαγραφές Μπαταριών

❖ Εγκατάσταση Dump: Βύθιση θερμαντικού στοιχείου

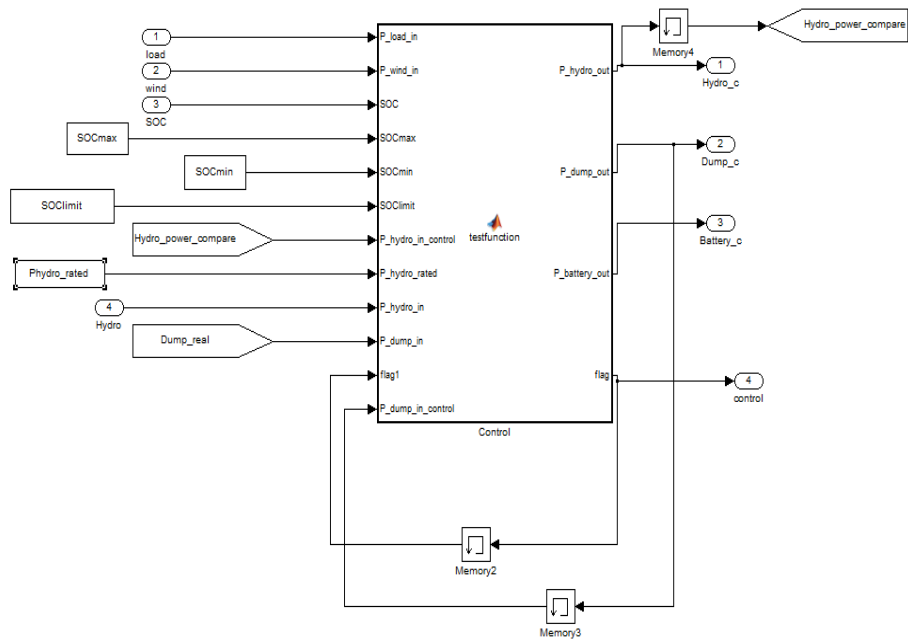
Η επιλεγείσα εγκατάσταση dump αποτελείται από ένα θερμαντικό στοιχείο τοποθετημένο σε δεξαμενή νερού για τη θέρμανση νερού, boiler. Αυτό το στοιχείο έχει τη λειτουργία της απόσβεσης του πλεονάσματος ενέργειας που παράγεται από την ανεμογεννήτρια, όταν η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών είναι πάνω από 95%. Δεδομένου ότι η περίσσεια ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού, δεν υπάρχει σπατάλη ενέργειας στο σύστημά μας. Δεδομένου ότι το σύστημα dump θα πρέπει να έχει χωρητικότητα 8kW, επιλέγονται δύο στοιχεία θερμοσίφωνα από 4 KW η κάθε μία,. (Milking, 2012)

❖ Έλεγχος

Ο έλεγχος του συστήματος είναι ένα βασικό στοιχείο για να μειώσει το ποσό του dumping και, επομένως, οικονομικά πιο αποτελεσματικό σύστημα μπορεί να συναρμολογηθεί. Ο έλεγχος εξασφαλίζει επίσης τη συνεχή παροχή ενέργεια στο φορτίο και, επομένως, συμβάλλει στην αξιοπιστία του συστήματος.

Τα ηλεκτρονικά ισχύος, που υποθέτουμε ότι είναι 100% αποτελεσματικά, ενσωματώθηκαν στο σχεδιασμό μας προκειμένου να παρέχει μια σταθερή παροχή ενέργειας στο φορτίο. Η μονάδα ελέγχου και οι ιδιότητές του παρουσιάζονται εκτενώς παρακάτω.

Η στρατηγική που εφαρμόζεται για τον έλεγχο του συστήματος που παρουσιάστηκε παραπάνω επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης μιας ενσωματωμένης λειτουργίας στο Matlab. Οι στόχοι που είχαν τεθεί για τον έλεγχο ήταν η απλότητα και η προσπάθεια για να καλύψει το φορτίο όσο το δυνατόν περισσότερο μέσω της παραγωγής αιολικής ενέργειας και της μπαταρίας. Η υδροηλεκτρική τουρμπίνα χρησιμοποιείται μόνο όταν οι δύο άλλες πηγές είναι κάτω από ένα ορισμένο όριο. Η απλότητα στον ελεγκτή εκφράζεται με την προσπάθεια του ελεγκτή, προκειμένου να χειριστεί όλες τις πιθανές καταστάσεις. [4.3]



Σχημα 4.8: Παρουσίαση του ελεγκτή

Οι είσοδοι για τον ελεγκτή είναι:

- μοτίβο φορτίου
- Η αιολική ενέργεια
- SOC, κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας
- SOCmin: ένα όριο για την κατάσταση της φόρτισης (40%)
- SOClimit: ένα όριο για την κατάσταση της φόρτισης (70%)
- SOClk: ένα όριο για να σταματήσει το ντάμπινγκ
- SOCmax: ένα όριο για την κατάσταση της φόρτισης (95%)
- Hydro_power_compare: Το σήμα ελέγχου πηγαίνει στο στρόβιλο υδροηλεκτρική χρησιμοποιείται επίσης μέσω της καθυστέρησης της μνήμης
- Phydro_rated: Η ονομαστική ισχύς της υδροηλεκτρικής τουρμπίνας
- Η έξοδος της γεννήτριας υδρο
- Η έξοδος της χωματερής
- Η σημαία προσπάθεια ελέγχου τροφοδοτείται στον ελεγκτή για να αποφευχθεί επαναφορά
- Το σήμα ελέγχου θα τις χωματερές χρησιμοποιούνται επίσης μέσω της καθυστέρησης της μνήμης

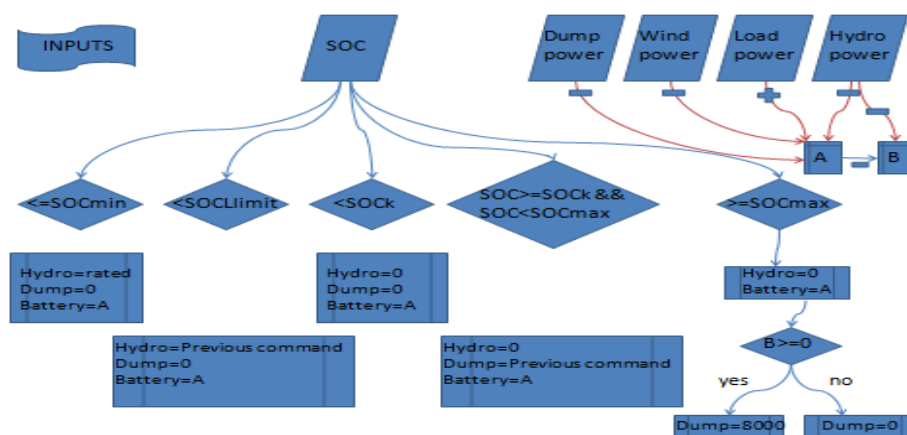
Οι έξοδοι του ελεγκτή είναι τα σήματα στην υδροηλεκτρική τουρμπίνα, μπαταρία, dumping και control effort.

Το σύστημα χρησιμοποιεί την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας για όλες τις αποφάσεις. Αυτό γίνεται για να καταστεί η προσπάθεια ελέγχου μικρότερη, καθώς για τη κατάσταση της φόρτισης χρειάζεται χρόνος για να αλλάξει και οι εντολές πραγματοποιούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αποφεύγοντας το τρεμόπαιγμα του ελεγκτή (flickering of the controller) ..

Τα όρια που τίθενται για την κατάσταση φόρτισης είναι το όριο SOCmin (40%) ότι αν επιτευχθεί είναι ένα μήνυμα για τη υδροηλεκτρική τουρμπίνα να ξεκινήσει ώστε το σύστημα να μην στερείται την ενέργεια. Το δεύτερο όριο είναι το SOClimit (70%) που κλείνει την υδροηλεκτρική τουρμπίνα επειδή δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια στη μπαταρία για την υποστήριξη του συστήματος χωρίς την υδροηλεκτρική τουρμπίνα. Το τρίτο όριο είναι η SOCl (90%) ότι αν επιτευχθεί είναι ένα σήμα για να σταματήσει το ντάμπινγκ. Τέλος, το όριο SOCmax (95%), ξεκινά το ντάμπινγκ, η οποία είναι σταθερή σε 8KW.

Η δευτερεύουσα πηγή ενέργειας έχει δύο καταστάσεις, την ονομαστική παραγωγή της και τη μηδενική. Επίσης, το σύστημα dump αντί να χρησιμοποιηθεί δυναμικά και να απορρίπτει την ενέργεια όταν είναι σε περίσσεια, χρησιμοποιείται ως διακόπτης με ένα υψηλής ενέργεια ντάμπινγκ και κλείνει όταν η μπαταρία πέσει σε κατάσταση 85% της φορτισης.

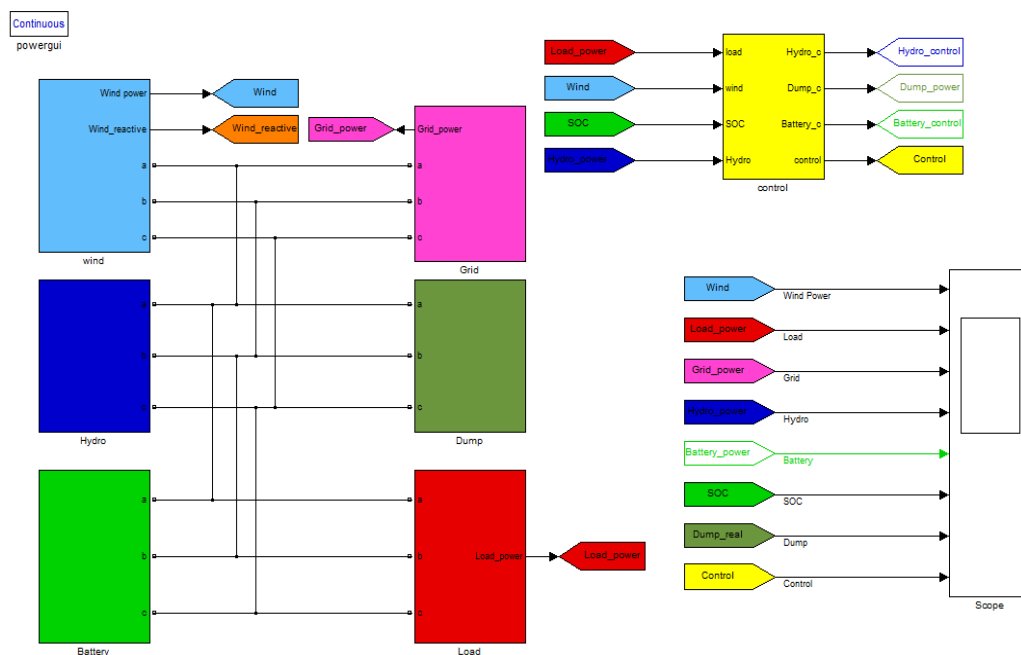
Τέλος, το πιο σημαντικό στοιχείο για το σύστημα είναι η μπαταρία που εξασφαλίζει ότι κάθε ανεπιθύμητη δυναμική συμπεριφορά απομονώνεται από το δίκτυο και για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει να λειτουργήσει για περισσότερο χρόνο. Από τη μία πλευρά αυτό μπορεί να καταπονήσει την μπαταρία, αλλά από την άλλη πλευρά παρέχει μια πολύ καλή δυναμική συμπεριφορά του συστήματος και διασφαλίζει ότι το σύστημα είναι έτοιμο να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε δυναμικό πρόβλημα χωρίς καθυστέρηση ανά πάσα στιγμή.



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα ροής Ελέγχου

Γενικά κατά το σχεδιασμό του μοντέλου μας ήμασταν αντιμέτωποι με τους ακόλουθους περιορισμούς:

- Παρά το γεγονός ότι τα συστατικά που συνδέονται με το δίκτυο, δεν υπάρχει ανταλλαγή ισχύος με το πλέγμα.
- Το δίκτυο λειτουργεί μόνο ως σημείο αναφοράς άπειρο πλέγμα στο οποίο MATLAB / Simulink μπορεί να κάνει προσομοιώσεις του.
- Η αιολική ενέργεια είναι η κύρια πηγή μας.
- Αποθήκευση είναι απαραίτητη για την κάλυψη ζήτησης αιχμής και για την παροχή ενέργειας, αν υπάρχει μια έλλειψη ανέμου.
- Σε περίπτωση που το στοιχείο αποθήκευσης και η ανεμογεννήτρια δεν επαρκούν, μια εφεδρική δύναμη πηγή θα βοηθήσει.
- Εάν υπάρχει υπέρβαση εξουσίας, η ενέργεια θα πρέπει να σταλεί σε μια dumping ενέργειας.



Σχήμα 4.10 : Παρουσίαση συστήματος

Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποια γενικά συμπεράσματα καθώς και παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου που παρουσιάστηκε παραπάνω. Επίσης στο τέλος παραθέτονται παραρτήματα τα οποία παρέχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή που παρουσιάστηκε παραπάνω.

4.2.4 Οικονομική σκοπιμότητα

Στο σημείο αυτό εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος. Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν είναι:

Το συνολικό κόστος της επένδυσης, το levelized κόστος της ενέργειας (**LCOE**), η καθαρή παρούσα αξία (**NPV**) και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης (**EPBT**).

Για λόγους απλούστευσης, κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις:

1. Η οικονομική ανάλυση πραγματοποιείται ως ένας απλοποιημένος υπολογισμός. Μόνο για τη λειτουργία και τα έξοδα συντήρησης λαμβάνονται υπόψη, ενώ η διαχείριση του έργου αποκλείεται.
2. Η Νορβηγία δεν παρέχει συγκεκριμένα κίνητρα (όπως Feed-in-τιμολόγια) για την παραγωγή αιολικής ενέργειας, αν και πολλά προγράμματα επιχορηγήσεων παρέχουν χρηματοδοτική στήριξη σε ανανεώσιμα ενεργειακά έργα (CEER, 2011). Σε αυτή την οικονομική ανάλυση, οι επιχορηγήσεις - προγράμματα δεν λαμβάνονται υπόψη.
3. Τα συγκεκριμένα στοιχεία σχετικά με τις τιμές των συστατικών λαμβάνονται από τη αντίστοιχες αναφορές.
4. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής είναι 25 χρόνια. Αυτή η τιμή επιλέγεται επί τη βάση της αναμενόμενης ζωής χρόνο της πρωτογενούς πηγής (ανεμογεννήτρια), αλλά και ταιριάζει με τις ιδιαιτερότητες της δευτεροβάθμιας πηγής (υδροηλεκτρική τουρμπίνα). Για το σύστημα αποθήκευσης, οι μπαταρίες θα πρέπει να αντικατασταθούν κάθε 10 χρόνια.
5. Το σύστημα είναι πολύ μικρό, ως εκ τούτου, η τιμή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων δεν λαμβάνονται υπόψη, επειδή θεωρούνται αμελητέα σε σύγκριση με το σύνολο της επένδυσης για τις συνιστώσες ισχύος. Μόνο ο εναλλάκτης έχει ληφθεί υπόψη.
6. Η υπόθεση προεξοφλητικό επιτόκιο είναι 4%. Η αξία παρέκταση από το μέσο όρο τα επιτόκια της Νορβηγίας κατά τα τελευταία 10 χρόνια, που είναι διαθέσιμες στη νορβηγική Central Bank Ιστοσελίδα (Norges-Bank, 2012)
7. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στη Νορβηγία για τα νοικοκυριά είναι:

Τιμή χωρίς φόρους	0.139 € /Kwh
Τιμή με φόρους	0.191 /Kwh

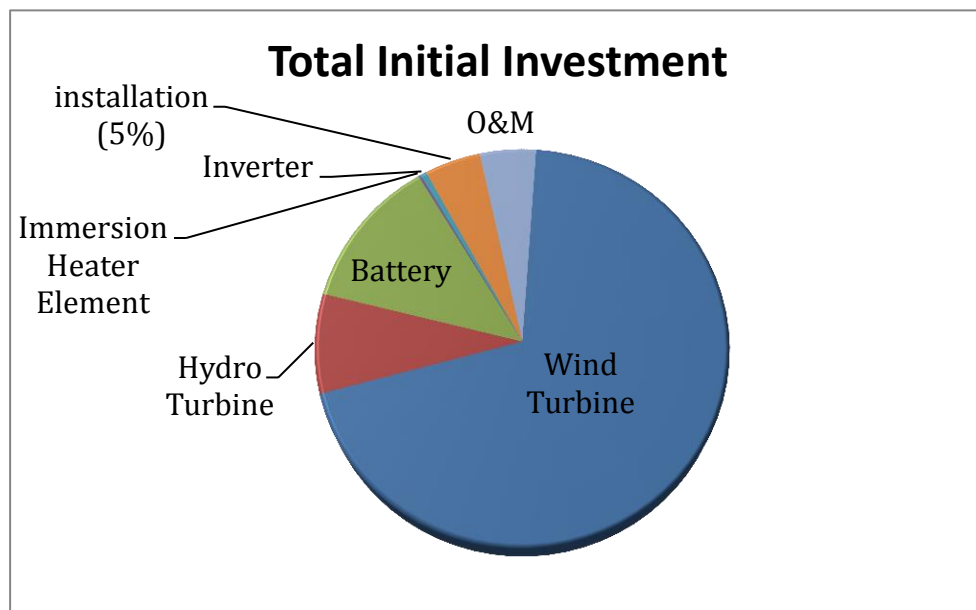
Πίνακας 5: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στην Νορβηγία, [4.4]

➤ **Συνολικό ποσό Επένδυσης**

Εξοπλισμός	Μονάδες	τιμή/Units [€]	Sub Total [€]
Ανεμογεννήτρια	1	43.000	43.000
Υδροηλεκτρική τουρμπίνα	1	4.970	4.970
Μπαταρίες	8	960	7.680
Θερμαντικό στοιχείο	2	60	120
Inverter	1	300	300
Σύνολο (A)			56.070
Εγκατάσταση (5% του κόστους εξοπλισμού)			2.803
Συνολική Αρχική Επένδυση (B)			58.874
O&M ανα έτος (5% του κόστους εξοπλισμού)			2.803
Battery replacements (16 units)			15.360
Αναμενόμενος χρόνος ζωής			25
Συνολικό κόστος επένδυσης (C)			144.321

Πίνακας 6: Συνολικό κόστος επένδυσης

Η συνολική αρχική επένδυση, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία και η συντήρηση, ούτε η αντικατάσταση μπαταριών, είναι **το σύνολο B**, 58.874 €. Η αρχική επένδυση δίνεται επίσης στον παρακάτω χάρτη :



Σχήμα 4.11: Συνολική αρχική επένδυση

➤ **Ισοσταθμισμένο (Levelized) ενεργειακό κόστος**

Το levelized Κόστος Ενέργειας (**LCOE**) είναι το κόστος της παραγωγής ενέργειας (σε αυτή την περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας) από το σύστημα. Αποτελεί μια οικονομική εκτίμηση του κόστους του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων όλων των εξόδων κατά τη διάρκεια της ζωής του (W.Short, 1995). Το LCOE υπολογίζεται ως εξής:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Ey_t}{(1+r)^t}}$$

Όπου:

- C_t είναι το συνολικό κόστος των επενδύσεων κατά το έτος t , συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας και της συντήρησης
- Ey_t είναι η απόδοση ενέργειας, δηλαδή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα του έτους t
- n είναι η αναμενόμενη διάρκεια ζωής
- r είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο.

Η ενεργειακή απόδοση είναι: $Ey_t = 39.535 \text{ kWh} / \text{έτος}$, ενώ η C_t δίνεται από τις επενδυτικές δαπάνες κατά το έτος t και περιλαμβάνει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και τις αντικαταστάσεις μπαταρία (οι αντικαταστάσεις εμφανίζονται δύο φορές στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος). Για περαιτέρω εξηγήσεις και για τις ειδικές τιμές που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση βλέπε **παράρτημα 2**.

➤ **Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης**

Ο χρόνος ενεργειακής απόσβεσης της επένδυσης (EPBT) είναι η χρονική περίοδος που απαιτείται για να εξοφλήσει το σύνολο των επενδυτικών δαπανών με την ετήσια εξοικονόμηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας [4.5]. Η EPBT μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$EPBT = \frac{\text{Total Investment Cost}}{\text{Yearly Cash Inflow}} = \frac{58.874 \text{ €}}{4128 \text{ €}} = 14,3 \text{ years} .$$

➤ **Καθαρή παρούσα αξία**

Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται συχνά για να αξιολογηθεί μια προτεινόμενη επένδυση είναι ο υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV). Η ΚΠΑ είναι ένας δείκτης της προστιθέμενης αξίας του συστήματος από τη νέα επένδυση, και θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μηδέν, προκειμένου να

αποδειχθεί η σκοπιμότητα και η αποδοτικότητα του έργου. Η ΚΠΑ υπολογίζεται ως εξής [4.5] :

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Όπου:

- F_t είναι η καθαρή ταμειακή ροή το έτος t
- r είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο
- N είναι η περίοδος ανάλυσης (στην περίπτωση της μελέτης ισοδύναμη με την αναμενόμενη διάρκεια ζωής)

Στη παραπάνω εφαρμογή, το έργο μπορεί να θεωρηθεί επικερδές δεδομένου ότι η NPV είναι θετική και ίση με: **15,299 €**.

Αυτή η ΚΠΑ δεν λαμβάνει υπόψη την αντικατάσταση μπαταριών που απαιτούνται κάθε 10 χρόνια. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ακόμη και την αντικατάσταση κατά το έτος 10ο και στο 20ο έτος, η NPV εξακολουθεί να είναι θετική, δηλαδή 6.606 €. Για περαιτέρω εξηγήσεις σχετικά με τους υπολογισμούς NPV, βλ. **Παράρτημα 3**.

4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[4.1] Pereira, 2000 , (Dimeas, Tsikalakis, Hatziaargyriou, Pecos Lopes, Kariniotakis, & Oyarzabal, 2006).

[4.2] Argonne, E. S. (2007). *A Review of Battery Life-Cycle Analysis: State of Knowledge and Critical Needs* .

[4.3] GES. (2004). *Green Energy Services*. Tratto da <http://www.greenenergyservices.nl/GES/nl/faq.html>

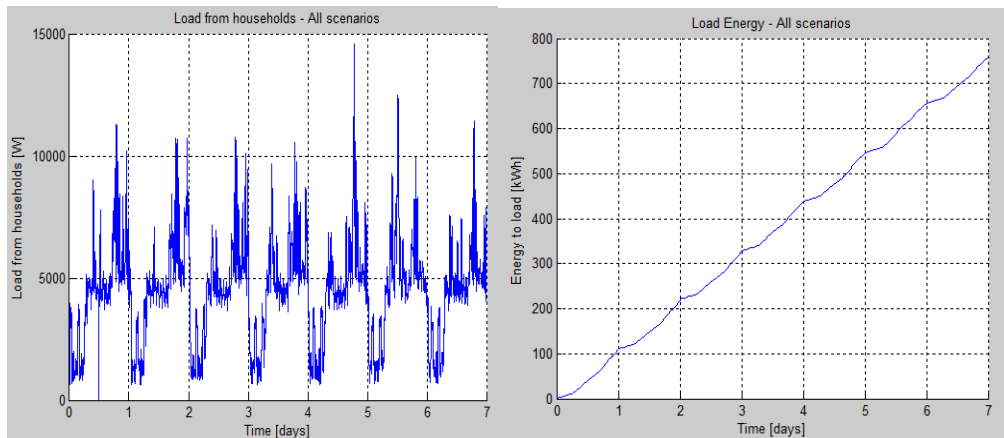
[4.4] Market Observatory for Energy, 2011 (CEER, 2011)

[4.5] W.Short, D. (1995). *A Manual for the Economic Evaluation of Enery Efficiency and Renewable Energy Technology*. NREL.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων από τα τέσσερα σενάρια. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στις γραφικές παραστάσεις που δείχνουν την απόδοση ισχύος ή ενέργειας ενός συστατικού κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας. Όλα τα διαγράμματα που επεξηγούν την ίδια ιδιότητα [5.1, 5.2] αναλύονται στις ίδιες διαστάσεις άξονα. Αυτό καθιστά ευκολότερο να συγκρίνουν τα διαφορετικά σενάρια ταχύτητας του ανέμου. Το ποσό της ενέργειας που τα 10 νοικοκυριά καταναλώνουν όλη την εβδομάδα είναι το ίδιο σε κάθε σενάριο, βλέπε **σχήμα. 5.1α**. Η αθροιστική κατανάλωση ενέργειας των νοικοκυριών δίνεται στο **σχ. 5.1β**.



Σχήμα 5.1 α

Σχήμα 5.1 β

Η ισχύς εξόδου (ή εισόδου) από ή προς την ανεμογεννήτρια, η υδροηλεκτρική τουρμπίνα, η μπαταρία, το dump , καθώς και η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας απεικονίζονται στο σχήμα. 5.2a-5.5a. Να σημειωθεί ότι για την ενέργεια της μπαταρίας θετική τιμή της ισχύος σημαίνει ότι η μπαταρία παρέχει ισχύ στο σύστημα. Επίσης, η δύναμη που πρόκειται να παρέχεται ή να προέρχεται από το δίκτυο είναι πρακτικά μηδενική. Η σωρευτική παραγωγή ενέργειας ή κατανάλωση των

ανεμογεννητριών, η υδροηλεκτρική τουρμπίνα, μπαταρία και το θερμαντικό (dump) μπορεί να δει κανείς στο σχήμα. 5.2b-5.5b. Η αποθήκευση της ενέργειας στην μπαταρία ξεκινά πάντα στο μηδέν [kWh], το οποίο βρίσκεται στο αρχικό SOC. Εδώ ένας θετικός αριθμός σημαίνει ότι από το σύστημα αφαιρείται ενέργεια από την μπαταρία (σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση).

➤ **Σενάριο υψηλής ταχύτητας ανέμου:**

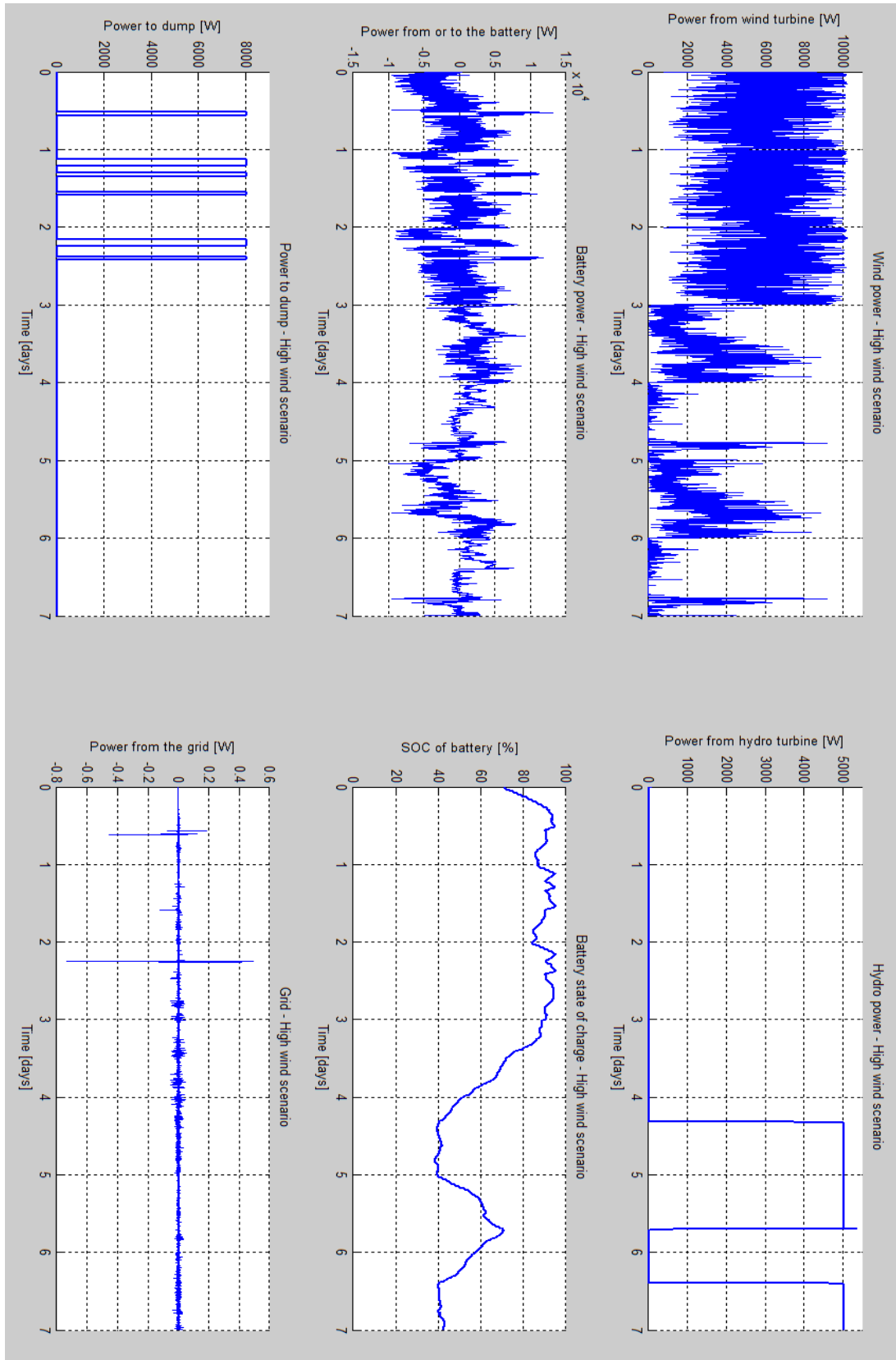
Κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων ημερών του υψηλού ανέμου η μπαταρία φορτίζεται μέχρι το σημείο όπου έχει να απορρίψει ισχύ. Το συνολικό dump είναι 68,5 kWh που είναι περίπου 9% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά. Δεδομένου ότι αυτό χρησιμοποιείται για να θερμάνει ένα νοικοκυριό, το ποσό της θερμικής ενέργειας που είναι περίπου ίσο με την καύση 6 m³ του φυσικού αερίου. Λαμβάνοντας υπόψη έναν ολόκληρο χρόνο αυτό το σενάριο μπορεί να μειώσει το κόστος θέρμανσης ενός νοικοκυριού κατά 20%. Επιπλέον, η υδροηλεκτρική τουρμπίνα δεν πρέπει να στρέφεται κατά τη διάρκεια αυτών των πρώτων ημερών. Αν η ταχύτητα του ανέμου πέφτει αρχικά οι μπαταρίες αναλαμβάνουν την τροφοδοσία μέχρι να φτάσουν σε μια κατάσταση φόρτισης του 40%. Εκείνη τη στιγμή η υδροηλεκτρική γεννήτρια ξεκινά μια τροφοδοσία τόσο των νοικοκυριών όσο και στις μπαταρίες. Στο τέλος της εβδομάδας 238 kWh παρέχεται μέσω υδροηλεκτρικής και 559 kWh μέσω της ανεμογεννήτριας.

➤ **Μεσαίο σενάριο ταχύτητα ανέμου:**

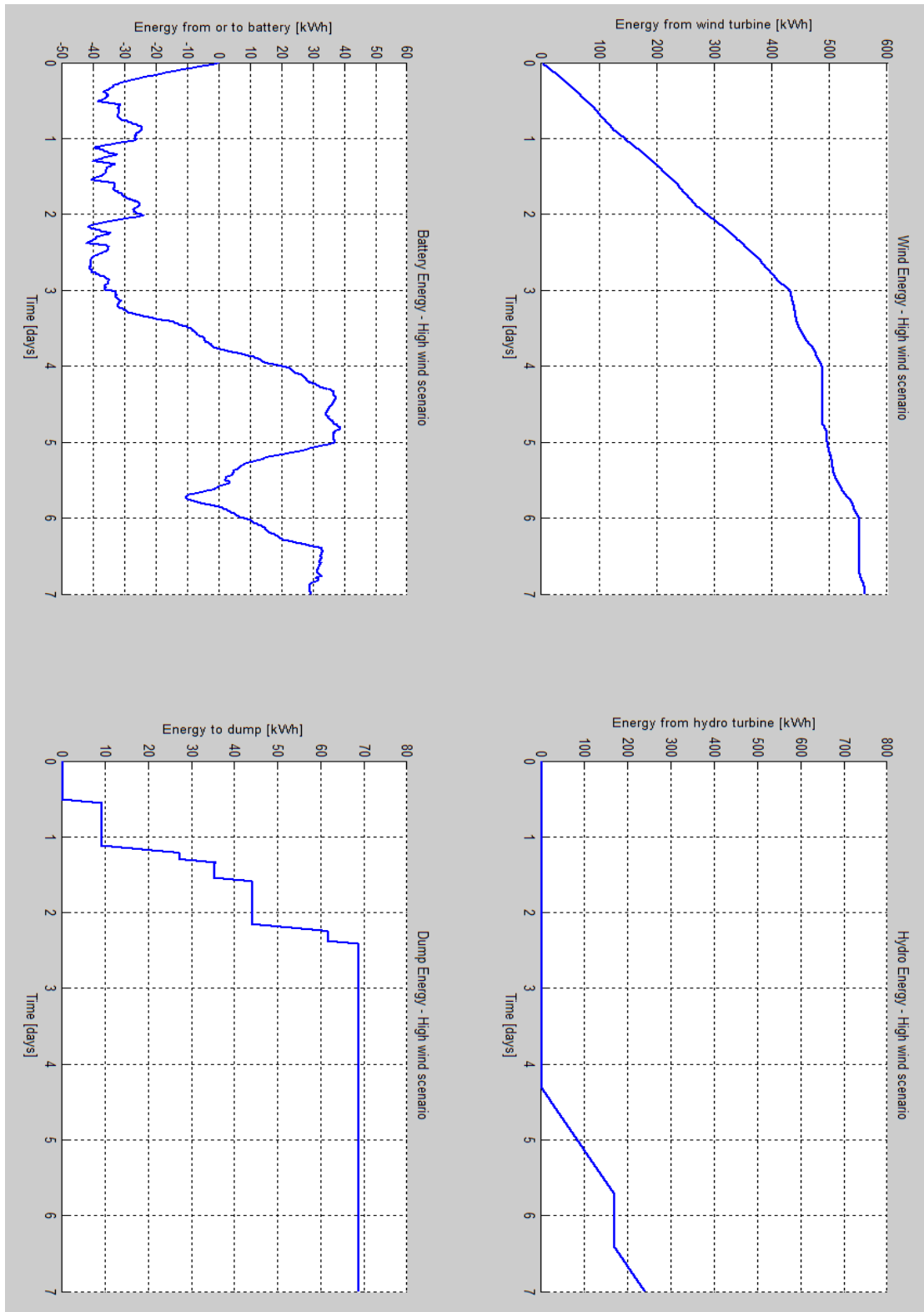
Η σωρευτική παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια είναι 470 kWh (62% της απαιτούμενης ενέργειας). Ο στρόβιλος παράγει υδροηλεκτρική 320 kWh (42% της απαιτούμενης ενέργειας). Ο λόγος που τα δύο ποσοστά είναι πάνω από 100% οφείλεται σε απώλειες της μπαταρίας. Κατά τη διάρκεια του σενάριου μέσης ταχύτητας του ανέμου, η dumping ενέργεια δεν είναι απαραίτητη.

➤ **Σενάριο Χαμηλής ή & άνευ ταχύτητας ανέμου:**

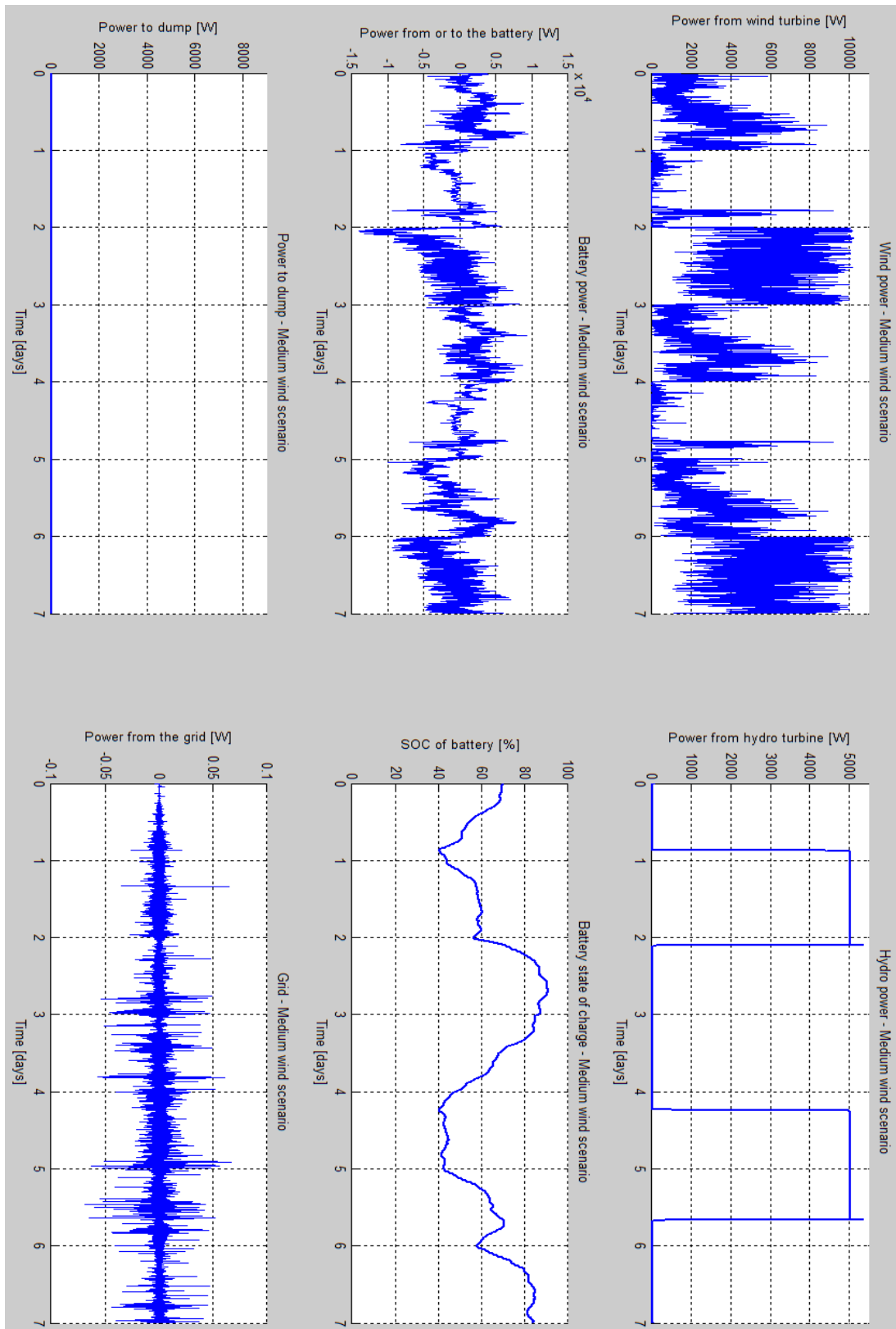
Σε αυτό το σενάριο, έχει αποδειχθεί ότι το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει χωρίς την αιολική ενέργεια. Για το χαμηλό σενάριο ανέμου η αθροιστική ενέργεια από την ανεμογεννήτρια είναι περίπου 84 kWh (11% της απαιτούμενης ενέργειας). Στο σενάριο άνευ ανέμου φαίνεται να υπάρχει κάποια ισχύ από την ανεμογεννήτρια. Ωστόσο, η αθροιστική παραγωγή ενέργειας είναι πρακτικά μηδενική kWh. Ακόμα, το σύστημα μπορεί να αντιμετωπίσει αυτή την χαμηλή παραγωγή αιολικής ενέργειας από τη μετάβαση στον υδροηλεκτρικό στρόβιλο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Με αυτόν τον τρόπο ένα μέρος της υδροηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται απευθείας για τα φορτία των νοικοκυριών, το άλλο μέρος χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας. Κατά τα δύο αυτά σενάρια η απόρριψη της ισχύος δεν απαιτείται. Δεδομένου ότι η ικανότητα υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι 5 kW και το μέσο φορτίο είναι 4,51 kW υπάρχουν μικρές χρονικές στιγμές όπου η υδροηλεκτρική τουρμπίνα μπορεί να απενεργοποιηθεί .



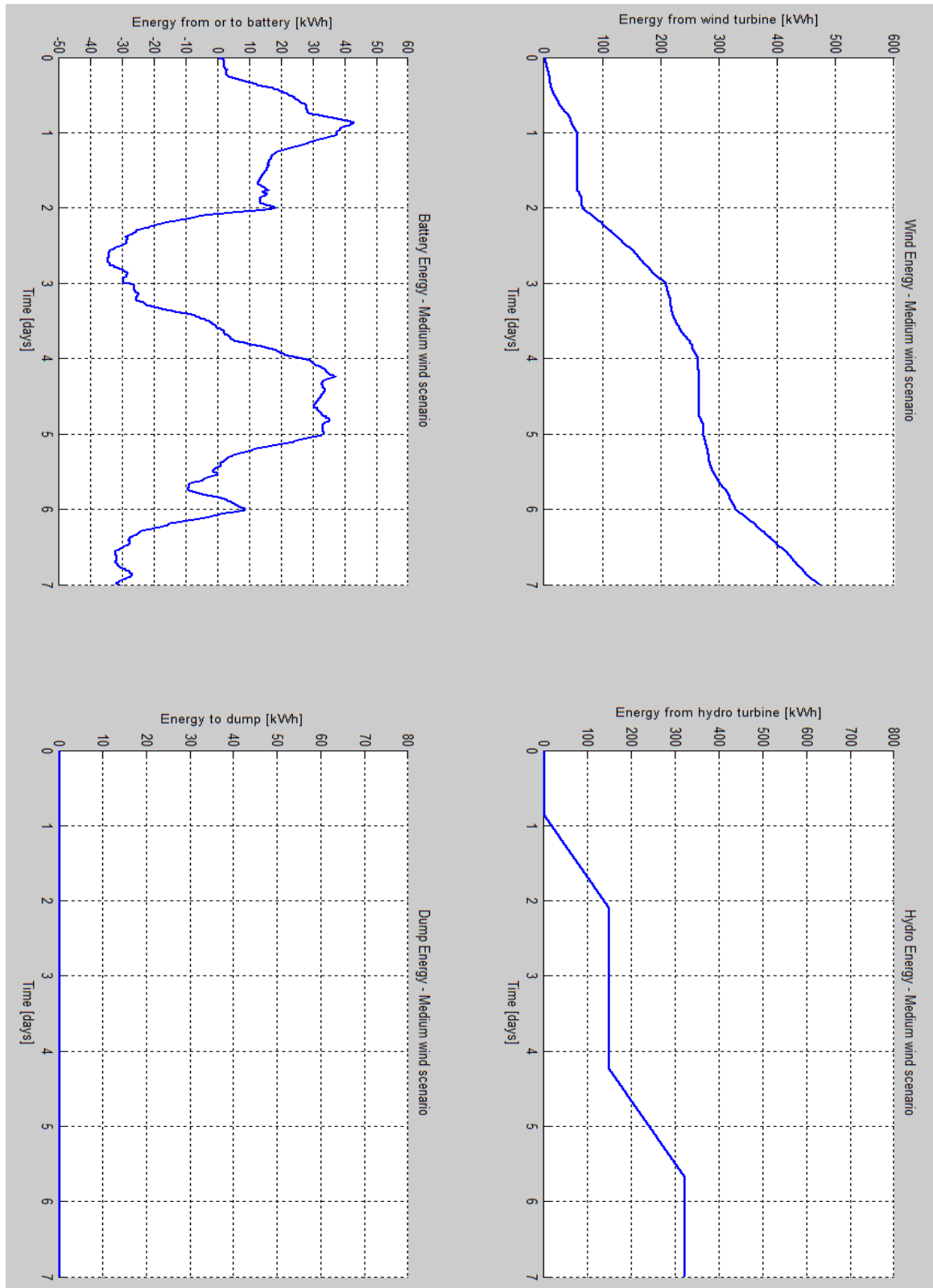
Σχήμα 5.2a : Σενάριο υψηλής ταχύτητας ανέμου: Ισχύς Α/Γ of , υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, μπαταρίας, dump and δικτύου



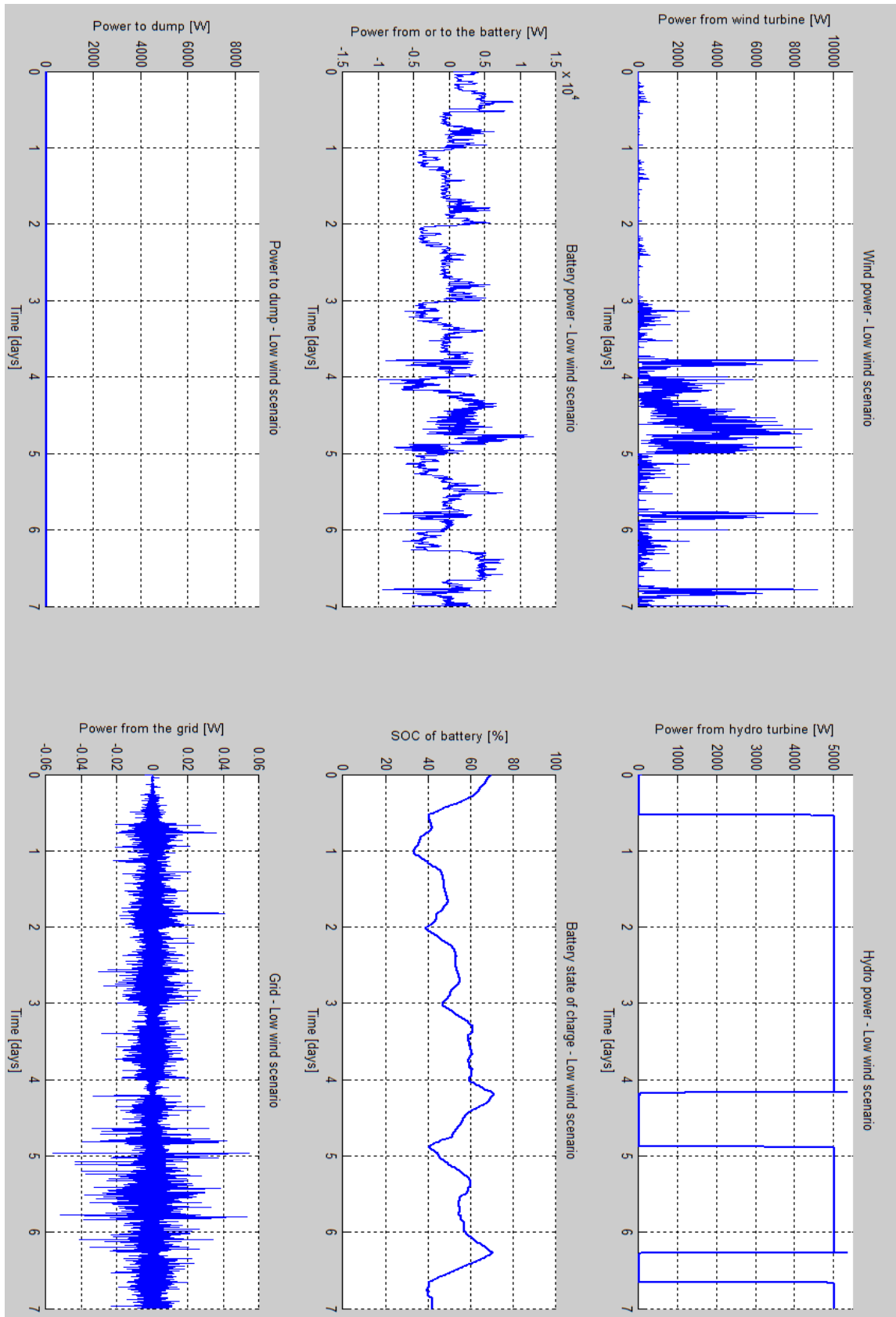
Σχήμα 5.2b : Σενάριο υψηλής ταχύτητας ανέμου: αθροιστική ενεργειακή απόδοση των ανεμογεννητριών, υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, μπαταρίες και dump.



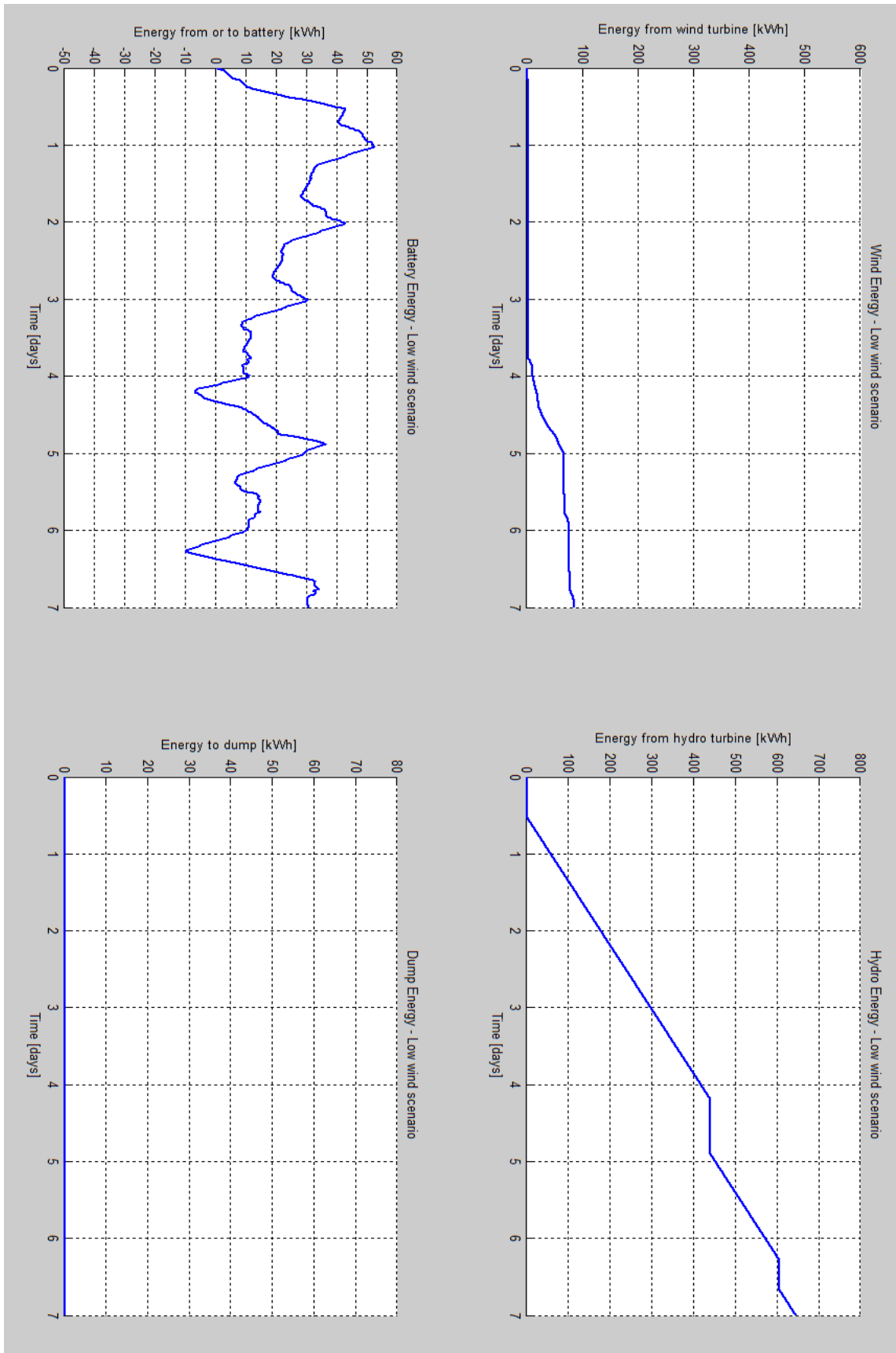
Σχήμα 5.3^α : Σενάριο μέσης ταχύτητας ανέμου : Ισχύς της ανεμογεννήτριας, υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, μπαταρίας, dump και το δικτύου.



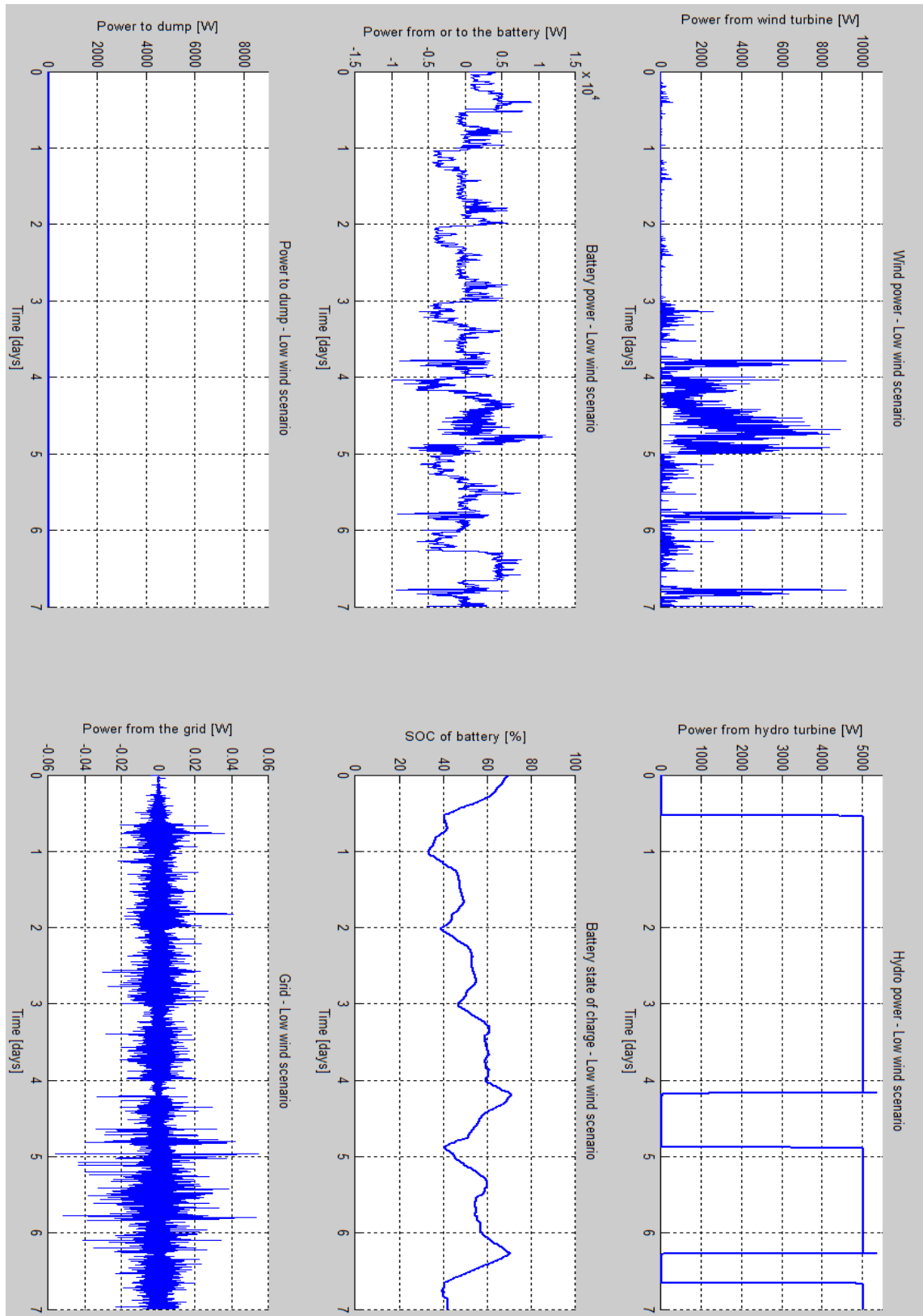
Σχήμα 5.3β : Σενάριο μέσης ταχύτητας ανέμου : αθροιστική ενεργειακή απόδοση των ανεμογεννητριών, της υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, μπαταρίες και dump



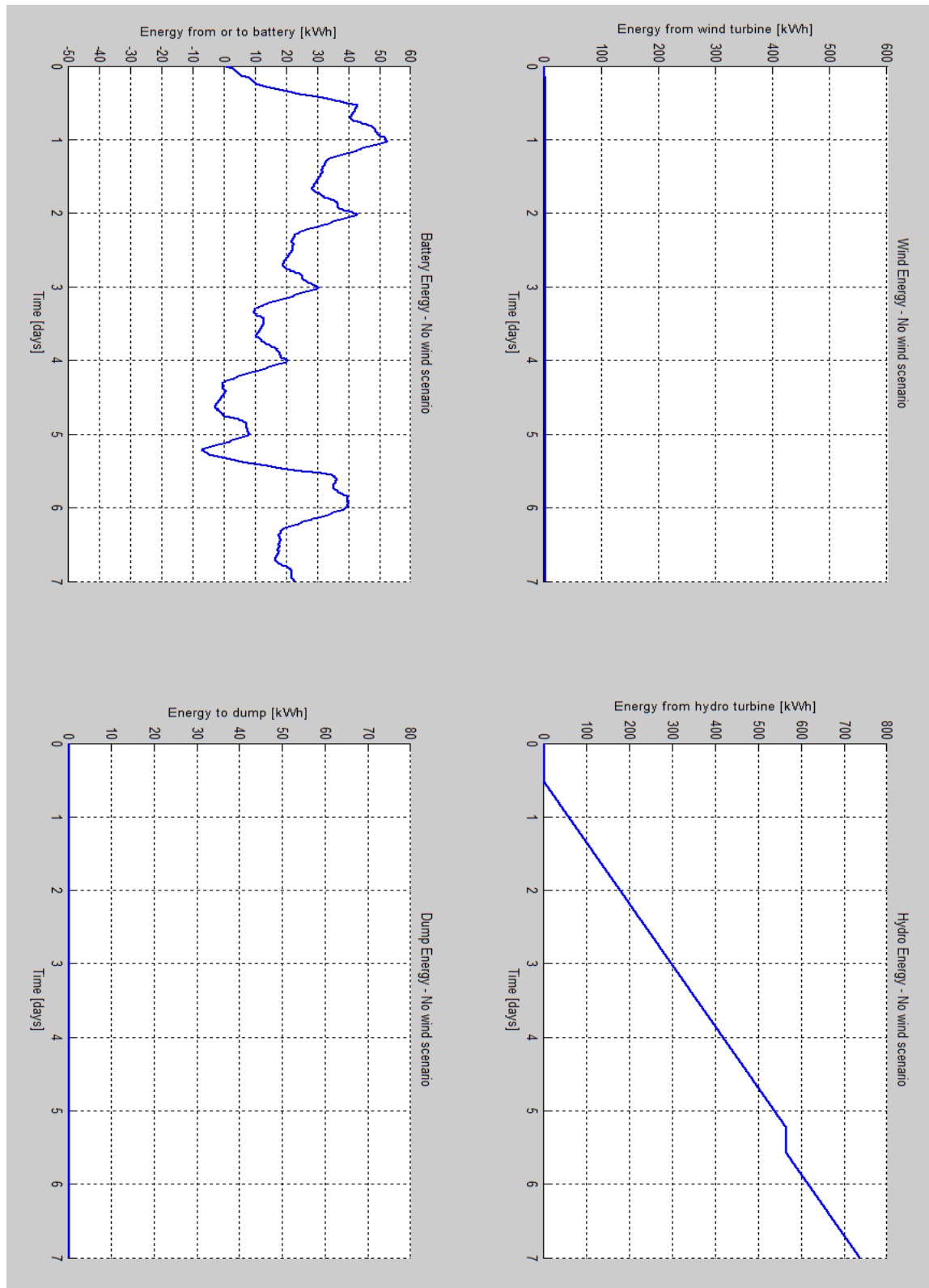
Σχήμα 5.4α : Σενάριο χαμηλής ταχύτητας ανέμου: Ισχύς των ανεμογεννητριών, της υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, της μπαταρίας και του θερμαντήρα (dump)



Σχήμα 5.4β : Σενάριο χαμηλής ταχύτητας ανέμου: Αθροιστική ενεργειακή απόδοση των ανεμογεννητριών, της υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, μπαταρίας, dump και του δικτύου



Εικόνα 5.5 α : Σενάριο άνευ ταχύτητας ανέμου: Ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας, υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, μπαταρίες, dump και του δικτύου.



Σχήμα 5.5b : Σενάριο άνευ ταχύτητας ανέμου: αθροιστική ενεργειακή απόδοση των ανεμογεννητριών, της υδροηλεκτρικής τουρμπίνας, της μπαταρίας και του dump.

5.2 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Αυτό το σύστημα είναι πολύ ελκυστικό σε χώρες με υψηλό δυναμικό αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο και σε άλλες χώρες, αυτό το σύστημα εξακολουθεί να είναι ελπιδοφόρο λόγω της ευελιξίας των συστατικών. Σε μια τέτοια περίπτωση, η υδροηλεκτρική γεννήτρια μπορεί να αντικατασταθεί για παράδειγμα με μια γεννήτρια ντίζελ ή κυψελών καυσίμου. Στη συνέχεια, από την πορεία θα ήταν σημαντικό για τη βελτιστοποίηση του συστήματος και για το χαμηλό κόστος των καυσίμων. Μια δυνατότητα θα ήταν τότε να χρησιμοποιηθεί η τρέχουσα Aircon ανεμογεννήτρια 10S και να αυξήσει το ύψος της πρυμνης για την καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Περαιτέρω, η μπαταρία μπορεί να αυξηθεί για να έχουν μεγαλύτερες χρονικές περιόδους χωρίς την ενεργοποίηση της δευτερεύουσα πηγή ισχύος. Με αυτό το τρόπο σε ένα νέο υπολογισμό θα έχουμε περισσότερο προσιτές τιμές. Συμπερασματικά, το σύστημα αυτό μπορεί να παρέχει 10 νοικοκυριά με αρκετή ενέργεια σε όλες τις περιοχές που έχουν αρκετούς ανέμους.

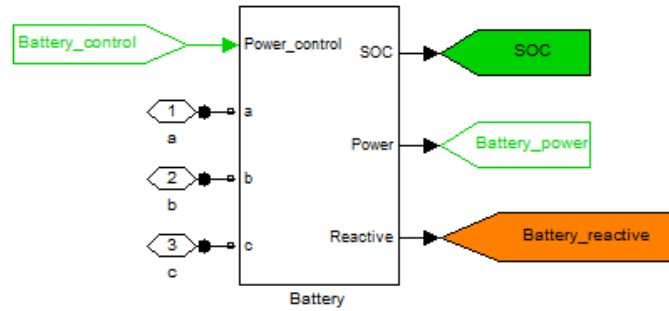
5.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[5.1] H.Suryoatmojo. (2009). *Optimal design fo wind-pv-diesel-battery system using Genetic Algorithm*.

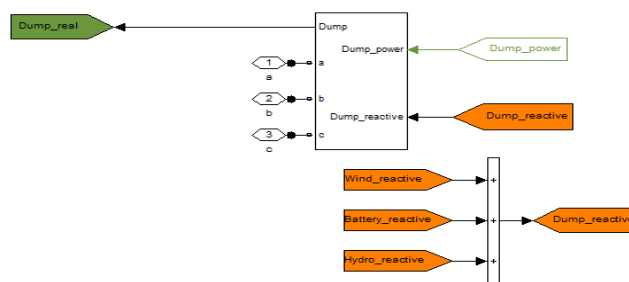
[5.2] <http://www.mathworks.com/products/simulink/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

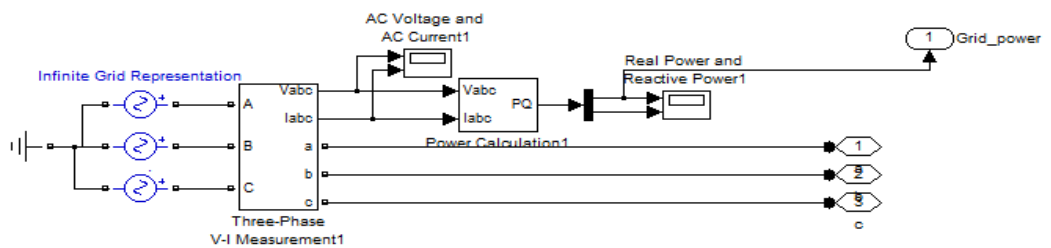
➤ Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο Simulink /MATLAB



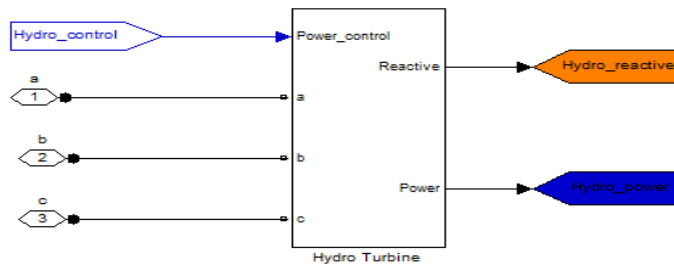
Μπαταρία



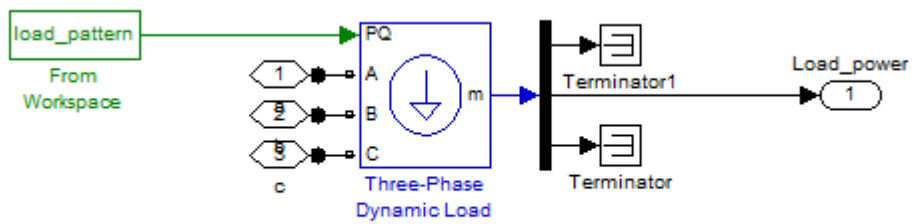
Dump



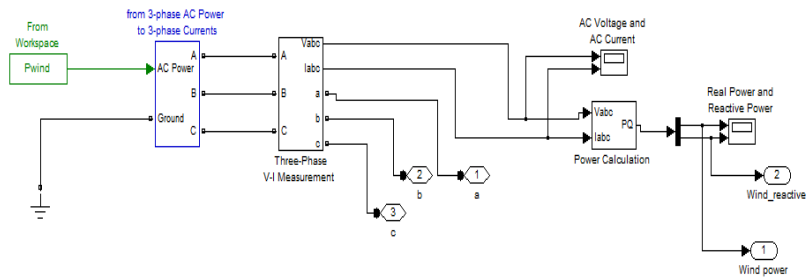
Δίκτυο



Υδροηλεκτρική Τουρμπίνα



Φορτίο



Ανεμογεννήτρια

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

➤ Ισοσταθμισμένο κόστος της ενέργειας

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Ey_t}{(1+r)^t}}$$

- $\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 58874 + \sum_{t=1}^n \frac{(O\&M)_t}{(1+r)^t} = 111.371,70 \text{ €}$

(Κατά τα έτη 10 και 20, η αντικατάσταση μπαταριών περιλαμβάνεται στο κόστος)

- $\sum_{t=1}^n \frac{Ey_t}{(1+r)^t} = 643.806 \text{ kWh}$

(Η ενεργειακή απόδοση του έτους $t = 1$ είναι 39.535 kWh)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

➤ Υπολογισμός NPV

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις ετήσιες ταμειακές ροές χωρίς να εξετάζει την αντικατάσταση μπαταριών:

	Έτος	Δαπάνη (€)	Gross Income Stream (€)	Net Cash flow (€)	Present Value Factor ¹ (r=0.04)	NPV
0	2012	-58874				-58874
1	2013	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,96	4.565,38
2	2014	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,92	4.389,79
3	2015	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,89	4.220,95
4	2016	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,85	4.058,61
5	2017	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,82	3.902,51
6	2018	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,79	3.752,41
7	2019	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,76	3.608,09
8	2020	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,73	3.469,32
9	2021	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,70	3.335,88
10	2022	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,68	3.207,58
11	2023	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,65	3.084,21
12	2024	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,62	2.965,59
13	2025	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,60	2.851,53
14	2026	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,58	2.741,85
15	2027	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,56	2.636,40
16	2028	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,53	2.535,00
17	2029	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,51	2.437,50
18	2030	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,49	2.343,75
19	2031	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,47	2.253,60
20	2032	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,46	2.166,93
21	2033	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,44	2.083,58
22	2034	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,42	2.003,44
23	2035	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,41	1.926,39
24	2036	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,39	1.852,30
25	2037	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,38	1.781,05
NPV						15.299,64

¹ Συντελεστής Παρούσας Αξίας : $\frac{1}{(1+r)^n}$

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις ετήσιες ταμειακές ροές λαμβάνοντας υπόψη την αντικατάσταση μπαταριών το έτος 10ο και 20ο:

	YEAR	Expenditure ² (€)	Gross Income Stream (€)	Net Cash Flow (€)	Present Value Factor ³ (r=0.04)	NPV
0	2012	-58874				-58874
1	2013	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,96	4.565,38
2	2014	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,92	4.389,79
3	2015	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,89	4.220,95
4	2016	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,85	4.058,61
5	2017	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,82	3.902,51
6	2018	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,79	3.752,41
7	2019	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,76	3.608,09
8	2020	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,73	3.469,32
9	2021	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,70	3.335,88
10	2022	-10.484,00	7.552,00	-2.932,00	0,68	-1.980,75
11	2023	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,65	3.084,21
12	2024	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,62	2.965,59
13	2025	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,60	2.851,53
14	2026	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,58	2.741,85
15	2027	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,56	2.636,40
16	2028	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,53	2.535,00
17	2029	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,51	2.437,50
18	2030	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,49	2.343,75
19	2031	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,47	2.253,60
20	2032	-10.484,00		-2.932,00	0,46	-1.338,13
21	2033	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,44	2.083,58
22	2034	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,42	2.003,44
23	2035	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,41	1.926,39
24	2036	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,39	1.852,30
25	2037	-2.804,00	7.552,00	4.748,00	0,38	1.781,05
NPV						6.606,25

² Η πρόβλεψη για το έτος 10 και 20 δίνεται από το άθροισμα του Ο&Μ και το κόστος των μπαταριών : (2.804€ + 7.680€)

³ Συντελεστής Παρούσας Αξίας : $\frac{1}{(1+r)^n}$