

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΧΑΝΙΑ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΠΟΤΣΟΥ ΒΑΣΙΛΗΣ  
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ ΜΑΝΟΛΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2013

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	2
Ευρετήριο Γραφημάτων .....	4
Ευρετήριο Σχημάτων.....	5
Ευρετήριο Πινάκων.....	6
1 ΑΠΟΣΑΦΗΝΙΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	7
1.1 Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ) .....	17
1.1.1 Διεσπαρμένη Παραγωγή (Distributed Generation).....	20
1.1.2 Μικρό-δίκτυα (Microgrids).....	28
1.2 Τεχνολογίες μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής .....	31
1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια .....	33
1.2.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά .....	38
1.2.3 Λοιπές μονάδες ΑΠΕ .....	40
1.3 Στόχος της Εργασίας .....	47
2 Αιολική Ενέργεια .....	48
2.1 Πρόοδος εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο.....	48
2.1.1 Εγκατεστημένη ισχύ.....	52
2.2 Ο άνεμος και τα χαρακτηριστικά του.....	58
2.2.1 Επικρατούσα Κατεύθυνση Ανέμου (Prevailing Wind Direction).....	60
2.2.2 Τραχύτητα Εδάφους.....	61
2.3 Τα τμήματα των Ανεμογεννητριών.....	64
3 ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	67
3.1 Ορισμοί.....	67
3.2 Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου άξονα.....	68
3.2.1 Τεχνικές Ελέγχου .....	73
3.3 Ανεμογεννήτριες Κατακορύφου άξονα.....	73
3.4 Κατασκευαστές μικρών Α/Γ .....	74
4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	78
4.1 Ανεμογεννήτριες Εναλασσομένου ρεύματος .....	78
4.1.1 Με ασύγχρονη γεννήτρια .....	79
4.1.2 Μόνιμων Μαγνητών.....	85
4.2 Ανεμογεννήτριες Συνεχούς ρεύματος .....	90
4.2.1 Τεχνολογία .....	90
4.2.2 Αντιστροφείς.....	91
4.3 Κανονισμοί σύνδεσης Α/Γ στο δίκτυο .....	92
4.3.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Α.Π.Ε ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	92
4.3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	93
4.3.3 ΕΝΤΑΞΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΟ ΝΟΜΟ 3468/2006.....	97
5 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά-στηριξη μικρων ανεμογεννητριων .....	100
5.1 Σε αγρούς/υπάιθρο .....	100
5.2 Κριτήρια – Περιορισμοί για τη τοποθέτηση Ανεμογεννήτριας.....	100
5.2.1 Εισαγωγή.....	101
5.2.2 Κριτήριο 1 – Ασφάλεια .....	101
5.2.3 Κριτήριο 2 – Στροβιλισμός Αέρα (Turbulence).....	102
5.2.4 Κριτήριο 3 – Περιβαλλοντικοί Περιορισμοί .....	103
5.2.5 Κριτήριο 4 – Περιοχή Μειωμένης Ταχύτητας (Wake Loss Area) .....	104
5.3 Αποστάσεις μεταξύ Α/Γ και κτιρίων.....	105
5.4 Σε αστικές περιοχές.....	106

5.4.1	Στήριξη σε κτίρια .....	107
6	η κατασταση των μικρων ανεμογεννητριων στην ελλαδα .....	108
6.1	Εγκατεστημένη ισχύς .....	108
6.1.1	Αδειοδοτημένη ισχύς .....	111
6.2	Διαδικασίες αδειοδότησης .....	111
6.3	Τιμολόγηση παραγωγής .....	111
6.4	Κατασκευαστικές προσπάθειες στη χώρα μας .....	113
6.4.1	Mechatron .....	113
6.4.2	Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης .....	116
7	συνηθη ζητηματα μικρων ανεμογεννητριων .....	118
7.1	Προβλήματα Συντήρησης .....	118
7.2	Νομοθετικά προβλήματα .....	119
8	Κόστη .....	121
9	Συμπερασματα .....	122
10	ΑΝΑΦΟΡΕΣ-Βιβλιογραφια .....	125

**Ευρετήριο Γραφημάτων****ERROR! NO TABLE OF FIGURES ENTRIES FOUND.**

Γράφημα 1.1 Κατανομή των λεπτών μη εξυπηρέτησης φορτίου ανά επίπεδο τάσης τροφοδοσίας στο Ην. Βασίλειο.	22
Γράφημα 8.1 Καμπύλη ισχύος-ταχύτητας για τυπική μικρή Α/Γ, με φανερή την επίπτωση της τεχνικής furling στα 16 m/s []	121

### Ευρετήριο Σχημάτων

Σχ. 1.1 Τυπικό ακτινικό Δίκτυο Διανομής .....	18
Σχ. 1.2 Βροχοειδές (αριστερά) και ατρακτοειδές(δεξιά) δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	19
Σχ. 1.3 Αναπαράσταση της αποδοτικότητας της πρωτογενούς ενέργειας στα παραδοσιακά ΣΗΕ .....	21
Σχ. 1.4 Αναπαράσταση της αποδοτικότητας της πρωτογενούς ενέργειας όπως αναμένεται στα μελλοντικά ηλεκτρικά δίκτυα.....	22
Σχ. 1.5 το όραμα της Ε.Ε για την μεταβολή του τοπίου στον τομέα της ενέργειας.....	28
Σχ. 1.6 Ένα τυπικό μικροδίκτυο και η διασύνδεσή του με το Σύστημα Ελέγχου της Διανομής.....	29
Σχ. 1.7 Οι τεχνολογίες των μονάδων διανεμημένης παραγωγής.....	31
Σχ. 1.8 Ιδανική καμπύλη εξόδου Φ/β χωρίς νέφωση. ....	36
Σχ. 1.9 Υποδομή συλλογής αερίου ΧΥΤΑ και αντικατάστασης του φλόγιστρου από μονάδα ΔΠ .....	42
Σχ. 1.10 Φωτογραφίες εγκαταστάσεων DG/DG-Tri σε ΧΥΤΑ .....	43
Σχ. 1.11 Μοντέλο συνδυασμού μικροτουρμπινών με ΜΕΚ για την όσο το δυνατό μεγαλύτερη εκμετάλλευση του παραγόμενου από τον ΧΥΤΑ αερίου .....	43
Σχ. 2.1 Τυπική καμπύλη μετατροπής ταχύτητας ανέμου σε ισχύ σε μία Α/Γ [] .....	60

**Ευρετήριο Πινάκων**

Πιν. 1-1 Εξέλιξη και διαθεσιμότητα των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής .....	31
Πιν. 1-2 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στη χώρα μας .....	32
Πιν. 1-3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδων ΑΠΕ στο ΕΔΣ .....	32
Πιν. 2-1 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στη χώρα μας .....	58
Πιν. 2-2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδων ΑΠΕ στο ΕΔΣ .....	58

## **1 ΑΠΟΣΑΦΗΝΙΣΗ ΕΝΝΟΙΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΟ** **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στη διεσπαρμένη παραγωγή που αποτελεί το εξεταζόμενο πλαίσιο λειτουργίας των δικτύων διανομής στην Παρούσα Πτυχιακή εργασία. Αποσαφηνίζεται ο όρος διεσπαρμένη παραγωγή και γίνεται εισαγωγή στην έννοια του μικροδικτύου που αποτελεί ειδικότερη μορφή δικτύου διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή. Παρουσιάζονται οι μονάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διεσπαρμένη παραγωγή με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Για αυτές τις μονάδες επισημαίνονται τα χαρακτηριστικά τα οποία απαιτούνται για τη μοντελοποίηση της λειτουργίας τους σε χρονικό διάστημα από μερικά λεπτά ως λίγες ώρες. Ζητήματα όπως η μεταβατική ή δυναμική συμπεριφορά αυτών των μονάδων ξεφεύγουν από τους σκοπούς της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Επίσης παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αποθηκευτικών διατάξεων και πως αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν στα Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο κόσμος αντιμετωπίζει ένα σοβαρό περιβαλλοντικό δίλημμα. Από τη δεκαετία του '50, ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει τουλάχιστον διπλασιαστεί και η παγκόσμια οικονομία έχει αυξηθεί σχεδόν έξι φορές. Οι τρέχουσες πιέσεις στο παγκόσμιο περιβάλλον, εάν επιτρέπεται να συνεχιστούν, θα έχουν μια αρνητική επίπτωση στην ποιότητα της ζωής για τις μελλοντικές γενεές. Οι πιέσεις στο περιβάλλον περιλαμβάνουν:

- ❖ Αυξανόμενες εκπομπές αερίου του θερμοκηπίου.
- ❖ Αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας.
- ❖ Απειλές στην ποιότητα νερού, τη βιοποικιλότητα και τους φυσικούς πόρους. Η κύρια κινητήρια δύναμη προώθησης των ΑΠΕ στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η πολιτική για τις κλιματικές αλλαγές και την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, δεδομένου ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ενεργειακή κατανάλωση. Παρ' όλ' αυτά, ο προσανατολισμός προς την κατεύθυνση της βραχυπρόθεσμης μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί κυρίως σε αντικατάσταση του πετρελαίου και του άνθρακα με φυσικό αέριο.

Αυτή η αντικατάσταση θεωρείται ως η πιο αποτελεσματική και από άποψη κόστους για την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς οι βασικές αναφορές της

πολιτικής για το κλίμα επικεντρώνονται σε ένα χρονικό ορίζοντα από το 2008 έως το 2012.

Ένα από τα αποτελέσματα της εξέλιξης αυτής είναι ότι η εξάρτηση της Ευρώπης σε εισαγωγές καυσίμων (κυρίως φυσικού αερίου) θα αυξηθεί ραγδαία και θα φτάσει το 70% το 2020, δηλαδή στα επίπεδα πριν από την πετρελαϊκή κρίση του 1973. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ μπορεί να μειώσει αυτή την εξάρτηση και να παίξει ένα καθοριστικό ρόλο στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας σε επιστημονικό επίπεδο είναι γνωστό εδώ και δεκαετίες. Κατά τα πρώτα βήματα η εκμετάλλευσή της θεωρούνταν μη κερδοφόρα και πολυέξοδη [1]. Ωστόσο, με το πέρασμα των δεκαετιών η επιστημονική έρευνα έχει παρουσιάσει τόσο βαθμό εξέλιξης ώστε σήμερα να δίνει τη δυνατότητα για όλο και αποδοτικότερη εκμετάλλευση της Α.Ε. για την παραγωγή σημαντικού ποσοστού της αναγκαίας ενέργειας για αρκετές χώρες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω θέσπισης οδηγιών καθορίζει κατώτατα όρια στο ποσοστό των ΑΠΕ στις συνολικές ενεργειακές των χωρών μελών. Πιο αναλυτικά: έως το έτος 2020 οι ΑΠΕ θα πρέπει απαραίτητως να βρίσκονται σε ποσοστό 20% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας.

Παρόλο που κατά την τελευταία 5ετία παραιτήθηκε σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας, όσον αφορά το έτος 2009 τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά όσον αφορά την πάντα την αιολική ενέργεια.

Μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα εγκαθίστανται καθώς στις χώρες της Ε.Ε. υπάρχει κίνητρο για ανάπτυξη αυτών των πολιτικών και λόγω της πίεσης των ευρωπαϊκών κοινωνιών για αλλαγή πορείας όσον αφορά τις συμβατές ενέργειες και εκδήλωση ενδιαφέροντος προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εξαιτίας της ασύμφορης εξάρτησης από το πετρέλαιο και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που υφίσταται σήμερα η Γη. Στους πίνακες που ακολουθούν δίδονται συγκεντρωτικά ορισμένα στοιχεία όσον αφορά την αιολική ενέργεια σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο:



Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρώπη



**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΧΑΝΙΑ**

Πηγή: EWEA, 2009

Πίνακας 1-1. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρώπη

	Installed 2008	End 2008	Installed 2009	End 2009
<b>EU Capacity (MW)</b>				
Austria	14	995	0	995
Belgium	135	415	149	563
Bulgaria	63	120	57	177
Cyprus	0	0	0	0
Czech Republic	34	150	44	192
Denmark	60	3,163	334	3,465
Estonia	19	78	64	142
Finland	33	143	4	146
France	950	3,404	1,088	4,492
Germany	1665	23,903	1,917	25,777
Greece	114	985	102	1,087
Hungary	62	127	74	201
Ireland	232	1,027	233	1,260
Italy	1010	3,736	1,114	4,850
Latvia	0	27	2	28
Lithuania	3	54	37	91
Luxembourg	0	35	0	35
Malta	0	0	0	0
Netherlands	500	2,225	39	2,229
Poland	268	544	181	725
Portugal	712	2,862	673	3,535
Romania	3	11	3	14
Slovakia	0	3	0	3
Slovenia	0	0	0	0
Spain	1558	16,689	2,459	19,149
Sweden	262	1,048	512	1,560
United Kingdom	569	2,974	1,077	4,051
<b>Total EU-27</b>	<b>8,268</b>	<b>64,719</b>	<b>10,163</b>	<b>74,767</b>
<b>Total EU-15</b>	<b>7,815</b>	<b>63,604</b>	<b>9,702</b>	<b>73,194</b>
<b>Total EU-12</b>	<b>453</b>	<b>1,115</b>	<b>461</b>	<b>1,574</b>
Of which offshore and near shore	374	1,479	582	2,061

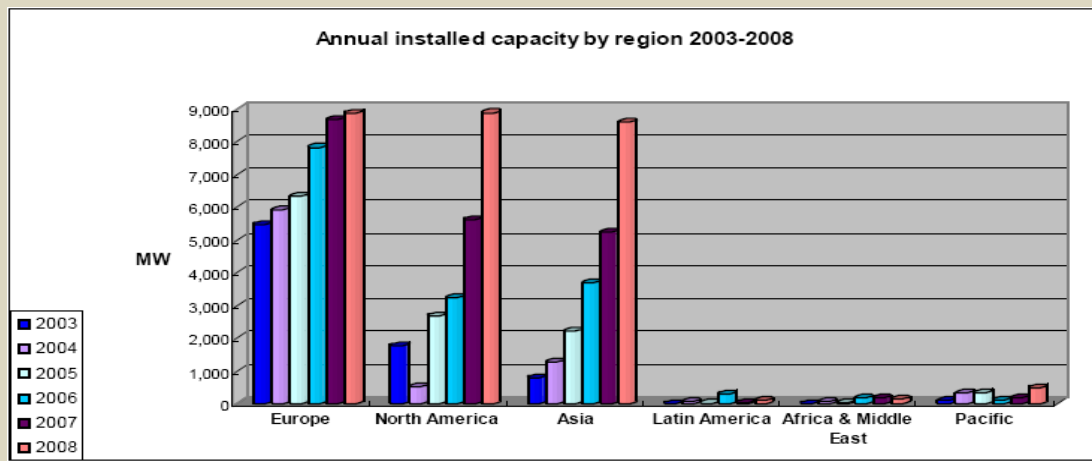
Μέσω του Πίνακα 1-1, παρατηρούμε πως οι ετήσιες εγκαταστάσεις της αιολικής ενέργειας στην Ε.Ε. έχουν αυξηθεί σταθερά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών από 472 MW το 1994 σε 10.163 MW το 2009, δηλαδή πρόκειται για μια ετήσια μέση ανάπτυξη αγοράς σε ποσοστό 23%.

Το 2009 η Ισπανία ήταν η χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τη μεγαλύτερη ετήσια αγορά από την άποψη των εγκαταστάσεων MW, που ακολουθήθηκαν από τη Γερμανία, την Ιταλία, τη Γαλλία, και τη Μεγάλη Βρετανία.

Συνολικά 74.767 MW είναι εγκατεστημένες σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Γερμανία παραμένει η χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ενέργεια, ενώ τέλος ακολουθείται από την Ισπανία, την Ιταλία, τη Γαλλία, και τη Μεγάλη Βρετανία.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες (Διάγραμμα 1) ξεπέρασαν τη Γερμανία για να γίνουν οι υπ' αριθμόν 1 στον κόσμο όσον αφορά στις εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας, ενώ και η

συνολική ικανότητα της Κίνας διπλασιάστηκε για τέταρτη συνεχή χρονιά (βρίσκεται στην τρίτη σειρά) [2]. Οι συνολικές παγκόσμιες εγκαταστάσεις το 2008 ανήλθαν περισσότερο από 27.000 MW, όπου κυριαρχούν ως οι τρεις κύριες αγορές στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Ασία.



Διάγραμμα 1-1: Η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς, αλλά και η εγκατεστημένη ισχύς στην Ε.Ε.

Πηγή: [www.gwec.net](http://www.gwec.net)

Η σφαιρική ενεργειακή ικανότητα αέρα αυξήθηκε κατά 28.8% το 2008 κι έγινε ακόμα πιο υψηλή από το μέσο όρο κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, για να φθάσει στις συνολικές σφαιρικές εγκαταστάσεις περισσότερο από 120.8 GW στο τέλος του 2008. Πάνω από 27 GW της νέας ικανότητας παραγωγής αιολικής ενέργειας ήρθαν on-line το 2008, 36% περισσότερο απ' ό, τι το 2007.

Η συνεισφορά των ΑΠΕ στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο είναι της τάξης του 5%, σε επίπεδο συνολικής διάθεσης πρωτογενούς ενέργειας στη χώρα και της τάξης του 15%, σε επίπεδο εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας [3].

Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ το 2007 ήταν 1,7 Mtoe, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 90 ήταν 1,2 Mtoe. Εξ' αυτών 755 ktoe οφείλονται στη χρήση βιομάζας στα νοικοκυριά, 250 ktoe περίπου στη χρήση βιομάζας στη βιομηχανία για ίδιες ανάγκες (συνολικό ποσοστό της βιομάζας 57,6%), 291 ktoe (16,7%) από την παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών, 160 ktoe (9,2%) από την παραγωγή των θερμικών ηλιακών συστημάτων, 156 ktoe (8,9%) από την παραγωγή των αιολικών, 83 ktoe από βιοκαύσιμα (4,8%), 35 ktoe (2%) από το βιοαέριο, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και 14 ktoe από τα γεωθερμικά συστήματα (0,8%).

Η συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας είναι

σταθερή και κυμαίνεται σε ποσοστό της τάξης του 5-5,5%. Ο λόγος είναι ότι η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ οφείλεται κατά 54,6% στη βιομάζα που καταναλώνεται στον οικιακό τομέα και στα μεγάλα υδροηλεκτρικά (εξαιρουμένης της άντλησης), που παραμένουν σε σταθερά ποσοστά και που δεν επηρεάζονται από τα χρηματοδοτικά εργαλεία πολιτικής.

Η συνολική συνεισφορά των ΑΠΕ, αν αφαιρέσει κανείς τη βιομάζα στον οικιακό τομέα και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία, λόγω των μέτρων οικονομικής υποστήριξης.

Η ηλεκτροπαραγωγή από συμβατικές ΑΠΕ στην Ελλάδα (μη συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών) παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια και αντιστοιχεί στο 3,6% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αφορά κυρίως σε αιολικά και μικρά υδροηλεκτρικά, σε μικρό βαθμό τη βιομάζα, ενώ ήδη γίνεται πολύ αισθητή η συνεισφορά των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς και των γεωθερμικών εφαρμογών και των φωτοβολταϊκών ακολούθως.

Λαμβάνοντας υπόψη τα μεγάλα υδροηλεκτρικά (εξαιρώντας την παραγωγή από άντληση), η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ είναι στα επίπεδα του 7,2% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή θερμικής ενέργειας από ΑΠΕ προέρχεται κυρίως από τις θερμικές χρήσεις της βιομάζας, τα ενεργητικά ηλιακά, και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Η μεγάλη ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακών συλλεκτών κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει την Ελλάδα στη δεύτερη θέση σε εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ωστόσο, η κύρια παραγωγή θερμότητας από βιομάζα προέρχεται είτε από καύση βιομάζας στον οικιακό τομέα, είτε από υπολείμματα βιομάζας σε βιομηχανικές μονάδες κατεργασίας ξύλου, τροφίμων, βάμβακος, κ.λ.π. όπου και χρησιμοποιείται για ίδιες ανάγκες. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι η ελληνική αγορά θερμότητας από ΑΠΕ είναι σε στάδιο εκκίνησης. Ένα προνομιακό πεδίο για τη θερμική διείσδυση των ΑΠΕ φαίνεται να είναι ο κτιριακός τομέας, σε συνδυασμό πάντοτε με την αναθεώρηση της εθνικής νομοθεσίας για τα 'κτίρια αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας'.

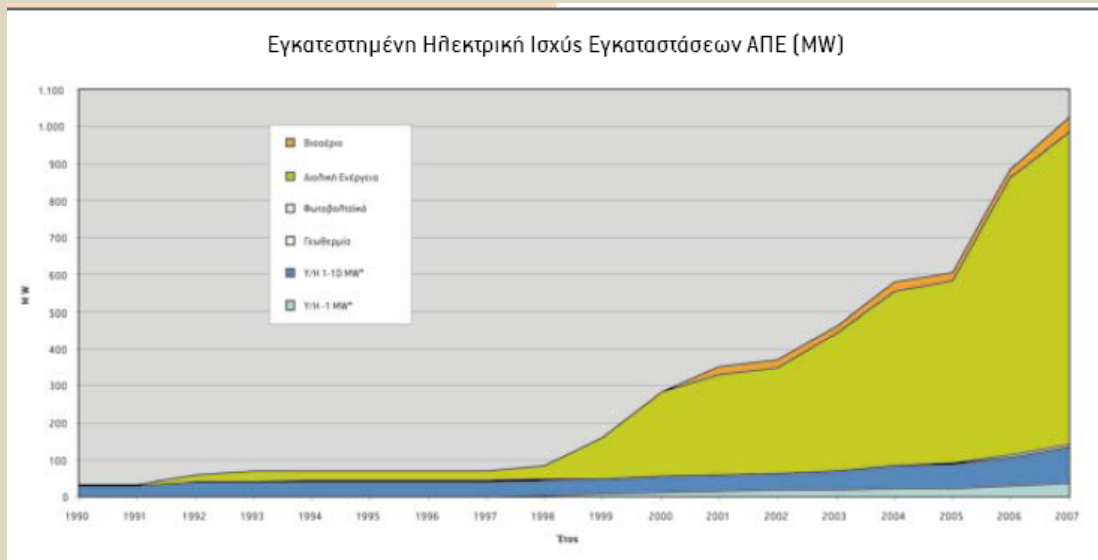
Η χρήση των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα είναι επίσης σε φάση εκκίνησης και σύμφωνα με την 4<sup>η</sup> Εθνική Έκθεση της Ελλάδας για τα βιοκαύσιμα στο τέλος του 2007 λειτουργούσαν 10 εταιρείες παραγωγής βιοντήζελ με δυναμικότητα 575.000 τόνους. Επιπλέον, στην χώρα δραστηριοποιούνται και 2 εταιρείες εμπορίας βιοντήζελ (εισαγωγή από χώρες Ε.Ε.).

**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΧΑΝΙΑ**

Παράλληλα, τουλάχιστον 6 εταιρείες έχουν ανακοινώσει τα σχέδια τους για την κατασκευή και άλλων μονάδων παραγωγής βιοντίζελ, μικρής, μεσαίας και μεγάλης δυναμικότητας, σε διάφορα σημεία της χώρας, με εκτιμώμενη έναρξη παραγωγής το δεύτερο εξάμηνο του 2008, αν τα σχέδια αυτά τελικά υλοποιηθούν. Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα φάση εκκίνησης η προσοχή μας έχει στραφεί προς το βιοντίζελ, θα πρέπει σύντομα να εξεταστεί και η προοπτική της βιοαιθανόλης με όρους κόστους-οφέλους. Προς το παρόν η εισαγωγή βιοαιθανόλης στην ελληνική αγορά καυσίμων, δεν αναμένεται να ξεκινήσει πριν από τις αρχές του 2010. Η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (εξαιρουμένων των υδροηλεκτρικών σταθμών άνω των 10MW) ήταν 1.725 MW στο τέλος του 2007, με σταθερά αυξανόμενη εξέλιξη να έχουν τα αιολικά, τα μικρά υδροηλεκτρικά και τη βιομάζα (Πίνακας 2).

**Πίνακας 1-2. Ισχύς παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας [MW], Επιφάνεια Ηλιακών Συλλεκτών και Βιοκαύσιμα**

Τεχνολογία ΑΠΕ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Σύνολο</b>	2.411	2.515	2.541	2.552	2.552	2.552	2.551	2.757	2.896	3.068	3.299	3.369	3.386	3.473	3.597	3.621	3.902	4.044
<b>Υδροηλεκτρική Ενέργεια</b>	2.408	2.512	2.523	2.523	2.523	2.523	2.522	2.728	2.856	2.959	3.072	3.076	3.076	3.079	3.099	3.105	3.124	3.150
<i>εκ των οποίων αντθητικά συστήματα</i>	315	315	315	315	315	315	315	520	615	615	699	699	699	699	699	699	699	699
Υ/Η -1 MW*	2	2	2	2	3	3	3	4	5	8	14	15	17	19	23	25	31	37
Υ/Η 1-10 MW*	28	28	39	39	39	39	39	39	40	42	42	45	45	50	59	64	77	95
Υ/Η 10+MW*	2.063	2.167	2.167	2.167	2.166	2.166	2.165	2.197	2.294	2.317	2.317	2.317	2.317	2.311	2.317	2.317	2.317	2.319
<b>Γεωθερμία</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5	9
<b>Αιολική Ενέργεια</b>	1	1	16	27	27	27	27	27	38	109	226	270	287	371	472	491	749	846
<b>Βιοαέριο</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	22	22	24	24	24	39
<b>Επιφάνεια Ηλιακών Συλλεκτών (1000 m<sup>2</sup>)</b>	1.448	1.610	1.759	1.879	1.991	2.101	2.168	2.228	2.381	2.440	2.941	2.992	3.050	3.140	3.246	3.047	3.296	3.573
<b>Βιοκαύσιμα (τόνους)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	395.000	575.000
<i>* δεν συμπεριλαμβάνεται η ισχύς των αντθητικών</i>																		



Διάγραμμα 1-2: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ χωρίς μεγάλα υδροηλεκτρικά

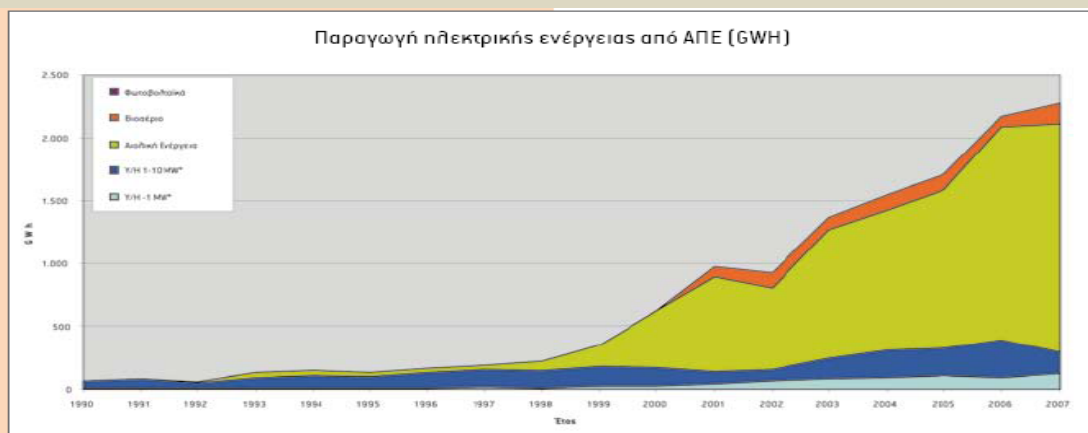
Ειδικότερα, από 1 μόλις MW συνολικής ισχύος των αιολικών πάρκων το 1990, στο τέλος του 2007, λειτουργούσαν Αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 846 MW. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έφθασαν τα 132 MW στο τέλος του 2007, από τα 43 MW της ΔΕΗ το 1997. Τέλος, οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο ΧΥΤΑ στην Θεσσαλονίκη, επεκτάθηκαν κατά 5MW και, συμπαραγωγής από βιοαέριο λυμάτων στα Λιόσια κατά 9,7MW, ανεβάζοντας έτσι το σύνολο ηλεκτρικής ισχύος μαζί με την Ψυττάλλεια, σε 29 και 10 MW αντίστοιχα. Η ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2007 έφθασε τις 5,4 TWh περίπου και προήλθε κατά 63% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (3.377 GWh), κατά 34% από αιολικά πάρκα (1.818 GWh), 160 GWh (3%) παρήχθησαν από βιοαέριο, ενώ υπήρχε και μία μικρή παραγωγή από φωτοβολταϊκούς σταθμούς (Πίνακας 3).

**Πίνακας 1-3. Μικτή Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (GWh)**

Τεχνολογία ΑΠΕ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Σύνολο</b>	2.023	3.183	2.417	2.686	2.973	3.843	4.556	4.156	3.949	5.028	4.562	3.560	4.240	6.459	6.450	6.999	8.077	5.356
<b>Υδροηλεκτρική Ενέργεια</b>	2.021	3.181	2.408	2.639	2.936	3.808	4.518	4.119	3.876	4.865	4.111	2.725	3.463	5.332	5.205	5.610	6.292	3.377
<i>εκ των οποίων αντλητικά συστήματα</i>	228	72	186	259	243	253	156	214	149	237	418	628	663	566	533	593	427	785
Υ/Η - 1 MW*	6	5	5	5	8	7	7	11	8	18	26	40	58	76	91	106	89	118
Υ/Η 1-10 MW*	54	70	43	77	97	89	119	138	137	164	140	95	92	169	212	218	299	177
Υ/Η 10+MW*	1.733	3.034	2.174	2.297	2.589	3.460	4.236	3.756	3.582	4.446	3.527	1.962	2.650	4.521	4.369	4.693	5.477	2.297
<b>Αιολική Ενέργεια</b>	2	2	8	47	37	34	38	37	73	162	451	756	651	1.021	1.121	1.266	1.699	1.818
<b>Βιοαέριο</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	79	126	105	123	122	85	160
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,8	0,9	1,3	1,4

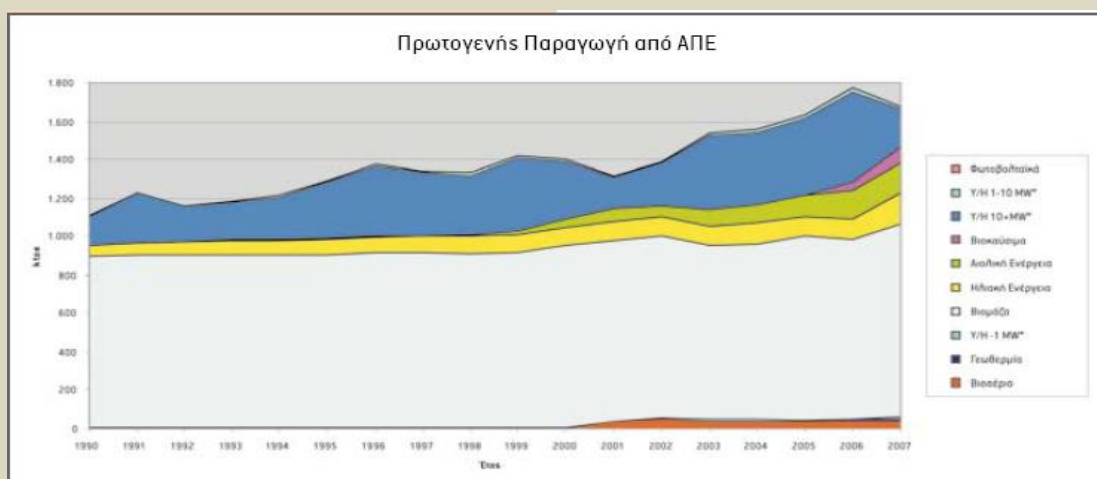
\* δεν συμπεριλαμβάνεται η ισχύς των αντλητικών

Η ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας την ίδια χρονιά ήταν 63,5 TWh. Η εξέλιξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ φαίνεται στο Διάγραμμα 1-3.



Διάγραμμα 1-3: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ χωρίς μεγάλα υδροηλεκτρικά

Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ ήταν 1,7 Mtoe, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 90 ήταν 1,2 Mtoe. Εξ' αυτών 755 κtoe οφείλονται στη χρήση βιομάζας στα νοικοκυριά, 250 κtoe περίπου στη χρήση βιομάζας στη βιομηχανία για ίδιες ανάγκες (συνολικό ποσοστό της βιομάζας 57,6%), 291 κtoe (16,7%) από την παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών, 160 κtoe (9,2%) από την παραγωγή των θερμικών ηλιακών συστημάτων, 156 κtoe (8,9%) από την παραγωγή των αιολικών, 83 κtoe από τα βιοκαύσιμα (4,8%), 35 κtoe (2%) από το βιοαέριο, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και, 14 κtoe από τα γεωθερμικά συστήματα (0,8%). Η εξέλιξη της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ φαίνεται στο Διάγραμμα 1-4.



Διάγραμμα 1-4: Πρωτογενής παραγωγή από ΑΠΕ

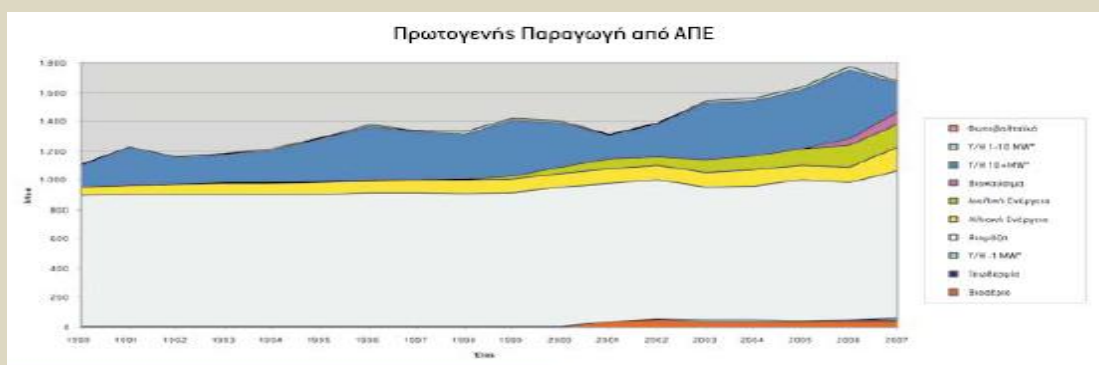
Η συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας είναι σταθερή και κυμαίνεται γύρω από ένα ποσοστό της τάξης του 5-5,5% (Πίνακας 1-4). Ο

λόγος είναι ότι η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ οφείλεται κατά 70% στην εμπορική βιομάζα και στα μεγάλα υδροηλεκτρικά, που παραμένουν σε σταθερά ποσοστά και που δεν επηρεάζονται από τα χρηματοδοτικά εργαλεία πολιτικής.

**Πίνακας 1-4: Συμμετοχή των ΑΠΕ στο Ενεργειακό Ισοζύγιο**

Τεχνολογία ΑΠΕ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Πρωτογενής Παραγωγή από ΑΠΕ (κτοε)	1.127	1.237	1.180	1.209	1.233	1.314	1.389	1.361	1.343	1.443	1.439	1.373	1.451	1.592	1.606	1.684	1.814	1.744
Παραγωγή από ΑΠΕ χωρίς μεγάλα Υ/Η, αντλητικά, και Βιομάζα στον Οικιακό Τομέα (κτοε)	256	268	274	287	287	292	309	317	320	338	397	448	463	452	482	527	603	724
Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση (κτοε)	22.338	22.512	23.174	22.746	23.709	24.228	25.476	25.688	26.987	26.867	28.217	29.061	29.856	30.307	30.773	31.352	31.509	33.488
Συμμετοχή των ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση (κτοε)	5,0%	5,5%	5,1%	5,3%	5,2%	5,4%	5,5%	5,3%	5,0%	5,4%	5,1%	4,7%	4,9%	5,3%	5,2%	5,2%	5,8%	5,2%
Σύνολο ΑΠΕ, εκτός μεγάλων Υ/Η, αντλητικών και Βιομάζας στον Οικιακό Τομέα (κτοε)	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%	1,6%	1,49%	1,57%	1,68%	1,91%	2,16%

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4, η συνολική συνεισφορά των ΑΠΕ, αν αφαιρέσει κανείς τη βιομάζα στον οικιακό τομέα και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, παρουσιάζει σταδιακή ανοδική πορεία, λόγω των μέτρων οικονομικής υποστήριξης. Δεδομένης πάντως της αύξησης της ζήτησης ενέργειας και της συνεχόμενης αύξησης της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης, το ποσοστό αυτό δεν φαίνεται να μεταβάλλεται.



**Διάγραμμα 1-5: Πρωτογενής παραγωγή από ΑΠΕ**

Τα στατιστικά στοιχεία των τελευταίων ετών παρουσιάζουν διακύμανση του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (6-12%), η οποία οφείλεται, κυρίως, στη μεταβλητότητα της λειτουργίας των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών που



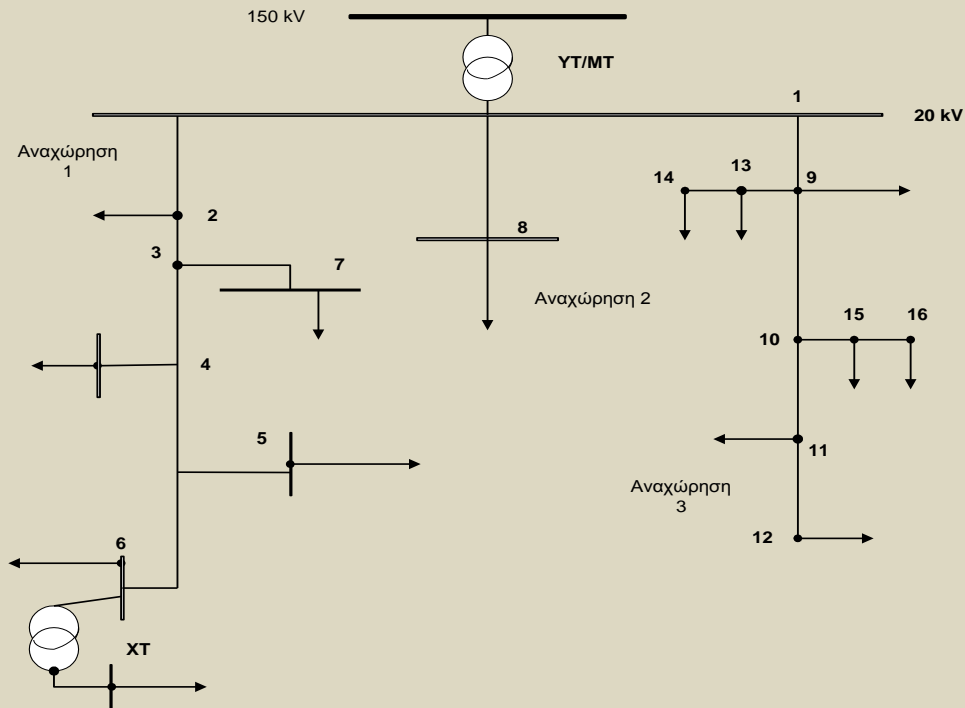
εξαρτάται από το επίπεδο των υδατικών αποθεμάτων, ενώ οι συμβατικές ΑΠΕ έχουν μία σταθερά αυξανόμενη συμμετοχή που έφθασε το 3,6% το 2007. Σημειώνεται ότι το 7,2% του 2007, δεν είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικό για τους εξής λόγους:

- Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά στην Ελλάδα είναι σχεδόν αποκλειστικά τύπου φράγματος, χρησιμοποιούνται κυρίως για φορτία αιχμής και η παραγωγή τους εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα υδάτων στα φράγματα.
- Το ποσοστό 7,2% αντιστοιχεί σε μειωμένη χρήση των μεγάλων υδροηλεκτρικών δεδομένου ότι το 2007 ήταν χρονιά κακής υδραυλικότητας.

### **1.1 Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΔΗΕ)**

Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι εκείνα που αναλαμβάνουν τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ακόμη και στον τελευταίο καταναλωτή. Ανάλογα με το επίπεδο τάσης διακρίνονται σε επίπεδο Μέσης Τάσης (ΜΤ) και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ). Κατασκευαστικά τα Δίκτυα Διανομής μπορεί να είναι υπόγεια ή υπέργεια όπως περιγράφεται αναλυτικά στο βιβλίο [4], λεπτομέρειες για την κατασκευή, διαστασιολόγηση και επέκταση των δικτύων διανομής παρέχονται στη διεθνή βιβλιογραφία με ενδεικτικές πηγές το [5,6]

Τα εναέρια δίκτυα, αναπτύσσονται κυρίως σε αγροτικές περιοχές (rural areas) συνήθως κατασκευάζονται σε ακτινική μορφή (radial) δηλαδή οι γραμμές από τις οποίες αποτελείται το δίκτυο τροφοδοτούνται από το ένα άκρο τους. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 1.1



**Σχ. 1.1**Τυπικό ακτινικό Δίκτυο Διανομής

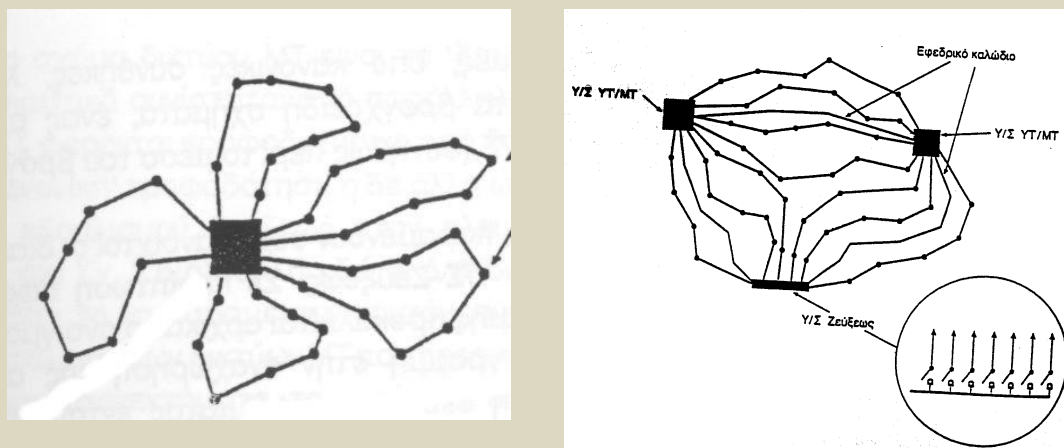
Τα υπόγεια δίκτυα διανομής διακρίνονται σε

α) βρογχοειδή όπου οι γραμμές διανομής ΜΤ ή ΧΤ ξεκινούν και τελειώνουν στον ίδιο Υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ ή ΜΤ/ΧΤ, όπως δείχνει το Σχ. 1.2

β) Ατρακτοειδή, όπου οι γραμμές που ξεκινούν από τον ένα υποσταθμό καταλήγουν σε ένα άλλο, όπως δείχνει το Σχ. 1.2.

γ) Διπλής τροφοδότησης, όπου οι καταναλωτές τροφοδοτούνται από δύο διαφορετικές αναχωρήσεις του ίδιου υποσταθμού

δ) Τα δικτυωτά (meshed) δίκτυα στα οποία τα καλώδια είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούν ένα πλέγμα τροφοδοσίας.



**Σχ. 1.2 Βροχοειδές (αριστερά) και ατρακτοειδές(δεξιά) δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας**

Η ολοένα και αυξανόμενη διασύνδεση πηγών πιο κοντά στους καταναλωτές επηρεάζει την παραδοσιακή λειτουργία των ΔΔΗΕ και την μονόδρομη ροή ισχύος σε αυτά, όπως θεωρείται ακόμη και μέχρι τις μέρες μας. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα επιμέρους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την διεθνή εμπειρία σχετικά με το αντικείμενο αυτό, ενώ κάποια επί μέρους θέματα στα οποία η παρούσα διατριβή έχει συνεισφέρει περιγράφονται σε επόμενα κεφάλαια.

Από την πλευρά του καταναλωτή, παραγωγή σε τοπικό επίπεδο μπορεί να σημαίνει αύξηση της αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος της παρεχόμενης ενέργειας και σε περιβάλλον πλήρως απελευθερωμένης αγοράς, την μείωση του κόστους κάλυψης των ενεργειακών του αναγκών με ευέλικτους τρόπους διαχείρισης της τοπικής παραγωγής, όταν οι τιμές στην ελεύθερη αγορά ενέργειας την καθιστούν οικονομικά συμφέρουσα. Η δυνατότητα οργάνωσης της τοπικής παραγωγής του καταναλωτή και συμμετοχής της στην ελεύθερη αγορά ενέργειας μέσω κάποιου παροχέα ενεργειακών υπηρεσιών ανοίγει περαιτέρω δυνατότητες αύξησης του εισοδήματος του και συνεισφέρει στο άνοιγμα της αγοράς.

Από την πλευρά του χειριστή του Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης ή της Επιχείρησης Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου ή μέρους του προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως αναβολή επενδύσεων κεφαλαίου για την κατασκευή ή ενίσχυση των δικτύων μεταφοράς και διανομής, αλλά και κεντρικών σταθμών παραγωγής, μείωση των απωλειών και μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου,

ιδιαίτερα στον χειρισμό των συμφορήσεων και στην επαναφορά του συστήματος μετά από σβέση. Τα πλεονεκτήματα αυτά μπορούν να μεγιστοποιηθούν, εάν οι μονάδες αποκεντρωμένης παραγωγής οργανωθούν σε Μικροδίκτυα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της διασπαρμένης παραγωγής για την ικανοποίηση της τοπικής ζήτησης, αλλά και δίνονται οι σχετικοί ορισμοί.

### **1.1.1 Διεσπαρμένη Παραγωγή (Distributed Generation).**

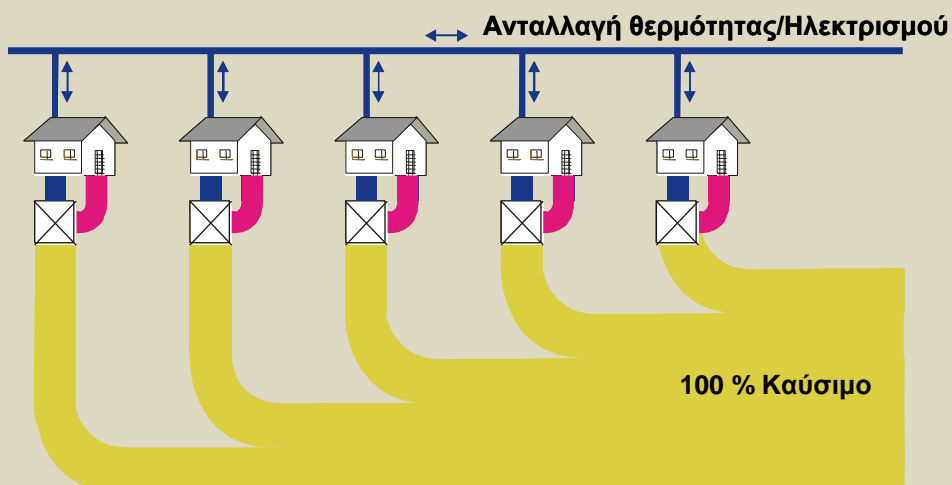
Η αναδιάρθρωση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη των τεχνολογιών των σχετικά μικρών σε ισχύ μονάδων οδήγησε στην ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής, της παραγωγής η οποία βρίσκεται πλησιέστερα προς τα κέντρα κατανάλωσης. Η δυνατότητα εγκατάστασης μικρών μονάδων συμπαραγωγής, ακόμα και για οικιακή χρήση, αυξάνει την αποδοτικότητα της παροχής ηλεκτρισμού και θέρμανσης ταυτόχρονα. Αυτό γίνεται αντιληπτό στα δύο παρακάτω σχήματα, Σχ. 1.3 και Σχ. 1.4 όπου φαίνεται ότι στις μέρες μας υπάρχει σημαντική απώλεια πρωτογενούς ενέργειας καθώς απορρίπτεται θερμότητα κατά την παραγωγή μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Με την εγκατάσταση των τοπικών μονάδων συμπαραγωγής το καταναλισκόμενο καύσιμο χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών των τοπικών καταναλωτών οι οποίοι μπορούν και να ανταλλάσσουν ηλεκτρισμό και θερμότητα και οι απώλειες μετατροπής αλλά και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μειώνονται αισθητά. Η αύξηση της αποδοτικότητας (efficiency) της χρήσης της πρωτογενούς ενέργειας και σε συνδυασμό με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τοπικό επίπεδο μπορεί να συμβάλλει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων ρύπων.

Το επίπεδο τάσης διασύνδεσης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αρχίζει να μειώνεται και ολοένα και περισσότερες μονάδες εγκαθίστανται ακόμη και στο επίπεδο Χ.Τ. Η ανάγκη για χαμηλότερο επίπεδο τάσης ενισχύεται από την ανάγκη για την αύξηση της αξιοπιστίας, ειδικά σε καταναλωτές ΧΤ με ευαίσθητες συσκευές ή διεργασίες. Τα σημερινά δίκτυα διανομής σχεδιάζονται ώστε η απόδοση των δικτύων ΜΤ και ΧΤ να επιδρά σημαντικά στην ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ισχύος στους καταναλωτές, ενώ σφάλματα στα δίκτυα ΥΤ να μην επηρεάζουν τους καταναλωτές που είναι συνδεδεμένοι στη ΜΤ και ΧΤ. Τα δίκτυα ΜΤ είναι σχεδιασμένα σύμφωνα με το λεγόμενο κριτήριο ασφάλειας N-1, που σημαίνει ότι διακοπή που προκαλείται από τη βλάβη μιας συνιστώσας του δικτύου ΜΤ θα πρέπει να αποκατασταθεί ταχύτατα με την μεταγωγή του φορτίου που επηρεάζεται (χειροκίνητα ή αυτόματα) σε υγιές τμήμα του δικτύου. Αυτό απαιτεί προφανώς κάποια περίσσεια στις δυνατότητες διανομής των δικτύων ΜΤ. Ομοίως, τα

δίκτυα ΥΤ σχεδιάζονται σύμφωνα με τα κριτήρια ασφάλειας N-2. Στην πλειοψηφία των χωρών της Ε.Ε, περισσότερο από 80% των διακοπών ισχύος και του χρόνου διακοπής έχουν ως αιτία βλάβες σε ένα από αυτά τα επίπεδα τάσης. Από την άλλη μεριά στα δίκτυα ΧΤ δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα και η διάρκεια διακοπής εξαρτάται από τον χρόνο επισκευής της βλάβης. Όπως χαρακτηριστικά παρουσιάζει το παρακάτω Γράφημα 1.1, ο χρόνος διακοπής τροφοδοσίας των καταναλωτών σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης ανά επίπεδο τάσης στο Ην. Βασίλειο αποτελεί τη συντριπτική πλειονότητα της κατανομής των λεπτών μη εξυπηρέτησης των καταναλωτών.

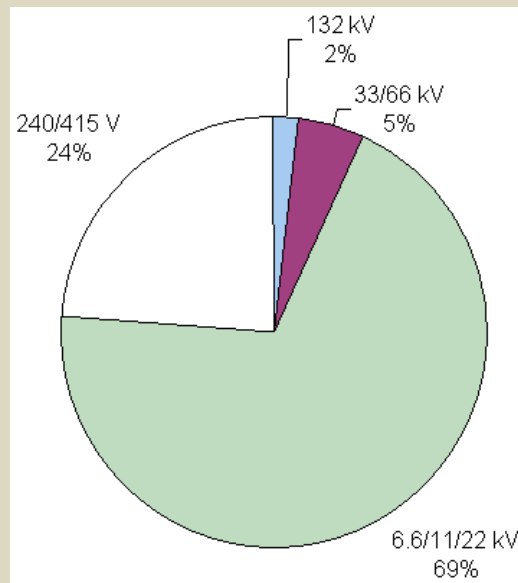


Σχ. 1.3 Αναπαράσταση της αποδοτικότητας της πρωτογενούς ενέργειας στα παραδοσιακά ΣΗΕ



**Σχ. 1.4 Αναπαράσταση της αποδοτικότητας της πρωτογενούς ενέργειας όπως αναμένεται στα μελλοντικά ηλεκτρικά δίκτυα.**

Πριν όμως παρουσιαστούν τα οφέλη από τη διεσπαρμένη παραγωγή καθώς και οι τρόποι οργάνωσης της, είναι απαραίτητο να παρουσιαστούν οι ορισμοί για τη διεσπαρμένη παραγωγή που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.



**Γράφημα 1.1 Κατανομή των λεπτών μη εξυπηρέτησης φορτίου ανά επίπεδο τάσης τροφοδοσίας στο Ην. Βασίλειο.**

#### **1.1.1.1 Ορισμοί**

Για τη διεσπαρμένη παραγωγή έχουν δοθεί αρκετοί παραπλήσιοι ορισμοί ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται σχεδόν ταυτόσημοι οι όροι Dispersed Generation, Distributed Generation, Decentralized Generation και Embedded Generation. Από τους ορισμούς που έχουν δοθεί άλλοι επικεντρώνονται στο επίπεδο της τάσης διασύνδεσης και άλλοι στο μέγεθος των μονάδων που συνδέονται.

Κατά τον Willis [7], μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής θεωρούνται οι σχετικά μικρές σε ισχύ μονάδες οι οποίες μπορούν να παρέχουν ισχύ σε ένα σπίτι, μία επιχείρηση ή μία βιομηχανική-βιοτεχνική εγκατάσταση χρησιμοποιώντας είτε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε καύσιμα όπως το φυσικό αέριο ή το ελαφρύ πετρέλαιο Diesel.

Σύμφωνα με την IEEE η διεσπαρμένη παραγωγή είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες παραγωγής σημαντικά μικρότερες σε ισχύ από τις μονάδες των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να είναι εφικτή η σύνδεσή τους σχεδόν σε κάθε σημείο ενός ΣΗΕ [8]. Στην εργασία [9] συζητούνται οι διάφοροι ορισμοί για τη

δισπαρμένη παραγωγή αλλά και τα αναμενόμενα πλεονεκτήματα και τα θέματα προς έρευνα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.

Στην εργασία [10]ο ορισμός της δισπαρμένης παραγωγής προσδιορίζεται περισσότερο σχετικά με την σύνδεση και την τοποθεσία της μονάδας παρά σε σχέση με την ισχύ της μονάδας που εγκαθίσταται. Έτσι η δισπαρμένη παραγωγή ορίζεται ως η εγκατάσταση ηλεκτρικής πηγής απευθείας στο Δίκτυο Διανομής ή στην περιοχή του μετρητή της κατανάλωσης.

Από τις παραπάνω εργασίες τα χαρακτηριστικά της δισπαρμένης Παραγωγής μπορούν να συνοψίζονται στα εξής στοιχεία:

1. Όχι κεντρικά σχεδιαζόμενη και αναπτυσσόμενη (από την εταιρεία ηλεκτρισμού ή κάποιον διαχειριστή).
2. Δεν υπάρχει κεντρικός προγραμματισμός λειτουργίας των μονάδων από το διαχειριστή του συστήματος.
3. Η ισχύς των μονάδων που εγκαθίστανται δεν υπερβαίνει τα 50-100 MW αλλά συνήθως είναι της τάξης λίγων εκατοντάδων kW.
4. Είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο Διανομής ανάλογα με το πώς ορίζεται για κάθε υπό μελέτη σύστημα.

Υπάρχουν 2 πρωταρχικά οφέλη που η τοπική παραγωγή μπορεί να προσφέρει στη μείωση κόστους της παραδιδόμενης ενέργειας στους καταναλωτές.

1)η παροχή βοηθητικών και άλλων υπηρεσιών

2) μειωμένη ζήτηση αιχμής, που επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση κεφαλαίου και εξοπλισμού και μείωση της απαίτησης για επέκταση της παραγωγής και των έργων μεταφοράς και διανομής.

Οι λόγοι που οδηγούν στην εγκατάσταση δισπαρμένης παραγωγής αντικατοπτρίζοντας και τα αναμενόμενα πιθανά οφέλη τόσο για τους ιδιοκτήτες τους, όσο και για το συνδεδεμένο σύστημα έχουν διερευνηθεί αρκετά στην βιβλιογραφία [11, 8-11] και συνοψίζονται στους παρακάτω άξονες:

1. Η ύπαρξη εγκατεστημένης ισχύος για παροχή εφεδρείας σε περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας ή και για ψαλιδισμό αιχμών του καταναλωτή και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, με τα αντίστοιχα οικονομικά οφέλη.
2. Η ανάγκη για αυξημένη αξιοπιστία και βελτίωση της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος σε τοπικό επίπεδο μπορεί να οδηγήσει στην απόφαση εγκατάστασης μίας τοπικής μονάδας. Δεδομένου ότι τα συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού για τα δίκτυα διανομής βελτιώνονται συνεχώς, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής θα μπορούν να δημιουργήσουν τοπικές νησίδες προσφέροντας ισχύ στους τοπικούς πελάτες σε περιόδους σφάλματος στο ανάντη δίκτυο, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια τροφοδοσίας, όπως θα δούμε σε παρακάτω υπό-ενότητα.
3. Ως εναλλακτική μέθοδος της επέκτασης του δικτύου και μείωσης των απωλειών του καθώς το απαιτούμενο φορτίο εξυπηρετείται τοπικά [12]. Μάλιστα είναι ευκολότερο να αυξηθεί σταδιακά η εγκατεστημένη ισχύς σύμφωνα με την πορεία αύξησης της ζήτησης.
4. Βελτίωση του συντελεστή χρησιμοποίησης των δικτύων δεδομένου ότι πλέον περιορίζονται οι απαιτήσεις για την υπέρ-διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων για την αντιμετώπιση μικρών σε διάρκεια αιχμών [13]
5. Υποστήριξη δικτύου με βοηθητικές υπηρεσίες όπως είναι i) η παροχή άεργου ισχύος και υποστήριξης τάσης ii) η παροχή παραγωγής με γρήγορη απόκριση για αποφυγή διακοπής της κατανάλωσης και iii) η δυνατότητα επανεκκίνησης μετά από διακοπή  $\psi$  6[14-17]. Αυτές οι βοηθητικές υπηρεσίες μπορεί να προσφέρονται κάθε μία χωριστά ή περισσότερες από μία ταυτόχρονα.
6. Η εκμετάλλευση Συνδυασμένης Παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού η οποία γίνεται σε τοπικό επίπεδο π.χ σε βιομηχανικές διεργασίες κτλ
7. Αποτελεσματική χρήση των δυνατοτήτων για φτηνά τοπικά παραγόμενα καύσιμα και η επι τόπου αξιοποίησή τους όπως για παράδειγμα το τοπικά παραγόμενο βιοαέριο στους βιολογικούς καθαρισμούς [18].
8. Ο μικρός χρόνος εγκατάστασης των μονάδων και τα χαμηλά αρχικά κόστη κεφαλαίου που απαιτούνται σε σχέση με την κατασκευή μεγάλων σταθμών παραγωγής.
9. Ευκολία εύρεσης θέσεων για την εγκατάσταση των μονάδων αυτών, ακόμη και στην οροφή ενός κτιρίου π.χ. τα φωτοβολταϊκά.



10. Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων ειδικά αν χρησιμοποιηθούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και επειδή χρησιμοποιούνται περισσότερο εξευγενισμένα καύσιμα π.χ. φυσικό αέριο. Συνάμα η εκμετάλλευση της συμπαραγωγής που αυξάνει την αποδοτικότητα της πρωτογενούς ενέργειας μπορεί να συμβάλλει στο σκοπό αυτό. Μεθοδολογία για την εκτίμηση των αποφευγόμενων ρύπων του δικτύου στο οποίο συνδέεται η διεσπαρμένη παραγωγή παρουσιάζεται στο κεφάλαιο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**
11. Δημιουργία ευκαιριών για καινοτόμες εφαρμογές [11]. Πιο συγκεκριμένα επειδή το μέγεθος των μονάδων είναι μικρό, τα απαιτούμενα κεφάλαια για τη δημιουργία σειράς παραγωγής είναι σχετικά μικρά και περισσότεροι ενδιαφερόμενοι μπορούν να εισέλθουν. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διαχέεται η γνώση, να βελτιώνονται οι καμπύλες μάθησης όσων ασχολούνται με το αντικείμενο και εν τέλει να δημιουργούνται οι συνθήκες για την ανάπτυξη καινοτομιών. Επιπρόσθετα, η τοπική εγκατάσταση των μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής δημιουργεί προϋποθέσεις ανταλλαγής ιδεών σε τοπικό επίπεδο και επαφή με τους πολλούς τελικούς χρήστες της τεχνολογίας. Αναμένεται λοιπόν καταγραφή των δυσκολιών ακόμη και σε πολύ τοπικό επίπεδο, η υπέρβαση των οποίων απαιτεί πλέον καινοτόμες παρεμβάσεις που θα στηρίζονται στις παρατηρήσεις των πελατών.
12. Τέλος το γεγονός των πολλών διακριτών τμημάτων που αποτελείται μία μονάδα Διεσπαρμένης παραγωγής, των αναγκών για τοπικούς ελεγκτές, ηλεκτρονικά ισχύος κτλ, θα δημιουργήσει νέες ανάγκες αναζήτησης λύσεων σε επί μέρους προβλήματα για επί μέρους τμήματα μίας μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής, από αρκετές διαφορετικές εταιρίες που θα δραστηριοποιηθούν στο χώρο. Επομένως και νέες ευκαιρίες για καινοτόμες εφαρμογές και αύξηση της απασχόλησης.

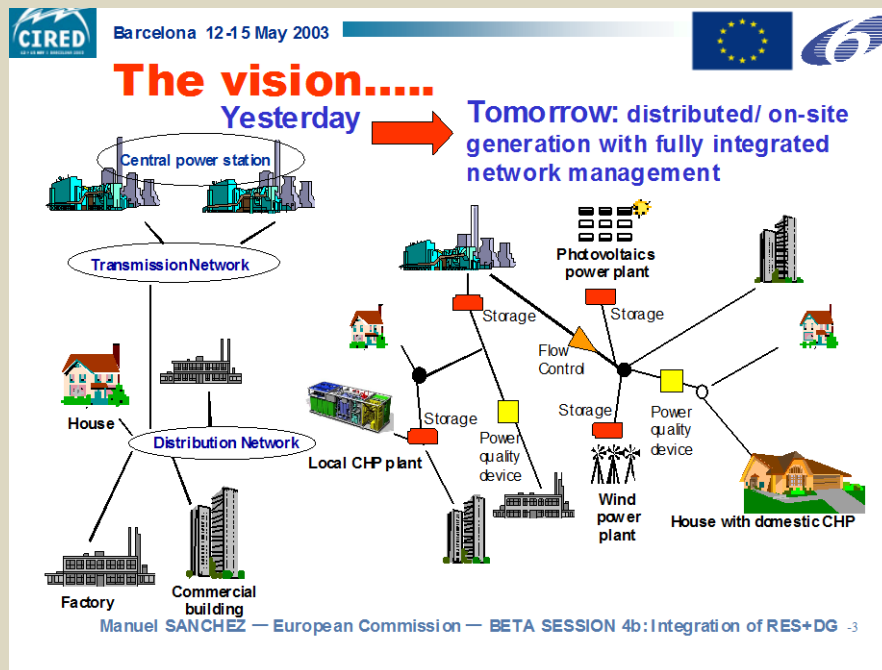
Παρά τους παραπάνω λόγους, υπάρχουν διάφορα πιθανά προβλήματα από την περαιτέρω διάχυση της εγκατάστασης διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής τα οποία συνοψίζονται γενικά :

1. Το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο για την εγκατάσταση της Διεσπαρμένης παραγωγής είναι σχετικά μικρό, λόγω του μικρού μεγέθους, αλλά είναι σημαντικό το υψηλό αρχικό οικονομικό κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος.
2. Όχι σπάνια, περιορισμός των επιλογών των καυσίμων σε περισσότερο εξευγενισμένα καύσιμα από το πετρέλαιο, προκειμένου να περιορίζεται η όχληση σε τοπικό επίπεδο. Τέτοιου είδους καύσιμα ενδέχεται να απαιτούν επέκταση δικτύων μεταφοράς ή απλά να μην είναι διαθέσιμα στην περιοχή εγκατάστασης.
3. Τεχνικά ζητήματα και προκλήσεις από τη σύνδεση των πηγών αυτών στο δίκτυο διανομής και την αλλαγή της ροής ισχύος σε αυτό, όπως
  - a. η μεταβολή των μεθόδων προστασίας του δικτύου που στα περισσότερα σημερινά ΔΔ προβλέπει τη μονόδρομη παροχή ισχύος.
  - b. αναγκαιότητα για μείωση των εκπεμπόμενων αρμονικών ρεύματος και τάσης εξαιτίας του σημαντικού αριθμού εγκαταστάσεων μετατροπών ηλεκτρονικών ισχύος.
  - c. Η μεταβολή των χαρακτηριστικών των βραχυκυκλωμάτων του δικτύου και η δημιουργία υπερτάσεων και υποτάσεων κατά την είσοδο και έξοδο μονάδων.
  - d. Η επίδραση στην υποδομή παροχής φυσικού αερίου σε περίπτωση μεγάλης επέκτασης της Διεσπαρμένης παραγωγής.
4. Θέματα ρυθμιστικά για την αγορά ενέργειας όταν περιλαμβάνεται διεσπαρμένη παραγωγή, όπως
  - a. Η αποζημίωση όχι μόνο της παρεχόμενης ενέργειας από τις τοπικές μονάδες αλλά και η αποζημίωση για τις βοηθητικές υπηρεσίες που οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής προσφέρουν.
  - b. Ο σχεδιασμός, εγκατάσταση και ιδιοκτησία μιας Διεσπαρμένης ενεργειακής πηγής.
  - c. Η οργάνωση πολλών πηγών και καταναλώσεων σε δομή Μικροδικτύου.
  - d. Το ποσοστό επιδότησής αν χρειάζεται για τη μεγαλύτερη διάχυση τέτοιων πηγών στα σύγχρονα ΣΗΕ.

Ήδη η εγκατάσταση μονάδων διασπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης (MT) και χαμηλής τάσης (XT) αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, στις ΗΠΑ, Ιαπωνία με κάποιες χώρες όπως η Δανία να έχει πολύ σημαντικό ποσοστό της εγκατεστημένης της ισχύος με τη μορφή διεσπαρμένων αιολικών πάρκων και μονάδων ΣΗΘ.

Ενώ λοιπόν αυξάνεται η διείσδυση Διεσπαρμένης παραγωγής στα σύγχρονα δίκτυα διανομής συμβάλλοντας σημαντικά στην αποφυγή νέων εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής, η αντιμετώπισή του ελέγχου στα παθητικά δίκτυα, που στόχο είχαν τη μεταφορά της ισχύος από την κεντρική παραγωγή στους καταναλωτές, δεν μπορεί να είναι σύμφωνα με τη λογική «συνδέομαι και το ξεχνάω» (“fit and forget”) [19]. Επιπλέον δεν μπορεί πλέον η διεσπαρμένη παραγωγή να θεωρηθεί ως «αρνητικό» φορτίο και απλός εξοικονομητής καυσίμου. Αυτού του είδους η αντιμετώπιση ήδη έχει επιφέρει σημαντικό «πονοκέφαλο» στους διαχειριστές των δικτύων μεταφοράς για παράδειγμα στη Δανία, όπου η διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής ΣΗΘ και αιολικής ενέργειας της τάξης του 40% δημιουργεί λειτουργικά προβλήματα, επιβαρύνει τις αγορές εξισορρόπησης (Balancing markets) και οδηγεί σε ανάσχεση της περαιτέρω εγκατάστασης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα προβλήματα αυτά επιτείνονται και από την ιδιαιτερότητα του ελέγχου πηγών χωρίς αδράνεια με τη σύνδεση ηλεκτρονικών ισχύος. Από την άλλη οι καταναλωτές ζητούν μεγαλύτερη αξιοπιστία και καλύτερη ποιότητα ισχύος η οποία είναι συχνά δύσκολο να επιτευχθεί με την παρούσα διάταξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής, αλλά και την ανεξέλεγκτη εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Επομένως η αυξανόμενη εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα Μέσης και Χαμηλής Τάσης αποτελεί ήδη μία ερευνητική πρόκληση ώστε όλο το δίκτυο από τη Χ.Τ μέχρι και την Υψηλή Τάση (επίπεδο Μεταφοράς) να μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά με ασφάλεια και με διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας. Για να αμβλυνθούν τα προβλήματα και να επιτευχθούν ολοένα και περισσότερα οφέλη για τα ΣΗΕ από τη σύνδεση της Διεσπαρμένης παραγωγής απαιτούνται ευέλικτες δομές και πρωτότυπες τεχνικές ελέγχου, εκμεταλλευόμενες τις δυνατότητες που παρέχονται από τις μεθόδους διασύνδεσης των μικροπηγών. Η αρμονική συνεργασία κεντρικής και διεσπαρμένης παραγωγής σε μορφή ολοκληρωμένης διαχείρισης είναι αντικείμενο της ερευνητικής πλατφόρμας SmartGrids (Ευφυή Δίκτυα) της ευρωπαϊκής επιτροπής της οποίας το όραμα παρουσιάζεται στο Σχ. 1.5.



Σχ. 1.5 το όραμα της Ε.Ε για την μεταβολή του τοπίου στον τομέα της ενέργειας.

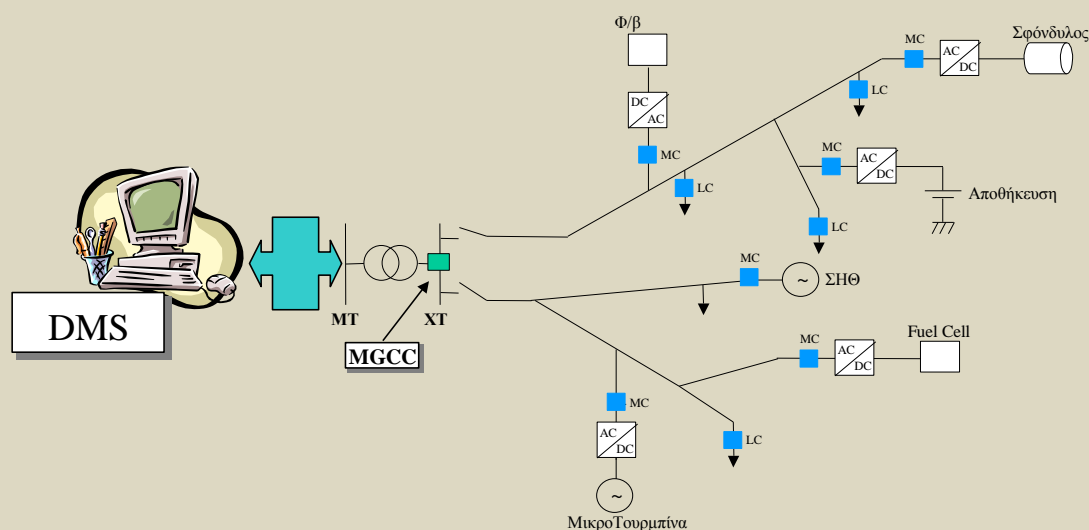
Αυτή η πρόκληση μπορεί να αντιμετωπιστεί σε σημαντικό βαθμό με την ανάπτυξη μίας νέας δομής Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, του μικροδικτύου, το αντικείμενο της επόμενης υπό-ενότητας αλλά κυρίως του κεφαλαίου.

### 1.1.2 Μικρό-δίκτυα (Microgrids)

Τα Μικροδίκτυα [20,21,22,23] είναι δίκτυα διανομής κυρίως XT και δευτερευόντως, κυρίως στην Ιαπωνία, MT [19,24] τα οποία περιλαμβάνουν σημαντικό αριθμό μικρών μονάδων παραγωγής (μικρό-τουρμπίνες, φωτοβολταϊκά, μικρές ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου, κλπ) ισχύος από λίγα kW μέχρι 1-2 MW, συσκευών αποθήκευσης ενέργειας (συσσωρευτές, σφόνδυλοι, πυκνωτές ενέργειας, κλπ) και ελεγχόμενων φορτίων. Το βασικό γνώρισμα αυτών των δικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος τους, ώστε τελικά να εμφανίζονται στο ανάντη δίκτυο ως μία ενιαία οντότητα με το δικό της αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου το οποίο δεν επιβαρύνει τα συστήματα ελέγχου του ανάντη ευρισκόμενου δικτύου με τον έλεγχο κάθε μίας μονάδας ξεχωριστά. Ένα άλλο εξίσου βασικό όσο και πρωτοποριακό γνώρισμα των Μικροδικτύων είναι η δυνατότητα τους να λειτουργούν όχι μόνο διασυνδεδεμένα με το ανάντη δίκτυο MT, συνήθης λειτουργία, αλλά και απομονωμένα (νησιδοποιημένα), όταν διακοπεί η διασύνδεση με το κύριο δίκτυο με οργανωμένο και ελεγχόμενο τρόπο παρέχοντας στους καταναλωτές αυξημένη αξιοπιστία και βελτιωμένα επίπεδα ποιότητα ισχύος. Αυτή η δυνατότητα βεβαίως απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας, ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να είναι σε θέση να

απομονώσουν το Μικροδίκτυο και να παράσχουν σταθερή, αυτόνομη λειτουργία. Η διαρκής όμως πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και ελεγκτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο ευκολότερη τεχνικά και οικονομικά να επιτευχθεί.

Έτσι λοιπόν ένα μικροδίκτυο για το ανάντη ευρισκόμενο δίκτυο του αντιμετωπίζεται τόσο από άποψης αγοράς όσο και από τεχνική άποψη σαν ένα ενιαίο φορτίο ή σαν μία ενιαία παραγωγή η οποία με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα μπορεί να προσφέρει και κάποιες βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο διανομής ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής ακόμη και τοπικού επιπέδου. Οι καταναλωτές που βρίσκονται συνδεδεμένοι στο μικροδίκτυο, όχι μόνο μπορούν όπως και πριν να ικανοποιήσουν τις ηλεκτρικές και θερμικές τους ανάγκες, αλλά μπορούν να απολαύσουν υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας, καλύτερη ποιότητα ισχύος με εξομαλυσμένη καμπύλη τάσης και να επιτύχουν ακόμη και ευνοϊκότερους οικονομικά όρους για την ικανοποίηση των αναγκών τους. Η γενική δομή για ένα μικροδίκτυο και τη θέση του σε σχέση με το σύστημα διαχείρισης των δικτύων διανομής (Distribution Management System) DMS, παρουσιάζεται στο Σχ. 1.6.



**Σχ. 1.6 Ένα τυπικό μικροδίκτυο και η διασύνδεσή του με το Σύστημα Ελέγχου της Διανομής**

Μία τέτοια διάρθρωση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας όπως το μικροδίκτυο αναμένεται να έχει μεγάλη διείσδυση σε σχετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες οι όροι όχλησης είναι αυστηρότεροι σε σύγκριση με πιο απομακρυσμένες ή ήδη υπάρχουσες βιομηχανικές περιοχές. Επομένως σε αυτά τα δίκτυα αναμένεται σημαντική

διείσδυση πηγών ενέργειας πιο φιλικών προς το περιβάλλον συγκρινόμενα με τις μεγάλες κεντρικές μονάδες ενός συστήματος, όπως για παράδειγμα τα BIPV (Building Integrated PV). Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι στις αγροτικές περιοχές δεν μπορεί να γίνει διείσδυση τέτοιων δικτύων ώστε να μπορεί να γίνει εκμετάλλευση τοπικών πηγών ενέργειας, όπως μικρά υδροηλεκτρικά ή βιομάζα.

Τα δίκτυα αυτά μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οικονομικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα μεγιστοποιώντας τα αναμενόμενα περιβαλλοντικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα της διασπαρμένης παραγωγής και αναμένεται να αποτελέσουν βασικές συνιστώσες των μελλοντικών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Επιπρόσθετα οφέλη για το σύστημα λόγω και του ελέγχου των φορτίων εκτός από τον έλεγχο των μονάδων μπορούν να είναι:

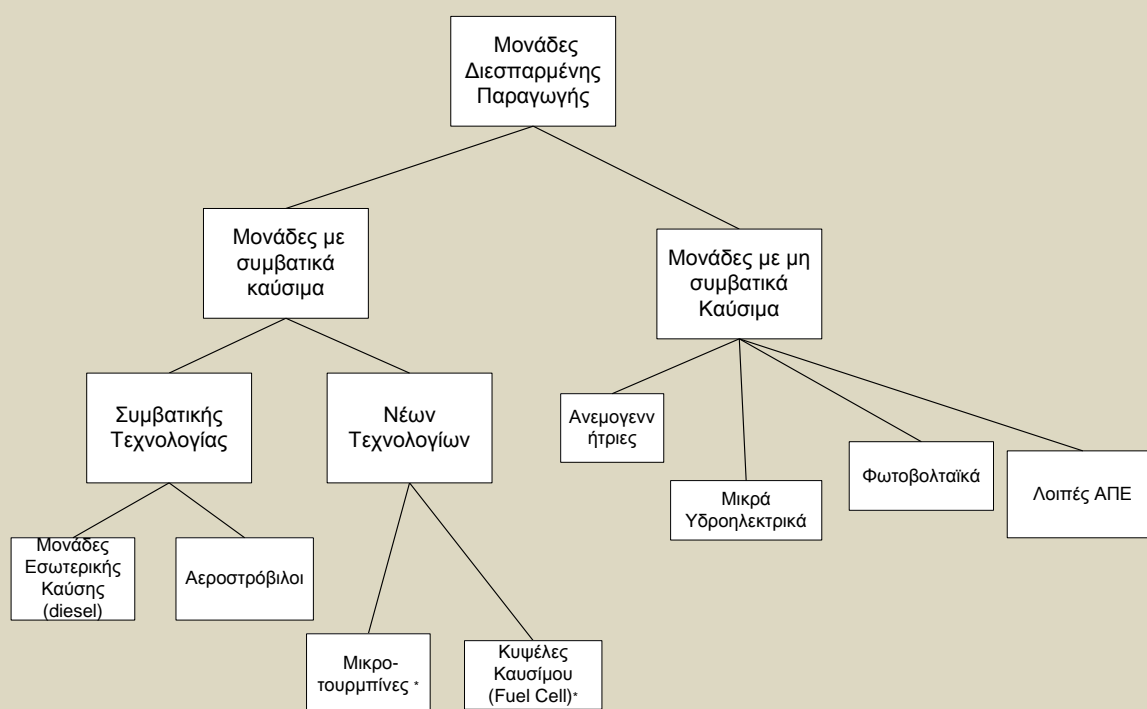
1. Η ενεργός διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων) μπορεί να βοηθήσει σημαντικά την ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.
2. Η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας μπορεί να εξασφαλίσει στον καταναλωτή που ανήκει στο Microgrid αδιάλειπτη λειτουργία ενώ το ανάντη δίκτυο διανομής μπορεί να είναι σε ασταθή κατάσταση ή να έχει διακοπεί προσωρινά (black out)[25].
3. Ταχύτερη αποκατάσταση της παροχής σε περίπτωση σβέσης αφού το σύστημα μπορεί να ξεκινήσει απευθείας σε απομονωμένη λειτουργία.

Με βάση αυτήν την πραγματικότητα η μελέτη θεμάτων όπως ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας τέτοιων δικτύων αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Η δομή των ελεγκτή μικροδικτύων, οι αλγόριθμοι οικονομικού προγραμματισμού αλλά και οι προτεινόμενες δομές αγοράς για τέτοιου είδους συστήματα είναι μερικά από τα θέματα που θα μας απασχολήσουν σε αυτήν την πτυχιακή εργασία. Ακολουθεί μία σύνοψη των ερευνητικών προσπαθειών στον τομέα αυτό και στη συνέχεια τα πεδία ερευνάς στα οποία έχει συνεισφέρει η πτυχιακή αυτή εργασία.

Μία ειδική κατηγορία, αν και μεγαλύτερη κάποιες φορές σε ισχύ, μικροδικτύου είναι και τα απομονωμένα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Αυτό είναι και το αντικείμενο της επόμενης ενότητας.

## 1.2 Τεχνολογίες μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής

Οι κυριότερες τεχνολογίες των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δίνονται συνοπτικά στο Σχ. 1.7 Είναι φανερό ότι μπορεί να υπάρχει διαφοροποίηση σε δύο μεγάλες ομάδες. Στις μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά και μη ανανεώσιμα καύσιμα και στις μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμα καύσιμα π.χ βιομάζα ή απλά μετατρέπουν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο Πιν. 1-1 παρουσιάζει μία σύνοψη της προόδου που έχει συντελεστεί στις διάφορου τύπου μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται ως μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.



Σχ. 1.7 Οι τεχνολογίες των μονάδων διανεμημένης παραγωγής.

Πιν. 1-1 Εξέλιξη και διαθεσιμότητα των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Τεχνολογία	Εμπορικά διαθέσιμη	Αναδυόμενη τεχνολογία
Μικροτουρμπίνες	✓	✓
Αεροστρόβιλος	✓	
Μονάδες Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ)	✓	

Μηχανές Stirling		✓
Κυψέλες Καυσίμου	✓	✓
Φωτοβολταϊκά συστήματα	✓	
Ανεμογεννήτριες	✓	
Μικρά υδροηλεκτρικά	✓	

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο, μια αυξανόμενη τάση ανάπτυξης των Α.Π.Ε. Η διείσδυση των Α.Π.Ε, γίνεται με γοργούς ρυθμούς, καθώς νέου τύπου ανεμογεννήτριες εγκαθίσταται βελτιώνοντας αισθητά την απόδοση των αιολικών πάρκων και μειώνοντας τα προβλήματα διασύνδεσής τους με το δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα γνωρίζουν μία εντυπωσιακή άνοδο με αισθητή μείωση του κόστους επένδυσης, τα υδροηλεκτρικά παραμένουν μία σταθερή αξία στην ανανεώσιμη ηλεκτροπαραγωγή, η βιοενέργεια παρέχει λύσεις για θέρμανση, ισχύ και καύσιμα μεταφορών, και τέλος η δε γεωθερμία χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές θέρμανσης και ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με εκτίμησης της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (IEA), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη αναμένεται να αυξάνεται κατά μέσο ετήσιο επίπεδο κατά 1.4% μέχρι το 2030, άλλα το μερίδιο των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό ισοζύγιο θα διπλασιαστεί από 13% σε 26% μέχρι το 2030.

Στη χώρα μας, αν και ο στόχος για το 2010 ήταν η παραγωγή από ΑΠΕ να φτάνει το 20.1%, εν τούτοις υπολειπόμαστε σημαντικά στο στόχο αυτό. Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν την εγκατεστημένη ισχύ στη χώρα μας ανά τύπο ΑΠΕ, Πιν. 1-2 καθώς και την ετήσια παραγωγή από τις μονάδες αυτές στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα, Πιν. 1-3.

**Πιν. 1-2 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στη χώρα μας**

	Αιολικά (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρι κά (MW)	Βιοαέριο- Βιομάζα (MW)	Φ/Β (MW)
<i>ΕΔΣ [26]</i>	674.76	141.89	38	1.294
<i>Δίκτυα Νησιών</i>	128.4	0.6	0.4	0.735
<b>Σύνολο</b>	<b>803.16</b>	<b>142.49</b>	<b>38.4</b>	<b>2.029</b>

**Πιν. 1-3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδων ΑΠΕ στο ΕΔΣ**

Έτος	Αιολικ	Μικρά	Βιοαέριο	Φ/Β	Σύνολο	Διείσδυσ
------	--------	-------	----------	-----	--------	----------



	ά (GWh)	Υδροηλεκτρικ ά (GWh)	Βιομάζα (GWh)	(MWh)	(GWh)	η
2007	1.333	223	155.9	146	1.712	2.87%
2006	1.199	220.4	92	0	1.512	2.79%

### 1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε θερμικές εφαρμογές είναι γνωστή από την αρχαιότητα, κυρίως για την ξήρανση καρπών. Στις μέρες μας, εκτός από αυτές τις εφαρμογές που σε αρκετές αγροτικές περιοχές εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται, υπάρχει ένα σημαντικό πλήθος εφαρμογών ηλιακής ενέργειας με πιο γνωστή και διαδεδομένη τη χρήση για παραγωγή ζεστού νερού σε οικιακό, εμπορικό (ξενοδοχεία) και βιομηχανικό επίπεδο. Μόνο η εγκατεστημένη έκταση ηλιακών θερμοσιφώνων στην Ελλάδα είναι 3,282,200 m<sup>2</sup> (2,297.5 MWth). Σχετικά πρόσφατες είναι και οι εφαρμογές ηλιακής ψύξης, ενώ τα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα διαχέονται ολοένα και περισσότερο με τη βοήθεια σχετικών επιδοτήσεων [27].

Η εκμετάλλευση λοιπόν της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους δηλαδή είτε με άμεσο τρόπο είτε με έμμεσο. Με τον άμεσο τρόπο χρησιμοποιούνται ενεργητικά συστήματα ενώ με τον έμμεσο τρόπο χρησιμοποιούνται παθητικά συστήματα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν διάφορους τύπους ηλιακών συλλεκτών όπως για παράδειγμα τους απλούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση του νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες). Την σημερινή εποχή υπολογίζεται ότι η συνολική επιφάνεια που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του νερού είναι περίπου  $2.4 \cdot 10^6$  m<sup>2</sup> το οποίο ισοδυναμεί με  $0.12 \cdot 10^6$  Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου.

Όσον αφορά τα παθητικά ηλιακά συστήματα στην περίπτωση αυτή εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση των χώρων π.χ. θερμοκήπια χωρίς να εισάγουμε πρόσθετο εξοπλισμό. Με την χρήση αυτή των συστημάτων μπορεί να μειωθεί σημαντικά το κόστος των ενεργειακών ηλιακών συστημάτων μέχρι και 60% και να επιτευχθούν καλύτερες συνθήκες. Ένα παράδειγμα είναι η Ελλάδα στην οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέτοια συστήματα αφού οι κλιματολογικές συνθήκες είναι πολύ καλές.

Ο κατάλληλος συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να καλύψει το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου.

Η ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα αξιοποιείται κυρίως από ανάγκες ζεστού νερού όπως θερμικά συστήματα. Η επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών για ζεστό νερό οικιακής χρήσης ήταν το έτος 2000 γύρω στα 2,25 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα [28].

Σύμφωνα με εκτιμήσεις το δυναμικό της αγοράς για ηλιακά θερμικά συστήματα είναι περίπου δέκα φορές πολλαπλάσιο σήμερα από ότι ήταν. Στον οικιακό τομέα σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία υπάρχουν περισσότερα από 4.000.000 νοικοκυριά στην χώρα, από τα οποία μόνο το 20% χρησιμοποιούν ηλιακό σύστημα για παραγωγή ζεστού νερού. Συγκεκριμένα εκτιμάται ότι με την κατάλληλη προώθηση των ηλιακών θερμικών συστημάτων θα μπορούσαν μέχρι το 2010 να έχουν εγκατασταθεί 5.000.000 τετραγωνικά μέτρα ηλιακών συλλεκτών στον οικιακό τομέα [29].

Πέραν όμως από αυτές τις χρήσεις, οι οποίες μπορούν να συνεισφέρουν στην υποκατάσταση και ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο μεθόδους

A) Φωτοβολταϊκά και B) Ηλιο-θερμικά συστήματα.

Το βασικό κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι η παραγωγή τους περιορίζεται κυρίως στις ώρες της ημέρας στις οποίες υπάρχει ηλιοφάνεια. Σε αντίθεση με τη αιολική ενέργεια υπάρχουν συγκεκριμένες και εκ των προτέρων γνωστές περιόδους στη διάρκεια ενός 24 ώρου κατά τις οποίες η παραγωγή είναι μηδενική. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της πηγής είναι η απουσία κινούμενων τμημάτων και η ελάχιστη συντήρηση ώστε να λειτουργεί το σύστημα. Οι εργασίες βαριάς συντήρησης σε αντίθεση με τα αιολικά πάρκα γίνονται στο έδαφος χωρίς πολύπλοκα μηχανήματα.

#### **1.2.1.1 Φωτοβολταϊκά (Φ/β) Συστήματα**

Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό με τη βοήθεια ημι-αγωγικών υλικών τα οποία ενεργοποιούνται στο φάσμα του ηλιακού φωτός. Η διάρκεια ζωής τους μπορεί να φτάσει τα 25 έτη, με μικρή συντήρηση, κυρίως καθαρισμός από σκόνη και χαρακτηρίζονται από τα υψηλότερα ποσοστά αξιοπιστίας από τις μονάδες ΑΠΕ. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυμαίνεται μεταξύ 8 και 12 % ανάλογα με την τεχνολογία ενώ το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 4200-

7000 €/kW. [9]. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε DC και μετατρέπεται σε AC με τη βοήθεια ηλεκτρονικών ισχύος και συγκεκριμένα αντιστροφέων (Inverters).

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ανάλογα με την εγκατάσταση μπορούν να είναι είτε ακίνητα, είτε κινούμενα ακολουθώντας την πορεία του ήλιου. Στην πρώτη περίπτωση η μέγιστη παραγωγή ανά κάθε στιγμή σε απουσία νέφωσης θα έχει την ακόλουθη μορφή του Σχ. 1.8. Για τα κινούμενα συστήματα η έξοδος θα είναι περισσότερο σταθερή υπό συνθήκες καθαρότητας της ατμόσφαιρας καθώς η παραγωγή τους δεν εξαρτάται από τη θέση του ήλιου αφού αυτήν προσπαθούν να ανιχνεύσουν.

Επομένως η προβλεπόμενη έξοδος μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης εξαρτάται από :

1. Την θέση του ήλιου ως προς την θέση εγκατάστασης του φ/β πλαισίου.
2. Τη διαύγεια της ατμόσφαιρας και τη νεφοκάλυψη
3. Σε παράγοντες όπως η καθαριότητα των φ/β και η θερμοκρασία.
4. Την απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική εξαιτίας του πάνελ, με τυπικές τιμές 8-12%
5. Η κλίση της θέσης εγκατάστασης των φ/β ως προς τον ορίζοντα, νότο. Σε διαφορετική τιμή από τις  $0^{\circ}$  το μέγιστο της παραγωγής παρουσιάζεται σε διαφορετική χρονική στιγμή από εκείνη που παρουσιάζει το Σχ. 1.8.
6. συντελεστής ρύπανσης του Φ/β στοιχείου ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας. Η τιμή του δεν αναμένεται να αλλάζει σημαντικά από μέρα σε μέρα και αναμένεται να είναι σταθερή. Τακτική καθαριότητα των πλαισίων εξασφαλίζει μικρή μείωση της απόδοσής τους.
7. Η παράμετρος θερμοκρασίας την οποία δίνουν οι κατασκευαστές για τη μείωση της αποδιδόμενης εξόδους για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας μεγαλύτερο από τους  $25^{\circ}$  C. Αυτή η παράμετρος μπορεί να αλλάζει ανά περιόδους μέσα στην ημέρα ανάλογα με τα αναμενόμενα επίπεδα θερμοκρασίας αν δεν είναι διαθέσιμη χρονοσειρά θερμοκρασιών.

Οι ακόλουθες εξισώσεις χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογιστεί η ηλιακή ακτινοβολία για την υπό μελέτη τοποθεσία αλλά και για κάθε ώρα.

$$H(A) = I_0 \cdot A^{\cos \theta} \cdot \cos \theta + \frac{I_0 \cdot \sinh \cdot (1 + \cos SL) \cdot (1 - A^{\cos \theta})}{4 \cdot (1 - 1.4 \cdot \ln A)} \quad (1.1)$$

όπου A είναι ο συντελεστής αιθριότητας,  $I_0$  η παγκόσμια ηλιακή σταθερά ( $1353 \text{ W/m}^2$ ), και SL η κλίση της επιφάνειας του Φ/B, και

$$\sinh = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (1.2)$$

όπου

$\phi$  το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και  $\delta$  η γωνία κλίσης του ήλιου, όπως δίνεται από την (1.5), όπου  $m$  ο μήνας και  $d$  η ημέρα του μήνα. [30].

$$\cos \theta = \sinh \cdot \cos SL + \cosh \cdot \cos SL \cdot \cos(a - a') \quad (1.3)$$

$a'$  είναι η γωνία ως προς τον νότο (για το βόρειο ημισφαίριο) ή προς το βορρά για το νότιο ημισφαίριο.

$h$  είναι η γωνία ύψους του ήλιου ενώ  $\omega$  είναι η γωνία της ώρας, η οποία δίνεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$\cos a = \frac{\sinh \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cosh \cdot \cos \phi} \quad (1.4)$$

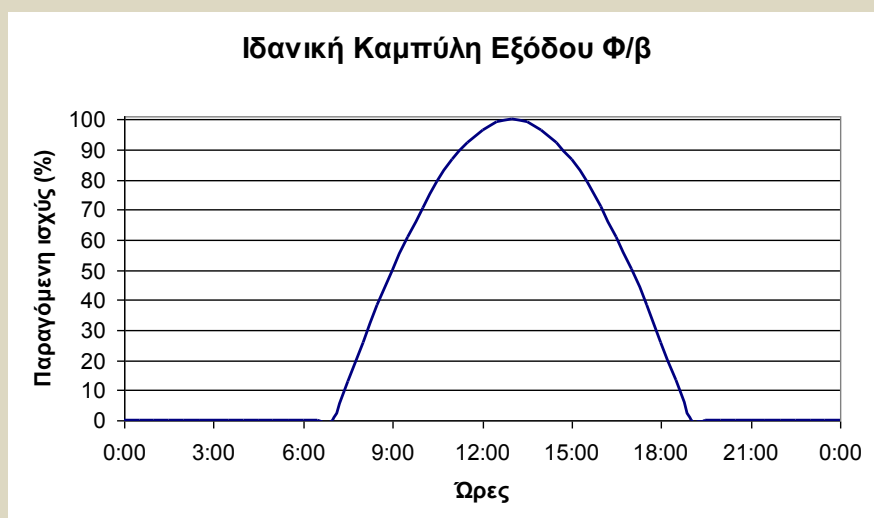
$$\delta = \sin(292 - 30 \cdot m - d) \quad (1.5)$$

$$\omega = 15 \cdot (12 - \text{hour}) \quad (1.6)$$

ενώ για τη θερινή ώρα η αντιστοιχία είναι :

$$\omega = 15 \cdot (13 - \text{hour}) \quad (1.7)$$

Όλες οι γωνίες μετρώνται σε μοίρες.



Σχ. 1.8 Ιδανική καμπύλη εξόδου Φ/β χωρίς νέφωση.

Οι εφαρμογές των Φ/β είναι ποικίλες ειδικά σε απομακρυσμένα σημεία, όπως φάροι, σηματοδούρες, τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές κτλ, αλλά χρησιμοποιούνται και σε μορφή πάρκων ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Φ/β. Επίσης εγκαθίστανται σε κτίρια, είτε στην οροφή είτε σε τοίχους γνωστά ως BIPV (Built Integrated Photovoltaics). Η σημασία τους μπορεί να είναι σημαντική στα δίκτυα διανομής καθώς προσφέρουν μείωση των απωλειών και δίνουν δυνατότητες βελτίωσης των προφίλ των τάσεων ειδικά σε ακτινικά δίκτυα όπως παρουσιάζεται στην εργασία [31].

Στην εργασία [32] περιγράφεται η κατάσταση στην αγορά Φ/β στη χώρα μας μετά από ερωτηματολόγιο τα οποία διέθεσε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στους ενδιαφερόμενος φορείς. Περισσότερες λεπτομέρειες για την τεχνολογία των Φ/β μπορεί να αναζητήσει κανείς στα βιβλία [33,34], ενώ για την πορεία εγκατάστασης Φ/β στην Ευρώπη και τις τάσεις που παρατηρούνται μπορεί να βρει κανείς στο δικτυακό τόπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης Βιομηχανιών Φωτοβολταϊκών –EPIA [35]. Οι πλέον πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες όπως αυτά περιγράφονται σε συναφή επιστημονικά περιοδικά συγκεντρώνονται κατά περιόδους σε βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις [36].

#### ***1.2.1.2 Ηλιο-θερμικά Συστήματα.***

Αυτά τα συστήματα αξιοποιούν τη θερμότητα που αναπτύσσεται από τις ηλιακές ακτίνες προκειμένου να τη χρησιμοποιήσουν για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Οι τρόποι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας ως θερμικής για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι

1. Παραβολικά κάτοπτρα και συγκέντρωση της θερμικής ενέργειας σε σωλήνα με θερμο-απορροφητικό υλικό ώστε να παράγεται ατμός για να κινήσει ατμοστρόβιλο.
2. Παρόμοια με την μέθοδο 1 με τη βοήθεια ατμο-γεννήτριας με τη διαφορά ότι όλοι τα εγκατεστημένα κάτοπτρα συγκεντρώνουν τις ακτίνες σε έναν κεντρικό δέκτη από τον οποία παράγεται ο ατμός, παράδειγμα το εργοστάσιο των 45MW στην Αίγυπτο.
3. Η χρήση ηλιακών δίσκων και η παραγωγή ενέργειας με τη βοήθεια μηχανής τύπου Stirling. Τέτοιου είδους εφαρμογή έχει γίνει από το εργαστήριο CESI στο Μιλάνο [37]. Οι μηχανές αυτού του τύπου παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμού απόδοσης χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα,

μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λίγες ώρες φυσικό αέριο, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

Οι δύο πρώτες εφαρμογές χρησιμοποιούν σύγχρονη γεννήτρια ενώ η τρίτη χρησιμοποιεί ασύγχρονη γεννήτρια.

### 1.2.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά

Η χρήση της ενέργειας των υδατοπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι γνωστή εδώ και αρκετά χρόνια και σημαντικός αριθμός υδροηλεκτρικών έργων έχουν κατασκευαστεί τόσο στη χώρα μας όσο και στις υπόλοιπες χώρες. Για να περιοριστούν οι επιδράσεις στο περιβάλλον από την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων τα προγράμματα επιχορηγήσεων καθώς και οι νόμοι για τις ΑΠΕ όπως ο νόμος 2773/99 και η αναθεώρησή του, νόμος 3468/06, ορίζουν ένα μέγιστο μέγεθος για τα όρια της Μικρής Υδροηλεκτρικής παραγωγής. Για τη χώρα μας όπως και για την Ευρωπαϊκή επιτροπής Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ESHA) [38] το όριο αυτό είναι 10-15MW. Ειδικά οι ΥΗΣ με ονομαστική ισχύ μικρότερη από 1 MW χαρακτηρίζονται ως mini ΥΗΣ. Στην Ευρώπη των 25 λειτουργούν περίπου 16,800 μικροί ΥΗΣ με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 11 GW, με την Ιταλία, τη Γαλλία και την Ισπανία να αντιπροσωπεύουν το 21%, 17% και 16% της εγκατεστημένης αυτής ισχύος αντίστοιχα.

Τα έργα αυτά είτε λειτουργούν με τη φυσική ροή του ρεύματος ενός ποταμού είτε απαιτούν φράγματα μικρής χωρητικότητας οπότε περιορίζεται η επίδραση στο φυσικό περιβάλλον. Ο ανάντι ταμιευτήρας περιορίζεται σε μία δεξαμενή που εξυπηρετεί τις ανάγκες υδροληψίας του και μόνο και διαθέτουν και συνήθως έναν υπερχειλιστή.

Γι αυτό και σε αντίθεση με μεγάλα Υδροηλεκτρικά μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρότερο χρονικό διάστημα και με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένας μεγάλος ΥΗΣ συνήθως υπερδιαστασιολογείται, με σκοπό τη μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη των αιχμών ζήτησης, γεγονός που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και μικρότερες τιμές του συντελεστή φορτίου. Αποτέλεσμα τούτου είναι η διόγκωση των έργων του πολιτικού μηχανικού και επομένως σημαντική επιβάρυνση του κόστους του έργου. Αντιθέτως, ένα μικρό ΥΗΕ δε δύναται να ανακουφίζει τις αιχμές ισχύος και για το λόγο αυτό η διαστασιολόγησή του γίνεται με βάση την οικονομική βιωσιμότητά.

Αυτή η μορφή ενέργειας καλύπτει περίπου την σημερινή εποχή το 1/5 της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στις αναπτυσσόμενες χώρες υπάρχει

δυνατότητα για ακόμη μεγαλύτερη εκμετάλλευση. Προκειμένου να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται το χτίσιμο φραγμάτων. Συνήθως τα μικρότερα φράγματα προτιμώνται από αυτά των μεγάλων φραγμάτων επειδή ακριβώς τα μικρότερα έχουν και χαμηλότερο κόστος.

Σε πολλές περιοχές της χώρας ειδικά στην Δυτική Ελλάδα η μορφολογία του εδάφους ευνοεί την δημιουργία φραγμάτων, τα οποία δημιουργούν με την σειρά τους ταμιευτήρες νερού και επιτρέπουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδατοπτώσεων. Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροηλεκτρικό δυναμικό, με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογικές δυνατότητες εκτιμάται γύρω στα 1.600 MW εγκατεστημένης ισχύος. Σήμερα στην Ελλάδα έχουν αναπτυχθεί 14 μικρά υδροηλεκτρικά έργα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 42,79 MW.

Γενικά πλεονεκτήματα των ΥΗΣ είναι ότι

- Η τεχνολογία τους είναι γνωστή και δοκιμασμένη από την αρχή του προηγούμενου αιώνα, με τους συντελεστές απόδοσης των στροβίλων σήμερα να ξεπερνούν το 90%.
- Τα διάφορα έργα υποστήριξης του σταθμού έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα φράγματα δύναται να λειτουργήσουν περισσότερο από 100 χρόνια με ελάχιστη μόνο συντήρηση.

Και τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Η έλλειψη επαρκών υδρολογικών στοιχείων ή η το υψηλό κόστος απόκτησής τους.
- Οι πολλές αλληλοσυγκρουόμενες χρήσεις του νερού και η εμπλοκή σε νομικής φύσεως θέματα όσον αφορά την κατασκευή και εκμετάλλευση του έργου

Λόγω της έλλειψης μεγάλων φραγμάτων η παροχή νερού αναμένεται να έχει περισσότερες διακυμάνσεις από ότι τα Μεγαλύτερα Υδροηλεκτρικά έργα στην ημερήσια παραγωγή τους. Έτσι, όταν η φυσική εισροή κυμαίνεται μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής για ομαλή λειτουργία του υδροστροβίλου (αυτή εξαρτάται από τον τύπο και από το μέγεθος του υδροστροβίλου) τότε η μονάδα λειτουργεί και παράγει ενέργεια. Στην περίπτωση που η παροχή είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη, ο υδροστροβίλος εργάζεται στη μέγιστη παροχή και η περίσσεια του νερού διαφεύγει αναξιοποίητη. Όταν η παροχή του υδατορεύματος είναι μικρότερη από την

ελάχιστη επιτρεπόμενη για τη λειτουργία του υδροστροβίλου, η μονάδα παραμένει κλειστή και η παροχή υπερχειλίζει τον εκχειλιστή και διαφεύγει ανεκμετάλλευτη.

Η χρήση έστω λίγο μεγαλύτερου ταμιευτήρια μπορεί να συμβάλλει στην εξομάλυνση της παραγωγής ειδικότερα μέσα στη διάρκεια ενός έτους, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι σε μικρά ποτάμια στη Νότια Ευρώπη το 80% του όγκου νερού διοχετεύεται κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Απριλίου [39].

Τα τυπικά δεδομένα, αν δεν υπάρχει πρόβλεψη ή διαθέσιμη κάποια χρονοσειρά παραγωγής για την ανάλυση λειτουργίας ενός μικρού ΥΗΣ θα είναι

Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές είναι σύγχρονες συνήθως με έκτυπους πόλους και χαμηλή ταχύτητα περιστροφής αν και σε εγκαταστάσεις μικρότερης ισχύος χρησιμοποιούνται και ασύγχρονες. Περισσότερες κατασκευαστικές πληροφορίες για μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορεί να βρει κανείς στο βιβλίο [40].

Τα δεδομένα που χρειάζονται για τα υδροηλεκτρικά για τη συμμετοχή τους στον προγραμματισμό λειτουργίας δικτύων διανομής θα είναι εκτός από τα γενικά που παρουσιάστηκαν τα παρακάτω :

Ρυθμός εισόδου νερού στις μονάδες	$m^3/s$
Απόδοση υδροστροβίλου	%
Ύψος φράγματος	m
Μέγεθος ταμιευτήρα φράγματος	$m^3$

### 1.2.3 Λοιπές μονάδες ΑΠΕ

#### 1.2.3.1 Μονάδες παραγωγής ενέργειας από Βιομάζα

Βιομάζα είναι η μάζα βιολογικών υλικών που προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και από βιολογικούς μετασχηματισμούς της ύλης. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναδημιουργείται.

Η βιομάζα βρίσκει πολλές εφαρμογές όπως:

- α) Χρήση σε υλικά κατασκευών β) Παραγωγή ζωοτροφών
- γ) Παραγωγή λιπασμάτων δ) Παραγωγή ενέργειας κ.ά.

Οι αναπτυσσόμενες χώρες παράγουν περίπου το ένα τρίτο της ενέργειάς τους από βιομάζα. Περίπου 2,5 δις άνθρωποι ουσιαστικά εξαρτώνται από τη βιομάζα για την κάλυψη των αναγκών τους σε θέρμανση, φωτισμό και μαγείρεμα.



Η εκμετάλλευση της βιομάζας γίνεται με την καύση του ξύλου, κάρβουνου, γεωργικών ή ζωικών υπολειμμάτων. Οι παλαιές τεχνολογίες είναι πλέον ξεπερασμένες και με σημαντικό κόστος για το περιβάλλον. Με τις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί γίνεται πλέον πιο αποδοτική η εκμετάλλευση της βιομάζας π.χ. για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι μπορεί να καλύψει ένα μέρος των αναγκών για υγρά καύσιμα αλλά υπάρχουν σημαντικά προβλήματα όπως είναι η υπερεκμετάλλευση των δασών και καλλιεργήσιμων εδαφών και των αναγκών διατροφής που συναγωνίζονται τα διαθέσιμα γεωργικά αποθέματα. Παρά τα προβλήματα οι επιστήμονες έχουν καταφέρει να μειώσουν το κόστος παραγωγής αιθανόλης από κατάλοιπα ξύλου.

Στην χώρα μας τα διαθέσιμα γεωργικά υπολείμματα για παραγωγή ενέργειας από σιτηρά, αραβόσιτο, βάμβακα, καπνό, ηλιάνθο κλπ. ανέρχονται ετησίως σε 7.500.000 τόνους.

Ο συνηθισμένος τρόπος αξιοποίησης βιομάζας είναι η καύση της είτε σε σόμπες είτε πλέον σε λέβητες όπως για παράδειγμα η κεντρική θέρμανση κατοικιών ή θερμοκηπίων στην Κρήτη με πυρηνόξυλο υπόλειμμα της επεξεργασίας του πυρηνελουργείου.

Επίσης μία μορφή αξιοποίησης της βιομάζας είναι η παραγωγή βιοαερίου ή biodiesel και στη συνέχεια η καύση του σε μονάδες εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και σε μικρο-τουρμπίνες. Σημαντικό είναι το ενδιαφέρον για μονάδες βιοαερίου σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Τη βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας μπορούμε να τη κατατάξουμε σε διάφορες κατηγορίες όπως

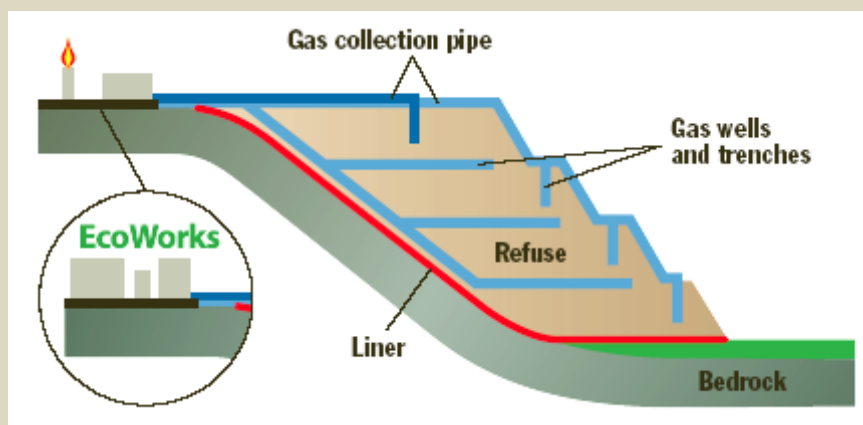
1. Ξυλώδης βιομάζα
2. Μη Ξυλώδης Βιομάζα
3. Απόβλητα ζώων και Ανθρώπων και προϊόντα βιολογικού καθαρισμού.

Για την κατηγορία 1 αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η χρήση της ξυλείας των δασών ή τα καλλιεργούμενα δάση για υλοτόμηση, είτε τα υπολείμματα από το κλάδεμα των δενδρώδων καλλιεργειών,(κληματίδες κτλ), αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για θερμική παραγωγή ενέργειας και σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού-θερμότητας.

Στην 2<sup>η</sup> κατηγορία περιλαμβάνονται οι ενεργειακές φυτείες όπως π.χ το γλυκό σόργο ή υπολείμματα μη δενδρώδων αγροτικών φυτειών όπως το άχυρο. Στην ίδια κατηγορία θα

μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε τα υπολείμματα βιομηχανικής επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πυρηνόξυλο που χρησιμοποιείται στις ελαιοπαραγωγικές περιοχές της χώρας ως καύσιμο για τους λέβητες αλλά και τα απόνερα των ελαιουργείων (κατσίγαροι) τα οποία είναι τοξικά αλλά έχουν προταθεί μέθοδοι για την ενεργειακή τους αξιοποίηση [41]

Στην κατηγορία 3 ανήκει η βιομάζα η οποία παράγεται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) με τη μορφή βιοαερίου το οποίο είναι πλούσιο σε μεθάνιο, συνήθως 50% κ.ο., χωρίς όμως να αποκλείονται διακυμάνσεις από πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, 25% κ.ο μέχρι και εξαιρετικές, 60% κ.ο. Τέτοιες μονάδες στη χώρα μας έχουν εγκατασταθεί στους Βιολογικούς Καθαρισμούς Χανίων και Ηρακλείου αλλά και είναι υπό εγκατάσταση στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυτάλλειας από την ΕΥΔΑΠ. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στη χώρα μας από μονάδες βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι 37.8MW. Μεθάνιο εκλύεται επίσης και από εγκαταστάσεις εκτροφής ζώων, όπως χοίρων, βοοειδών και πουλερικών, στα σημεία απόθεσης των περιττωμάτων τους. Η αρχή λειτουργίας για παραγωγή βιοαερίου από ΧΥΤΑ παρουσιάζεται στο Σχ. 1.9, ενώ φωτογραφίες από τέτοιες τυπικές διατάξεις παρουσιάζονται στην Σχ. 1.10.



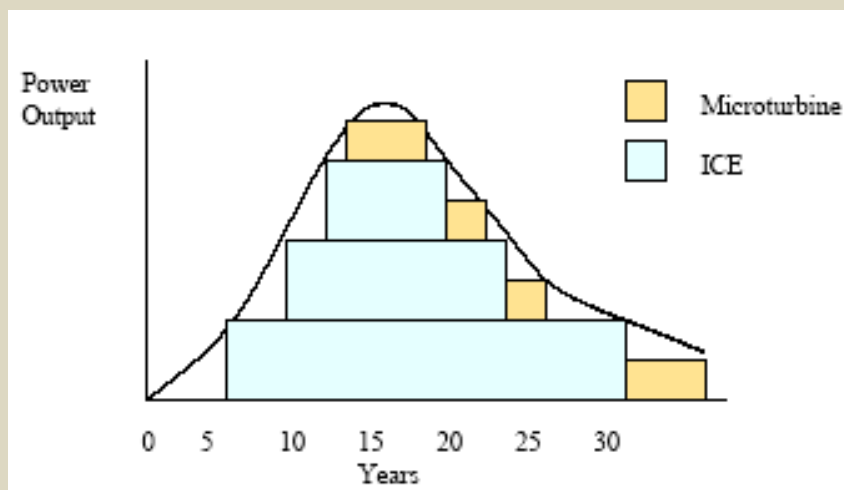
**Σχ. 1.9 Υποδομή συλλογής αερίου ΧΥΤΑ και αντικατάστασης του φλόγιστρου από μονάδα ΔΠ**



**Σχ. 1.10 Φωτογραφίες εγκαταστάσεων DG/DG-Tri σε ΧΥΤΑ**

Οι μονάδες που χρησιμοποιούν τη βιομάζα ως καύσιμο δεν χρειάζεται να έχουν κάποιο πρόγραμμα πρόβλεψης της εξόδου τους γιατί αυτή μπορεί να ρυθμιστεί. Όπως και οι συμβατικές μονάδες παραγωγής προβλέπεται να έχουν κάποια μορφή κατανάλωσης καυσίμου και άρα κάποιας μορφής συνάρτηση κόστους. Καθώς οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα είναι συχνά αμμοστροβλικές θα χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή τεχνικού ελαχίστου συγκρινόμενες με την τιμή του τεχνικού τους μεγίστου αλλά και από σημαντικό χρόνο εκκίνησης.

Ειδικά η παραγωγή αερίου ΧΥΤΑ παρουσιάζει τριγωνική μορφή κατά την διάρκεια παραγωγικής ζωής ενός ΧΥΤΑ, Σχ. 1.11. Εδώ έγκειται και η πολύ καλή προοπτική χρήσης των μικροτουρμπινών σε ΧΥΤΑ στην κάλυψη δηλαδή των κενών στην αξιοποίηση του παραγόμενου αερίου από τις μηχανές ΜΕΚ όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχ. 1.11



**Σχ. 1.11 Μοντέλο συνδυασμού μικροτουρμπινών με ΜΕΚ για την όσο το δυνατό μεγαλύτερη εκμετάλλευση του παραγόμενου από τον ΧΥΤΑ αερίου**

Για τα δίκτυα διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή σημαντική διείσδυση σε βιομηχανικά δίκτυα αναμένεται να έχουν μονάδες οι οποίες στηρίζουν την παραγωγή τους στην επεξεργασία λυμάτων.

Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της βιομάζας είναι:

- Μπορεί να αποθηκευθεί η πρώτη ύλη και να χρησιμοποιηθεί με τη ζήτηση
- Μπορεί να αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές, καθώς δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης ακαλλιέργητων εκτάσεων συμβάλλοντας σε μία ισορροπημένη ανάπτυξη της γεωργίας
- Δυνατότητα αξιοποίησης παραπροϊόντων τα οποία σε διαφορετική περίπτωση θα απορρίπτονταν ρυπαίνοντας το περιβάλλον, πλέον μπορούν να συμβάλλουν αποφασιστικά στην παραγωγή ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους.

Το τελευταίο όμως χρονικό διάστημα υπάρχει σκεπτικισμός για την ευρύτερη διάδοση στα βιοκαύσιμα από το γεγονός ότι σε μερικές χώρες είτε αποψιλώνονται δάση προκειμένου να δώσουν τη θέση τους σε καλλιέργειες φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων, είτε αντικαθιστούν παραδοσιακές καλλιέργειες τροφίμων δημιουργώντας πληθωριστικές πιέσεις στην αγορά των τροφίμων.

Περισσότερες πληροφορίες για την Βιομάζα και τις προσπάθειες αξιοποίησής της μπορεί να βρει κανείς στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Βιομάζας (EUBIA)[42].

### ***1.2.3.2 Μονάδες παραγωγής από Γεωθερμία***

Σε κάποιες περιοχές του πλανήτη η θερμοκρασιακή κλίση είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη από τη μέση κλίση των 25 °C/km, με αποτέλεσμα να έχουν πολύ σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο.

Οι γεωθερμικές πηγές διακρίνονται σε 4 τύπους

- α) Υδροθερμικές με νερό
- β) Υδροθερμικές με ατμό
- γ) Πετροθερμικές
- δ) Γεωπιεστικές.

Αυτή η ανανεώσιμη Πηγή ενέργειας έχει αξιοποιηθεί στις χώρες όπου είναι διαθέσιμη, κυρίως στις περιοχές των γεωτεκτονικών πλακών, π.χ Ισλανδία, Ιταλία, Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία κτλ για τη θέρμανση χώρων όπως και θερμοκηπίων ή για την αξιοποίηση της θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες.

Σε περιοχές όπου το περιεχόμενο της γεωθερμικής ενέργειας είναι υψηλό μπορεί να αξιοποιηθεί ο ατμός σε αμμοστροβλικές μονάδες παραγωγής. Έτσι οι μονάδες παραγωγής από γεωθερμία είναι ουσιαστικά αμμοστρόβιλοι και λειτουργούν ως μονάδες βάσης. Οι εγκαταστάσεις γεωθερμίας χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος εγκατάστασης και από πολύ χαμηλό έως μηδενικό κόστος παραγωγής. Επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι μονάδες αυτές λειτουργούν στη μέγιστη δυνατή ισχύ τους αν αυτό είναι εφικτό αφού το μεταβλητό κόστος τους είναι πάρα πολύ χαμηλό συγκρινόμενο με τις νέες τεχνολογίες.

Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής οι οποίες να αξιοποιήσουν την ενέργεια από τη γεωθερμία δεν αναμένεται να εγκατασταθούν ως μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής σε μικροδίκτυα Χαμ. Τάσης. Παρ' όλα αυτά σε νησιωτικά δίκτυα έχουν ήδη εγκατασταθεί και λειτουργούν τέτοιες μονάδες, όπως για παράδειγμα στα συστήματα της Γουαδελούπης, 5MW, και 20 MW στο νησί S.Miguel στις Αζόρες. Στη χώρα μας είχε εγκατασταθεί ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 2MW στη Μήλο, αλλά λόγω περιβαλλοντικών προβλημάτων από τις γεωτρήσεις και το υψηλό θείο, υπολειτουργεί. Στη Λέσβο και το Νομό Σερρών έχουν γίνει γεωτρήσεις για τη θέρμανση θερμοκηπίων ενώ στην Κίμωλο λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με γεωθερμία. Επίσης έχει δοθεί άδεια εγκατάστασης 8 MW για την κατασκευή εργοστασίου της ΔΕΗ στην Λέσβο.

Οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται παρακάτω είναι εφικτό να λάβουν τέτοιου είδους περιορισμούς αλλά σε γενικές γραμμές η περαιτέρω ανάλυση και μοντελοποίηση τέτοιων πηγών αναφέρεται περισσότερο σε εξειδικευμένα συστήματα. Από τώρα κι έπειτα αυτού του είδους οι μονάδες θα θεωρούνται ως μονάδες με συγκεκριμένο τεχνικό μέγιστο, ελάχιστο, εντασσόμενες κατά προτεραιότητα και με σχεδόν μηδενικό μεταβλητό κόστος.

Χρήσιμες πληροφορίες για την τεχνολογία των μονάδων γεωθερμίας μπορεί να αναζητήσει στο βιβλίο [43] καθώς και στο δικτυακό τόπο της Ευρωπαϊκής εταιρείας για τη Γεωθερμία [44]. Εφαρμογές της Γεωθερμίας στην περιοχή των Βαλκανίων περιγράφονται σε κάποια από τις αναφορές του προγράμματος VBPC-RES [45].

### ***1.2.3.3 Μονάδες παραγωγής εκμεταλλεζόμενες παλίρροια και κύματα.***

Αυτού του τύπου οι μονάδες δεν αναμένεται να έχουν διείσδυση σε επίπεδο της τοπικής διανομής και απαιτούν συγκεκριμένες τοποθεσίες εγκατάστασης.

Η τεχνολογία που απαιτείται για να μετατραπεί παλιρροιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό μοιάζει πολύ με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε παραδοσιακά υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η μεν ενέργεια από την παλίρροια είναι προβλέψιμη στις τοποθεσίες στις οποίες υπάρχει αξιόλογο δυναμικό. Βασικό μειονέκτημά της είναι οι πολύ λίγες τέτοιες τοποθεσίες και το γεγονός ότι μέσα στη διάρκεια της ημέρας, το χρονικό διάστημα λειτουργίας δεν υπερβαίνει τις 10 ώρες. Αντιπροσωπευτικότερο έργο αυτής της κατηγορίας είναι το έργο των 240MW στην Βρετάνη της Γαλλίας (La Rance Tidal Barrage), ενώ προσπάθειες βέλτιστης κατανομής ενός τέτοιου τύπου μονάδας παρατίθενται στην εργασία [46].

Τα συστήματα ενέργειας παραγωγής ενέργειας από κύματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες:

- Συσκευές στην Ακτή (Shoreline devices), με παράδειγμα την εγκατάσταση στο νησί islay στη Σκωτία, με πειραματική διάταξη ισχύος 75kW [47,48].
- 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.

Για τις 2 τελευταίου τύπου συσκευές σημαντική πρόοδο αποτελεί το εργοστάσιο τύπου PELAMIS με αυξανόμενες εγκαταστάσεις στην Πορτογαλία και τη Σκωτία [49].

Η παραγωγή εξαρτάται από τη δύναμη των κυμάτων με αποτέλεσμα η παραγωγή ενέργειας να παρουσιάζει διακυμάνσεις από μέρα σε μέρα και από ώρα σε ώρα. Η επιλογή των τοποθεσιών απαιτεί περιοχές με έντονο και επαναλαμβανόμενο κυματισμό, αρκετές φορές το έτος. Μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για την αντοχή των κατασκευών στις ακραίες καιρικές συνθήκες.

Η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των μεθόδων παραγωγής ενέργειας από τα κύματα παρουσιάζεται συνοπτικά και στις εργασίες [50,51].

### 1.3 Στόχος της Εργασίας

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να παρουσιάσει τις μικρές ανεμογεννήτριες και τα μικρά αιολικά πάρκα. Επιμέρους στόχοι της εργασίας είναι περιγράψει τις μικρές ανεμογεννήτριες, να αναλύσει τη σύνδεσή τους στο δίκτυο, να παρουσιάσει τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους και τέλος να παρουσιάσει την κατάσταση των μικρών ανεμογεννητριών στην Ελλάδα.

## **2 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

### **2.1 Πρόοδος εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο.**

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου, και μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλους μηχανισμούς και διατάξεις για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στη ξηρά.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια, και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια, που τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Καλύπτεται έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών: η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αντλιών νερού στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, για θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών, για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας κ.ά., ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο. Για την παραγωγή αξιόλογων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούνται συγκροτήματα από πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, τα οποία ονομάζονται αιολικά πάρκα.

Κατά τη δεκαετία του 1970 η αιολική ενέργεια συγκέντρωσε -όπως και άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας- το ενδιαφέρον των ερευνητών, λόγω της διεθνούς ενεργειακής κρίσης και της αυξανόμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ο άνεμος αποτελεί μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, της οποίας η εκμετάλλευση δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, δεν απαιτεί περίπλοκες κατασκευές, δεν εμπεριέχει κόστος καυσίμου και δεν επηρεάζεται από τις ενεργειακές κρίσεις της παγκόσμιας αγοράς.

Η κινητική του ενέργεια οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η



ισχύς των ανέμων σ' όλη τη γη υπολογίζεται σε 1014 KW. Η ισχύς ρεύματος γενικά είναι ανάλογη της πυκνότητας του και του κύβου της ταχύτητας του.

Έτσι για την ίδια ταχύτητα και διατομή ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από αντίστοιχη δέσμη νερού. Η αιολική ενέργεια συνεπώς είναι μία αραιή ή ήπια μορφή ενέργειας δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων, μεγάλων διαστάσεων. Σ' αυτό το μειονέκτημα ανταπεξέρχεται με επιτυχία η σημερινή τεχνολογία με την κατασκευή ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων που ανταγωνίζονται οικονομικά τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική ενέργεια μία αναβαθμισμένη κατά την τεχνική ορολογία, μορφή ενέργειας που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί συνεπώς μία αστείρευτη πηγή ενέργειας με αξιοσημείωτο δυναμικό και με δωρεάν πρώτη ύλη στη διάθεση της ανθρωπότητας και προβάλλει σήμερα ως μία από τις πιο κατάλληλες εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι:

- Δεν απαιτεί συμβατικό καύσιμο.
- Δεν μολύνεται το περιβάλλον.
- Σχετικά ακίνδυνη λειτουργία.
- Δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα τεχνολογικά προβλήματα.

Τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι:

- Η ισχύς δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου.
- Απαιτούνται πολλές Α/Γ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλων καταναλωτών.
- Ενέργεια διατίθεται μόνο όταν υπάρχουν άνεμοι.
- Πρόσθετες δαπάνες για αποταμίευση της ενέργειας.

Το μεγαλύτερο ωστόσο πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι μπορεί, μέσω των ανεμογεννητριών, να μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική, ενώ αντίθετα, τα μειονεκτήματά της εντοπίζονται α) στη διακύμανση που παρουσιάζει ως προς την απόδοση ισχύος, διακύμανση που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη -κατά τη διάρκεια της ημέρας, του

μήνα και του έτους- ένταση του ανέμου, β) στη χαμηλή πυκνότητα που παρουσιάζει ως μορφή ενέργειας με συνέπεια να απαιτούνται πολλές ανεμογεννήτριες για την παραγωγή αξιόλογης ισχύος, γ) στο χρόνο που απαιτείται για την έρευνα και τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού μεγάλων περιοχών, ώστε να εντοπιστούν τα ευνοϊκά σημεία, δ) στο σχετικά υψηλό κόστος έρευνας και εγκατάστασης των αιολικών συστημάτων και ε) στις επιπτώσεις που έχουν για το περιβάλλον (κυρίως αλλοίωση τοπίου, ηχορύπανση), οι οποίες, όμως, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες των συμβατικών πηγών ενέργειας, θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας.

Κατά τη δεκαετία του 1980 σημειώθηκε ραγδαία εξέλιξη στην έρευνα για την αιολική ενέργεια και στην τεχνολογία για την εκμετάλλευσή της. Έτσι, μειώθηκε σταδιακά το λειτουργικό κόστος των ανεμογεννητριών, σε επίπεδο που κατέστησε την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας οικονομικά συμφέρουσα, αντιμετωπίστηκαν ικανοποιητικά τα μηχανολογικά τους προβλήματα και δόθηκε έμφαση στην ασφαλή τους λειτουργία και στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Συγκεκριμένα, η απόδοσή τους αυξήθηκε σημαντικά χάρη στη βελτίωση του μηχανολογικού σχεδιασμού τους και της αεροδυναμικής συμπεριφοράς τους, στη χρησιμοποίηση σύγχρονων υλικών κατασκευής και στην εισαγωγή ηλεκτρονικών διατάξεων (μικροεπεξεργαστών και αισθητήρων ελέγχου) στο σύστημα λειτουργίας τους. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών συστημάτων (αλλοίωση του τοπίου, διατάραξη του οικοσυστήματος, ηχορύπανση) αντιμετωπίζονται με προσεκτική επιλογή του χώρου εγκατάστασης των αιολικών πάρκων, σωστό σχεδιασμό των ανεμογεννητριών και χωροθέτησή τους, καθώς και με πρωτοποριακές λύσεις, όπως η εγκατάσταση αιολικών πάρκων μέσα στη θάλασσα, σε αβαθείς περιοχές κοντά στις ακτές (off shore windparks).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κυμαινόμενης ισχύος της αιολικής ενέργειας, εφαρμόζεται ο συνδυασμός ανεμογεννητριών με ηλιακούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς, και -ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες- με γεννήτριες Ντίζελ (Wind/Diesel Systems) για την παραγωγή ρεύματος, οι οποίες τίθενται σε λειτουργία, όταν η ταχύτητα του ανέμου πέφτει κάτω από το όριο λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

Ακόμη, ενδιαφέρον παρουσιάζει μία πρωτοποριακή μέθοδος που πρωτοεφαρμόστηκε στη δεκαετία του 1980, σύμφωνα με την οποία, τις ημέρες που το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής είναι αυξημένο (μεγάλη ταχύτητα ανέμου), η περίσσεια ισχύος που παράγεται χρησιμοποιείται για τη διάσπαση νερού και την παραγωγή υδρογόνου. Σε ημέρες άπνοιας το υδρογόνο καίγεται σε θερμογεννήτριες, παράγοντας ενέργεια και εκπέμποντας μόνο υδρατμούς στο περιβάλλον.

Επίσης, αξιοσημείωτη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι ο συνδυασμός της με την υδροηλεκτρική ενέργεια: ανεμοκινητήρες που κινούν αντλίες νερού μπορούν, τις ημέρες όπου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζεται αυξημένο, να χρησιμοποιούν την παραγόμενη περίσσεια ισχύος για την αποταμίευση νερού σε ταμιευτήρες που βρίσκονται σε μεγάλο ύψος. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση ή σε ημέρες άπνοιας να διατίθεται για την κίνηση υδροστροβίλων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, για την καλύτερη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στις χώρες που αναπτύσσουν αντίστοιχα προγράμματα, βασικό παράγοντα αποτελεί η χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού, αν και η πραγματοποίησή της είναι δαπανηρή και απαιτεί χρόνο. Το πρόβλημα, ωστόσο, αυτό επιλύθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος με την ανάπτυξη, κατά τη δεκαετία του 1980, των αιολικών μοντέλων. (Αιολικό μοντέλο είναι ένας κατ' εκτίμηση αιολικός χάρτης για μία ευρύτερη περιφέρεια, ο οποίος συντάσσεται με τη βοήθεια αριθμητικών μεθόδων και με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα ορισμένων μόνο περιοχών της). Με τον τρόπο αυτό μπορεί σε σύντομο χρόνο να εκτιμηθούν και να επιλεγούν περιοχές με αυξημένο αιολικό δυναμικό, και στη συνέχεια να πιστοποιηθούν οι εκτιμήσεις, με μετρήσεις επί τόπου.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η παγκόσμια παραγόμενη ισχύς από αιολικά συστήματα ήταν 15 MW. Το 1992, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την προώθηση των προγραμμάτων αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, η ισχύς αυτή, παραγόμενη από περισσότερες από 25.000 ανεμογεννήτριες, έφτασε τα 2.652 MW. Η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος είναι οι Η.Π.Α. (1723 MW το 1992), και ειδικότερα η πολιτεία της Καλιφόρνια.

Εκεί, στην περιοχή Άλταμοντ Πας, βρίσκεται το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο του κόσμου με 7.500 ανεμογεννήτριες, ενώ σε ολόκληρη την πολιτεία λειτουργούν περισσότερες από 16.000 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 1.500 MW, που αντιπροσωπεύουν το 1% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής της ενέργειας. Αιολικά πάρκα υπάρχουν, επίσης, και στη Χαβάη, ενώ από το 1992 άρχισε ο σχεδιασμός για την κατασκευή αιολικών πάρκων και σε άλλες πολιτείες (Ουάσινγκτον, Αϊόβα, Μινεσότα, Μέιν).

Δεύτερη χώρα στον τομέα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας έρχεται η Δανία, η οποία έχει αναπτύξει και την πιο αξιόπιστη τεχνολογία στον τομέα κατασκευής

ανεμογεννητριών, κατέχοντας μεγάλο ποσοστό στην αντίστοιχη παγκόσμια αγορά.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στη Δανία φτάνει τα 360 MW, που αντιπροσωπεύουν το 2% των ενεργειακών της αναγκών. Ακολουθούν η Ολλανδία, η Γερμανία, η Μ. Βρετανία, η Ισπανία, η Ιταλία, η Γαλλία, το Βέλγιο -η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 1992 ήταν 862 MW- και η Ινδία, ενώ ανάλογα προγράμματα αναπτύσσονται στη Ρωσία και την Κίνα. Τα ενεργειακά αιολικά προγράμματα των Η.Π.Α. και της Δανίας στοχεύουν στην κάλυψη ως το 2000 του 10% των συνολικών ενεργειακών τους αναγκών από την αιολική ενέργεια.

Ακόμη, στις αρχές της δεκαετίας του 1990 άρχισαν να λειτουργούν στη Δανία και την Ολλανδία τα πρώτα αιολικά πάρκα μέσα στη θάλασσα (off shore windparks), σε αβαθείς περιοχές κοντά στις ακτές. Οι εγκαταστάσεις αυτές, που προς το παρόν περιλαμβάνουν μικρό αριθμό ανεμογεννητριών και ηλεκτροδοτούν μικρές κοντινές περιοχές, επιφέρουν -λόγω της απομακρυσμένης θέσης τους- πολύ λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από ότι οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις της στεριάς. Παράλληλα, χάρη στην απουσία φυσικών εμποδίων παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένη απόδοση.

Η αιολική ενέργεια έχει διαδοθεί σημαντικά σε παγκόσμιο και πανευρωπαϊκό επίπεδο ώστε να κατέχει δεσπόζουσα θέση στην παγκόσμια αγορά ΑΠΕ. Μέχρι το τέλος του 2007, πάνω από 94 GW έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως [52], με 57 GW από αυτά στην Ευρώπη [53]. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του GWEC η εγκατεστημένη ισχύς το 2012 θα φτάνει τα 240 GW παγκοσμίως. Μόνο μέσα στο 2007 η εγκατεστημένη ισχύς ανά τον κόσμο αυξήθηκε κατά 27%. Στα 25 χρόνια ύπαρξης των ανεμογεννητριών στην αγορά το μέγεθος τους εκατονταπλασιάστηκε όσον αφορά στην εγκατεστημένη ισχύ (από 50kW σε 5000 kW) και οχταπλασιάστηκε όσον αφορά στη διάμετρό τους (από 15 m σε 124 m). Το μέσο μέγεθος ανεμογεννητριών που εγκαθίσταται ετησίως αυξάνεται συνεχώς: από 240 MW το 1993 σε 890 MW το 2000 και σε 1262 MW το 2004. Μία ενδιαφέρουσα αναδρομή στην εξέλιξη της αγοράς Α/Γ για τη δεκαετία 1995-2004 παρουσιάζεται στην [54]. Η εγκατεστημένη ισχύς στη χώρα μας και η συνεισφορά της στο ενεργειακό ισοζύγιο παρουσιάστηκε στους Πιν. 1-2 και Πιν. 1-3, αντίστοιχα.

### 2.1.1 Εγκατεστημένη ισχύς

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, παγκοσμίως έχει αυξηθεί από 2 GW σε παραπάνω από 20 GW και ο παράγοντας απόδοσης έχει επίσης βελτιωθεί. Η ιστορική τάση στην μείωση κόστους είναι παρόμοια εντυπωσιακή.

Κατά το έτος 2002, εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως νέα αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6.868 MW μέγεθος το οποίο αποτελεί δείκτη της εξέλιξης του κλάδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος κατά 28% παγκοσμίως σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιεύτηκαν από τον AWEA (American Wind Energy Association) και τον αντίστοιχο του στην Ευρώπη EWEA (European Wind Energy Association).

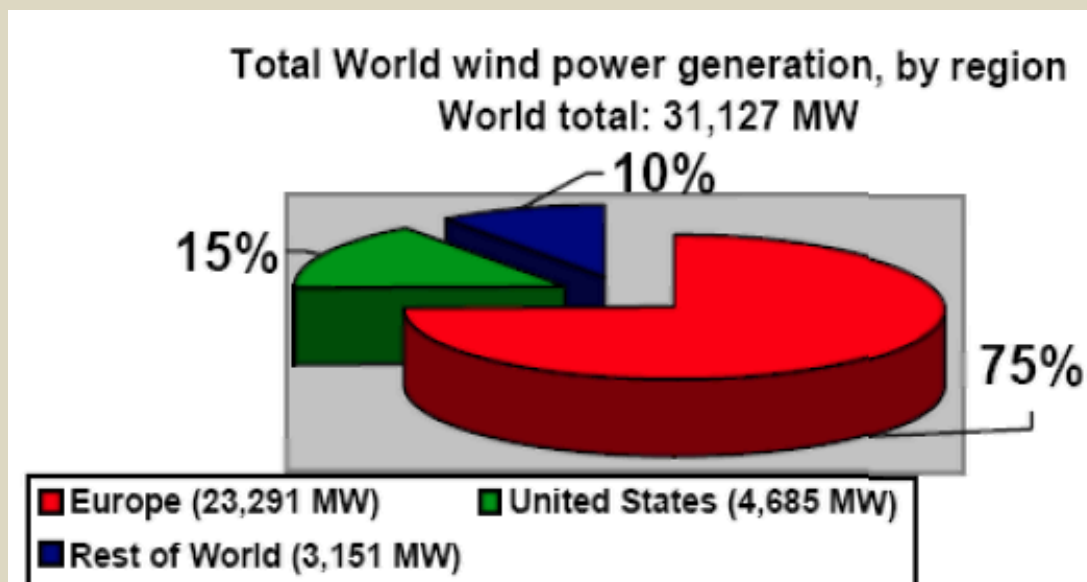
Η αξία της τεχνολογίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρησιμοποίηση αιολικών γεννητριών ανήλθε στο ποσό των 6.800.000.000 € παγκοσμίως, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος στα 31.000 MW ικανών για την κάλυψη των αναγκών 7,5 εκατομμυρίων τυπικών μέσων αμερικανικών σπιτιών ή 16 εκατομμυρίων τυπικών μέσων ευρωπαϊκών σπιτιών.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων τετραπλασιάστηκε μέσα στα προηγούμενα πέντε έτη, από 7.600 MW, το 1998 σε 31.000 MW, το 2002 μία αύξηση της τάξεως των 23.400 MW, καθιστώντας την αιολική ενέργεια ως την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή παραγωγής ενέργειας παγκοσμίως με μέσο ρυθμό ανάπτυξης της εγκατεστημένης ισχύος της τάξεως του 32% ετησίως τα προηγούμενα πέντε έτη (1998-2002).

Το 93% της επιπλέον εγκατεστημένης ισχύος κατά το έτος 2002 πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. ενώ το 90% της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος λειτουργεί σε αυτές τις δύο περιοχές του πλανήτη.

Πάνω από το 75% της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων λειτουργεί στη περιοχή της Ευρώπης και είναι και η περιοχή στην οποία οφείλεται η ραγδαία ανάπτυξη των τελευταίων ετών - ένα επίτευγμα το οποίο απορρέει από την σταθερή δέσμευση για ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κατά το έτος 2002 στις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εγκαταστάθηκαν νέα



αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 5.871 MW και συνολικής αξίας 5.800.000.000 €. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σ' αυτή την περιοχή αυξήθηκε κατά 33% και έφτασε τα 23.056 MW. Ενώ στις Η.Π.Α. το έτος 2002, η νέα εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε στα 410 MW (αύξηση κατά 10%) και στον Καναδά περίπου 40 MW. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η Ισπανία παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από την χρησιμοποίηση αιολικών πάρκων απ' ότι οι Η.Π.Α.

Η παγκόσμια κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες.

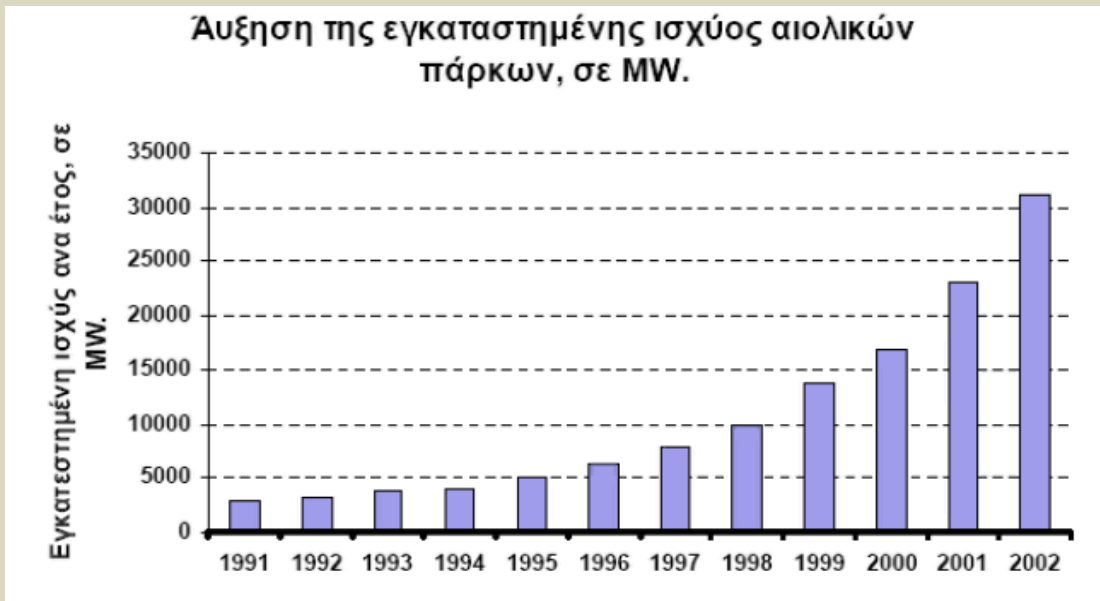
Οι χώρες με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ είναι οι κάτωθι σε φθίνουσα σειρά:

1. Η Γερμανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από 18.000 MW.
2. Η Ισπανία.
3. Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.
4. Η Δανία.
5. Η Ινδία.

**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΧΑΝΙΑ**

	Χώρα της ΕΕ	Ολική Εγκατεστημένη Ισχύς στο τέλος του 2005 (MW)
1	Γερμανία	18.428
2	Ισπανία	10.027
3	Λατвия	3.122
4	Ιταλία	1.717
5	Ηνωμένο Βασίλειο	1.353
6	Ολλανδία	1.219
7	Πορτογαλία	1.022
8	Αυστρία	819
9	Γαλλία	757
10	Ελλάδα	573
11	Ιρλανδία	495.5
12	Σουηδία	500
13	Βέλγιο	167
14	Φιλανδία	82
15	Πολωνία	73
16	Λουξεμβούργο	35
17	Εσθονία	30
18	Λετονία	27
19	Τσεχία	26
20	Ουγγαρία	17
21	Λιθουανία	7
22	Σλοβακία	5
23	Κύπρος	0
24	Μάλτα	0
25	Σλοβενία	0
	<b>ΕΕ</b>	<b>40.504</b>

Σήμερα, τα αιολικά πάρκα ικανοποιούν περίπου το 0.4% της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Εάν υπάρξουν ισχυρότερες πολιτικές δεσμεύσεις, παγκοσμίως, τότε θα μπορούσαν να εγκατασταθούν περίπου 230.000 MW μέχρι το 2010 και 1.200.000 MW μέχρι το 2020. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων ανά την υφήλιο.



ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων ανά την υφήλιο.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό, το οποίο εντοπίζεται κυρίως στο Αιγαίο. Οι έρευνες και οι προσπάθειες για αξιοποίηση του δυναμικού αυτού άρχισαν κατά το τέλος της δεκαετίας του 1970. Στο πρώτο στάδιο έγιναν μετρήσεις του αιολικού δυναμικού των πιο ευνοϊκών περιοχών και συντάχθηκε η μελέτη ΑΙΟΛΟΣ με τη συνεργασία της Διεύθυνσης Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΔΕΜΕ), της ΔΕΗ και πανεπιστημίων της χώρας. Από το 1982 έως το 1994 εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες στην Άνδρο, τα Ψαρά, τη Σάμο, τη Χίο, την Κρήτη, την Εύβοια, τη Σαμοθράκη, την Ικαρία, την Κάρπαθο, τη Λήμνο, την Κύθνο και τη Σκύρο, οι οποίες παράγουν συνολικά ισχύ 27 MW. Το πρώτο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε στην Κύθνο και άρχισε να λειτουργεί το 1982 περιλαμβάνοντας 5 ανεμογεννήτριες, συνολικής ισχύος αρχικά 20 KW και αργότερα 33 KW. Μέχρι το 1994 είχαν εγκατασταθεί συνολικά 13 αιολικά πάρκα σε νησιά του Αιγαίου.

Το 1991 στο πλαίσιο ενός δεκαετούς αναπτυξιακού προγράμματος που εξήγγειλε η ΔΕΗ, υπογράφηκαν συμβάσεις για την κατασκευή αιολικών πάρκων στη Σάμο (2 MW), τη Χίο (2 MW), την Άνδρο (1,5 MW), τη Λέσβο (2 MW), τα Ψαρά (2 MW), την Εύβοια (5 MW) και την Κρήτη (5 MW) με 50% χρηματοδότηση από τα κοινοτικά προγράμματα ΜΟΠ (Μεσογειακά Ολοκληρωμένα Προγράμματα) και VALOREN. Το αιολικό πάρκο της Εύβοιας, που τέθηκε σε λειτουργία το 1993 με 17 ανεμογεννήτριες, και το δίδυμό του στη Σητεία Κρήτης είναι τα δύο μεγαλύτερα αιολικά πάρκα της Μεσογείου. Σε αυτά περιλαμβάνεται από το 1990 το αιολικό πάρκο της Σαμοθράκης, ισχύος 220 KW, που αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες.



Από το 1995 δικαίωμα κατασκευής και λειτουργίας αιολικών μονάδων (όπως και μονάδων άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) έχουν, εκτός από τη ΔΕΗ, και ιδιώτες, οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης κ.λπ. είτε για δική τους χρήση (ιδιοπαραγωγοί) είτε για εκμετάλλευση.

Μετά την υπογραφή της σύμβασης το 1991, ιδιαίτερη διάσταση έλαβε το θέμα κατασκευής του αιολικού πάρκου στη Λέσβο, λόγω του χώρου που επιλέχτηκε για την εγκατάστασή του.

Ο χώρος αυτός ανήκει στην ευρύτερη περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους (το οποίο με προεδρικό διάταγμα έχει χαρακτηριστεί "διατηρητέο μνημείο της φύσης"), γεγονός που προκάλεσε την αντίδραση της Φιλοδοσικής Ένωσης Αθηνών, η οποία εξέφρασε φόβους για ανεπανόρθωτη καταστροφή του μνημείου, ενώ από την άλλη, ΔΕΗ και παράγοντες της τοπικής αυτοδιοίκησης τάχτηκαν υπέρ της αναγκαιότητας του έργου, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα ηλεκτροδότησης του νησιού.

Μετά από αλλεπάλληλες αναστολές, το έργο κατασκευάστηκε και άρχισε να λειτουργεί το 1994 (περιλαμβάνει δύο ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 600 KW). Μελλοντικός στόχος των χωρών που έχουν αναπτύξει αιολικά προγράμματα είναι η αύξηση του ποσοστού συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην κάλυψη των συνολικών ενεργειακών τους αναγκών. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει το 2005 να έχει πετύχει την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών κατά 1% από αιολική ενέργεια.

Πιν. 2-1 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στη χώρα μας

	Αιολικά (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρι κά (MW)	Βιοαέριο- Βιομάζα (MW)	Φ/Β (MW)
ΕΔΣ [55]	865.01	179.75	40.8	27.76
Δίκτυα Νησιών	227.2	0.6	0.4	0.963
<b>Σύνολο</b>	<b>1092.21</b>	<b>180.35</b>	<b>41.2</b>	<b>28.723</b>

Πιν. 2-2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδων ΑΠΕ στο ΕΔΣ

Έτος	Αιολικά (GWh)	Μικρά Υδροηλεκτρικ ά (GWh)	Βιοαέριο Βιομάζα (GWh)	Φ/Β (MWh)	Σύνολο (GWh)	Διείσδυση
2008	1661	324.93	176.7	5096	2167.8	3.81%
2007	1.333	223	155.9	146	1.712	2.87%
2006	1.199	220.4	92	0	1.512	2.79%

## 2.2 Ο άνεμος και τα χαρακτηριστικά του

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ολοένα και μεγαλύτερη διείσδυση αυτού του τύπου μονάδων στα δίκτυα, έχει πλέον γίνει αναγκαιότητα να πάψουν να αντιμετωπίζονται αυτού του τύπου οι μονάδες σαν αρνητικό φορτίο. Η αύξηση της διείσδυσης αιολικής παραγωγής στα ΣΗΕ επιβάλλει τη σταδιακή μετατροπή των Α/Γ από απλές πηγές ενέργειας σε πηγές που θα μπορούν να προσφέρουν και υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου. Αργά ή γρήγορα τα μεγαλύτερα Α/Π θα πρέπει να συμπεριφέρονται σαν ενεργά στοιχεία ελέγχου ενός ΣΗΕ. Όλα αυτά συντελούν στο να απαιτείται πιο συστηματική αντιμετώπιση της μοντελοποίησης λειτουργίας τους στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεδομένου και του έντονα στοχαστικού χαρακτήρα της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, του ανέμου προκειμένου να βελτιστοποιηθούν τα οφέλη από τη διείσδυσή τους και να αντιμετωπιστούν προβλήματα ένταξης στο δίκτυο.

Για τις μελέτες που πραγματοποιούνται στην παρούσα πτυχιακή εργασία απαιτούνται δεδομένα όπως:

- Η Εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων.

- Η χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας και παραγωγής της ανεμογεννήτριας η οποία διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Μια τυπική καμπύλη Ταχύτητας ανέμου – Ισχύος δίνεται στο Σχ. 2.1.

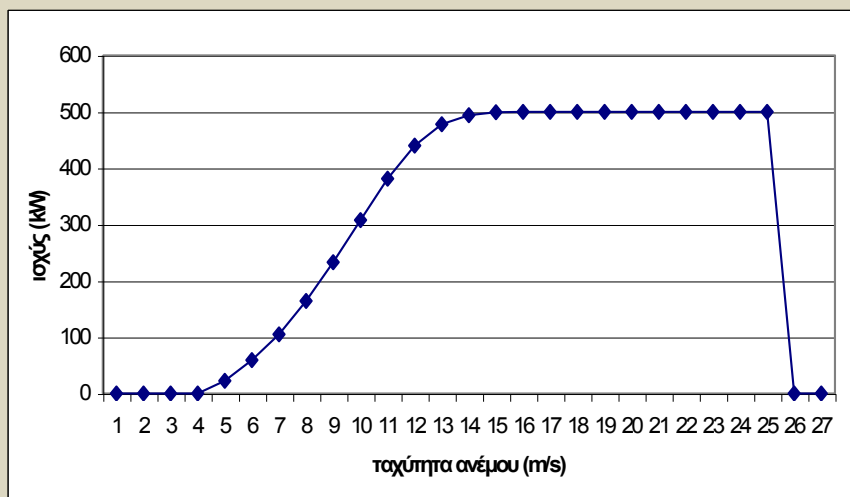
Αν δεν είναι διαθέσιμη κάποια πρόβλεψη αιολικής παραγωγής, αλλά υπάρχει εκτίμηση της ταχύτητας ανέμου, τότε απαιτούνται τα παρακάτω επιπρόσθετα δεδομένα :

- Διάμετρος στάτη Α/Γ.
- Ταχύτητα ανέμου με γνώση του ύψους μέτρησης  $H$  και της απόστασης από το σημείο εγκατάστασης του πάρκου
- Ύψος πλήμνης,  $Z$ . Αν αυτό είναι διαφορετικό από την τιμή  $H$ , η συνάρτηση (2.1) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας στο ύψος αυτό, με  $a$  το συντελεστή τραχύτητας για το έδαφος εγκατάστασης που για επίπεδες εκτάσεις οι τιμές του είναι 0.1- 0.12.

$$\frac{U(Z)}{U(H)} = \left( \frac{Z}{H} \right)^a \quad (2.1)$$

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εξαχθεί με τη βοήθεια της χαρακτηριστικής του Σχ. 2.1, η αναμενόμενη αιολική παραγωγή για τις επόμενες ώρες. Για περισσότερο μακροχρόνιες μελέτες, π.χ. εκτίμηση παραγωγής από την Α/Γ, αν δεν υπάρχουν πλήρη ανεμολογικά δεδομένα, τα οποία συχνά δεν είναι διαθέσιμα ή κοστίζει πολύ η απόκτησή τους, χρησιμοποιείται η προσέγγιση της ταχύτητας ανέμου με τη βοήθεια της πιθανοτικής κατανομής Weibull, όπως περιγράφεται στη (2.2).

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left( \frac{v}{c} \right)^{k-1} \cdot \exp \left( - \left( \frac{v}{c} \right)^k \right) \quad (2.2)$$

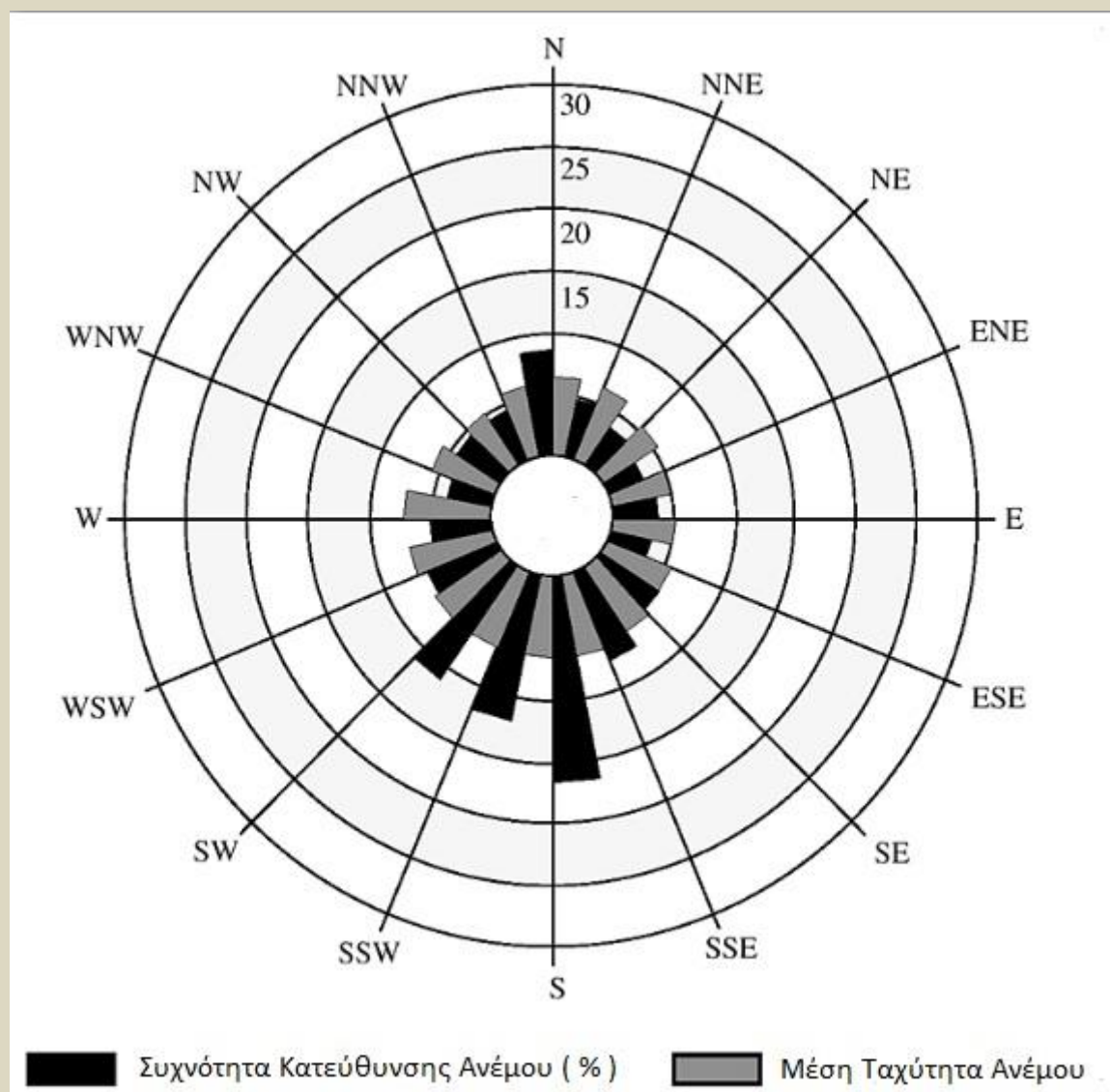


**Σχ. 2.1** Τυπική καμπύλη μετατροπής ταχύτητας ανέμου σε ισχύ σε μία Α/Γ [56]

### 2.2.1 Επικρατούσα Κατεύθυνση Ανέμου (Prevailing Wind Direction)

Με τον όρο Επικρατούσα Κατεύθυνση του Ανέμου για μια περιοχή ονομάζουμε την κατεύθυνση του ανέμου που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συχνότητα. Η επικρατούσα Κατεύθυνση του ανέμου μετριέται σε μοίρες, με τις 0 μοίρες να αντιστοιχούν στο Βορά, τις 90 μοίρες στην Ανατολή, τις 180 μοίρες στο Νότο και τις 270 μοίρες στη Δύση. Για την εύρεση της επικρατούσας κατεύθυνσης του ανέμου πρέπει να υπολογίσουμε τη συχνότητα του ανέμου για κάθε κατεύθυνση. Αφού κάνουμε όλους τους υπολογισμούς, η κατεύθυνση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι η επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου.

Στο παράδειγμα της εικόνας 4.3, η κατεύθυνση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι αυτή που δείχνει προς το Νότο (S – South). Συνεπώς, η επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου είναι 270 μοίρες.



Εικόνα 4. : Ροδόγραμμα του Ανέμου

### 2.2.2 Τραχύτητα Εδάφους

Η τραχύτητα εκφράζει το είδος του εδάφους. Η ταχύτητα του εδάφους καθορίζει τον συντελεστή τριβής του ανέμου με το έδαφος και συνεπώς επιδρά σε σημαντικό βαθμό στη ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή. Η τραχύτητα του ανέμου καθορίζει επίσης το μέγεθος της ανατάραξης του ανέμου, δηλαδή τη διακύμανση του ανέμου γύρω από τη μέση τιμή. Τα μεγέθη που εκφράζουν τη τραχύτητα του εδάφους είναι το μήκος τραχύτητας (συμβολίζεται με  $Z_0$ ) και η κατηγορία τραχύτητας.

**Μήκος τραχύτητας (Z<sub>0</sub>):**

Το μήκος τραχύτητας εκφράζει το μέσο ύψος των στοιχείων τραχύτητας μιας επιφάνειας. Οι τιμές του ενδέχεται να αλλάζουν ανάλογα με την εποχή. (Φθινόπωρο, Άνοιξη, εποχές συγκομιδής). Οι περιοχές για τις οποίες παρατηρείται αλλαγή του μήκους τραχύτητας ανάλογα με την εποχή χαρακτηρίζονται από το μεγαλύτερο μήκος τραχύτητας. Ο υπολογισμός του μήκους τραχύτητας μπορεί να γίνει με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων ή με τη χρήση κατάλληλων πινάκων (εικόνα 2.7).

Για επίπεδα εδάφη όπου τα στοιχεία τραχύτητας μπορεί να υπολογιστεί μέσω του ύψους h των στοιχείων αυτών με τη χρήση του παρακάτω τύπου:

Τις περισσότερες όμως φορές το μήκος τραχύτητας μιας περιοχής υπολογίζεται με τη χρήση κατάλληλων πινάκων. Ένας τέτοιος πίνακας είναι ο πίνακας 4.2 .

**Κατηγορία Τραχύτητας:**

Τα εδάφη μπορούν να χωριστού σε 3 ειδών κατηγορίες:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Κατηγορία τραχύτητας 1	Ανοικτές περιοχές χωρίς εμπόδια. Το έδαφος είναι επίπεδο ή με πολύ ελαφριές κλίσεις. Μπορεί να

	υπάρχουν μεμονωμένες αγροικίες και χαμηλοί θάμνοι.
Κατηγορία τραχύτητας 2	Καλλιεργημένη περιοχή με ορισμένα εμπόδια σε απόσταση μεγαλύτερη των 1000m μεταξύ τους και μερικά σπίτια. Το έδαφος είναι επίπεδο ή κυματώδες με δέντρα και σπίτια
Κατηγορία τραχύτητας 3	Συνδυασμός δάσους και καλλιεργημένης περιοχής με πολλά εμπόδια στα περίχωρα της πόλης. Τα εμπόδια είναι κοντά μεταξύ τους σε αποστάσεις μικρότερες από μερικές εκατοντάδες μέτρα

**Πίνακας 4. : Κατηγορίες τραχύτητας**

Κατηγορία Τραχύτητας	Τύπος εδάφους	Zo(m)
0	Πηλώδες έδαφος, Πάγος	$10^{-5} - 3 \cdot 10^{-5}$
0	Ήρεμη θάλασσα	$2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4}$
0	Αμμώδες έδαφος	$10^{-4} - 10^{-3}$
0	Χιονοκαλυμμένο επίπεδο έδαφος	$4.9 \cdot 10^{-3}$
1	Χέρσο έδαφος	$10^{-3} - 0.01$
1	Χλοερό έδαφος	0.017
1	Επίπεδο ακαλλιέργητο έδαφος	0.021
2	Χαμηλή βλάστηση, Στέπα	0.032
2	Υψηλά χόρτα	0.039
2	Σιτοβολώνες	0.045
2	Καλλιέργειες	0.064
2	Θαμνώδες έδαφος	0.1-0.3
2	Δάση με χαμηλά δένδρα	0.05-0.1
3	Δάση με υψηλά δένδρα	0.2-0.9
3	Προασπιακές περιοχές	1-2
3	Πόλεις	1-4

**Πίνακας 4. : Πίνακας υπολογισμού της κατηγορίας και του μήκους τραχύτητας**

Η τραχύτητα του εδάφους είναι χαρακτηριστικό κάθε περιοχής και μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τις εποχές του χρόνου.

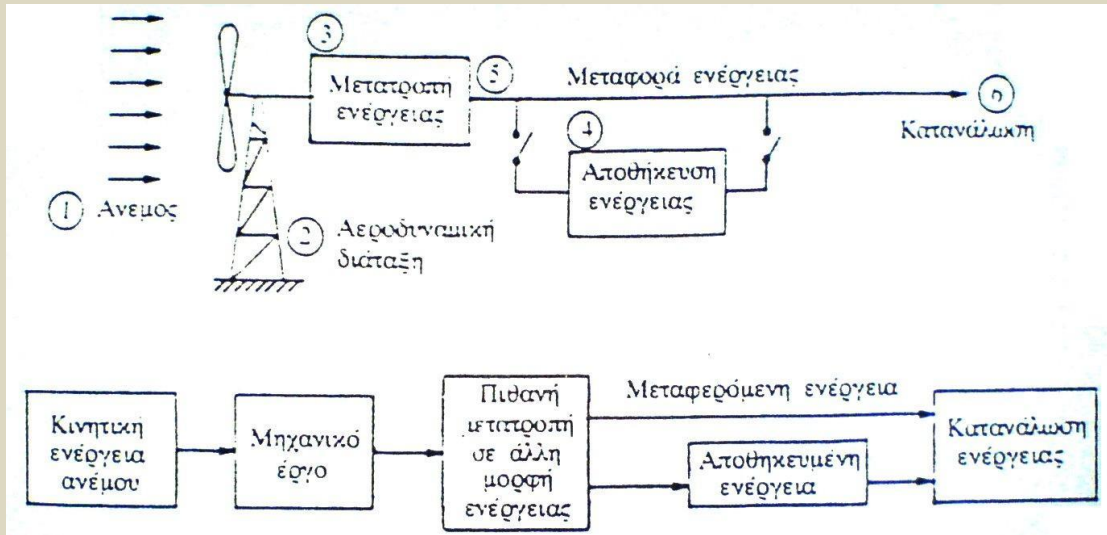
### 2.3 Τα τμήματα των Ανεμογεννητριών

Ο Α/Κ από την εποχή της εμφάνισης του μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς το τύπο του (οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματα του (περυγία, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κλπ.). Εξελίξεις έχουν σημειωθεί και στον τρόπο δέσμμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από τον Α/Κ σε άλλη αναβαθμισμένη μορφή ενέργειας. Τα Βασικότερα μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι τα ακόλουθα:

- Η περωτή ή ρότορας ή δρομέας
- Το κιβώτιο ταχυτήτων.
- Η ηλεκτρική γεννήτρια.
- Ο πύργος στήριξης.
- Το σύστημα ελέγχου της όλης λειτουργίας.



Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας παρουσιάζεται στο (σχ. 2.1.)



Σχήμα 2.1. διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας

Η διάταξη αυτή είναι μία γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης (πχ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένος ο Α/Κ, δηλ. απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας.

Σ' αυτή την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στο τόπο κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό οι έρευνες έχουν στραφεί προς την κατεύθυνση μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα του Α/Κ σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της.

Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το χρόνο. Είναι επίσης γεγονός ότι πολλές φορές δεν πνέει καθόλου άνεμος για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά έχουν ως συνέπεια χρονική ασυμφωνία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται βασικά στην αποθήκευση ενέργειας.

Η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει το ενεργειακό πρόβλημα που παρουσιάζεται, όταν η

ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενεργειακής ζήτησης και τα χαρακτηριστικά άλλων πηγών ενέργειας που υπάρχουν για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός πλήρους συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει:

1. Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του Α/Κ και την πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας.
2. Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικό τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
3. Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.
4. Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
5. Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς ενέργειας, αν απαιτείται.
6. Διερεύνηση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς κατανάλωση.

### **3 ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

#### **3.1 Ορισμοί**

Λόγω της διάδοσης της διεσπαρμένης παραγωγής, αρχίζει να υπάρχει ενδιαφέρον και για Α/Γ ονομαστικής ισχύος μικρότερης των 100 kW. Τέτοιου είδους μονάδες αναμένεται να έχουν διείσδυση σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης, ενώ η σημαντικότερη αγορά για αυτού του είδους μονάδες αφορά εφαρμογές τροφοδοσίας απομονωμένων οικισμών για τους οποίους η επέκταση δικτύου είναι αδύνατη ή πολύ ακριβή. Οι περισσότερες από αυτές τις Α/Γ χρησιμοποιούν πλέον γεννήτριες μονίμων μαγνητών (permanent magnet generators PMG) που η ισχύς τους και η ταχύτητα περιστροφής τους είναι ποσά σχεδόν ανάλογα.

Σε Α/Γ με διάμετρο μικρότερη του 1m, μπορεί ακόμη και να μην εφαρμόζεται κανένα μέτρο περιορισμού της ισχύος τους και η παραγόμενη ισχύς να αυξάνεται, όσο αυξάνει η ταχύτητα ανέμου με την αύξηση να περιορίζεται με τη μείωση της αεροδυναμικής απόδοσης των πολλαπλών πτερυγίων που χρησιμοποιούν, με την αύξηση της ταχύτητας ανέμου. Σε περίπτωση σύνδεσης τέτοιων Α/Γ συνίσταται να χρησιμοποιείται ένα επαγωγικό φορτίο απόρριψης προκειμένου να αποφεύγεται η πιθανότητα καταστροφής τους σε υψηλές ταχύτητες.

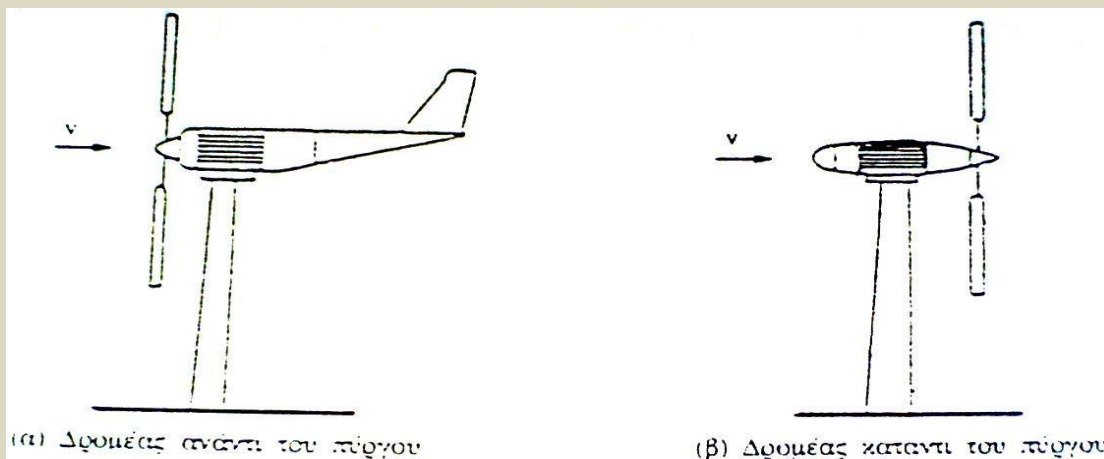
Για μεγαλύτερης ισχύος Α/Γ χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές ελέγχου προκειμένου να την προστατεύσουν από υπερφόρτιση των μηχανικών και ηλεκτρικών της μερών που μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και σε καταστροφή της ιδιαίτερα κατά την περιστροφή τους εν κενώ φορτίο. Μια αρκετά συνηθισμένη μέθοδος ελέγχου των μικρών Α/Γ στηρίζεται σε πρακτικές των παλαιών μωλωνάδων αλλά και των ιστιοπλόων σε περιόδους υψηλών ταχυτήτων ανέμου. Να μειώνουν την επιφάνεια των πανιών τυλίγοντάς τα. Ο στόχος είναι να μειωθεί η περιοχή που σαρώνουν τα πτερύγια της Α/Γ, είτε με αλλαγή της ισοδύναμης περιοχής της έλικας (furling) ή να αλλάξει η κατεύθυνση περιστροφής του ρότορα σε περισσότερο υπήνεμες περιοχές (tilting). Και στις 2 περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι η καμπύλη ταχύτητας-ισχύος της Α/Γ να διαφέρει σημαντικά από εκείνη που παρουσιάζεται στο Σχ. 2.1 και να έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στο Γράφημα 8.1. Η επίπτωση αυτού του τρόπου ελέγχου στην παραγωγή ισχύος είναι φανερή στη μείωση της παραγωγής ισχύος στην περιοχή ταχυτήτων 14-17m/s με σταθεροποίηση της παραγόμενης ισχύος στα 3kW για ταχύτητα μεγαλύτερη από 17 m/s έως 50m/s, την ταχύτητα επιβίωσης (survival speed) της Α/Γ, τιμή σημαντικά υψηλότερη από εκείνη που λειτουργούν αρκετές

μεγαλύτερες Α/Γ. Τέτοιες λύσεις είναι λιγότερο πολύπλοκες από τις μεθόδους έλεγχου βήματος pitch ή λειτουργίας με τη βοήθεια αεροδυναμικού ελέγχου (stall) που χρησιμοποιούνται στις αρκετά μεγαλύτερες Α/Γ αλλά και από κατασκευαστές μικρών Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος. Τελευταίες εξελίξεις σε σχετικά μικρές σε ισχύ Α/Γ περιλαμβάνουν τη χρήση maximum power point tracking (MPPT) που με τη βοήθεια ηλεκτρονικών ισχύος και PWM διαμόρφωσης μπορούν να προσαρμόσουν την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα, ώστε να πετύχουν κατά το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση μετατροπής. Το αποτέλεσμα έλεγχου είναι αντίστοιχο με εκείνο των μεγαλύτερων Α/Γ μεταβλητών στροφών, ειδικά σε περιόδους με χαμηλές ταχύτητες ανέμου, με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα από τη διασύνδεση με το δίκτυο.

### 3.2 Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου άξονα

Παρακάτω παραθέτουμε μία σειρά από στοιχεία που αφορούν τους Α/Κ οριζοντίου άξονα σε σχέση με το τεχνική κομμάτι κατασκευής και σχεδίασης τους. Στοιχεία που πιθανόν να φανούν στρυφνά και δυσκολονόητα σε κάποιον που δεν έχει απασχοληθεί με το συγκεκριμένο αυτό θέμα. Αξίζει όμως να τα προσέξουμε για να έχουμε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τους Α/Κ ως προς την λειτουργία τους και ως προς τον τρόπο κατασκευής τους.

Ο περιστρεφόμενος μηχανισμός τέτοιων μηχανών, που καλείται δρομέας, μπορεί να έχει από ένα πτερύγιο μέχρι 30 ή και περισσότερα.

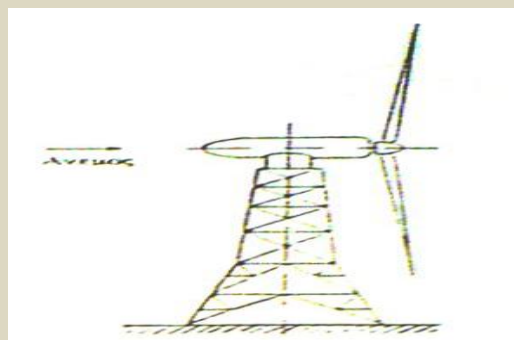


Σχήμα 3-1 θέση δρομέα ως προς πύργο

Σε σχέση με τη θέση του δρομέα ως προς τον πύργο στήριξης και την διεύθυνση του ανέμου, οι Α/Κ αυτού του τύπου μπορούν να έχουν τον δρομέα μπροστά από τον πύργο (άναντι) - πίσω (κάταντι), σχ. 3-1 (α,β). Για τη μεγιστοποίηση δεύσμεσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου απαιτείται όπως το επίπεδο του δρομέα του Α/Κ να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου. Για το σκοπό αυτό στους μεν μικρής ισχύος Α/Κ (και στον άναντι τύπο) υπάρχει συνήθως περύγιο που ευθυγραμμίζει τον άξονα του δρομέα στον άνεμο, στους δε μεγάλους Α/Κ εφαρμόζονται συστήματα αυτόματης ρύθμισης της σωστής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο μέσω σερβομηχανισμού.

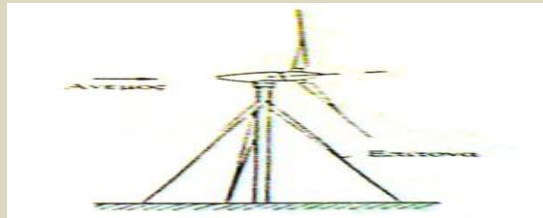
Στους μικρούς άνεμο κινητήρες με το δρομέα κατάντι δεν τοποθετείται περύγιο προσανατολισμού γιατί το κουβούκλιο που καλύπτει τα εξαρτήματα της διάταξης μετατροπής της ενέργειας του δρομέα έχει τέτοιο σχήμα ώστε το ίδιο να αποτελεί περύγιο προσανατολισμού, σχήμα 3-1β. Ο πύργος στήριξης του Α/Κ μπορεί να είναι σωληνωτού τύπου 5, ή τύπου δικτυώματος, σχ. 3-2.

Οι δύο αυτοί τύποι είναι αυτοστηριζόμενοι, ενώ ο τρίτος τύπος λεπτής κολώνας, απαιτεί πρόσδεση με συρματόσχοινα. Ο δρομέας του ανεμοκινητήρα δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποια μέγιστη γωνιακή ταχύτητα για λόγους προστασίας των περυγίων από μηχανικές καταπονήσεις που προέρχονται από φυγόκεντρες δυνάμεις. Για την προστασία έναντι υπερταχύνσεως έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αυτοματισμοί, όπως λειτουργία αεροπέδης στα ακροπερύγια του δρομέα, γωνιακή στροφή του δρομέα ως προς τη διεύθυνση πνοής του ανέμου κλπ. Στην περίπτωση ανάγκης πέδησης του δρομέα είτε γιατί υπερταχύνθηκε ο δρομέας (πχ. δεν λειτούργησε η αεροπέδη των ακροπερυγίων) ή υπερβολική ταχύτητα ανέμου ή μηδενική ενεργειακή ζήτηση (πχ. διακοπή ΔΕΗ), χρησιμοποιείται αυτόματης ενέργειας πέδη ασφάλειας αστοχίας τύπου δίσκου που ενεργεί είτε στον χαμηλόστροφο άξονα του δρομέα (πριν το κιβώτιο ταχυτήτων) είτε στον υψηλόστροφο (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων) σχ.3-2.

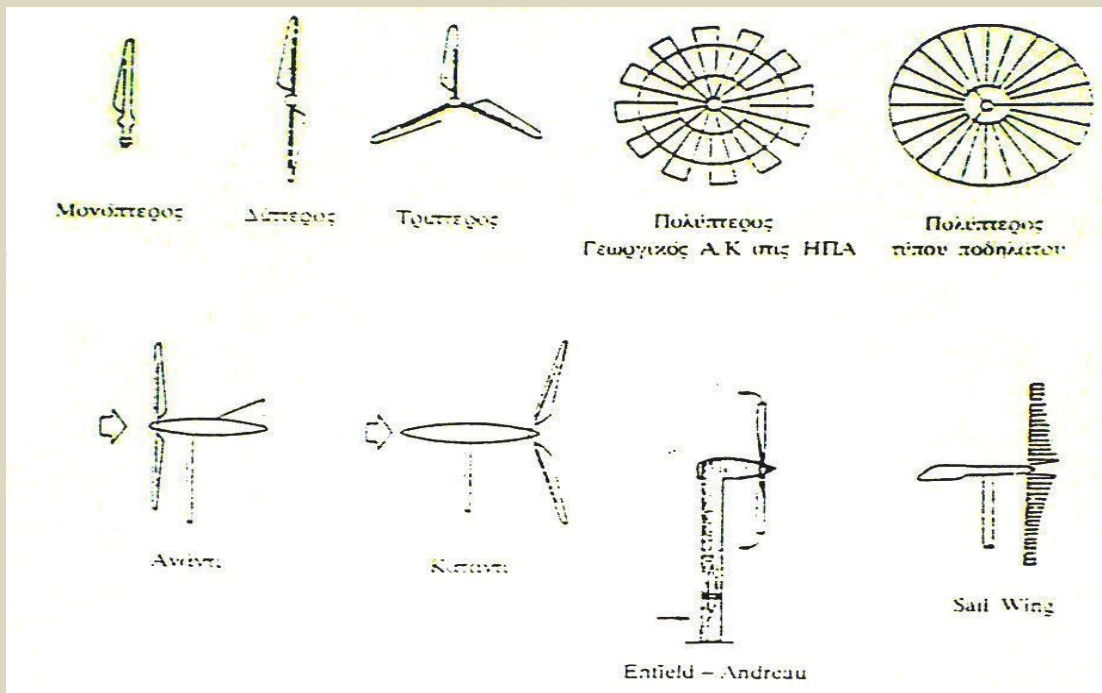


Σχήμα 3-2 Α/Κ με πύργο δικτυώματος

Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας, το οποίο στεγάζεται μέσα στο κουβούκλιο της μηχανής, συνήθως βρίσκεται πάνω στον πύργο του Ν Κ, ενώ στις περιπτώσεις απ' ευθείας χρήσης της μηχανικής ενέργειας του δρομέα πχ. για άντληση νερού, το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται κάτω στη βάση του πύργου και από την κορυφή του πύργου μέχρι κάτω κατεβαίνει ο άξονας κίνησης, συνήθως σε υψηλότερες στροφές απ' αυτές του δρομέα.



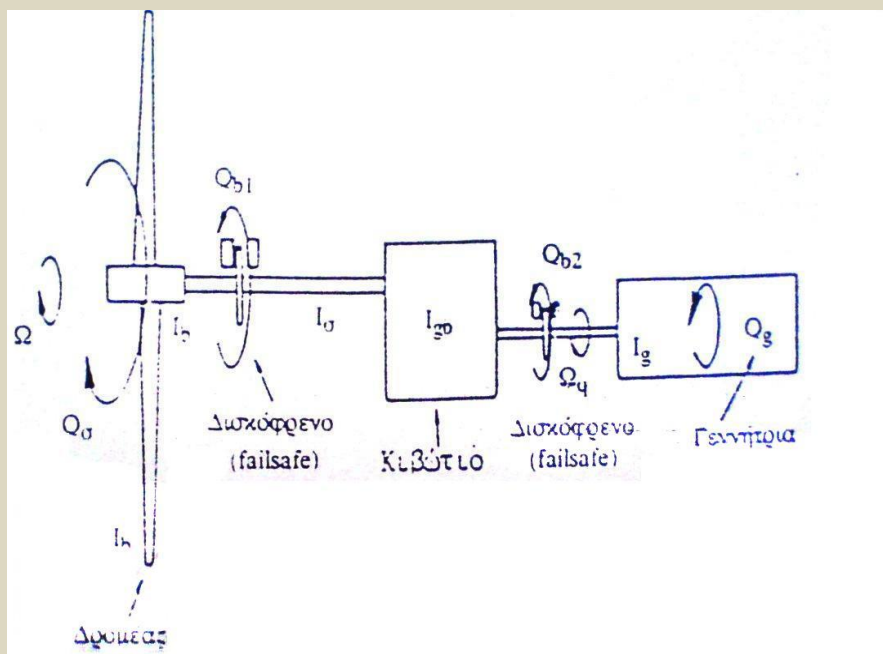
Σχήμα 3-3 Α/Κ με στήριξη επιτόνων



Σχήμα 3-4 τύποι Α/Κ οριζοντίου άξονα

Ο σχεδιασμός του δρομέα είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση ίου όλου συστήματος. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διαφόρων

παραμέτρων που συνθέτουν τον δρομέα: ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές, συστροφή, μέσο γεωμετρικό βήμα. Τα κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της. Η διάμετρος του δρομέα θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης του Α/Κ. Η γωνιακή ταχύτητα λειτουργίας του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής συντελεστή ισχύος του Α/Κ.



Σχήμα 3-5 τυπική διάταξη κουβουκλίου Α/Κ

Η κατανομή του πλάτους των πτερυγίων θα προκύψει από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα ενώ το πλήθος των πτερυγίων (η στερεότητα του δρομέα) θα εξαρτηθεί από το είδος της εφαρμογής του Α/Κ.

Οι δρομείς με λίγα πτερύγια έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια. Έχουν τη μορφή των πτερυγίων των ελίκων των αεροσκαφών με αρκετή συστροφή από τη βάση μέχρι το ακροπτερύγιο. Η τεχνολογία κατασκευής του είναι παρόμοια με εκείνη του δρομέα των ελικοπτέρων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομέα είναι ο μεγάλος συντελεστής ισχύος

και η βέλτιστη λειτουργία του σε μεγάλο σχετικά λόγο ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ. Οι παλαιότεροι δρομείς είχαν πλατειά πτερύγια, ενώ οι σύγχρονοι δρομείς, λόγω αεροδυναμικής βελτιστοποίησης, έχουν λεπτά πτερύγια. Οι αεροτομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πτερυγίων είναι σύγχρονες αεροτομές που παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές σχετικά γωνίες πρόσπτωσης ενώ συγχρόνως διατηρούν χαμηλό συντελεστή αντίστασης σε ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης. Τυπικός εκπρόσωπος τέτοιων αεροτομών είναι η αεροτομή NACA 4412.

Οι δρομείς αυτοί είναι πιο ταχύστροφοι από τους πολυπτερυγους δρομείς και ελαφρώς οικονομικότεροι, παρουσιάζουν δε ευκολία στην επιτόπου συναρμολόγηση του A/K. Γενικά ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% περισσότερο αποδοτικός από τον δίπτερο και τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα αλλά είναι ακριβότερος.

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα κατασκευάζονται από ισχύς μερικών εκατοντάδων Watt μέχρι πάνω από 1 MW. Γενικά διακρίνουμε μικρά μεγέθη (έως λίγα KW) (διάμετρος έως 10 μέτρα), μεσαία μεγέθη (50-250 KW) (διάμετρος έως 25 μέτρα) και μεγάλα μεγέθη (500-2500 KW). Είναι γενικά δύσκολο να ξεπεράσουμε την ισχύ των 2500 KW, γιατί απαιτείται κατασκευή δρομέων πολύ μεγάλης διαμέτρου η οποία συνεπάγεται μεγάλα προβλήματα.

Τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων των δρομέων δεν έχουν ξεκαθαρίσει εντελώς. Στους μικρούς A/K χρησιμοποιείται κυρίως πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, υλικά που δεν υποφέρουν από διάβρωση αλλά έχουν όμως άγνωστη συμπεριφορά σε εναλλασσόμενη φόρτιση. Στους μεσαίου μεγέθους δρομείς χρησιμοποιούνται υαλονήματα με εναλλαγή κατεύθυνσης των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις ενώ στους μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται η τεχνολογία των ελίκων των αεροσκαφών.

Υπάρχουν δρομείς με πτερύγια:

- μεταβλητού βήματος
- σταθερού βήματος

Η μηχανική ρύθμιση ισχύος σε μία A/Γ έχει ως σκοπό να εξισορροπεί, για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, την ισχύ την παραγόμενη από την πτερύγωση με την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης (πχ γεννήτριας), ώστε η εγκατάσταση να μην υπερφορτίζεται.



### 3.2.1 Τεχνικές Ελέγχου

Οι μεγαλύτερες Α/Γ μπορούν να διαχωριστούν σε σταθερών και μεταβλητών στροφών με τις Α/Γ μεταβλητών στροφών να κατέχουν τη συντριπτική πλειονότητα των νέων εγκαταστάσεων στα δίκτυα. Επόμενος διαχωρισμός μπορεί να είναι ανάλογα με το βήμα της έλικας, σταθερού ή μεταβλητού βήματος (fixed pitch ή variable pitch αντίστοιχα). Οι Α/Γ μπορεί να είναι είτε απευθείας συνδεδεμένες με το δίκτυο E.P ή μέσω μετατροπέων συχνότητας.

Οι τρόποι μηχανικής ρύθμισης ισχύος είναι οι ακόλουθοι:

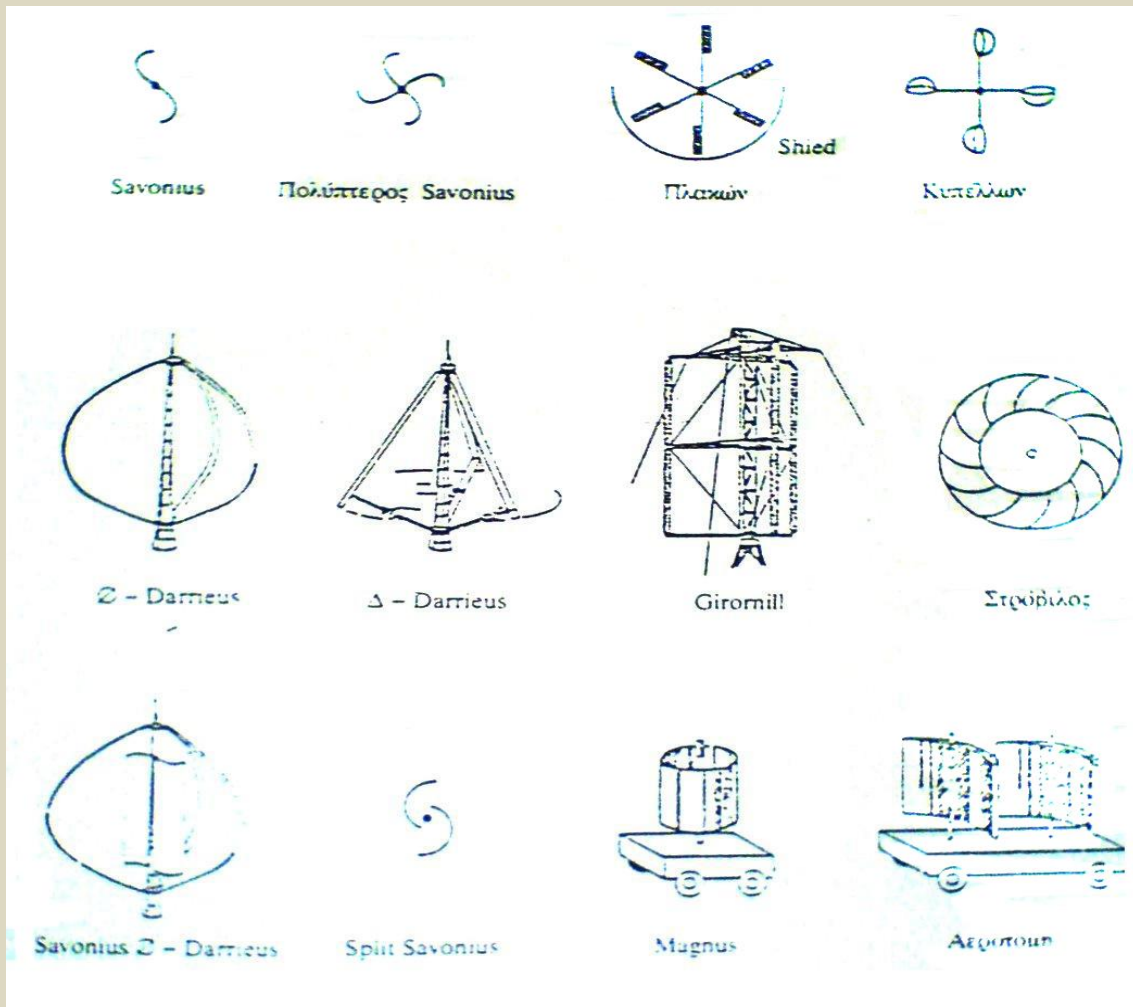
1. Αλλαγή του προσανατολισμού ολόκληρου του πτερυγίου ή μέρους του ως προς την διεύθυνση του ανέμου. Ο τρόπος αυτός απαιτεί την ύπαρξη σερβομηχανισμού και έχει εφαρμογή στις Α/Γ μικρής αλλά κυρίως μεγάλης ισχύος.
2. Ρύθμιση με τη βοήθεια αεροδυναμικών φρένων στα άκρα των πτερυγίων. Η διάταξη αυτή αποτελεί περισσότερο μέσον προστασίας της Α/Γ έναντι της υπερτάχυνσης της και τίθεται σε λειτουργία όταν η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα υπερβεί την επιτρεπομένη τιμή. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περίπτωση υπερβολικής ταχύτητας ανέμου ή όταν ο δρομείς παράγει έργο, ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση.
3. Οι Α/Γ με σύστημα ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου παρουσιάζουν τεχνολογική πολυπλοκότητα στο ρυθμιστικό μηχανισμό και τα πτερύγια είναι ακριβότερα και βαρύτερα. Παρουσιάζουν όμως καλή ρύθμιση ισχύος, μειωμένα αεροδυναμικά φορτία, ευκολία στην εκκίνηση της Α/Γ και συγχρόνως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πέδηση. Αντίθετα οι Α/Γ που δεν έχουν μηχανική ρύθμιση ισχύος (πτερύγιο σταθερού βήματος) είναι απλούστερες τεχνολογικά και φυσικά φθηνότερες, έχουν όμως περίπου 5-10% μικρότερη παραγωγή ενέργειας, μεγαλύτερα φορτία καταπόνησης και απαιτούν δισκόφρενα ασφάλειας αστοχίας ή αεροπέδες.

### 3.3 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου άξονα

Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα, συγκριτικά με τις προηγούμενες δεν περιστρέφονται με την αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου. Άρα είναι σχετικά απλούστερες. Οι μηχανές τύπου Savonius κάθετου άξονα έχουν σχετικά μεγάλη ροπή, αλλά μικρή ταχύτητα ως προς τον άνεμο και μικρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συγκριτικά με το μέγεθος, το βάρος

και το κόστος της μηχανής.

Οι μηχανές τύπου Darrieus έχουν σαν χαρακτηριστικό τους τα καμπύλα πτερύγια και παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές αρχικές ροπές και υψηλές ταχύτητες ως προς τον άνεμο. Άρα έχουμε σχετικά ικανοποιητική παραγωγή ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα που οι Α/Γ κάθετου άξονα έχουν σε σχέση με τις Α/Γ οριζοντίου άξονα αντισταθμίζονται από το ότι έχουν χαμηλή απόδοση συγκριτικά με αυτές του οριζοντίου άξονα.



Σχήμα 2.10 τύποι Α/Κ κατακόρυφου άξονα

### 3.4 Κατασκευαστές μικρών Α/Γ

Η σχεδίαση του συστήματος αύξησης των στροφών του δρομέα για να προσαρμοστεί ο δρομέας στις στροφές της γεννήτριας δεν αφορά άμεσα τη σχεδίαση της Α/Γ. Η τεχνολογική εξέλιξη των ΣΑΣ, λόγω απαιτήσεων της βιομηχανίας, έχει δώσει πολλούς και καλούς τύπους κιβωτίου ταχυτήτων από άποψη αντοχής υλικού, φθοράς, μεταφερόμενης ισχύος και διαστάσεων. Βασικά κριτήρια επιλογής του είναι η διάρκεια

ζωής του, ο βαθμός απόδοσης του και ο θόρυβος λειτουργίας του.

Λόγω της συνεχούς μεταβολής της ισχύος του ανέμου, το κιβώτιο ταχυτήτων λειτουργεί συνεχώς με κρουστικά φορτία τα οποία οδηγούν σε πρόωρη φθορά του υλικού και μείωση της διάρκειας ζωής του κιβωτίου. Για το λόγο αυτό, το κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας επιλέγεται να έχει ονομαστικό μέγεθος ισχύος πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό μέγεθος της μηχανής, ακόμα και ονομαστική ροπή 200% μεγαλύτερη της ονομαστικής ροπής της μηχανής. Διακρίνονται δύο είδη κιβωτίων. Το κιβώτιο με παράλληλες οδοντώσεις γραναζιών (κιβώτιο παράλληλων αξόνων) και το κιβώτιο στο οποίο οι οδοντωτοί τροχοί που χρησιμοποιούνται έχουν ελικοειδή οδόντωση. Το δεύτερο είδος κιβωτίου έχει υψηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης αλλά καλύτερο βαθμό απόδοσης και χαμηλότερη στάθμη θορύβου.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα του Α/Κ:

- Μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή και ενεργοποίησης της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο.
- Στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει παράλληλα προς τον άνεμο.
- Αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με την ενεργοποίηση αεροπέδης.
- Πέδηση του άξονα.

Είναι φανερό ότι ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων στη μηχανή με παράλληλη αύξηση της αντίρροπης. Με τον τρόπο αυτό δεν αναπτύσσονται κρουστικά φορτία στη φάση πέδησης της μηχανής. Σε περίπτωση αστοχίας όμως των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου ή των άλλων μεθόδων ρύθμισης ισχύος απαιτεί η πέδηση του άξονα του δρομέα. Η πέδηση αυτή γίνεται συνήθως με δισκόφρενο τύπου ασφάλειας αστοχίας που ενεργεί αυτόματα στον άξονα.

Το δισκόφρενο αυτό συνήθως τοποθετείται στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής διότι έτσι η απαιτούμενη ροπή πέδησης είναι πολύ μικρή και κατά συνέπεια το δισκόφρενο είναι μικρού κόστους. Συνήθως η πέδη αυτή είναι ηλεκτρομαγνητικού τύπου που ενεργοποιείται αυτόματα με τη διακοπή του ρεύματος δηλαδή η πέδη πάρα μένει πάντα ανοικτή με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητών και σε περίπτωση διακοπής ρεύματος ενεργοποιείται από τα ελατήρια. Τοποθετώντας όμως την πέδη στον υψηλόστροφο άξονα

υπερφορτίζουμε το κιβώτιο ταχυτήτων στη διάρκεια της πέδησης (η ακινητοποίηση της μηχανής γίνεται εντός 2 ή 3 πλήρων στροφών του δρομέα) ενώ συγχρόνως η αντικατάσταση, συντήρηση του κιβωτίου ή και επισκευή του γίνεται προβληματική. Τοποθέτηση του δισκόφρενου στον χαμηλόστροφο άξονα απαιτεί ογκώδες δισκόφρενο και υψηλούς κόστους. Το δισκόφρενο αυτό είναι συνήθως υδραυλικού τύπου ασφάλειας αστοχίας. Στην περίπτωση χρήσης υδραυλικού δισκόφρενου αντιμετωπίζονται προβλήματα διαρροής λαδιού, λειτουργίας αισθητήριων μέτρησης στάθμης και θερμοκρασίας λαδιού κλπ.

Για την σύνδεση αξόνων μεταξύ τους (π.χ. άξονας δρομέα με κιβώτιο ή δισκόφρενο με γεννήτρια κλπ.) απαιτείται ελαστικός σύνδεσμος απορρόφησης κραδασμών.

Συνήθως οι σύνδεσμοι αυτοί βασίζονται στην απορροφητική ικανότητα του καουτσούκ. Σε ακριβές κατασκευές χρησιμοποιείται και υδραυλικού τύπου συμπλέκτης ο οποίος συγχρόνως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέσο προσαρμογής των στροφών του δρομέα στις στροφές της γεννήτριας και έτσι η μηχανή να δουλεύει σε σταθερές σύγχρονες στροφές ή σε στροφές μέγιστου συντελεστή ισχύος.

Υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις για την ηλεκτρική γεννήτρια:

- ασύγχρονη γεννήτρια
- σύγχρονη γεννήτρια

Η απλότητα στην κατασκευή και η ευκολία με την οποία συνδέεται στο δίκτυο η ασύγχρονη γεννήτρια, είναι τα πλεονεκτήματα της. Όμως η ανάγκη να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο δημιουργεί προβλήματα όταν η ισχύς της Α/Γ είναι συγκρίσιμη με την ισχύ του ηλεκτρικού δικτύου. Φυσικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, πράγμα που γίνεται στις εφαρμογές φόρτισης συσσωρευτών. Αλλά οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος είναι ογκώδεις και ακριβές.

Όπως αναφέρθηκε, ο δρομέας μπορεί να βρίσκεται πριν από τον πύργο ή μετά από αυτόν (ανάντι και κατάντι μηχανές). Στους ανεμοκινητήρες με ανάντι τοποθέτηση του δρομέα απαιτείται σύστημα προσανατολισμού του δρομέα.

Στις μικρού μεγέθους ή και στους μεσαίου μεγέθους Α/Γ για τον προσανατολισμό χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο (ουρά) που τόσο η επιφάνεια της ουράς όσο και η θέση της ως προς άξονα του πύργου επιλέγονται έτσι ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά το πολύ 10 μοίρες να εξασκείται ροπή επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο

ικανή να υπερνικήσει την αντίρροπη λόγω γυροσκοπικού φαινομένου.

Κριτήρια επιλογής του είδους του πύργου είναι, εκτός από το κόστος του, η ευκολία μεταφοράς του στον τόπο εγκατάστασης της Α/Γ και η ευκολία ανέγερσής του. Το ύψος του πύργου κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι 90 m συνήθως. Δύο είναι κυρίως οι τύποι πύργων που έχουν επικρατήσει, ο σωληνωτός και ο τύπου δικτυώματος.

Ο πύργος τύπου δικτυώματος είναι ευκολότερος στην επιτόπου συναρμολόγηση και ανάρτηση, ελαφρότερος και φθηνότερος. Επειδή έχει πολλά μικρά κομμάτια είναι ευκολότερο να υποστεί ψυχρό γαλβάνισμα σε μικρά γαλβανιτήρια.

Ο σωληνωτός πύργος είναι αισθητικά καλύτερος, το εσωτερικό του πύργου μπορεί να αποτελεί και το θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων της Α/Γ και να έχει εσωτερική σκάλα ή και ανασαέρ πρόσβασης στο κουβούκλιο στην κορυφή του.

Παρουσιάζει όμως δυσκολία στην μεταφορά του, ιδίως από κάποιο ύψος και πάνω και δυσκολία στην ανέγερσή του. Ο σωληνωτός πύργος έχει χαμηλή ιδιοσυχνότητα (μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα του δρομέα) γι' αυτό κατά την εκκίνηση του δρομέα η περιοχή ιδιοσυχνότητας του πύργου πρέπει να περνιέται γρήγορα για αποφυγή φαινομένων συντονισμού. Αντίθετα ο δικτυωτός πύργος έχει υψηλή ιδιοσυχνότητα ως προς την ιδιοσυχνότητα ή και τις πρώτες αρμονικές του δρομέα.

## **4 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ**

### **4.1 Ανεμογεννήτριες Εναλασσομένου ρεύματος**

Ανάλογα με τις διαμορφώσεις του ηλεκτρικού τους μέρους οι Α/Γ μπορούν να χωριστούν στους εξής 4 τύπους [54]:

A. Σταθερών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια.

B. Εν μέρει μεταβλητών στροφών Α/Γ με μεταβλητή αντίσταση δρομέα και γεννήτρια επαγωγής.

Γ. Μεταβλητών στροφών Α/Γ με γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδότησης που επιτρέπουν μερικό έλεγχο συχνότητας

Δ. Μεταβλητών στροφών Α/Γ με πλήρη έλεγχο συχνότητας μέσω ηλεκτρονικών ισχύος που μπορούν να διαθέτουν είτε σύγχρονη γεννήτρια είτε γεννήτρια μόνιμων μαγνητών.

Οι Α/Γ του τύπου Α απαιτούν έγχυση άεργου ισχύος από το δίκτυο και είναι η τεχνολογία που πρώτα διείσδυσε στην αγορά Α/Γ. Αυτές οι Α/Γ δεν μπορούν να προσφέρουν δυνατότητες ελέγχου στους διαχειριστές των ΣΗΕ και μπορούν να αποσυνδεθούν ακόμη και μετά από σχετικά ήπιες διαταραχές.

Οι Α/Γ τύπου Β αναπτύχθηκαν κυρίως από την εταιρεία Vestas, απαιτούν ποσότητες άεργου ισχύος αλλά μπορούν να εξομαλύνουν την παραγόμενη ισχύ με τη βοήθεια μεταβλητής αντίστασης του ρότορα σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι οι τύπου Α. Είναι ελαφρά ανθεκτικότερες στην αποσύνδεση μετά από διαταραχή.

Οι Α/Γ τύπου Γ μπορούν με τη βοήθεια ηλεκτρονικών ισχύος να προσφέρουν άεργο ισχύ στο σύστημα και να περιορίσουν την ισχύ εξόδου, ελέγχοντας την ταχύτητα της γεννήτριας σε περιοχή  $\pm 30\%$  της σύγχρονης ταχύτητας και να είναι ανθεκτικότερες σε περιπτώσεις βλάβης στο δίκτυο διανομής.

Οι Α/Γ τύπου Δ, χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος για να προσφέρουν άεργο ισχύ και ομαλότερη λειτουργία με το δίκτυο. Συνάμα προσφέρουν σημαντική αντοχή στη διατήρησή τους σε διασύνδεση σε περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο με δυνατότητα συμμετοχής στον έλεγχο τάσης και συχνότητας αποφεύγοντας μεταβατικές ταλαντώσεις ώστε να συμφωνούν με τους ολοένα και αυστηρότερους κώδικες δικτύου για τις Α/Γ.

#### 4.1.1 Με ασύγχρονη γεννήτρια

Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες στον κόσμο χρησιμοποιούν τριφασικές ασύγχρονες γεννήτριες με κλωβό. Αυτός ο τύπος γεννήτριας παρόλο που δεν χρησιμοποιείται ευρέως, είναι πολύ διαδεδομένος εκτός από την βιομηχανία των ανεμογεννητριών, και στα μικρά υδροηλεκτρικά. Το περίεργο με αυτού του είδους τη γεννήτρια είναι ότι αρχικά είχε σχεδιαστεί ως ηλεκτρικός κινητήρας. Για την ακρίβεια το ένα τρίτο της παγκόσμιας ηλεκτρικής κατανάλωσης χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ασύγχρονων κινητήρων μέσα σε εργοστάσια, αντλίες, ανελκυστήρες, και άλλες εφαρμογές όπου είναι απαραίτητη η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική.

Ένας λόγος επιλογής του κινητήρα αυτού είναι η αξιοπιστία του και ότι είναι σχετικά φθηνός. Η γεννήτρια έχει ακόμα κάποια χαρακτηριστικά που είναι χρήσιμα για τις ανεμογεννήτριες. Έχει αυξημένη δυνατότητα ολίσθησης, και μια ικανότητα υπερφόρτωσης.

Η ασύγχρονη γεννήτρια με κλωβό έχει ένα δρομέα ο οποίος τη διαφοροποιεί από τη σύγχρονη γεννήτρια. Ο δρομέας αποτελείται από μεταλλικές ράβδους (συνήθως αλουμινίου) που ενώνονται ηλεκτρικά με αλουμινένιους δακτυλίους. Ένα ισχυρό πλεονέκτημα αυτού του τύπου δρομέα είναι ότι προσαρμόζεται αυτόματα στα ζεύγη πόλων του στάτη.

Αν ο δρομέας περιστρέφεται ακριβώς στην σύγχρονη ταχύτητα τότε το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με ακριβώς την ίδια ταχύτητα, δεν υπάρχουν φαινόμενα επαγωγής, και δεν αλληλεπιδρά με το στάτη. Αν η ταχύτητα υπερβεί την σύγχρονη ταχύτητα τότε ο δρομέας περιστρέφεται γρηγορότερα από το μαγνητικό πεδίο με συνέπεια να παρέχεται στο δίκτυο ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ταχύτητα της ασύγχρονης γεννήτριας μεταβάλλεται με την εφαρμοζόμενη περιστροφική δύναμη. Στην πράξη, η διαφορά μεταξύ της περιστροφικής ταχύτητας στη μέγιστη ισχύ και στη χαμηλή είναι πολύ μικρή, της τάξης του 1 %. Η διαφορά αυτή σε ποσοστό της σύγχρονης ταχύτητας καλείται ολίσθηση της γεννήτριας. Γι' αυτό μια γεννήτρια με δυο ζεύγη πόλων θα περιστρέφεται αργά στις 1500 rpm όταν είναι συνδεδεμένη με δίκτυο συχνότητας 50 Hz.

Αν η γεννήτρια παράγει τη μέγιστη ισχύ της θα λειτουργεί στις 1515 rpm. Η παρακάτω σχέση είναι ο ορισμός της ολίσθησης μιας ασύγχρονης μηχανής. Το μέγεθος  $s$

εκφράζει την ποσοστιαία διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από την σύγχρονη ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Στην κατάσταση ηρεμίας  $n = 0$  και επομένως  $s = 1$ , ενώ για  $n = n_s$  η  $s = 0$ . Αν ο δρομέας στραφεί γρηγορότερα από το στρεφόμενο πεδίο ( $n > n_s$ ), τότε η ολίσθηση γίνεται αρνητική και είναι η περίπτωση της λειτουργίας της μηχανής ως γεννήτρια.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι η γεννήτρια θα αυξάνει ή θα μειώνει ελαφρώς τις στροφές όταν η περιστροφική δύναμη μεταβάλλεται. Αυτό έχει ως συνέπεια μικρότερη καταπόνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων, και αυτός είναι ένας από τους σοβαρότερους λόγους για τη χρήση ασύγχρονης γεννήτριας παρά σύγχρονης σε ανεμογεννήτριες που είναι άμεσα συνδεδεμένες με το δίκτυο.

Στην ασύγχρονη γεννήτρια, ο στάτης πρέπει πριν λειτουργήσει να μαγνητιστεί από το δίκτυο. Υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργήσει η ασύγχρονη γεννήτρια σε αυτόνομο δίκτυο, όμως, πρέπει να παρέχονται πυκνωτές που να δίνουν το απαραίτητο ρεύμα μαγνήτισης. Επίσης είναι απαραίτητο ο δρομέας να έχει έναν εναπομείναν μαγνητισμό όταν εκκινήσει η γεννήτρια. Σε άλλη περίπτωση θα χρειαστεί μπαταρία και ηλεκτρονικά ισχύος, ή μια μικρή ντιζελογεννήτρια για να εκκινήσει το σύστημα.

Μια ασύγχρονη μηχανή με δακτυλιοφόρο δρομέα (wound rotor) έχει ένα στάτη παρόμοιο με την ασύγχρονη μηχανή με κλωβό αλλά ένα δρομέα ο οποίος φέρει αυλακώσεις μέσα στις οποίες τοποθετείται ένα τύλιγμα όμοιο με το τύλιγμα του στάτη. Το τύλιγμα του δρομέα συνδέεται ηλεκτρικά με το περιβάλλον (π.χ. αντιστάσεις) διαμέσου “slip rings” (δακτυλίους) και “brushes” (ψήκτρες). Έτσι γίνεται δυνατός ο εξωτερικός έλεγχος των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του ρότορα και με τον τρόπο αυτό επηρεάζεται η τάση του.

Στο δρομέα σχεδόν πάντα οι 3 φάσεις συνδέονται σε αστέρα και τα 3 άκρα τους συνδέονται με τους τρεις δακτυλίους. Οι δακτύλιοι μέσω των ψηκτρών συνδέονται με ένα εξωτερικό κύκλωμα, π.χ. με τρεις ωμικές αντιστάσεις συνδεδεμένες σε αστέρα, ή είναι βραχυκυκλωμένοι.

Εντούτοις δε δίνεται ισχύς στους δακτυλίους. Ο μοναδικός τους στόχος είναι να επιτρέψουν στην αντίσταση να τοποθετηθεί σε σειρά με τα τυλίγματα του δρομέα κατά την εκκίνηση. Τέτοια διάταξη ομαλής εκκίνησης υπάρχει στις γεννήτριες με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα (optislip).



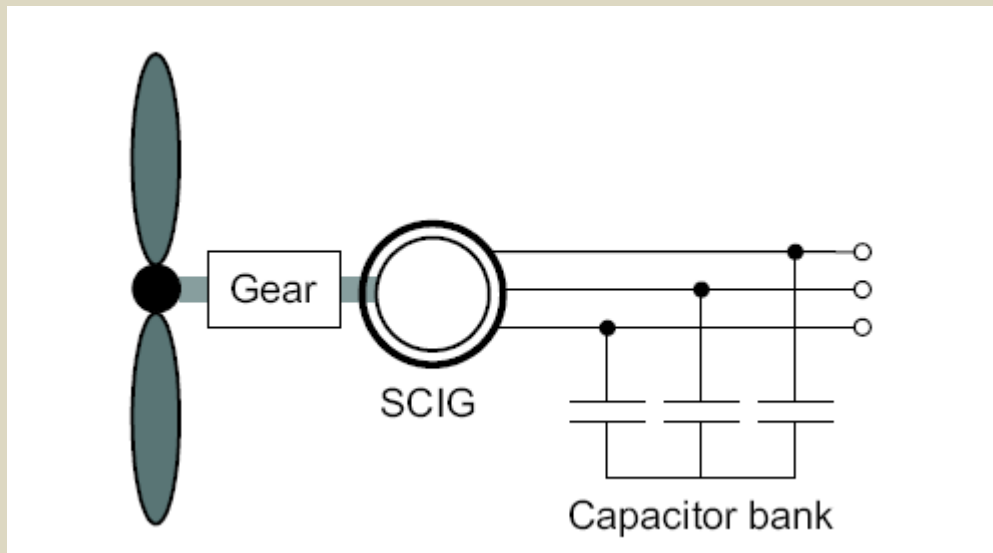
Τοποθετώντας την αντίσταση σε σειρά με τα τυλίγματα του δρομέα όχι μόνο μειώνεται το ρεύμα εκκίνησης , αλλά αυξάνεται και η ροπή εκκίνησης . Η ολίσθηση του δρομέα αλλάζει τροποποιώντας τη συνολική αντίσταση του ρότορα μέσω ενός μετατροπέα που συνδέεται στον άξονα του ρότορα. Ο στάτης της γεννήτριας συνδέεται κατευθείαν στο δίκτυο . Αυτή η αντίσταση αποκόβεται όταν η μηχανή έχει ξεκινήσει , ώστε να μοιάζει ο δρομέας ηλεκτρικά με το δρομέα σε μηχανή κλωβού.

Το βασικό πλεονέκτημα είναι η ελαχιστοποίηση του φορτίου στις ανεμογεννήτριες κατά τη διάρκεια των ριπών του ανέμου . Μέσω αυτού του συστήματος η γεννήτρια έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει την ολίσθησή της (σε ένα μικρό εύρος τιμών) και να οδηγηθεί στη βέλτιστη ολίσθηση, εξασφαλίζοντας μικρότερες ταλαντώσεις στη ροπή εισόδου και στην ισχύ εξόδου.

Τα κύρια μειονεκτήματα της γεννήτριας με δακτυλιοφόρο δρομέα είναι ότι είναι πιο ακριβή και όχι τόσο στιβαρή όσο η γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού , το εύρος στο οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητα περιορίζεται στο 0 – 10% καθώς εξαρτάται από το μέγεθος της μεταβλητής αντίστασης του στάτη, ο έλεγχος της πραγματικής και αέργου ισχύος που επιτυγχάνεται δεν είναι αρκετά ικανοποιητικός, ένα ποσοστό ισχύος καταναλώνεται στη μεταβλητή αντίσταση του δρομέα.

#### ***4.1.1.1 Επαγωγική μηχανή σταθερών στροφών***

Ο δρομέας αυτού του τύπου ανεμογεννήτριας διατηρεί σχεδόν σταθερό αριθμό στροφών ο οποίος εξαρτάται μόνο από την αναλογία του κιβωτίου ταχυτήτων, την συχνότητα του δικτύου και το σχεδιασμό της ίδιας της γεννήτριας ενώ είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας του ανέμου. Ο στάτης της μηχανής σταθερών στροφών συνδέεται άμεσα με το δίκτυο όπως φαίνεται στο σχήμα 8. Επειδή λοιπόν η άεργος ισχύς μεταφέρεται σε αυτήν από τον κόμβο του δικτύου είναι αναγκαία η σύνδεση μιας «τράπεζας» πυκνωτών για να γίνεται αντιστάθμιση της φανταστικής ισχύος όποτε αυτό χρειάζεται.

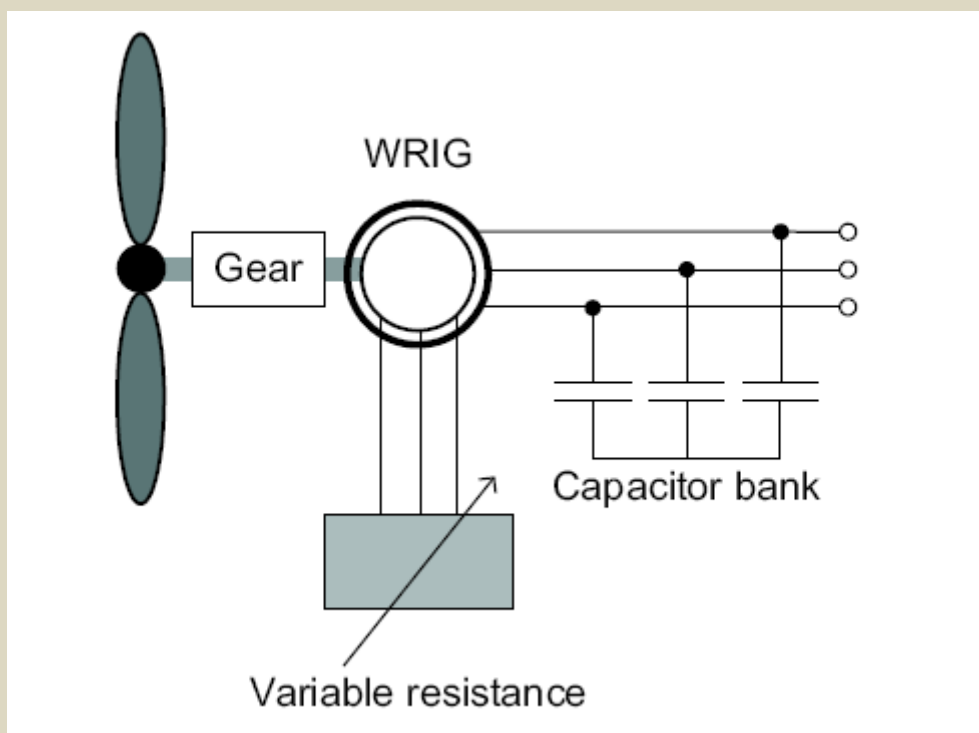


**Σχήμα 8: Επαγωγική μηχανή σταθερών στροφών με πυκνωτές αντιστάθμισης (SCIG : squirrel cage induction generator )**

Η δυνατότητα παραγωγής περιορίζεται από τον αεροδυναμικό σχεδιασμό των πτερυγίων στην περίπτωση που η μέθοδος του ελέγχου απώλειας στήριξης (stall control) χρησιμοποιείται. Για τις μεγαλύτερες μονάδες μέχρι 2.4 MW, ο έλεγχος συχνά τροποποιείται ελαφρώς χρησιμοποιώντας active stall control. Προκειμένου να αυξηθεί η δυνατότητα παραγωγής, η γεννήτρια σταθερών στροφών έχει δύο τυλίγματα στάτη. Το ένα χρησιμοποιείται στις χαμηλές ταχύτητες ανέμου και το άλλο χρησιμοποιείται για ταχύτητες μέσου και ισχυρού ανέμου.

#### ***4.1.1.2 Επαγωγική Μηχανή με ηλεκτρικά μεταβαλλόμενη αντίσταση ρότορα***

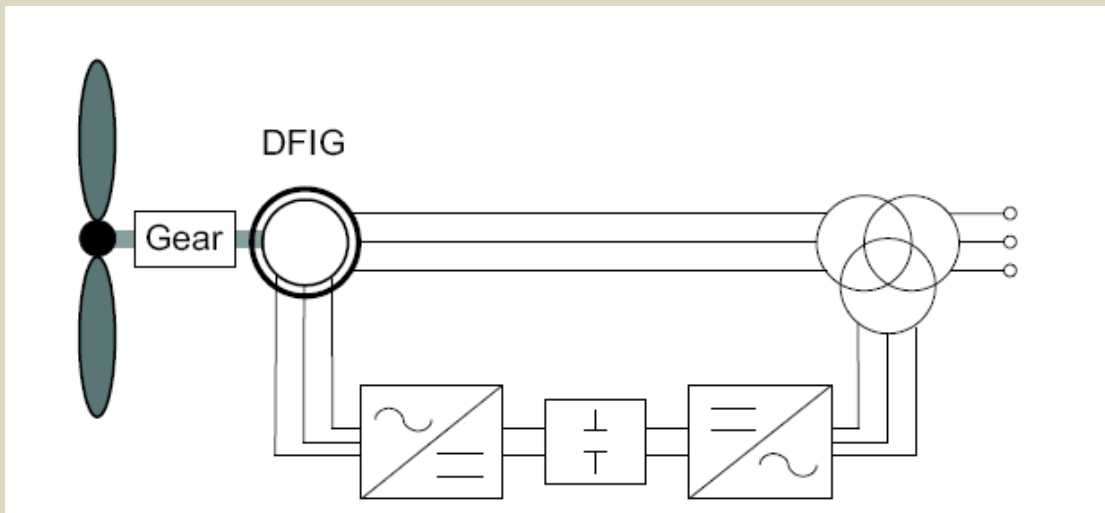
Αυτός ο τύπος γεννήτριας ουσιαστικά είναι πανομοιότυπος με τον προηγούμενο όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9. Ο στάτης συνδέεται και εδώ άμεσα με το δίκτυο και μια τράπεζα πυκνωτών υπάρχει για να παράγει την άεργο ισχύ όποτε είναι αναγκαίο. Το χαρακτηριστικό της γνώρισμα είναι η μεταβλητή αντίσταση που τοποθετούμε στο τύλιγμα του δρομέα (αποτελούμενο συνήθως από ηλεκτρονικό μετατροπέα με αντιπαράλληλα θυρίστορ) και το οποίο μας επιτρέπει να ρυθμίζουμε την ροπή της γεννήτριας άρα και την ταχύτητά της όπως ακριβώς και σε μια απλή ασύγχρονη μηχανή.



Σχήμα 9: γεννήτρια με ηλεκτρικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα

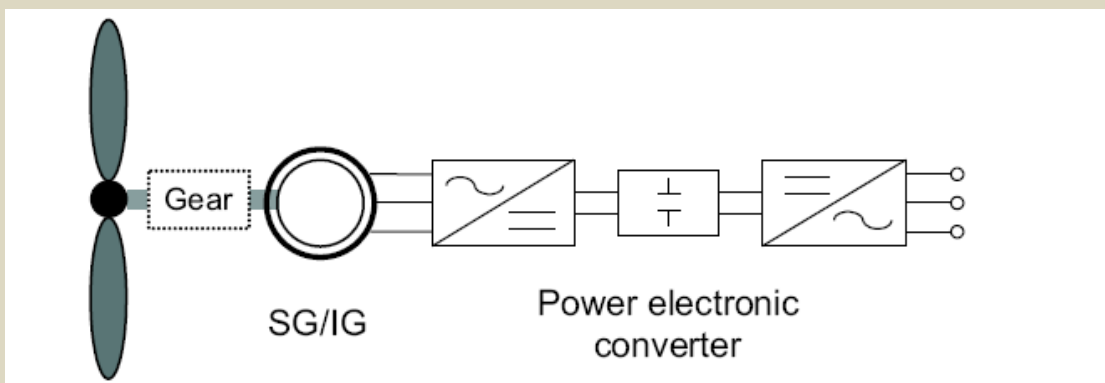
#### 4.1.1.3 Γεννήτρια Μεταβαλλόμενων στροφών με μετατροπέα στον δρομέα (Επαγωγική μηχανή διπλής τροφοδοσίας, DFIG)

Το Σχήμα 10 παρουσιάζει την γεννήτρια μεταβλητών στροφών με έναν μικρής κλίμακας converter σαν ανατροφοδότηση στον δρομέα της, γνωστή και ως DFIG (Doubly-Fed Induction Generator). Σε αυτόν τον τύπο γεννήτριας ο στάτης είναι συνδεδεμένος άμεσα με το δίκτυο ενώ τα τυλίγματα του δρομέα είναι συνδεδεμένα με τον μετατροπέα. Ο μετατροπέας εκτιμάται περίπου στο 30% της ισχύς της γεννήτριας. Συνήθως η μεταβολή της ταχύτητας κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ του -40% (υποσύγχρονη λειτουργία) και +30% (υπερσύγχρονη λειτουργία) της σύγχρονης ταχύτητας. Τέλος μέσω του μετατροπέα μας δίνεται η δυνατότητα να ελέγξουμε την άεργο ισχύ.



Σχήμα 10: Επαγωγική μηχανή μεταβαλλόμενων στροφών με μετατροπέα στον δρομέα (Επαγωγική μηχανή διπλής τροφοδοσίας, DFIG)

#### 4.1.1.4 Γεννήτρια Μεταβλητών στροφών με έλεγχο της ολικής ισχύς στον στάτη



Σχήμα 11: Επαγωγική μηχανή μεταβλητών στροφών με έλεγχο της ολικής ισχύς στον στάτη (SG: σύγχρονη γεννήτρια IG: επαγωγική μηχανή)

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 11 αυτός ο τύπος ανεμογεννήτριας μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε επαγωγικού τύπου. Στην περίπτωση που είναι σύγχρονη η γεννήτρια η διέγερση μπορεί να γίνεται είτε με μόνιμους μαγνήτες είτε από ξεχωριστή πηγή συνεχούς ρεύματος. Το κιβώτιο ταχυτήτων σχεδιάζεται έτσι ώστε η μέγιστη ταχύτητα δρομέα να

αντιστοιχεί στην ονομαστική ταχύτητα της γεννήτριας. Ορισμένες ανεμογεννήτριες αυτού του είδους δεν έχουν καθόλου κιβώτιο ταχυτήτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μηχανές παλλαπλών πόλων με μεγάλη διάμετρο.

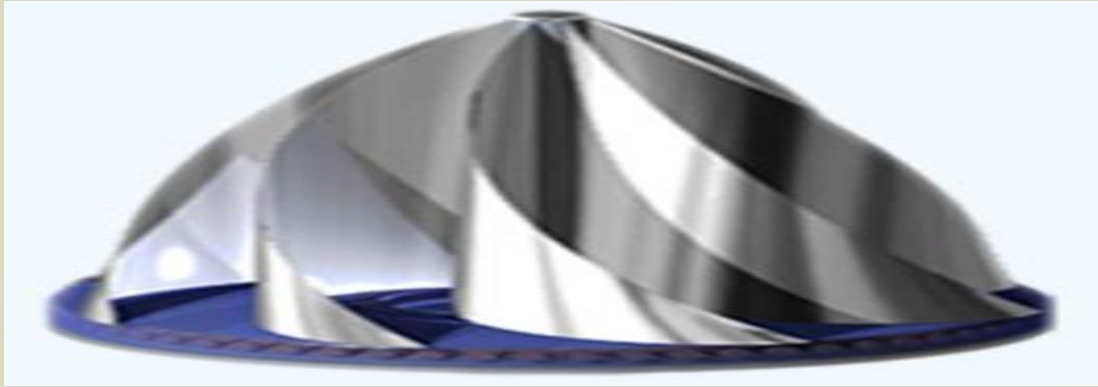
#### 4.1.2 Μόνιμων Μαγνητών

Μια αμφιλεγόμενη τεχνολογία αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας είναι αυτή της μαγνητικής αιώρησης [57]. Είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα και αντικαθιστά τα ρουλεμάν ανάμεσα στον άξονα περιστροφής και στη βάση της γεννήτριας.

Η αρχή της βασίζεται στο γεγονός ότι μεταξύ δύο μαγνητών, ανάλογα με την πολικότητά τους μπορούν να αναπτυχθούν σημαντικές δυνάμεις. Αυτό απαιτεί ισχυρά μαγνητικά πεδία που μπορούν να δημιουργηθούν με ηλεκτρομαγνήτες φτιαγμένους από εξωτικά υλικά (όπως Νεοδύμιο, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στους σκληρούς δίσκους των H/Y). Με αυτό τον τρόπο ο άξονας της γεννήτριας μπορεί να περιστρέφεται και να μεταφέρει την κίνησή του στη γεννήτρια χωρίς να ακουμπούν μεταξύ τους.

Τα οφέλη αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι σημαντικά: μειωμένο κόστος (50%), μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ανέμου που μπορεί να αξιοποιηθεί (από μόλις 1.5 m/s μέχρι και 40m/s) άρα και μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής σε περιοχές με ανέμους χαμηλών ταχυτήτων, λιγότερη και άρα φθηνότερη συντήρηση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, κύρια τμήματα στο επίπεδο του εδάφους.

Τα ερωτήματα που ανακύπτουν αφορούν στο εάν είναι εφικτή η λειτουργία τέτοιων γεννητριών. Καταρχήν χρειάζονται ρεύματα μεγάλης ισχύος για να μένουν οι μαγνήτες στη σωστή απόσταση και να μη συγκρουστούν το οποίο μειώνει κατά πολύ την απόδοση. Ακόμη, τα στοιχεία που δίνονται για την παραγόμενη ισχύ θεωρούνται υπερβολικά ειδικά με βάση τις διαστάσεις που δημοσιοποιούνται. Σαν αρχή λειτουργίας πάντως είχε εξερευνηθεί και σε προηγούμενα χρόνια πριν την ανακοίνωση από την Κίνα των αμφιλεγόμενων δεδομένων που αναφέρθηκαν. Μια πιθανή απεικόνιση είναι και η επόμενη.



Έρευνα επίσης γίνεται στον τομέα του σχεδιασμού των πτερυγίων του δρομέα και ως προς τη δομική αντοχή του, για να αυξηθεί η αξιοποιούμενη ισχύς που εκμεταλλεύεται η γεννήτρια, αλλά και ως προς το σχήμα τους για την αύξηση της απόδοσής τους σε μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ανέμου. Τέλος, γίνονται προσπάθειες να αντικατασταθούν τα κιβώτια ταχυτήτων με άλλους μηχανισμούς που θα έχουν μικρότερες απώλειες.

Οι μεγάλες και εμπορικές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν την ταχύτητα που προσφέρει το κιβώτιο ταχυτήτων για την επίτευξη μείωσης του συνολικού κόστους και του βάρους[58].

Διάφορα εργαλεία και κιβώτια ταχυτήτων χρησιμοποιούνται σε ανεμογεννήτριες για την σύνδεση της χαμηλής ταχύτητας του άξονα και της υψηλής ταχύτητας για να επιτευχθεί η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Αυτά τα κιβώτια ταχυτήτων αυξάνουν τις περιστροφές rpm στις ανεμογεννήτριες στο επίπεδο που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο αναλυτικά: τα γρανάζια συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνουν τις ταχύτητες περιστροφής από περίπου 30 έως 60 περιστροφές το λεπτό (rpm = περιστροφή ανά λεπτό) σε 1000 έως 1800 περιστροφές το λεπτό, που είναι η ταχύτητα περιστροφής που οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να παραγάγουν ηλεκτρισμό. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ακριβό (και βαρύ) εξάρτημα της ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί ερευνούν προς την κατεύθυνση ανεμογεννητριών «άμεσης ώθησης» (“direct-drive”) οι οποίες λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δεν χρειάζονται κιβώτιο ταχυτήτων. Οι ανεμογεννήτριες που είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από πτερύγια τα οποία περιστρέφονται από τον άνεμο και είναι συνήθως συνδεδεμένα σε ένα οριζόντιο άξονα.

Ο άξονας είναι συνδεδεμένος με ένα κιβώτιο ταχυτήτων ή με σύστημα άμεσης ώθησης και τον δρομέα της γεννήτριας, που στεγάζονται στον άτρακτο στο πάνω μέρος της

ανεμογεννήτριας, μαζί με τα λοιπά στοιχεία της μηχανής. Ο δρομέας περιβάλλεται από μια περιέλιξη η οποία φέρει συνεχή ένταση. Ο δρομέας περιστρέφεται, νοούμενου ότι η ροπή που παρέχει ο άνεμος είναι ικανοποιητική. Επομένως δημιουργείται ένας περιστρεφόμενος ηλεκτρομαγνήτης και άρα ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

Η γεννήτρια είναι μια σύγχρονη ηλεκτρική κατασκευή με μόνιμη διέγερση μαγνητών. Το τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα αποκαθίσταται από έναν εσωτερικό διορθωτή[59]. Η γεννήτρια προσαρμόζεται ειδικά στα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά δύναμης του στροφέα. Οι μαγνήτες είναι κατασκευασμένοι από το άριστης ποιότητας υλικό νεοδύμιο και χρησιμοποιούνται για τη βέλτιστη αποδοτικότητα της γεννήτριας. Όλα τα ηλεκτρικά συστατικά διαστασιολογούνται κατάλληλα για τα υψηλά ρεύματα κύματος, τα χαμηλά θερμικά φορτία και την υψηλή διάρκεια.

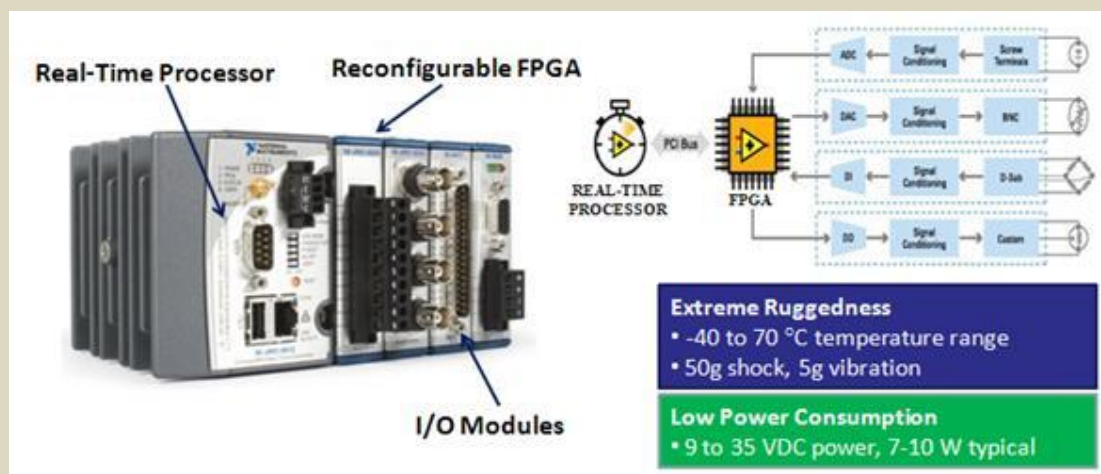
Το κιβώτιο γεννητριών που αποτελείται από αλουμίνιο παρέχει τον τέλειο διασκεδασμό θερμότητας. Τα ρουλεμάν αξόνων των γεννητριών αποτελεί ένας μηχανισμός κατασκευασμένος από ανοξείδωτο, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και το οποίο λαδώνεται και σφραγίζεται ενάντια στην υγρασία και τη σκόνη από του χαμηλού συντελεστή την τριβή.

Η γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί τη διαίτα του άνεμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών, κτλ. Σε κάθε περίπτωση οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες, η σωστή χωροθέτησή τους και η δημιουργία έργων όπως η εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων, μειώνουν σημαντικά την πιθανότητα ζημιών.

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

Ο ελεγκτής ξεκινά την μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 8 με 16 μίλια ανά ώρα και κλείνει από το μηχανήμα σε περίπου 55 μίλια/ώρα. Οι τουρμπίνες δεν λειτουργούν σε ταχύτητες ανέμου πάνω από περίπου 55 μίλια/ώρα επειδή ενδέχεται να καταστραφεί από την υψηλή ανέμους.

Τα συστήματα ελέγχου είναι απλά, αλλά ζωτικής σημασίας μέρη της ανεμογεννήτριας.[60] Εδώ και αρκετό καιρό, ο ρόλος του συστήματος ελέγχου έχει αποκτήσει απλώς αναλογικές και ψηφιακές εισόδους αισθητήρων (τάση, ρεύμα, θερμοκρασία, δονήσεις, ταχύτητα του ανέμου, ταχύτητα περιστροφής, πίεση, κλπ.) από τις διάφορες συνιστώσες (γεννήτρια, κιβώτιο ταχυτήτων, υδραυλικές αντλίες, πίσσα / κινητήρες εκτροπής, Ανεμόμετρο, κλπ.).



Στη συνέχεια, το σύστημα ελέγχου θα συγκρίνει αυτές τις επιμέρους εισροές σε όρια, καθώς και τον υπολογισμό και τη σύγκριση των πολλαπλών εισόδων. Για παράδειγμα, η τάση και η ένταση του ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια, σε σύγκριση με την ταχύτητα του ανέμου για να δούμε αν το αποτέλεσμα αναμένεται εντός ορίων.

Μια νέα τάση στρέφεται προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης προηγμένων υποδομών πληροφορικής και την ικανότητά τους να προσφέρουν το κατάλληλο μοντέλο με βάση τον έλεγχο και την πιο εκτεταμένη επεξεργασία σήματος πέρα από απλές μετρήσεις της στάθμης προς εξαγωγή χαρακτηριστικών για την κωδικοποίηση του σφάλματος.

Αυτές οι πλατφόρμες πληροφορικής επιτρέπουν την ολοκλήρωση της παρακολούθησης της κατάστασης μέσω των προηγμένων αλγορίθμων ελέγχου. Ταυτόχρονα, οι προηγμένες πλατφόρμες επιτρέπουν τον έλεγχο για το σχεδιασμό και την



εφαρμογή του υψηλότερου επιπέδου ελέγχου του ανέμου για τη βελτιστοποίηση της αιολικής εκμετάλλευσης.

Ο πύργος στήριξης είναι ένας σημαντικός παράγοντας ειδικά όσον αφορά το σχεδιασμό ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα. Ο άνεμος φυσάει πιο γρήγορα σε μεγαλύτερα υψόμετρα, λόγω της οπισθέλκουσας της επιφάνειας (στη θάλασσα ή στο έδαφος) και το ιξώδες του αέρα.

Η μεταβολή της ταχύτητας με το υψόμετρο που ονομάζεται διάτμηση αέρα, είναι πιο έντονη κοντά στην επιφάνεια. Συνήθως στην διάρκεια της ημέρας η διακύμανση ακολουθεί τον Εκθετικό Νόμο  $1/7$ , ο οποίος προβλέπει ότι η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται αναλογικά με την έβδομη ρίζα του υψομέτρου. Διπλασιάζοντας το ύψος του στροβίλου, στη συνέχεια, αυξάνει την αναμενόμενη ταχύτητα του ανέμου κατά 10% και την αναμενόμενη ισχύ κατά 34%. Ο διπλασιασμός του ύψος πύργου γενικά απαιτεί τον διπλασιασμό της διαμέτρου, καθώς, η αύξηση της ποσότητας των υλικών ισούται με τον συντελεστή οκτώ.

Στην διάρκεια της νύκτας, ή καλύτερα: όταν η ατμόσφαιρα γίνεται σταθερή, η ταχύτητα του ανέμου κοντά στο έδαφος συνήθως υποχωρεί ενώ αντιθέτως η τουρμπίνα σε υψόμετρο κόμβου δεν μειώνει την ταχύτητα ή μπορεί και να την αυξήσει. Ως αποτέλεσμα, η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη και η τουρμπίνα θα παράγει περισσότερη ενέργεια από ό, τι αναμένεται από τον Εκθετικό Νόμο  $1/7$ : διπλασιάζοντας το υψόμετρο μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα του ανέμου κατά 20% έως 60%.

Μια σταθερή ατμόσφαιρα προκαλείται από την ψύξη της ακτινοβολίας στην επιφάνεια και είναι κοινή σε ένα εύκρατο κλίμα: αυτό συμβαίνει συνήθως όταν υπάρχει (εν μέρει) καθαρός ουρανός τη νύχτα. Όταν (σε μεγάλο υψόμετρο) ο άνεμος είναι ισχυρός (10 μετρητή ταχύτητας ανέμου μεγαλύτερη από περίπου 6 με 7 m / s), η σταθερή ατμόσφαιρα διακόπτεται λόγω των διαταραχών της τριβής και έτσι η ατμόσφαιρα γίνεται ουδέτερη.

Η ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της ημέρας είτε είναι ουδέτερη (μη καθαρή ακτινοβολία συνήθως με ισχυρούς ανέμους και / ή βαριά θόλωση) ή ασταθής. Εδώ και πάλι ο Εκθετικός Νόμος  $1/7$  (για τις εκτιμήσεις της αιολικής ενέργειας) εφαρμόζεται ή αποτελεί τουλάχιστον μια καλή προσέγγιση του προφίλ του ανέμου.

## 4.2 Ανεμογεννήτριες Συνεχούς ρεύματος

Η πρώτη απόπειρα να χρησιμοποιηθεί αιολική μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έγινε στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα, με την ανεμογεννήτρια συνεχούς ρεύματος ισχύος 12 kW η οποία κατασκευάστηκε από τον Brush στις ΗΠΑ. Συνήθως οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν σύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούν στον δρομέα ηλεκτρομαγνήτες που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα το οποίο παρέχεται από το δίκτυο. Αφού όμως το δίκτυο παρέχει εναλλασσόμενο ρεύμα, πρέπει να προηγηθεί ένα στάδιο μετατροπής του εναλλασσομένου σε συνεχές ρεύμα.

Η ταχύτητα μιας γεννήτριας που είναι άμεσα συνδεδεμένη με το τριφασικό δίκτυο είναι σταθερή, προσδιορίζεται από τη συχνότητα του δικτύου, και από τα ζεύγη πόλων του στάτη. Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες με σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούν γεννήτριες με δύο ή τρίαζεύγη πόλων. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται αυτές οι σχετικά υψηλής ταχύτητας γεννήτριες είναι η οικονομία σε μέγεθος και κόστος.

Η μέγιστη δύναμη την οποία μπορεί να ‘αντέξει’ η γεννήτρια εξαρτάται από το μέγεθος του δρομέα. Για δεδομένη ισχύ εξόδου υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ μιας αργόστροφης, μεγάλης και άρα ακριβής γεννήτριας, ή μιας υψηλόστροφης και άρα φθηνότερης μικρότερης γεννήτριας.

### 4.2.1 Τεχνολογία

Λειτουργία σταθερής ταχύτητας σημαίνει ότι ο δρομέας της ανεμογεννήτριας στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών ανεξάρτητα της ταχύτητας του ανέμου. Ο τρόπος σύνδεσης της γεννήτριας με το δίκτυο, είναι ο ίδιος με τον τρόπο σύνδεσης γεννητριών που τροφοδοτούνται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Δηλαδή η σύνδεση γίνεται απευθείας, χρησιμοποιώντας ένα μετασχηματιστή προσαρμογής του επιπέδου τάσης της γεννήτριας, σε αυτό του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Αυτός ο τρόπος σύνδεσης, “επιβάλλει” στην ανεμογεννήτρια την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της. Η γεννήτρια που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε ασύγχρονη. Ειδικότερα δε, όταν χρησιμοποιούνται σύγχρονες μηχανές ως γεννήτριες, ο αριθμός στροφών παραμένει σταθερός, ενώ όταν χρησιμοποιούνται ασύγχρονες μηχανές το εύρος μεταβολών των στροφών εξαρτάται από το φορτίο και είναι περιορισμένο.

Τα συστήματα σταθερών στροφών – σταθερής συχνότητας είναι συστήματα που βασίζονται στην υλοποίηση συστημάτων ελέγχου μεθόδου “stall” (απώλεια αεροδυναμικής

στήριξης, εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων), είτε συστημάτων ελέγχου μεθόδου “pitch” (έλεγχος μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων). Οι συμβατικές ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών διαθέτουν κυρίως γεννήτριες επαγωγής τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού. Ο λόγος που προτιμάται η ασύγχρονη γεννήτρια είναι γιατί είναι κατασκευαστικά απλούστερη κάτι που μειώνει το κόστος και αυξάνει την αξιοπιστία της συγκρινόμενη με τη σύγχρονη γεννήτρια. Επιπλέον η γωνιακή της ταχύτητα μπορεί να μεταβάλλεται σε ένα εύρος λίγο πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Αυτή η δυνατότητα έχει ως αποτέλεσμα να εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις της ισχύος στην έξοδο της γεννήτριας καθώς και η καταπόνηση του μηχανικού συστήματος μεταφοράς. Το μεγάλο μειονέκτημα που παρουσιάζει είναι ότι, σε αντίθεση με την σύγχρονη γεννήτρια, απορροφά άεργο ισχύ. Για την τροφοδοσία της ασύγχρονης γεννήτριας με άεργο ισχύ, συνδέονται στους ακροδέκτες των τυλιγμάτων της κατάλληλοι πυκνωτές.

Το σύστημα σταθερών στροφών παρουσιάζει το πλεονέκτημα της εξαιρετικής απλότητας και αξιοπιστίας και των μηδενικών αναγκών συντήρησης, γεγονός που συνέβαλε στην καθιέρωσή του, σε μια εποχή όπου η αξιοπιστία ήταν το βασικότερο από τα προς επίλυση προβλήματα των ανεμογεννητριών. Ταυτόχρονα, όμως, το σχήμα αυτό χαρακτηρίζεται από μια σειρά από καθοριστικά μειονεκτήματα, τα οποία σχετίζονται αφ’ ενός με την σταθερότητα των στροφών και αφ’ ετέρου με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της μηχανής επαγωγής. Εάν η μεταβαλλόμενη αεροδυναμική ροπή περιέχει αρμονικές συνιστώσες, που βρίσκονται κοντά στις συχνότητες συντονισμού του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της ισχύος, θα εμφανιστούν έντονες ταλαντώσεις σ’ αυτό αλλά και στην ισχύ εξόδου της γεννήτριας. Συνεπώς έχουμε αυξημένη μεταβλητότητα ροπών και της ισχύος εξόδου, ταλαντώσεις του μηχανικού συστήματος και τέλος λειτουργία του δρομέα σε υποβέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή.

#### 4.2.2 Αντιστροφείς

Η διασύνδεση του αιολικού πάρκου με το AC δίκτυο γίνεται στο σημείο κοινής σύνδεσης, όπου η συνεχής τάση, με την οποία γίνεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο, πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη. Η εναλλασσόμενη αυτή τάση πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές που έχουν τεθεί από οργανισμούς και εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου η διασύνδεση του αιολικού πάρκου στο δίκτυο να μην προκαλεί διαταραχές. Η μετατροπή της συνεχούς DC τάσης σε

εναλλασσόμενη AC γίνεται με διατάξεις που ονομάζονται αντιστροφείς DC→AC. Επειδή το δίκτυο είναι τριφασικό, για την διασύνδεση του δικτύου με το αιολικό πάρκο θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τριφασικοί αντιστροφείς.

### **4.3 Κανονισμοί σύνδεσης Α/Γ στο δίκτυο**

Οι μεγαλύτερες Α/Γ, ισχύος άνω των 100 kW, εγκαθίστανται σε ισχυρότερα δίκτυα διανομής σχηματίζοντας συνήθως αιολικά πάρκα στο επίπεδο της μέσης τάσης. Συχνά αυτά τα πάρκα συνδέονται με ανεξάρτητες γραμμές με υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ και σε περιπτώσεις μεγαλύτερης ισχύος πάρκων συνδέονται με δικό τους υποσταθμό στην ΥΤ. Ο διαχωρισμός για τους τρόπους σύνδεσης και τις απαραίτητες προστασίες γίνεται σύμφωνα με τους κανονισμούς διαχείρισης δικτύων διανομής και μεταφοράς που γίνονται ολοένα και αυστηρότεροι [61,62]. Τέτοιου μεγέθους Α/Γ ενδιαφέρουν την παρούσα πτυχιακή εργασία σε εφαρμογές που θα μελετηθούν σε αυτόνομα ΣΗΕ.

#### **4.3.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Α.Π.Ε ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Για σταθμούς Α.Π.Ε. εγκατεστημένης ισχύος έως 100 kWp η σύνδεση του σταθμού γίνεται στην χαμηλή τάση ενώ για σταθμούς εγκατεστημένης ισχύος πάνω από 100 kWp η σύνδεση γίνεται στην μέση τάση.

Ειδικά οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις έως και 5kWp συνδέονται μονοφασικά με το δίκτυο χαμηλής τάσης ενώ έως 100 kWp η σύνδεση γίνεται στην χαμηλή τάση τριφασικά, και εφόσον ο σταθμός βρίσκεται δίπλα στο δίκτυο, το κόστος της σύνδεσης είναι περίπου 4.000 Ευρώ. Η αίτηση σύνδεσης στην χαμηλή τάση γίνεται στο τμήμα διαχείρισης δικτύου στα τοπικά γραφεία της ΔΕΗ.

Για φωτοβολταϊκούς σταθμούς εγκατεστημένης ισχύος πάνω από 100 kWp η σύνδεση γίνεται στην μέση τάση, και εφόσον ο σταθμός βρίσκεται δίπλα στο δίκτυο, το κόστος της σύνδεσης είναι περίπου 15.000 Ευρώ. Η αίτηση σύνδεσης στην μέση τάση γίνεται στην Διεύθυνση Διαχείρισης Δικτύου στα κεντρικά γραφεία της ΔΕΗ στην Αθήνα.

Με βάση την παράγραφο 1 του άρθρου 11 του νόμου 3468/2006 σε περίπτωση που η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση βρίσκεται κοντά στο δίκτυο υψηλής τάσης και η σύνδεση πρέπει να γίνει μέσω υποσταθμού μέσης προς υψηλή τάση, που βρίσκεται εκτός του χώρου του σταθμού, ο κάτοχος της άδειας παραγωγής του συνδεδεμένου σταθμού μπορεί να

κατασκευάζει τα έργα σύνδεσης, από τα όρια του σταθμού μέχρι τα όρια του Συστήματος ή του Δικτύου, σύμφωνα με την παράγραφο 4 του άρθρου 2 του ν. 2941/2001 και να αποκτή τη διαχείριση των έργων αυτών, σύμφωνα με όσα προβλέπονται στους αντίστοιχους Κώδικες Διαχείρισης. Για την απαλλοτρίωση ακινήτων ή τη σύσταση επ' αυτών εμπραγμάτων δικαιωμάτων υπέρ του κατόχου της άδειας παραγωγής του συνδεδεμένου σταθμού, με σκοπό την εγκατάσταση των έργων σύνδεσης, εφαρμόζονται αναλόγως οι διατάξεις του άρθρου 15 του ν. 3175/2003 (ΦΕΚ 207 Α'). Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται αναλόγως, υπέρ του κατόχου της άδειας παραγωγής, οι διατάξεις της παραγράφου 8 του άρθρου 9 του ν. 2941/2001. Οι απαιτούμενες εγκρίσεις για την εγκατάσταση των έργων σύνδεσης, κατά τα προηγούμενα εδάφια, χορηγούνται σύμφωνα με τις αναλόγως εφαρμοζόμενες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας που αφορούν τον Κύριο του Συστήματος ή του Δικτύου

#### 4.3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Οι τεχνικές απαιτήσεις για τη σύνδεση σταθμών Α.Π.Ε. με το σύστημα όπως καθορίζονται αυτές από τη ΔΕΗ είναι:

- Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας θα πρέπει να είναι οι εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1

	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Τάση	-20% έως +15% της ονομαστικής	-20% έως +15% της ονομαστικής
Συχνότητα	+/- 0,5 Hz	από 51 Hz έως 47,5 Hz

Πίνακας 3.2.1: προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας

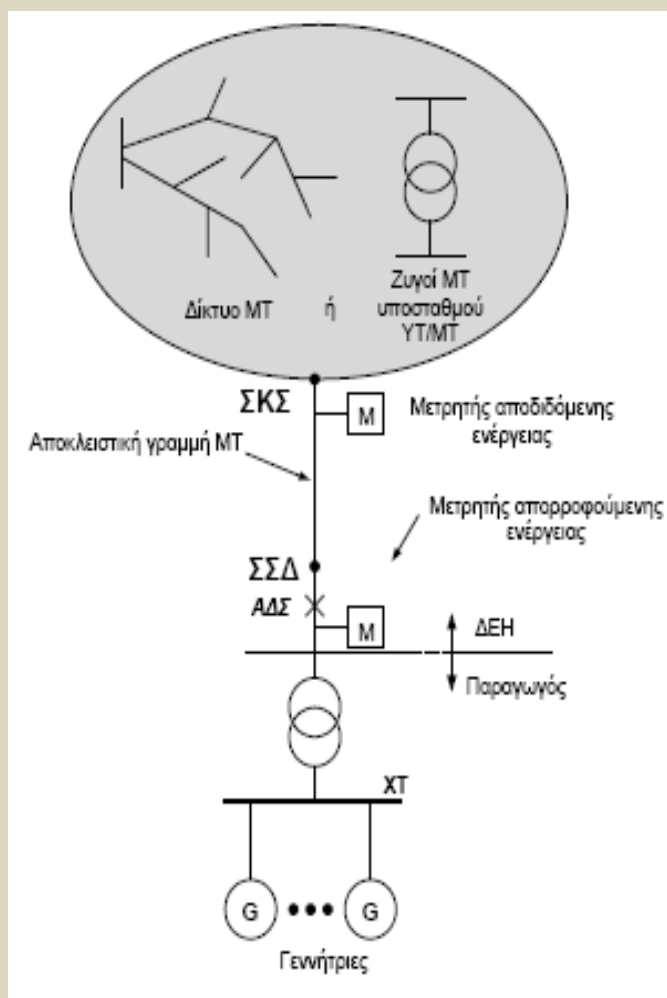
Ιδιαίτερα τώρα για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων, ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

- θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 sec
- επανάζευξη του ανπστροφέα μετά από 3 min

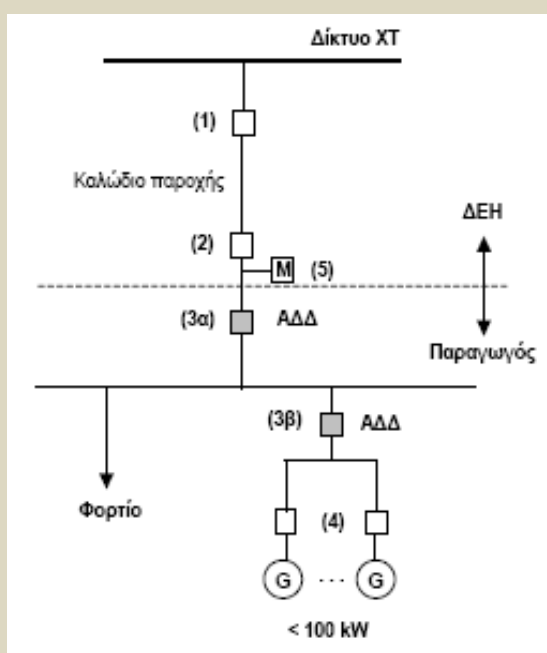
Για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς έχουμε και άλλους τεχνικούς περιορισμούς:

- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
- Εφόσον οι αντιστροφείς δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5% του ονομαστικού.
- Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο VDE 0126.
- Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφέων είτε στα πιστοποιητικά τους.
- Πρόβλεψη προστασίας απόζευξης του σταθμού μέσω διατάξεων του αντιστροφέα ή με άλλο τρόπο, εις τρόπον ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται τόσο σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της ΔΕΗ (προς αποφυγή του φαινομένου της νησιδοποίησης) όσο και στην περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των πιο πάνω ορίων:
- Εάν κατά τη λειτουργία του φωτοβολταϊκού σταθμού διαπιστωθούν προβλήματα αρμονικών, έγχυσης συνεχούς τάσεως στο Δίκτυο κ.λπ., θα πρέπει ο Παραγωγός να λάβει τα κατάλληλα μέτρα (π.χ. φίλτρα), που θα του υποδείξει η ΔΕΗ, προς άρση των προβλημάτων αυτών.

Στα παρακάτω σχήματα 3.1 και 3.2 δίνονται τυπικές συνδέσεις Α.Π.Ε. (συμβολίζονται ως G) στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Στα σχήματα αυτά φαίνονται επίσης και το σημείο σύνδεσης με το δίκτυο (ΣΣΔ) που είναι το σημείο του δικτύου ΜΤ ή ΧΤ όπου συνδέονται οι εγκαταστάσεις του παραγωγού και βρίσκεται πάντοτε στην έξοδο των εγκαταστάσεων αυτών, αλλά και το σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ) που είναι το πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου, στο οποίο συνδέεται (ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά) άλλος καταναλωτής ή παραγωγός. Στο σχήμα 3.2 βλέπουμε και τον αυτόματο διακόπτη διασύνδεσης (ΑΔΔ).

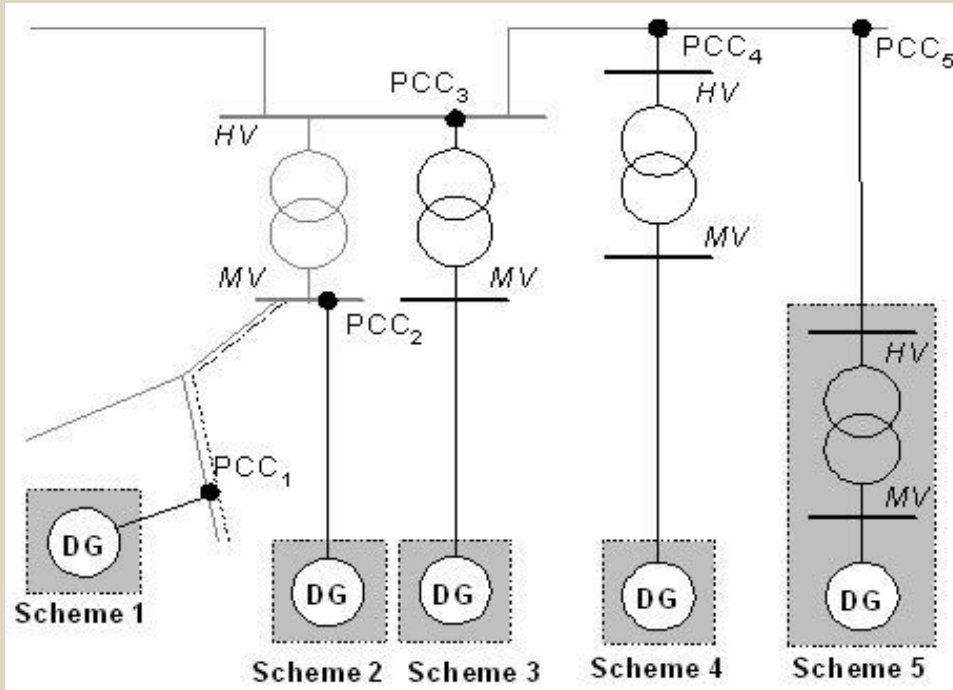


Σχήμα 3.1: Τυπική σύνδεση Α.Π.Ε στο δίκτυο χαμηλής τάσης



**Σχήμα 3.2:**Τυπική σύνδεση Α.Π.Ε. στο δίκτυο χαμηλής τάσης

Στο παρακάτω σχήμα 3.3 βλέπουμε την τυπική σύνδεση Α.Π.Ε. (συμβολίζονται με DG) στη μέση (MV) Scheme 1-4, αλλά και στην υψηλή (HV) μέσω μετασχηματιστή μέσης προς υψηλή τάση Scheme 5. Στο σχήμα αυτό βέπουμε και τα διάφορα σημεία κοινής σύνδεσης (PCC).



**Σχήμα 3.3:**Τυπική σύνδεση Α.Π.Ε. στο δίκτυο μέσης (MV) Scheme 1-4 αλλά και υψηλής (HV) μέσω μετασχηματιστή μέσης προς υψηλή τάση Scheme 5



#### **4.3.3 ΕΝΤΑΞΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΟ ΝΟΜΟ 3468/2006**

Σύμφωνα με το Άρθρο 9 του νόμου 3468/2006 σχετικά με την Ένταξη σταθμών Α.Π.Ε. στο Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. που συνδέονται με το Σύστημα ή το Δίκτυο, εκτός από το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, εφόσον δεν τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια του Συστήματος ή του Δικτύου, ο αρμόδιος Διαχειριστής του Συστήματος ή του Δικτύου υποχρεούται, κατά την κατανομή του Φορτίου, να δίνει προτεραιότητα σε διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής, στις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από Α.Π.Ε., ανεξάρτητα από την Εγκατεστημένη Ισχύ τους.

Στο σημείο αυτό μας δίνεται η ευκαιρία να ξεκαθαρίσουμε ποιος είναι ο Διαχειριστής του Συστήματος και ποιος ο Διαχειριστής του Δικτύου. Για την ηπειρωτική Ελλάδα δηλαδή το διασυνδεδεμένο σύστημα Διαχειριστής του συστήματος είναι ο Δ.Ε.ΣΜ.Η.Ε. ενώ Διαχειριστής του Δικτύου η Δ.Ε.Η. Για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά (μη διασυνδεδεμένο Σύστημα) Διαχειριστής και του Συστήματος και του Δικτύου είναι η Δ.Ε.Η.

Σύμφωνα με το Άρθρο 10 του νόμου 3468/2006 σχετικά με την Ένταξη σταθμών Α.Π.Ε. στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά ορίζεται, ότι ο αρμόδιος Διαχειριστής αυτών υποχρεούται να απορροφά, κατά προτεραιότητα, την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από σταθμό Α.Π.Ε. Παραγωγού ή Αυτοπαραγωγού.

Εκτός από την περίπτωση που αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1 για τη σύνδεση σταθμού στην υψηλή τάση μέσω υποσταθμού μέσης προς υψηλή τάση, σύμφωνα με το άρθρο 11 του νόμου 3468/2006 σχετικά με τη Σύνδεση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. με το Σύστημα ή το Δίκτυο ορίζονται τα εξής:

Για την απαλλοτρίωση ακινήτων ή τη σύσταση επ' αυτών εμπραγμάτων δικαιωμάτων υπέρ του κατόχου της άδειας παραγωγής του νεοσυνδεδεμένου σταθμού, με σκοπό την εγκατάσταση των έργων σύνδεσης, εφαρμόζονται αναλόγως οι διατάξεις του άρθρου 15 του ν. 3175/2003 (ΦΕΚ 207 Α'). Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται αναλόγως, υπέρ του κατόχου της άδειας παραγωγής, οι διατάξεις της παραγράφου 8 του άρθρου 9 του ν. 2941/2001. Οι απαιτούμενες εγκρίσεις για την εγκατάσταση των έργων σύνδεσης,

χορηγούνται σύμφωνα με τις αναλόγως εφαρμοζόμενες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας που αφορούν τον Κύριο του Συστήματος ή του Δικτύου.

Για την κατασκευή των έργων σύνδεσης, ο κάτοχος άδειας παραγωγής εκπονεί σχετική μελέτη, σύμφωνα με τους όρους και τις προδιαγραφές σύνδεσης που ορίζει ο αρμόδιος Διαχειριστής του Δικτύου (Δ.Ε.Η.), ο οποίος και εγκρίνει τη μελέτη αυτή. Πριν από την έγκριση της μελέτης, ο αρμόδιος Διαχειριστής γνωστοποιεί στον οικείο οργανισμό τοπικής αυτοδιοίκησης πρώτου βαθμού, τα βασικά στοιχεία της μελέτης που αφορούν τη χωροθέτηση των έργων σύνδεσης, για την ενημέρωση των ιδιοκτητών στα ακίνητα των οποίων πρόκειται να εγκατασταθούν τα έργα αυτά.

Αν συνδεθεί και άλλος χρήστης με τα έργα σύνδεσης, η διαχείριση του τμήματος των έργων που χρησιμοποιούνται από αυτόν παραχωρείται, από τον κάτοχο της άδειας του σταθμού Α.Π.Ε., στον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος υπεισέρχεται στα σχετικά δικαιώματα και τις υποχρεώσεις. Στην περίπτωση αυτή, η κυριότητα του εδάφους που καταλαμβάνεται από τα έργα σύνδεσης του ανωτέρω τμήματος, καθώς και τα αντίστοιχα έργα σύνδεσης, μεταβιβάζονται στον Κύριο του Δικτύου, ο οποίος καταβάλλει, για την κυριότητα του εδάφους, σχετικό αντάλλαγμα. Ο νέος χρήστης καταβάλλει στον κάτοχο της άδειας παραγωγής του συνδεδεμένου σταθμού αντάλλαγμα, το οποίο καθορίζεται και καταβάλλεται σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας για την υλοποίηση έργων επέκτασης για σύνδεση. Το αντάλλαγμα χρήσης του εδάφους που αναλογεί στα έργα σύνδεσης δεν καταβάλλεται, κατά τα ανωτέρω, αν κύριος του εδάφους είναι το Δημόσιο. Με τους Κώδικες Διαχείρισης του Συστήματος και του Δικτύου που προβλέπονται, αντίστοιχα, στις διατάξεις των άρθρων 19 και 23 του ν. 2773/1999, όπως ισχύει, καθορίζονται, μετά από εισήγηση του αρμόδιου Διαχειριστή και σύμφωνη γνώμη της Ρ.Α.Ε., η διαδικασία και τα κριτήρια καθορισμού του ανταλλάγματος που καταβάλλεται για τη μεταβίβαση της κυριότητας του εδάφους και των έργων σύνδεσης, καθώς και κάθε άλλο σχετικό θέμα και αναγκαία λεπτομέρεια για την εφαρμογή των διατάξεων της παραγράφου αυτής. Με τους ίδιους Κώδικες καθορίζονται ο τύπος και το περιεχόμενο των συμβάσεων σύνδεσης Σταθμών Α.Π.Ε. με το Σύστημα ή το Δίκτυο και κάθε άλλο σχετικό θέμα και αναγκαία λεπτομέρεια.

Για τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα τώρα με την απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης με την οποία εγκρίνεται η Μελέτη Ανάπτυξης του Συστήματος σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 15 του ν.2773/1999, καθορίζονται ο τρόπος κατασκευής και λειτουργίας των έργων διασύνδεσης Μη Διασυνδεδεμένου Νησιού για τη σύνδεση, με το

Σύστημα αυτό, σταθμών Α.Π.Ε., καθώς και ο επιμερισμός των σχετικών δαπανών, με βάση την Εγκατεστημένη Ισχύ των σταθμών αυτών, σε σχέση με τη συνολική ικανότητα μεταφοράς της διασύνδεσης.



## **5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ- ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

### **5.1 Σε αγρούς/υπάιθρο**

Οι ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για την κάλυψη αγροτικών ή κτηνοτροφικών αναγκών. Οι ανεμοκινητήρες του τύπου αυτού είναι ανεξάρτητοι, μη συνδεδεμένοι με δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που φορτίζει συσσωρευτές.

### **5.2 Κριτήρια – Περιορισμοί για τη τοποθέτηση Ανεμογεννήτριας**

Πριν την τοποθέτηση της Ανεμογεννήτριας θα πρέπει να συμπληρωθούν προαπαιτούμενοι περιορισμοί. Καθορίζονται τα περιεχόμενα της μελέτης, τα κεφάλαιά της, και δίνεται ειδική έμφαση σε θέματα τοπίου (για το οποίο προβλέπεται ανάλυση σε βάθος), αρχαιολογίας, πανίδας, θορύβου, φυσικού περιβάλλοντος, φυσικών κινδύνων, και τεχνικών έργων (ραδιοηλεκτρικών και αεροναυτικών). Δίνονται επίσης συγκεκριμένες κατευθύνσεις για ορισμένες κατηγορίες χώρου με ειδικό καθεστώς: εθνικά πάρκα (απαγόρευση), ζώνες του δικτύου Natura 2000 (αποδοχή υπό όρους), φυσικά αποθέματα, κλπ. Οι ΜΠΕ απαιτούνται για έργα με απόδοση 2,5 MWe και πληρώνονται από τους κατασκευαστές. Όπως προαναφέρθηκε το πιο σημαντικό κομμάτι μιας ΜΠΕ είναι η ανάλυση της επίδρασης στο τοπίο. Σε γενικές γραμμές απαιτείται:



Χάρτης της Ζώνης Οπτικής Επίδρασης (δηλ. Περιοχή στην οποία οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές)

Ανάλυση της θέας από τους δρόμους, πεζόδρομους, από πολυσύχναστα υψηλά σημεία και από σπίτια στην γειτνιάζουσα περιοχή.

Εικονογραφημένη ανάλυση της τοποθεσίας και των περιχώρων

Επεξήγηση της εκμετάλλευσης των περιχώρων της τοποθεσίας: τεχνικός χώρος (technical room), διάδρομοι πρόσβασης, καλώδια σύνδεσης κλπ.

### 5.2.1 Εισαγωγή



Πριν γίνει η τοποθέτηση μιας ή περισσότερων ανεμογεννητριών, θα πρέπει ο χώρος στον οποίον θα τοποθετηθούν να είναι κατάλληλος. Δηλαδή, θα πρέπει να τηρούνται κάποια κριτήρια – περιορισμοί σε αυτό το χώρο, οι οποίοι έχουν ως στόχο την αποδοτικότερη λειτουργία των ανεμογεννητριών, την ασφάλεια των ανθρώπων καθώς και την προστασία των περιβαλλοντικών χώρων. Για τον εντοπισμό και τη χάραξη των κατάλληλων αυτών περιοχών χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Αυτές οι έννοιες θα αξιοποιηθούν στο Κεφάλαιο 5 για τη χωροθέτηση Ανεμογεννητριών.

### 5.2.2 Κριτήριο 1 – Ασφάλεια

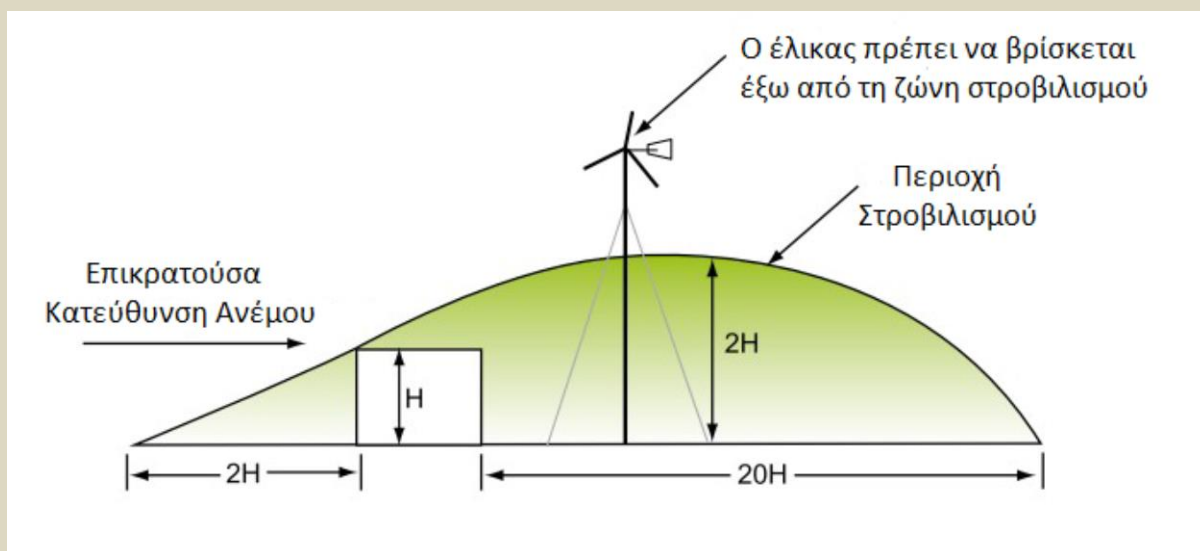
Το πρώτο κριτήριο στοχεύει στην ασφάλεια των ανθρώπων και την προστασία άλλων αντικειμένων από μια ενδεχόμενη πτώση της ανεμογεννήτριας ή τμημάτων αυτής. Παρόλο το γεγονός ότι η πτώση μιας ανεμογεννήτριας δεν είναι ένα σύνηθες γεγονός στις μέρες μας, οφείλουμε να λάβουμε τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα. Γι'αυτό το λόγο πρέπει οι ανεμογεννήτριες να απέχουν τουλάχιστον απόσταση ίση με το ύψος της ανεμογεννήτριας που θέλουμε να τοποθετήσουμε από κάθε αντικείμενο (πχ. Κτίρια, parking κλπ.) καθώς και από κάθε περιοχή όπου συχνάζουν άνθρωποι ( πχ. Δρόμοι, πλατείες, κλπ.).



**Εικόνα 4. : Πτώση μιας ανεμογεννήτριας**

### **5.2.3 Κριτήριο 2 – Στροβιλισμός Αέρα (Turbulence)**

Το δεύτερο κριτήριο οφείλεται στο φαινόμενο του στροβιλισμού του αέρα (turbulence). Η ανατάραξη του αέρα δημιουργεί τυχαίους στροβιλισμούς του αέρα λόγω της ύπαρξης διαφόρων χαρακτηριστικών της επιφάνειας του εδάφους. Οι οργανωμένοι αυτοί στρόβιλοι επηρεάζουν τόσο την παρεχόμενη ισχύ από τον άνεμο όσο και την όλη εγκατάσταση του συστήματος μιας αιολικής μηχανής. Για το υπολογισμό λοιπόν της περιοχής του στροβιλισμού του ανέμου από τα κτίρια, χρειάζονται 3 πράγματα. Το ύψος της ανεμογεννήτριας, η επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου (Prevailing wind direction) και το ύψος των κτιρίων. Η περιοχή όπου επικρατεί το φαινόμενο αυτό είναι αυτή που περιγράφεται από την *εικόνα 2.2*. Δηλαδή, το μέγιστο ύψος της περιοχής του στροβιλισμού είναι  $2 * H$  (όπου  $H =$  Το ύψος του κτιρίου), ενώ το μήκος είναι  $20 * H$  από τη πίσω μεριά και  $2 * H$  από τη μπροστινή μεριά όπου χτυπάει ο άνεμος του κτίριο, με κατεύθυνση την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου.



**Εικόνα 4. :** Εδώ παρουσιάζεται η περιοχή όπου επικρατεί το φαινόμενο του στροβιλισμού του αέρα

#### 5.2.4 Κριτήριο 3 – Περιβαλλοντικοί Περιορισμοί

Το τρίτο κριτήριο στοχεύει στην προστασία του Περιβάλλοντος. Η απρόσεκτη τοποθέτηση μιας ή περισσοτέρων ανεμογεννητριών μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στο περιβάλλον και στο οικοσύστημα που βρίσκεται στη περιοχή. Οι περιοχές αυτές καθορίζονται από τον οργανισμό NATURA 2000 και από τους εθνικούς Δρυμούς (εθνικά πάρκα).

### 5.2.5 Κριτήριο 4 – Περιοχή Μειωμένης Ταχύτητας (Wake Loss Area)



**Εικόνα 4. : Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής με μειωμένη ταχύτητα**

Το τέταρτο κριτήριο ισχύει όταν έχουμε ήδη τοποθετήσει μία ή περισσότερες ανεμογεννήτριες στο χώρο. Η ανεμογεννήτρια που έχει ήδη τοποθετηθεί επιβραδύνει τον αέρα που προσπίπτει σε αυτή και δημιουργείται μια περιοχή χαμηλής ταχύτητας που ανοίγει βαθμιαία λόγω συνεκτικής και τυρβώδους ανάμιξης. Αν αυτό το ρεύμα αέρα συναντήσει δεύτερη ανεμογεννήτρια πριν ολοκληρωθεί η επαναφορά του στις τιμές πριν από την πρόσπτωση με την ανεμογεννήτρια, τότε η απόδοση της δεύτερης ανεμογεννήτριας μειώνεται αισθητά. Η απόδοση της δεύτερης μηχανής εξαρτάται αισθητά από τη θέση της ως προς την πρώτη.

Η περιοχή μειωμένης ταχύτητας (Wake Loss Area) [13] έχει κωνικό σχήμα και το πλάτος της μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση από την ανεμογεννήτρια. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται αυτή η απόσταση το πλάτος της περιοχής μεγαλώνει. Ένα παράδειγμα περιοχής μειωμένης ταχύτητας για μια ανεμογεννήτρια με ακτίνα πτερυγίου  $R$  φαίνεται στην εικόνα 2.6. Το πλάτος της περιοχής αυτής μεταβάλλεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

Στην παραπάνω σχέση με  $d$  συμβολίζεται η κάθετη απόσταση από το σημείο τοποθέτησης της ανεμογεννήτριας. Η απόσταση  $d$  ισούται με  $10 \cdot$  Διάμετρο του έλικα της ανεμογεννήτριας, καθώς για απόσταση μεγαλύτερη από αυτή, η περιοχή μειωμένης απόστασης εξαλείφεται και ο άνεμος αποκτά και πάλι την αρχική του ταχύτητα. Με  $R$

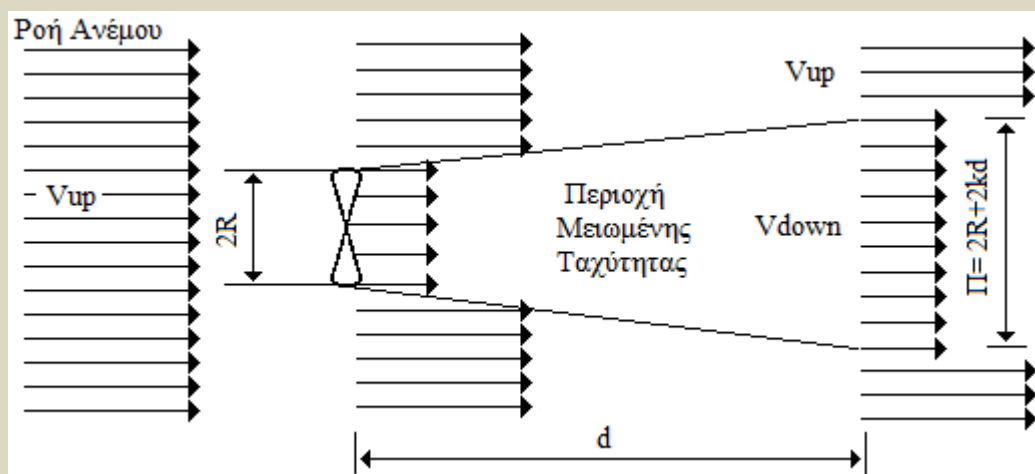


συμβολίζουμε την ακτίνα της ανεμογεννήτριας, ενώ με  $k$  τον συντελεστή διάσπασης που θα αναλύεται παρακάτω.

Ο συντελεστής διάσπασης  $k$  εξαρτάται από δύο παράγοντες. Αυτοί είναι το μήκος της τραχύτητας του εδάφους ( $Z_0$ ) (Κεφάλαιο 4.5.1) και το ύψος του πύργου στήριξης της ανεμογεννήτριας ( $H$ ). Ο συντελεστής διάσπασης  $k$  υπολογίζεται ως εξής:

Η ταχύτητα του ανέμου όταν αυτός προσπίπτει στο μπροστινό μέρος της ανεμογεννήτριας συμβολίζεται ως  $V_{up}$ , ενώ η ταχύτητα του ανέμου μετά την πρόσπτωση (περιοχή μειωμένης ταχύτητας) συμβολίζεται ως  $V_{down}$ . Η σχέση που χαρακτηρίζει αυτές τις δύο είναι  $V_{up} > V_{down}$ .

Στην παραπάνω σχέση με  $G_t$  συμβολίζεται ο συντελεστής ώσης ο οποίος όπως φαίνεται και από το ακόλουθο τύπο εξαρτάται από τον συντελεστή διάσπασης  $k$



Εικόνα 4. : Περιοχή Μειωμένης Ταχύτητας (Wake Loss Area)

### 5.3 Αποστάσεις μεταξύ Α/Γ και κτιρίων

Ο νόμος κάνει σαφές ότι απαιτείται οικοδομική άδεια από τη Νομαρχία για εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρισμό από τη μηχανική ενέργεια του ανέμου σε ύψος υψηλότερο ή ίσο των 12 μέτρων. Η απόκτηση της οικοδομικής άδειας είναι εφικτή μετά την γνωμοδότηση των αρμόδιων φορέων (ανασύνταξη των αντιπροσώπων από κάθε υπουργείο σε τοπικό επίπεδο και των σχετικών τοπικών εταιρειών). Προσδιορίζονται οι

κατηγορίες αιολικών σταθμών για τις οποίες είναι αναγκαία η έκδοση οικοδομικής άδειας, οι αρμόδιες υπηρεσίες, προδιαγραφές σχετικά με τους μελετητές, το περιεχόμενο του φακέλου, τη διαδικασία υποβολής, τη διαδικασία ελέγχου, την ερμηνεία των γενικών πολεοδομικών διατάξεων (πχ. Τι συμβαίνει όταν το σχέδιο χρήσεων γης δεν προβλέπει τη χωροθέτηση αιολικών σταθμών), ειδικές περιπτώσεις όπως ο ορεινός και ο παράκτιος χώρος, Άλλες άδειες που απαιτούνται είναι:

Άδεια παραγωγής ηλεκτρισμού. Ρύθμιση θεμάτων σύνδεσης στο δίκτυο, άδειας εκμετάλλευσης, υποχρεώσεων συνδεδεμένων με την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας,

Συμφωνία με τους αεροναυτικούς κανονισμούς (πολιτικούς και στρατιωτικούς)

Έγκριση από τις Υπηρεσίες Ραδιοηλεκτρισμού και Τηλεπικοινωνιών

Έγκριση από το τμήμα γεωργίας και δασοπονίας

Έγκριση από το τμήμα Αρχιτεκτονικής και Ιστορικών Κτιρίων

Άδεια βιομηχανικής εκμετάλλευσης

#### 5.4 Σε αστικές περιοχές

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμοκινητήρες μέσης και μεγάλης ισχύος μπορεί να γίνεται σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότεροι γνωστές εφαρμογές των ανεμογεννητριών είναι:

- Εξοικονόμηση ενέργειας με Α/Γ. (Οι Α/Γ χρησιμοποιούμενες παράλληλα με μικρούς αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλουν ικανοποιητικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.)
- Αυτόνομη λειτουργία Α/Γ. (Οι Α/Γ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αγροτικές εφαρμογές για άντληση νερού, για φωτισμό, για θέρμανση νερού κλπ. Στις παραπάνω εφαρμογές το όλο σύστημα είναι ανεφοδιασμένο με συσσωρευτές για την περίπτωση άπνοιας του ανέμου)
- Αιολικά πάρκα. (Τα αιολικά πάρκα περιλαμβάνουν πολλές Α/Γ οι οποίες λειτουργούν παράλληλα με το εθνικό δίκτυο του τόπου που βρίσκονται.) Άλλες εφαρμογές. (Οι Α/Γ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αφαλάτωση νερού, αποθήκευση νερού, αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα. φωτισμός φάρων κλπ.)

#### 5.4.1 Στήριξη σε κτίρια

Σε γενικές γραμμές δεν προτείνεται η εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών σε κτίρια. Ο λόγος είναι ότι η λειτουργία της ανεμογεννήτριας επηρεάζεται σημαντικά από την τύρβη που δημιουργεί το ίδιο το κτίριο. Εξάιρεση στον κανόνα αποτελούν οι ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα, που δεν επηρεάζονται σημαντικά από την τύρβη.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες για χρήση σε σπίτια δεν αποδίδουν την ισχύ που υπόσχονται οι κατασκευαστές και σε ορισμένες περιπτώσεις αδυνατούν να τροφοδοτήσουν ακόμα και τα δικά τους ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Σύμφωνα με την έκθεση της συμβουλευτικής εταιρείας μηχανικής Encraft, το πρόβλημα οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οικιακές ανεμογεννήτριες βρίσκονται τοποθετημένες σε ακατάλληλα σημεία. Αντίθετα, οι τουρμπίνες που έχουν εγκατασταθεί σε μεγάλα κτίρια ή σε μεγάλο ύψος φαίνεται να αποδίδουν ικανοποιητικά.

Όπως αναμεταδίδει το Γαλλικό Πρακτορείο Ειδήσεων, πολλοί κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να καλύψει έως και το 30% των αναγκών ενός νοικοκυριού, ενώ στην πραγματικότητα οι «μίνι» ανεμογεννήτριες προσφέρουν μόλις 214 Whr (βατώρες) ανά ημέρα.

Αυτό αντιστοιχεί περίπου 5% της μέσης οικιακής κατανάλωσης, αρκετό για να διατηρήσει τέσσερις λαμπτήρες φθορισμού αναμμένους για ένα 24ωρο.



## **6 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

### 6.1 Εγκατεστημένη ισχύς

ΠΙΝΑΚΑΣ Α2 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΑΠΟ ΙΔΙΩΤΕΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ

<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	<b>ΣΗΕ</b>	<b>ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ</b>	<b>Αριθ- μός Α/Γ</b>	<b>Ισχύς KW</b>	<b>Ισχύς Πάρκου KW</b>
ΑΝΩΓΕΙΑ	<b>ΚΡΗΤΗ</b>	ΔΕΤΕΑ	1	55	55
ΡΟΔΟΣ	<b>ΡΟΔΟΣ</b>	ΝΕΟΦΥΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΑ	1	150	150
ΚΑΤΑΒΙΑ		ΟΤΕ	1	110	110
ΑΤΑΒΥΡΟΣ			1	110	110
ΡΟΔΟΣ		ΚΑΛΛΙΘΕΑ SUN	1	75	75
ΡΟΔΟΣ		ΓΕΝΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ Α.Ε.	1	110	110
ΜΥΤΙΑΛΗΝΗ	<b>ΛΕΣΒΟΣ</b>	ΑΙΟΛΙΚΗ, ΔΗΜΟΤΙΚΗ	2	300	825
		ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΜΥΤΙΑΛΗΝΗΣ	1	225	
ΚΩΣ	<b>ΚΩΣ- ΚΑΛΥΜΝΟΣ</b>	ΟΤΕ	1	60	60
ΠΑΡΟΣ	<b>ΠΑΡΟΣ-</b>	ΟΤΕ	1	110	110

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΧΑΝΙΑ

ΕΓΓΑΡΕΣ, ΝΑΞΟΣ	ΝΑΞΟΣ	ΕΝΩΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΣΥΝ/ΣΜΩΝ ΝΑΞΟΥ	1	75	75
ΒΡΟΝΤΑΔΟΣ	ΧΙΟΣ	ΠΡΟΜΗΘΕΥ ΤΙΚΗ	1	110	110
ΡΟΧΙΑΔΕΣ, Δ. ΑΜΑΝΗΣ, ΧΙΟΣ		ΑΙΓΑΙΟΗΛΕ ΚΤΡΙΚΗ ΚΑΡΔΑΜΥΛ ΩΝ Α.Ε.	1	280	280
ΜΑΡΑΘΟΚΑΜ ΠΟΣ	ΣΑΜΟΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚ Η ΣΑΜΟΥ	1	250	1000
		Α.Ε.	1	750	
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	<b>ΣΗΕ</b>	<b>ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ Σ</b>	<b>Αριθ- μός Α/Γ</b>	<b>Ισχύς KW</b>	<b>Ισχύς Πάρκου KW</b>
ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ, ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠ ΟΣ	ΣΑΜΟΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚ Η ΣΑΜΟΥ Α.Ε.	1	750	750
ΣΤΡΩΤΟΣ, ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠ ΟΣ			2	600	1200
ΣΥΡΟΣ	ΣΥΡΟΣ	ΟΤΕ	1	110	110
ΣΥΡΟΣ		ΔΑΛΕΖΙΟΣ	1	90	90
ΑΝΩ ΣΥΡΟΣ		ΔΗΜΟΣ ΑΝΩ ΣΥΡΟΥ	1	200	200
ΣΥΡΟΣ		ENERCON Ε.Π.Ε.	1	500	500
ΑΓΙΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΑΓΙΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΑΓΙΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ	1	100	100

ΑΓ. ΜΑΡΙΝΑ	<b>ΤΗΝΟΣ</b>	ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΥΚΛΑΔΩΝ	1	400	400
------------	--------------	---------------------	---	-----	-----

ΠΙΝΑΚΑΣ Α2 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΑΠΟ ΙΔΙΩΤΕΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ Α3 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΔΕΗ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΣΗΕ	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Α/Γ(kW)	Ισχύς Πάρκου(kW)
ΜΟΝΗ	<b>ΚΡΗΤΗ</b>	17	300	5100
ΤΟΠΛΟΥ		3	500	1500
ΕΗΡΟΛΙΜΝΗ		17	600	10200
ΣΙΓΡΙ	<b>ΛΕΣΒΟΣ</b>	9	225	2025
ΜΕΛΑΝΙΟΣ, ΧΙΟΣ	<b>ΧΙΟΣ</b>	11	225	2475
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ, ΨΑΡΑ		9	225	2025
ΠΟΤΑΜΙΑ, ΧΙΟΣ		10	100	1000
ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟ	<b>ΣΑΜΟΣ</b>	9	225	2025
ΜΑΡΑΘΟ- ΚΑΜΠΟΣ		9	100	900
ΒΙΓΛΑ	<b>ΔΗΜΝΟΣ</b>	7	100	700
ΒΟΥΝΑΡΟΣ		8	55	440
ΠΕΡΔΙΚΙ,	<b>ΙΚΑΡΙΑ</b>	7	55	385
ΚΟΥΚΟΥΒΑΓ ΙΑ	<b>ΚΥΘΝΟΣ</b>	1	500	500
ΚΥΘΝΟΣ		5	33	165
ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	<b>ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ</b>	4	55	220
ΚΑΛΙΒΑΡΙ	<b>ΑΝΔΡΟΣ</b>	7	225	1575
ΑΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	<b>ΚΑΡΠΑΘΟΣ</b>	5	55	275

### 6.1.1 Αδειοδοτημένη ισχύς

Βάσει της διαδικασίας θα πρέπει να συμπληρωθεί το έντυπο του παραρτήματος της ΥΑ 13310 / 2007 και να προσκομίσουν τα ακόλουθα δικαιολογητικά σε τρία αντίτυπα:

1. Τοπογραφικό 1:5000 ΓΥΣ της θέσης εγκατάστασης του σταθμού
2. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης
3. Τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιήσεις του εξοπλισμού.
4. Στοιχεία Μ/Σ ανύψωσης (για σύνδεση στη ΜΤ)
5. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο σύνδεσης του σταθμού (Θα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο σημαντικός εξοπλισμός της εγκατάστασης, οι μονάδες παραγωγής με διακριτή αρίθμηση, οι Μ/Σ ανύψωσης τάσης, οι διατάξεις αντιστάθμισης και τα μέσα απόζευξης και προστασίας)
6. Σύντομη τεχνική περιγραφή με αναφορά στην χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη (για σταθμούς βιομάζας)

### 6.2 Διαδικασίες αδειοδότησης

Ο υποψήφιος επενδυτής πρέπει να εξασφαλίσει κατ' αρχήν την κυριότητα του χώρου στον οποίο θα γίνει η εγκατάσταση. Στην συνέχεια πρέπει να προβεί στην κατάθεση αιτήματος σύνδεσης της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο της ΔΕΗ και την κατάθεση μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την έγκριση περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες τοπικές υπηρεσίες. Τέλος θα απαιτηθεί αίτηση για την λήψη της απαραίτητης άδειας οικοδομής από την αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία. Η HELIOSRES με την πολυετή πείρα της και το εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό της αναλαμβάνει πλήρως τις διαδικασίες αδειοδότησης, απαλλάσσοντας τον υποψήφιο επενδυτή από αυτή τη διαδικασία.

### 6.3 Τιμολόγηση παραγωγής

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια με εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας είναι φθηνότερη από αυτήν που παράγεται από πυρηνικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, ενώ σε καλές ανεμολογικά θέσεις η αιολική ενέργεια ανταγωνίζεται με επιτυχία καινούργιους σταθμούς παραγωγής που λειτουργούν με κάρβουνο ή φυσικό αέριο.

Τα κόστη που απαιτούνται για την πρόσθετη εφεδρεία και τη διαχείριση της αιολικής παραγωγής (μιας και οι ανεμογεννήτριες παράγουν «ασταθές ρεύμα») είναι μικρά: η πληρέστερη και αναλυτικότερη διερεύνηση του ως άνω θέματος είναι η μελέτη

ομάδας ερευνητών του Imperial College, η οποία εκπονήθηκε για λογαριασμό του Βρετανικού Ινστιτούτου UK Energy Research Centre και βασίστηκε σε πάνω από 200 ανάλογες επιμέρους μελέτες. Η μελέτη τεκμηρίωσε ότι για μεγάλη διείσδυση άνω του 20% αιολικής ενέργειας, η συνολική επιβάρυνση που προκύπτει (total intermittency cost) είναι της τάξης μόλις του 0,1 p (0,14 Eurocents) ανά kWh τελικού καταναλωτή (δηλ. περίπου 1,4 €/ MWh).

Υπάρχει όμως, και ένα επιπλέον κόστος. Είναι το κόστος στο περιβάλλον και την υγεία που προκαλούν τα ορυκτά καύσιμα. Αυτό το λεγόμενο «εξωτερικό» κόστος είναι απείρως μικρότερο για την αιολική ενέργεια (0,25 c€/kWh κατά μέγιστο για την αιολική ενέργεια σε σχέση με 15 c€/ kWh για τα στερεά καύσιμα, 11 c€/kWh για το πετρέλαιο και 4 c€/kWh για το φυσικό αέριο, Μέρος αυτού του εξωτερικού κόστους θα ενσωματωθεί στις τιμές των ορυκτών καυσίμων από το 2013 και μετά όταν θα λειτουργήσει το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών Ρύπων (ETS). Το πρόσθετο κόστος που θα προκληθεί εξαιτίας της ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα κυμαίνεται στην Ελλάδα γύρω στο 1 δισ. Ευρώ το χρόνο, ανάλογα με τα διάφορα σενάρια. Το κόστος αυτό θα αποσοβηθεί μόνο με Εξοικονόμηση και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Βάσει των παραπάνω συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων συμφέρει. Αυτό άλλωστε έκανε και ο Σερ Νίκολας Στερν στην περίφημη ομώνυμη έκθεσή του που δημοσιεύθηκε το 2006. Απέδειξε ότι θα κοστίζει πολύ λιγότερο (1% του παγκόσμιου ΑΕΠ) αν μειώσουμε τις αιτίες που προκαλούν τις κλιματικές αλλαγές από ό,τι αν αντιμετωπίσουμε τις καταστροφικές τους συνέπειες (5% του παγκόσμιου ΑΕΠ).

Ειδικά για την Ελλάδα, σε μελέτη που εκπόνησε το Εργαστήριο Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ για το Ειδικό Τέλος ΑΠΕ, και η οποία παρουσιάστηκε σε ενημερωτική εκδήλωση του ΕΣΗΑΠΕ τη Δευτέρα 18-4-2011, διαπιστώνεται ότι: «Οι ΑΠΕ μειώνουν την τιμή προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας τόσο πολύ, που άνετα μπορούν να χρηματοδοτήσουν την ανάπτυξή τους και επιπλέον να επιδοτήσουν τον καταναλωτή

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ δεν επιβαρύνει το μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής το 2020 στην Ελλάδα. Χωρίς τις ΑΠΕ μειώνεται το κόστος κεφαλαίου, αυξάνει όμως τόσο το κόστος καυσίμου όσο και οι πληρωμές CO<sub>2</sub>. Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη από τη μείωση του κόστους κεφαλαίου ακόμα και για χαμηλή τιμή CO<sub>2</sub> (20€/τ)<sup>63</sup>.



## 6.4 Κατασκευαστικές προσπάθειες στη χώρα μας

### 6.4.1 Mechatron

Η Mechatron ειδικεύεται στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και παραγωγή τεχνολογικά προηγμένων προϊόντων για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, έχοντας ήδη στο ενεργητικό της μια επιτυχημένη δεκαπενταετή πορεία και έχοντας ανταποκριθεί σε σημαντικό αριθμό βιομηχανικών προκλήσεων. Με την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη, η Mechatron δημιούργησε και παρουσίασε το πιο αξιόπιστο και καινοτόμο σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου κατακτώντας ηγετική θέση στην αγορά. Οι Mechatron Solar Trackers, που περιλαμβάνουν μονοαξονικά και διαξονικά συστήματα, έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και αποτελούν την καλύτερη δυνατή λύση για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών. Με περισσότερα από 2.500 συστήματα ήδη σε λειτουργία και συνολική εγκατεστημένη ισχύ που υπερβαίνει τα 60MW, η εταιρεία έχει να επιδείξει μόνο επιτυχίες. Η Mechatron αναπτύσσεται σταθερά, ενώ συνεχίζει να επενδύει δυναμικά σε υποδομές, σε νέες τεχνολογίες και επιστημονικό προσωπικό. Σήμερα, η εταιρεία δραστηριοποιείται σε όλη την Ευρώπη με διοικητικές και εμπορικές μονάδες στην Ελλάδα και στη Γερμανία. Απασχολεί σημαντικό αριθμό επιστημόνων και έχει να επιδείξει ένα πλούσιο χαρτοφυλάκιο από έργα που ποικίλουν σε μέγεθος και απαιτήσεις.

Η ποιότητα, στη Mechatron, δεν είναι απλά ένα «Σύστημα Ελέγχου», αλλά ένας τρόπος σκέψης που διαπερνά όλη την αλυσίδα των ανθρώπων της και υλοποιείται σε όλες τις δομές και διεργασίες της εταιρείας. Διοίκηση και εργαζόμενοι λειτουργούν με τις αρχές που διατυπώνονται στην εταιρική Πολιτική Ποιότητας, για παροχή προϊόντων και υπηρεσιών ύψιστης ποιότητας. Η μεγαλύτερη απόδειξη για αυτό είναι η εμπιστοσύνη των ίδιων των πελατών και των συνεργατών της.

Το Σύστημα Ποιότητας της Mechatron έχει πιστοποιηθεί σύμφωνα με το Πρότυπο ISO 9001:2008 από τον διεθνή φορέα πιστοποίησης TÜV Rheinland και καλύπτει «Σχεδιασμό, ανάπτυξη, κατασκευή, πωλήσεις και υποστήριξη συστημάτων και εξαρτημάτων ιχνηλάτησης του ήλιου». Ωστόσο, οι αρχές διασφάλισης ποιότητας υλοποιούνται μέσα από τις καθημερινές πρακτικές

Πολιτική της MECHATRON είναι:

- Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η κατασκευή τεχνικά καινοτόμων συστημάτων και εξαρτημάτων ιχνηλάτησης του ήλιου που πρωτοστατούν στον τομέα που δραστηριοποιείται η εταιρεία και ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των πελατών της
- Η παροχή στον προκαθορισμένο χρόνο υπηρεσιών υποστήριξης των προϊόντων της προς τους πελάτες της ανταποκρινόμενη στις απαιτήσεις τους
- Ο εκσυγχρονισμός και η συνεχής βελτίωση των προϊόντων και υπηρεσιών της, πάντα στοχεύοντας στην τήρηση των δεσμεύσεών της προς τους πελάτες της
- Η έγκαιρη ενημέρωση για τις τρέχουσες επιστημονικές εξελίξεις και η πλήρης συμμόρφωση με τις νομοθετικές και κανονιστικές απαιτήσεις που την αφορούν
- Η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων παραγωγής και μέτρων ελέγχου που διασφαλίζουν την ποιότητα και ασφάλεια των προϊόντων της
- Η διοίκηση ανθρώπινων πόρων μέσα από συνεχή εκπαίδευση στοχεύοντας στη βελτίωση των ικανοτήτων όλων των συνεργατών της που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα και την ασφάλεια των προϊόντων της
- Η συνεχής βελτίωση της αποτελεσματικότητας του Συστήματος Ποιότητας καθορίζοντας σε κάθε λειτουργική μονάδα στόχους και παρακολουθώντας δείκτες για τη βελτίωση των σημαντικών εσωτερικών διεργασιών

Η Πολιτική Ποιότητας ανασκοπείται και τροποποιείται όποτε κρίνεται αναγκαίο ώστε να είναι συνεχώς επίκαιρη και να εκφράζει το όραμα της εταιρείας και ταυτόχρονα κοινοποιείται σε όλο το προσωπικό και σε κάθε ενδιαφερόμενο.

Στη Mechatron εφαρμόζονται προληπτικές διεργασίες και αυστηροί έλεγχοι. Τα βασικά συναρμολογήματα των ιχνηλατών τους υπόκεινται σε πολύωρο λειτουργικό έλεγχο ένα προς ένα πριν από την αποστολή τους, ενώ η παραγωγική διεργασία έχει σχεδιαστεί με τρόπο ώστε, οι όποιες μη συμμορφώσεις εντοπίζονται, να μην προωθούνται στην επόμενη φάση. Οι διεργασίες επιθεωρούνται τόσο εσωτερικά όσο και από ανεξάρτητους φορείς και βελτιώνονται διαρκώς ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με το Σύστημα Ποιότητας αλλά και η αποτελεσματικότητά τους.

Τα μεταλλικά μέρη των ιχνηλατών τους είναι σχεδιασμένα από την Mechatron, κατασκευάζονται από εγκεκριμένους προμηθευτές, οι οποίοι εποπτεύονται από το τμήμα Εξωτερικής Παραγωγής της εταιρείας (Production Outsourcing Department) και γαλβανίζονται με εμβάπτιση εν θερμώ για μέγιστη αντιδιαβρωτική προστασία καθ' όλη τη ζωή των μηχανημάτων. Κατά την παραλαβή τους, διενεργείται ο απαραίτητος

διαστασιολογικός, γεωμετρικός και εργαστηριακός έλεγχος ώστε να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις.

Στα πλαίσια του σχεδιασμού των συστημάτων ιχνηλάτησης ελέγχεται η στατικότητα τους. Η μελέτη στατικής επάρκειας των μεταλλικών φορέων των ιχνηλατών συμμορφώνεται με τους Ευρωκώδικες 1 και 3, οι οποίοι καθορίζουν τις ουσιώδεις απαιτήσεις και τη σχέση τους με τις τεχνικές προδιαγραφές για τον σχεδιασμό έργων και κατασκευών από χάλυβα. Η μελέτη στατικής επάρκειας φέρει την πιστοποίηση της DQS Hellas Ltd, θυγατρικής του Γερμανικού Φορέα Πιστοποίησης DQS GmbH.

Επιπλέον, και τα δυο συστήματα, μονοαξονικό και διαξονικό, έχουν ενσωματωμένο σύστημα τηλεμετρίας, μέσω του οποίου παρακολουθείται εξ αποστάσεως η λειτουργία του ιχνηλάτη, είναι δυνατή η εξ αποστάσεως επέμβαση στη λειτουργία του καθώς και η καταγραφή και συλλογή δεδομένων. Με την τηλεμετρία, οι όποιες δυσλειτουργίες προσδιορίζονται σε πραγματικό χρόνο και αντιμετωπίζονται άμεσα.

Τα συστήματα Mechatron έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, δεν απαιτούν συντήρηση και συνοδεύονται από Δήλωση Συμμόρφωσης ΕΚ ενώ φέρουν τη σήμανση CE, προϋπόθεση για την ελεύθερη κυκλοφορία και διάθεσή τους στα κράτη μέλη της ΕΕ.

Στη Mechatron, δεν ακολουθούνται οι εξελίξεις της τεχνολογίας. Δημιουργούνται. Με σαφή προσανατολισμό στην καινοτομία, έχει επανδρώσει κέντρα έρευνας και ανάπτυξης με εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό και τον πλέον προηγμένο τεχνολογικά εξοπλισμό. Η Mechatron συμμετέχει σε ερευνητικά προγράμματα σε συνεργασία με πανεπιστημιακά ιδρύματα, καθώς και σε προγράμματα εισαγωγής νέων τεχνολογιών.

Η Mechatron είναι υπερήφανη για το Τμήμα Έρευνας & Ανάπτυξης (Research & Development). Το προηγμένο κέντρο R&D της εταιρείας διεξάγει έρευνα σε πολύ υψηλό επίπεδο και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης στρατηγικής της, ενώ παρέχει ίσως το σημαντικότερο συγκριτικό πλεονέκτημα στις δραστηριότητες της Mechatron. Πιο συγκεκριμένα, το κέντρο R&D, δραστηριοποιείται στα ακόλουθα πεδία:

- Τμήμα κατασκευής συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου
- Τμήμα ηλεκτρονικών προϊόντων και ανάπτυξης λογισμικού
- Γραμμές παραγωγής

Το τμήμα στελεχώνεται από εξειδικευμένους επαγγελματίες, με ειδικευση σε διάφορους τομείς (πολιτικούς μηχανικούς, μηχανολόγους και ηλεκτρολόγους μηχανικούς,

μηχανικούς Η/Υ, φυσικούς, κλπ) ενώ παράλληλα πλαισιώνεται και από εξωτερικούς συνεργάτες. Το σύνολο της διαδικασίας Έρευνας και Ανάπτυξης είναι οργανωμένο σε ένα αποτελεσματικό δίκτυο αξιόπιστων συνεργατών που διασφαλίζει τη διαρκή ανάπτυξη μέσω τεχνολογικών καινοτομιών, επιτρέποντας στη Mechatron να διεισδύει και να πρωτοστατεί σε νέες αγορές<sup>64</sup>.

#### **6.4.2 Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης**

Το εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του ΤΕΙ Κρήτης δραστηριοποιείται από το 1991 στους τομείς:

##### **Εκπαίδευση σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο**

- παρέχει εκπαίδευση και κατάρτιση σε μαθητές του Δημοτικού του Γυμνασίου και του Λυκείου, προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς σπουδαστές, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εργαστηριακό επίπεδο.
- αναπτύσσει και κατασκευάζει πρωτότυπο εκπαιδευτικό και εργαστηριακό υλικό.

##### **Έρευνα και ανάπτυξη στους τομείς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και της Διαχείρισης της Ενέργειας**

- Εκπονεί διδακτορικές διατριβές σε συνεργασία με Παν/μια Ελληνικά και ξένα (4 σπ.).
- Συμμετέχει σε μεταπτυχιακά προγράμματα με Παν/μια Ελληνικά και ξένα (10 σπ.).
- Δημοσιεύει εργασίες σε εθνικά και διεθνή περιοδικά (>4/έτος).
- Συμμετέχει τακτικά σε εθνικά και διεθνή συνέδρια και φόρουμ σχετικά με την αιολική ενέργεια (>4/έτος).
- Αναπτύσσει το αναγκαίο για τις ερευνητικές ανάγκες λογισμικό και εργαστηριακή υποδομή.
- Αναπτύσσει πρωτότυπες διατάξεις μετρήσεων για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων των ερευνητικών εργασιών.

##### **Περιοχές Έρευνας**

1. Μελέτη πρωτότυπων μικρών Α/Γ. Το έργο αυτό περιλαμβάνει:

- Ανάπτυξη Τεχνολογίας κατασκευής πτερυγώσεων από σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες γυαλιού για παραγωγή πολλών κομματιών.
- Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση των μηχανικών μερών.
- Σχεδιασμός καλουπιών φτερών και μηχανικών μερών.
- Ανάπτυξη Ελεγκτή φόρτισης μπαταριών με μικροϋπολογιστή

- Ανάπτυξη διατάξεων διείσδυσης στο δίκτυο.
  - Οικονομοτεχνική ανάλυση και κοστολόγηση τελικού προϊόντος.
  - Σχεδιασμός παραγωγικής διαδικασίας σε περιβάλλον παγκοσμιοποιημένης οικονομίας
- 2 Ανεμολογικές μετρήσεις και μελέτες εκτίμησης αιολικού δυναμικού
  - 3 Μετρήσεις καμπύλης ισχύος μικρών ανεμογεννητριών
  - 4 Μελέτες σκοπιμότητας επενδύσεων στην αιολική ενέργεια και σε υβριδικά ενεργειακά συστήματα.στον τομέα των Αιολικών συστημάτων αλλά και γενικότερα της σύνθεσης ενεργειακών συστημάτων με ανανεώσιμες πηγές<sup>65</sup>.

## **7 ΣΥΝΗΘΗ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

### **7.1 Προβλήματα Συντήρησης**

Οι ανεμογεννήτριες είναι αρκετά πολύπλοκες μηχανές και η σωστή λειτουργία τους επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, η ταχύτητα του ανέμου, οι δονήσεις των πτερυγίων κ.α. Επομένως είναι πολύ σημαντική η ορθή και τακτική συντήρηση τους προκειμένου να προληφθούν καταστάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπανόρθωτες ζημιές.

Οι δονήσεις που δέχονται, κυρίως τα πτερύγια αλλά και άλλα μέρη μιας ανεμογεννήτριας από τον άνεμο είναι ο παράγοντας που καθορίζει κατά το μέγιστο τη πιθανότητα λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος. Οι δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν τη μετατόπιση υλικών, την αποκόλληση κάποιων συνδέσμων ακόμα και το μερικό ή ολικό σπάσιμο των πτερυγίων.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε μία πιθανή βλάβη στην ανεμογεννήτρια είναι η σκόνη. Η σκόνη (με τη μορφή γύρης, χνουδιών, σπόρων, εντόμων, κλπ.) παρεμποδίζει τη ροή του αέρα και μειώνει την ψύξη και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία των διαφόρων μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων, όπως είναι η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το κιβώτιο ταχυτήτων, κλπ. Για την εξάλειψη αυτών των προβλημάτων και την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος είναι απαραίτητη η εκτέλεση της κατάλληλης προληπτικής συντήρησης. Κάθε κατασκευαστής ανεμογεννητριών παρέχει το δικό του εγχειρίδιο και πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης. Η ετήσια προληπτική συντήρηση περιλαμβάνει διάφορες εργασίες, ελέγχους, και δραστηριότητες στα διαφορετικά μέρη των ανεμογεννητριών. Η προληπτική συντήρηση είναι σημαντική εκτός των άλλων και για τη βελτίωση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα, η λίπανση των κινούμενων μερών που περιλαμβάνεται στην προληπτική συντήρηση εάν δεν εκτελεστεί, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες ακόμα και σε βραχυπρόθεσμες λειτουργίες.

Εκτός της προληπτικής συντήρησης, υπάρχει και η «έγκαιρη» συντήρηση. Οι στόχοι της είναι οι ίδιοι – να βελτιωθεί η αξιοπιστία εξαλείφοντας πιθανές βλάβες. Ωστόσο, έχει ορισμένες ιδιαιτερότητες. Αυτού του τύπου η συντήρηση βασίζεται στην ανάλυση συγκεκριμένων στοιχείων για μία έγκαιρη ανίχνευση των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας. Η συντήρηση αυτή επίσης εκτελείται τακτικά, αναλύοντας ορισμένα

δεδομένα, τα οποία οι τεχνικοί καταχωρούν και προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισης τους. Έτσι προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη κάποιων μεταβλητών. Η εκτίμηση αυτή επιτρέπει τον προγραμματισμό διορθωτικών εργασιών με την ελάχιστη δυνατή επίδραση στην παραγωγικότητα της κάθε ανεμογεννήτριας.

Ένα άλλο είδος συντήρησης, για τις ανεμογεννήτριες, είναι η προαιρετική (proactive) συντήρηση. Η προαιρετική συντήρηση ασχολείται κυρίως με την ανάλυση των υπαρχόντων βλαβών και την προέλευσή τους. Εστιάζει στην αναγνώριση και διόρθωση των αιτιών των βλαβών τόσο στα εξαρτήματα της κάθε ανεμογεννήτριας όσο και στην διαδικασία εγκατάστασής της. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την πρόληψη αυτού του είδους των σφαλμάτων. Τροποποιήσεις στο σχεδιασμό, βελτίωση των διαδικασιών συντήρησης, και βελτιώσεις στην εκπαίδευση και την εμπλοκή του προσωπικού συντήρησης, είναι κάποιοι από αυτούς.

Σε οποιαδήποτε φάση συντήρησης η πρώτη εργασία που εκτελείται αμέσως με την άφιξη στο αιολικό πάρκο είναι ο έλεγχος της κατάστασης κάθε ανεμογεννήτριας. Εάν μία ανεμογεννήτρια δεν λειτουργεί εξαιτίας βλάβης, τότε απαιτείται διορθωτική ενέργεια (διορθωτική συντήρηση). Η διορθωτική συντήρηση σε μία ανεμογεννήτρια είναι η εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης με στόχο την διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή τη διόρθωση οποιασδήποτε ανωμαλίας ανιχνεύθηκε κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε είδους συντήρησης που προηγήθηκε. Η διορθωτική συντήρηση μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα ανάλογα με το είδος βλάβης που εντοπίζεται.

Ένας πλήρης και λεπτομερές πρόγραμμα συντήρησης απαιτείται για τη βελτίωση της απόδοσης ενός αιολικού πάρκου. Η καθυστέρηση πραγματοποίησης μιας συντήρησης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λειτουργίας αλλά δεν είναι πάντα εύκολο να αποφευχθεί καθώς η συντήρηση εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, το μέγεθος των παρατηρούμενων βλαβών κλπ.

## **7.2 Νομοθετικά προβλήματα**

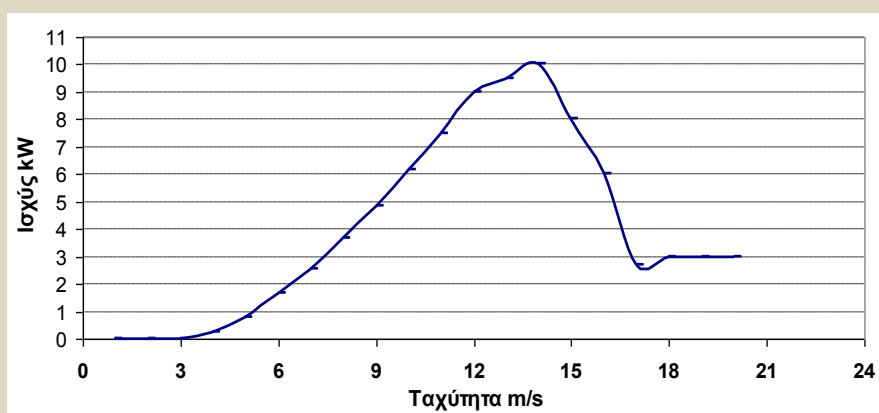
Προσπάθειες για την αναβάθμιση πληροφοριών και την υποστήριξη της αγοράς για μικρές Α/Γ, ισχύος έως 100kW, στην Ευρώπη, καταβάλλονται από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα για τη στρατηγική διεϊσδυσης της βιομηχανίας μικρών Α/Γ (SWIIS) [66]. Από

τα παραδοτέα του ίδιου προγράμματος παρέχονται κατατοπιστικές πληροφορίες για τον τρόπο ελέγχου ανά κατασκευαστή, δοκιμές των περισσότερο εμπορικών προϊόντων και βάση δεδομένων των κατασκευαστών μικρών Α/Γ στην Ευρώπη.



## 8 ΚΩΣΤΗ

Το κόστος εγκατάστασης Α/Γ κυμαίνεται μεταξύ 900-1300 €/kW αλλά για Α/Γ ισχύος μικρότερης των 100kW μπορεί να φτάσει τα 2500€/kW. Το λειτουργικό κόστος των Α/Γ ανεξάρτητα από το μέγεθός τους, είναι ιδιαίτερα χαμηλό και δεν ξεπερνά σε ανηγμένες τιμές τα 0.005 €/kWh κυρίως για εργασίες συντήρησης. Συνήθως όμως το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι προϊόν συμβολαίου συντήρησης, το οποία είναι συνήθως ανεξάρτητο από την πραγματική αιολική παραγωγή [67].



**Γράφημα 8.1 Καμπύλη ισχύος-ταχύτητας για τυπική μικρή Α/Γ, με φανερή την επίπτωση της τεχνικής furling στα 16 m/s [68]**

## **9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η αιολική ενέργεια είναι η γρηγορότερα αξιοποιήσιμη πηγή παραγωγής ενέργειας παγκοσμίως. Το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από τον αέρα είναι πλέον ανταγωνιστικό, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές καυσίμων, κάνοντας την αιολική ενέργεια τη φτηνότερη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες δεν παράγουν κανέναν ρύπο οποιουδήποτε είδους, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια από τον αέρα να είναι μια καθαρή, βιώσιμη πηγή καυσίμων που δεν εξαντλείται και μπορεί να κληρονομηθεί στις μελλοντικές γενεές.

Ο αέρας είναι μια άφθονη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν στο τέλος της διάρκειας ζωής τους, (ΜΟ διάρκειας ζωής 25 - 35 έτη), χωρίς να επιφέρουν μόνιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι ανεμογεννήτριες είναι μια από τις δημοφιλέστερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον αέρα είναι σημαντική στην πάλη ενάντια στην αλλαγή κλίματος.

Κάθε μονάδα πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας από τον αέρα, αντικαθιστά άμεσα την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις συμβατικές ρυπογόνους πηγές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εξασφάλιση ενός ιδιαίτερα υψηλού εισοδήματος τουλάχιστον για 20 χρόνια είναι μια πρόταση που δεν μπορεί να αγνοήσει κανένας ιδιώτης ή επιχειρηματίας. Εγκαθιστώντας μία πιστοποιημένη ανεμογεννήτρια σε κατάλληλα επιλεγμένα αγροτεμάχια επιτυγχάνετε εγγυημένη και κυρίως υψηλή απόδοση στην επένδυσή σας με μηδενικό ρίσκο.

Στο νέο νόμο για τις ΑΠΕ 3851/2010 από τον Ιούνιο του 2010, γίνεται για πρώτη φορά ειδική μνεία για την κατηγορία των μικρών ανεμογεννητριών. Σύμφωνα με το νόμο για τις ανεμογεννήτριες ισχύος μέχρι 50kW, προβλέπεται ειδική επιδοτούμενη τιμή πώλησης (250 ευρώ/MWh) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και μια απλουστευμένη και εξορθολογισμένη αδειοδοτική διαδικασία.

Οι ανεμογεννήτριες αξιοποιούν το 97% της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον αέρα. Αντίστοιχα, οι παραδοσιακές εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα/αερίου αποδίδουν μόνο 30-40%. Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν γενικά με το περίπου 30-35% της μέγιστης ικανότητάς τους ανά έτος ποσοστό αντίστοιχο με αυτών των συμβατικών σταθμών

παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα κι αν ο αέρας είναι μια διαλείπουσα (δηλαδή λειτουργεί κατά διαστήματα) πηγή ενέργειας, ένα σύγχρονο αιολικό πάρκο παράγει ηλεκτρική ενέργεια για το 90 - 95% του χρόνου.

Στην πραγματικότητα, καμία ενεργειακή τεχνολογία δεν είναι 100% αξιόπιστη. Επιπλέον, είναι πιθανότερη μια συσκότιση (blackout), παρά η παντελής έλλειψη αέρα. Όταν ο αέρας σταματά εντελώς, η ηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει να παρέχεται από άλλες μορφές παραγωγής, όπως το αέριο κ.λπ.

Πολύς λόγος έχει γίνει για την επίδραση των ανεμογεννητριών στο τοπίο και το φυσικό περιβάλλον. Εντούτοις, ο αντίκτυπος είναι ακόμα πολύ λιγότερο από άλλες συμβατικές τεχνολογίες ενεργειακής παραγωγής. Οι ανεμογεννήτριες καταλαμβάνουν πολύ μικρή επιφάνεια στο έδαφος και μπορούν να αφαιρεθούν αφήνοντας ελάχιστο αντίκτυπο στο τοπίο, μόλις αποσυναρμολογηθούν.

Συγκριτικά, δεν είναι τόσο εύκολο να καλυφθεί ένα ανοικτό ορυχείο άνθρακα, να απορριφθούν τα πυρηνικά απόβλητα ή να ελεγχθούν οι διαφυγές πετρελαίου και οι διαρροές. Όλο το φάσμα πηγών ενέργειας έχει μερικές συνέπειες στο περιβάλλον και οι ανεμογεννήτριες πρέπει να εξεταστούν κάτω από αυτήν την προοπτική.

Η αιολική είναι μια ιδιαίτερα βιώσιμη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η ενεργειακή τεχνολογία των ανεμογεννητριών αναπτύσσεται γρήγορα με αποτέλεσμα το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από τον αέρα να είναι τώρα στο ίδιο επίπεδο με το κόστος παραγωγής από συμβατικά μέσα ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ έχει χαμηλότερο κόστος από την πυρηνική ενέργεια. Έχει τεθεί ως στόχος να γίνει μέσα στα επόμενα δέκα έτη ο χερσαίος αέρας η φτηνότερη μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι μια κατηγορία ανεμογεννητριών που αξιοποιεί την ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για ιδιοκατανάλωση ή για πώληση. Τα μεγέθη τους ποικίλουν, ξεκινώντας από οικιακής εγκατάστασης ανεμογεννήτριες ισχύος έως 5 kW μέχρι ανεμογεννήτριες διαμέτρου περίπου 20-25 μέτρων και ισχύος 50 kW.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες έως 10 kW, οι οποίες προορίζονται κυρίως για οικιακή εγκατάσταση καθίστανται μη ελκυστικές ως επένδυση, σύμφωνα με την υφιστάμενη νομοθεσία και την τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας. Το ίδιο ισχύει και για την κατηγορία από 10 έως 20kW που θεωρούνται μη ελκυστικές.

Το επενδυτικό ενδιαφέρον εστιάζεται στην κατηγορία των μικρών ανεμογεννητριών μεγαλύτερης ισχύος, της τάξης των 50 kW, στην οποία η επένδυση μπορεί να έχει χρόνο απόσβεσης ακόμα και σε 5-6 έτη.

Σε αντίθεση με τις μεγάλες ανεμογεννήτριες που κατά κανόνα συναντώνται σε αιολικά πάρκα, οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι απλουστευμένα συστήματα μικρού μεγέθους που κάνουν προσιτή την ηλεκτρική παραγωγή και τα οικονομικά οφέλη της αιολικής ενέργειας στο ευρύτερο κοινό.

Μια μικρή ανεμογεννήτρια των 50kW μπορεί να παράγει έως 250 MWh ετησίως, ικανή να καλύψει την ενέργεια που καταναλώνουν περισσότερα από 60 νοικοκυριά. Παράλληλα, βοηθά στην εξοικονόμηση περίπου 250 τόνων CO<sub>2</sub> που θα εκπέμπονταν από συμβατικές μορφές παραγωγής ενέργειας.

Η ύπαρξη ανεκτού αιολικού δυναμικού είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας εγκατάστασης μιας μικρής ανεμογεννήτριας. Άλλες σημαντικές προϋποθέσεις εγκατάστασης είναι η ύπαρξη δικτύου σε κοντινή απόσταση και η δυνατότητα πρόσβασης. Προτείνεται η εγκατάσταση να μη γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 35 μέτρων από πολυσύχναστους δρόμους (κυρίως για λόγους ασφαλείας), όπως και σε απόσταση μικρότερη των 150 μέτρων από την κοντινότερη κατοικημένη οικία (κυρίως για λόγους οπτικής / ακουστικής όχλησης σε μικρότερες αποστάσεις).

Μια μικρή ανεμογεννήτρια των π.χ. 50 kW, μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα χώρο (χωράφι, οικόπεδο, βουνοκορφή, κ.τ.λ.) με τουλάχιστον 15×15 μέτρα διαθέσιμα για την ανέγερσή της.

Επίσης, ένα μικρό αιολικό πάρκο (50 kW) μπορεί να αποτελέσει μια ιδιαίτερα προσοδοφόρα επένδυση που θα αποφέρει σημαντικά οφέλη σε όσους την επιλέξουν. Φυσικά, όπως όλες οι επενδύσεις, απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση των παραμέτρων που την απαρτίζουν με βασικότερους παράγοντες το αιολικό δυναμικό του χώρου εγκατάστασης και την επιλογή αξιόπιστης ανεμογεννήτριας. Η αξιολόγηση λοιπόν, προϋποθέτει την επιλογή του κατάλληλου συνεργάτη-συμβούλου που θα αναλάβει να εκτιμήσει σωστά και με υπευθυνότητα τα δεδομένα και να καθοδηγήσει κατάλληλα τον επενδυτή ακόμη κι αν αυτό σημαίνει την απόρριψη της επένδυσης. Στο συγκεκριμένο θέμα, σας παρουσιάζουμε, σε συνεργασία με την εταιρεία Heliosres τα βήματα και τις διαδικασίες που απαιτούνται για μια τέτοια επένδυση, ενώ επισημαίνονται και τα βασικότερα σημεία που θα πρέπει να προσέξει ο ενδιαφερόμενος επενδυτής.

## 10 ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 11

- 1 Wind in Power 2009 European Statistics. <http://www.ewea.org/index.php?id=1665>
- 2 GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW)-2008. [www.gwec.net](http://www.gwec.net)
- 3 ΚΑΠΕ: Ετήσια Έκθεση 2008. Στατιστικά στοιχεία ΑΠΕ και ΕΞΕ [www.cres.gr/kape/pdf/download/ETHSIA\\_EKTHESH\\_2008\\_SITE.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/download/ETHSIA_EKTHESH_2008_SITE.pdf)
- 4 Μιχ. Παπαδόπουλου, “Δίκτυα διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Ακαδημαϊκές Σημειώσεις Σχολή ΗΜΜΥ, ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- 5 James J. Burke, *Power distribution engineering : fundamentals and applications*, Marcel Dekker, New York 1994
- 6 Anthony J. Pansini, “*Electrical distribution engineering*”, Lilburn, GA. Fairmont Press, c2007
- 7 H. Lee Willis, Walter G. Scott, “*Distributed Power Generation, Planning and Evaluation*”, Marcel Dekker Edn. 2000
- 8 Dondi, P, Bayoumi, D, Haederli, C, Julian, D, Suter, M, “Network integration of distributed power generation”. *J. of Power Sources* 106, 1–9, 2002
- 9 G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D’haeseleer, “Distributed generation: definition, benefits and issues”, *J Energy Policy*, Vol 33, Issue 6, pp787-798, April 2005.
- 10 Ackermann, T, Andersson, G. Soder, L. “Distributed generation: a definition”. *J. Electric Power Systems Research*, Vol 57, pp 195–204, 2001.
- 11 Douglas E. King, “*Electric Power Micro-grids: Opportunities and Challenges for an Emerging Distributed Energy Architecture*”, Phd Dissertation, Carnegie Mellon University, May 2006
- 12 Gil, H.A.; Joos, G., “On the Quantification of the Network Capacity Deferral Value of Distributed Generation”, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol 21, Issue 4, Nov. 2006 pp:1592 - 1599
- 13 Evans, P. (2005). “Optimal Portfolio Methodology for Assessing Distributed Energy Resources Benefits for the Energynet.” *PIER Consultant Report # CEC 500-2005-096*. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research. Los Altos Hills, CA.
- 14 Δημέας Άρης –Ευάγγελος, «Συμβολή στον καταναμημένο έλεγχο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής στην χαμηλή τάση», Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (ΗΜΜΥ), ΕΜΠ, Ιούνιος 2006, Επιβλέπων Ν. Χατζηαργυρίου.
- 15 Joos, G., B.T. Ooi, D. McGillis, F.D. Galiana, and R. Marceau “The Potential of Distributed Generation to Provide Ancillary Services”. *Proc of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. 3, July 2000, pp. 1762-1767.
- 16 Carlson, A., B. Hedman (2004). “Assessing the Benefits of On-Site Combined Heat and Power During the August 14, 2003 Blackout.” Energy and Environmental Analysis, Inc. report prepared for Oak Ridge National Laboratories. Arlington, VA.
- 17 Poore, W.P., T.K. Stovall, B.J. Kirby, D.T. Rizy, J.D. Kueck, J.P. Stovall (2002). “Connecting Distributed Energy Resources to the Grid: Their benefits to the DER owner/customer, the utility, and society.” ORNL Report # ORNL/TM-2001/290. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, TN.
- 18 ΕΥΔΑΠ Α.Ε, διαθέσιμο [www.eydap.gr](http://www.eydap.gr)
- 19 P. Djapic, C. Ramsay, D. Pudjianto, G. Strbac, J. Mutale, N. Jenkins, R. Allan, “Taking an Active Approach Distribution System Transitions and Integration of Distributed Generation in Europe”, *IEEE Power and Energy Magazine*, July/August 2007, Vol.5, No.4, pp 68-77.
- 20 Nikos Hatziaργυρίου, Hiroshi Asano, Reza Iravani, and Chris Marnay, Microgrids for Distributed Generation An Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects, *IEEE Power and Energy Magazine*, July/August 2007, Vol.5 No.4, pp 78-100.
- 21 R. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Meliopoulos, R. Yinger and J. Eto, “White Paper on Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS MicroGrid Concept,” Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS), CA, Tech. Rep. LBNL-50829, Apr. 2002.
- 22 MICROGRIDS – Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids”, EU Contract ENK5-CT-2002-00610, Technical Annex, May 2002. Διαθέσιμο: <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>

- 23 MORE MICROGRIDS – Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids”, EU Contract No: SES6 -019864, Technical Annex, January 2006. Διαθέσιμο: <http://microgrids.power.ece.ntua.gr>
- 24 Satoshi Morozumi, “Overview of Micro-grid R&D in Japan”, Micro-grid symposium Nagoya, Japan 2007
- 25 Moreira, C. L.; Resende, F. O.; Lopes, J. A. P.; “Using Low Voltage MicroGrids for Service Restoration” *IEEE Trans on Power Systems* Vol. 22, Issue 1, Feb. 2007 pp:395 – 403.
- 26 Μηνιαίο Δελτίο Α.Π.Ε., Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο (Απρίλιος 2008), ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε, Διαθέσιμο [http://www.desmie.gr/content/index.asp?parent\\_id=42&cat\\_id=861&lang=1](http://www.desmie.gr/content/index.asp?parent_id=42&cat_id=861&lang=1)
- 27 Ένωση Ελλήνων Βιομηχάνων Ηλιακής Ενέργειας [www.ebhe.gr](http://www.ebhe.gr)
- 28 Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2001, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ΚΑΠΕ
- 29 Τσαβασάρος, Κ., (2008), Ηλιακά Συστήματα στην Ελλάδα: Εμπειρίες και προοπτικές, Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας
- 30 Χ.Σαρχαμάνογλου, Τ.Μακρογιάννη, “Η ηλιακή ακτινοβολία στη Θεσσαλονίκη και η σχέση της με την ηλιοφάνεια”, *Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες μορφές Ενέργειας*, Θεσσαλονίκη 1988, Τόμος Α, σελ 35-46
- 31 B.Chowdhury, A.Sawab, “Evaluating the value of Distributed Photovoltaic Generations in Radial Distribution Systems”, *IEEE Trans on Energy Conversion*, Vol 11, No 3, September 1996, pp595-600.
- 32 T.Tsoutsos, I.Mavrogiannis, N.Karapanagiotis, S.Tselepis, D.Agoris “An analysis of the Greek photovoltaic market”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 8, pp49–72, 2004
- 33 Κ.Καγκαράκης, *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- 34 Roger A. Messenger, Jerry Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC Press, 2<sup>nd</sup> edition 2003
- 35 Δικτυακός τόπος European Photovoltaic Industry Application (EPIA), [www.epia.org](http://www.epia.org)
- 36 Avi Shalav, “Photovoltaics literature survey (No. 60)”, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 16, Iss. 2, March 2008, pp 181-185.
- 37 Cesi EuroDish solar Generator, DISPOWER Project Highlight no 8, Διαθέσιμο: [www.dispower.org](http://www.dispower.org)
- 38 European Small Hydropower Association διαθέσιμο [www.esha.org](http://www.esha.org)
- 39 Χ.Αλεβίζος, «Η επίδραση ταμειντήρα μικρής χωρητικότητας στην απόδοση μικρών ΥΗΕ», Διπλωματική εργασία, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ επίβλεψη Δ.Παπαντώνης, Ιούνιος 2001.
- 40 Δ.Παπαντώνης, *Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα*, Εκδόσεις Συμμετών 2001
- 41 Π.Καλογερόπουλος “Σύστημα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείων με Ταυτόχρονη Παραγωγή Καύσιμης Ύλης”, *Ημερίδα «Ολοκληρωμένα Συστήματα Διαχείρισης Αποβλήτων Ελαιοτριβείων»*, ΕΜΠ, Αθήνα, 5 Φλεβάρη 2004.
- 42 European Biomass Industry Association διαθέσιμο [www.eubia.org](http://www.eubia.org)
- 43 H. Christofer, H. Armstead, *Geothermal Energy*, 2<sup>nd</sup> Edition, London 1978
- 44 EGEC (European Geothermal Energy Council), “Positive Social and Environmental Impacts from the use of Geothermal Energy”. 2006. Διαθέσιμο, [www.geothermie.de/egec-geothernet/environmental\\_issues\\_and\\_employm.htm](http://www.geothermie.de/egec-geothernet/environmental_issues_and_employm.htm).
- 45 Δικτυακός τόπος ερευνητικού προγράμματος της Ε.Ε “The Virtual Balkan Power Center for Advance of Renewable Energy Sources in Western Balkans” (VBPC-RES Project, INCO-CT-2004-509205). [www.vbpc-res.org](http://www.vbpc-res.org).
- 46 Sebastián de la Torre, Antonio J. Conejo, “Optimal Self-Scheduling of a Tidal Power Plant”, *J. Energy Engrg.*, Vol. 131, Issue 1, pp. 26-51 (April 2005).
- 47 T. J. T. Whittaker, S. J. McIwaaine, S. Raghunathan, “A review of the Islay shoreline wave power station,” in *Proc. Eur. Wave Energy Symp.*, 1993, pp. 283–288.
- 48 R.G. Alcorn, W.C. Beattie, “Control Strategy Development For Remote Wave-Power Stations Based On The Limpet Device”, Διαθέσιμο, <http://www.wavegen.co.uk>
- 49 Pelamis Wave Power, δικτυακός τόπος: <http://www.pelamiswave.com>
- 50 Previsic, M.. “Wave power technologies”, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2005. 12-16 June 2005 pp:2011 - 2016 Vol. 2.
- 51 “Wave energy Utilization in Europe Current Status and Perspectives”, *European Thematic Network on Wave Energy*, διαθέσιμο [www.cres.gr/kape/pdf/download/Wave%20Energy%20Brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/download/Wave%20Energy%20Brochure.pdf)
- 52 The Global 2007 Wind Report, *Global Wind Energy Council (GWEC)*, April 2008, Διαθέσιμο: <http://www.gwec.net>
- 53 Δικτυακός τόπος, European Wind Energy Association (EWEA): Διαθέσιμο [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
- 54 AD Hansen, LH Hansen “Wind turbine concept market penetration over 10 years (1995-2004)”, *J. Wind energy*, Vol. 10, Iss. 1, January/February 2007, pp: 81-97.

- 
- 55 Μηνιαίο Δελτίο Α.Π.Ε., Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο (Ιούνιος 2009), ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε, Διαθέσιμο [http://www.desmie.gr/content/index.asp?parent\\_id=42&cat\\_id=861&lang=1](http://www.desmie.gr/content/index.asp?parent_id=42&cat_id=861&lang=1)
- 56 Κατασκευαστής Αιολικών Μηχανών Vestas [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
- 57 Έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογιών. [http://tw.innopolos-wm.eu/index.php?option=com\\_content&task=view&id=33&Itemid=50](http://tw.innopolos-wm.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=33&Itemid=50)
- 58 Κιβώτιο ταχυτήτων για ανεμογεννήτριες. [www.gears-gearbox.com/wind-turbines.html](http://www.gears-gearbox.com/wind-turbines.html)
- 59 Η ηλεκτρική γεννήτρια. <http://www.superwind.com/swe/index.htm>
- 60 Συστήματα ελέγχου ανεμογεννήτριας. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9233>
- 61 Cl. Jauch, J. Matevosyan, Th. Ackermann, S. Bolik “International comparison of requirements for connection of wind turbines to power systems”, *J. Wind energy*, Vol. 8 Is. 3, July/September 2005, pp 295–306
- 62 Στ. Παπαθανασίου «Σύνδεση Εγκαταστάσεων Παραγωγής στα Δίκτυα» Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003, διαθέσιμο, <http://users.ntua.gr/stpaph/Interconnection%20of%20generation.pdf>
- 63 Εργαστήριο Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ, Απρίλιος 2011
- 64 [www.mechatron.gr/.../mechatron-youth-car](http://www.mechatron.gr/.../mechatron-youth-car)
- 65 <http://www.teicrete.gr/tei/el/ereyna/labs/wel.htm>
- 66 Δικτυακός τόπος προγράμματος Small Wind Industry Implementation Strategy Project (SWIIS), <http://www.smallwindindustry.org>
- 67 Julia Nilsson, “*Maintenance management of wind power systems. Cost effect analysis of condition monitoring systems*”, Master Thesis, School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology KTH, 2005/2006.
- 68 Κατασκευαστής μικρών Α/Γ Bergey, Διαθέσιμο [www.bergey.com](http://www.bergey.com)