

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ 1369

**“ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ  
ΜΕΣΑ ΣΕ ΕΝΑ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ”**

**(RENEWABLE SOURCES OF ENERGY AND  
THE OPERATION OF WIND TURBINES  
IN THE SMART GRID)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Σκεμπές Ευάγγελος του Αναστασίου

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. Δροσόπουλος Αναστάσιος

ΠΑΤΡΑ 2014

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με την χρήση ενέργειας.

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι εξής:

Ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος - αιολική ενέργεια, οι υδατοπτώσεις - υδραυλική ενέργεια, η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα και οι θάλασσες.

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες. Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η διαδικασία της μετατροπής χρησιμοποιεί την δύναμη του ανέμου για την παραγωγή ροπής σε μια περιστρεφόμενη επιφάνεια. Σαν αποτέλεσμα έχουμε αρχικά την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και μετά την μετατροπή της σε ηλεκτρισμό μέσω ενός κινητήρα - γεννήτριας. Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα και στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Ως έξυπνο δίκτυο (smart grid) για την λειτουργία ανεμογεννητριών μέσα σε αυτό ορίζεται ως ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί να ενσωματώνει ευφυώς την συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό με σκοπό να διασφαλιστεί αποτελεσματικά η σταθερότητα, η οικονομία και η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα συνδυασμό λογισμικού και υλικού που επιτρέπει αποτελεσματικότερη ροή ισχύος και δίνει την δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν την ζήτηση ενέργειας. Η βασική λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου είναι να διανέμει το ηλεκτρικό ρεύμα με οικονομικό τρόπο ανταποκρινόμενο στους περιορισμούς χωρητικότητας και αξιοπιστίας του εξοπλισμού ηλεκτρικής ισχύος και των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος.

Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν μέσα στο έξυπνο δίκτυο χωρίζονται σε δύο είδη. Στις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας, με τον κινητήρα άμεσα συνδεδεμένο στο δίκτυο και στις ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας με μετατροπείς ηλεκτρικών ισχύος, συνδεδεμένους μεταξύ της ανεμογεννήτριας και του δικτύου.

ii.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

**ΣΕΛ.**

---

### **ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

ii

### **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

v

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>                                    | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Ιστορική Αναδρομή</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1.1 Εξέλιξη της ενέργειας  | 1         |
| 1.1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)                                      | 1         |
| 1.1.2.1 Ορισμός ΑΠΕ  | 1         |
| 1.1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΑΠΕ                                  | 2         |
| 1.1.2.3 Αιολική ενέργεια   | 3         |
| 1.1.2.4 Πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας                   | 3         |
| 1.1.2.5 Μειονεκτήματα της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας                   | 3         |
| <b>1.2 Παρούσα Ενεργειακή Κατάσταση</b>                                      | <b>4</b>  |
| 1.2.1 Παγκόσμια παρούσα ενεργειακή κατάσταση                                 | 4         |
| 1.2.1.1 Γενικά   | 4         |
| 1.2.1.2 Η Αιολική ενέργεια παγκοσμίως  | 8         |
| 1.2.2.1 Γενικά   | 8         |
| 1.2.2.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας  | 8         |
| 1.2.2.3 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα                                       | 10        |
| 1.2.3 Προοπτικές εξέλιξης αιολικών πάρκων-Υπεράκτια αιολικά πάρκα            | 12        |
| <b>1.3 Κατανεμημένη Παραγωγή Ενέργειας</b>                                   | <b>13</b> |
| 1.3.1 Ορισμός  | 13        |
| 1.3.2 Χρήσεις της κατανεμημένης παραγωγής                                    | 17        |
| 1.3.3 Επίδραση της κατανεμημένης παραγωγής στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής | 18        |
| 1.3.4 Διασύνδεση κατανεμημένης παραγωγής                                     | 19        |
| <b>2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Η ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ</b>                            | <b>20</b> |
| <b>2.1 Η ανεμογεννήτρια (Α/Γ)</b>  | <b>20</b> |
| 2.1.1 Σχεδιασμός της μοντέρνας ανεμογεννήτριας                               | 20        |
| 2.1.2 Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα                                       | 21        |
| 2.1.3 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα  | 23        |
| <b>2.2 Αεροδυναμική μετατροπή</b>  | <b>29</b> |
| 2.2.1 Η ισχύς του ανέμου   | 29        |
| 2.2.2 Η αεροδυναμική των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας                       | 30        |
| 2.2.3 Παραγωγή ισχύος  | 33        |
| 2.2.4 Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος της ανεμογεννήτριας                       | 34        |
| 2.2.5 Οι ανεμογεννήτριες και το ηλεκτρικό τους σύστημα                       | 34        |
| iii.   |           |
| <b>3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ (SMART GRID)</b>                  | <b>37</b> |
| <b>3.1 Το ηλεκτρικό δίκτυο σήμερα</b>  | <b>37</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>3.2 Τα δίκτυα του μέλλοντος</b>                                      | 38 |
| 3.2.1 Το μικροδίκτυο  | 39 |
| 3.2.1.1 Η έννοια του μικροδικτύου                                       | 39 |
| 3.2.1.2 Τα πλεονεκτήματα του μικροδικτύου                               | 40 |
| 3.2.2 Το έξυπνο δίκτυο  | 42 |
| 3.2.2.1 Η έννοια του έξυπνου δικτύου                                    | 42 |
| 3.2.2.2 Η λειτουργία του έξυπνου δικτύου                                | 42 |
| 3.2.2.3 Τα συστήματα Ελέγχου Επιτήρησης και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA) | 44 |
| 3.2.2.4 Οι έξυπνοι μετρητές και η αρχιτεκτονική του δικτύου             | 45 |
| 3.2.2.5 Η λειτουργία της τεχνολογίας W – BPL                            | 47 |
| 3.2.2.6 Η ασφάλεια και η αξιοπιστία του δικτύου                         | 52 |
| 3.2.2.6.1 Θέματα ασφάλειας  | 52 |
| 3.2.2.6.2 Ασφαλής επικοινωνία   | 53 |
| 3.2.2.6.3 Η σημασία του συνεργατικού σεναρίου                           | 54 |
| <b>4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> Η ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ</b>     | 55 |
| <b>4.1 Η Ανεμογεννήτρια (Α/Γ) στο έξυπνο δίκτυο</b>                     | 55 |
| 4.1.1 Είδη ανεμογεννητριών  | 55 |
| 4.1.2 Ανεμογεννήτρια με τουρμπίνα σταθερής ταχύτητας                    | 56 |
| 4.1.3 Ανεμογεννήτρια με τουρμπίνα μεταβλητής ταχύτητας                  | 56 |
| 4.1.4 Καινοτομίες   | 57 |
| <b>4.2 Δυσκολίες στην ένταξη των ανεμογεννητριών</b>                    | 58 |
| 4.2.1 Εξάρτηση από τον άνεμο  | 59 |
| 4.2.2 Λύσεις στα «προβλήματα του ανέμου»                                | 60 |
| 4.2.3 Επιλογή θέσης εγκατάστασης αιολικών πάρκων                        | 62 |
| <b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>  | 71 |

|   |             |
|---|-------------|
| <b>6. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b>                                | <b>ΣΕΛ.</b> |
| <b>Σχήμα 2.1 :</b> Η σχηματική παράσταση μίας ανεμογεννήτριας | 20          |
| <b>Σχήμα 2.2 :</b> Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα           | 21          |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Σχήμα 2.3 :  | Τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα   | 22 |
| Σχήμα 2.4 :  | Τύπος ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα  | 23 |
| Σχήμα 2.5 :  | Τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα  | 24 |
| Σχήμα 2.6 :  | Μέρη συστήματος ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα  | 26 |
| Σχήμα 2.7 :  | Σώμα αέρα εμβαδού A και πάχους x  | 29 |
| Σχήμα 2.8 :  | Άνωση και οπισθέλκουσα δύναμη σε μία σταθερή αεροτομή   | 30 |
| Σχήμα 2.9 :  | Άνωση και οπισθέλκουσα δύναμη σε μία μετατοπισμένη αεροτομή   | 31 |
| Σχήμα 2.10 : | Αεροδυναμικές δυνάμεις F1 και F2 στα πτερύγια μίας A/Γ  | 32 |
| Σχήμα 2.11 : | Ορισμός της γωνίας βήματος πτερυγίου και της γωνίας πρόσπτωσης.   | 32 |
| Σχήμα 2.12 : | Κυλινδρικός σωλήνας αέρα που πνέει μέσα από ιδανική A/Γ   | 33 |
| Σχήμα 3.1 :  | Παραδοσιακό Δίκτυο  | 37 |
| Σχήμα 3.2 :  | Δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος  | 38 |
| Σχήμα 3.3 :  | Τυπικό μικροδίκτυο  | 40 |
| Σχήμα 3.4 :  | Το σύστημα δικτύου ηλεκτρικής ισχύος- μετάδοση και διανομή  | 44 |
| Σχήμα 3.5 :  | Ηλεκτρικό δίκτυο με ενσωματωμένη υβριδική W - BPL τεχνολογία  | 49 |
| Σχήμα 3.6 :  | Εναλλαγή φάσης και κατανομή καναλιών κατά την μετάδοση BPL<br>σήματος κατά μήκος μίας γραμμής MT                      | 50 |
| Σχήμα 3.7 :  | W - BPL δίκτυο  | 51 |
| Σχήμα 4.1 :  | Αιολικό πάρκο   | 55 |
| Σχήμα 4.2 :  | Doubly - fed induction generator  | 57 |
| Σχήμα 4.3 :  | Multi - pole synchronous generator  | 57 |
| Σχήμα 4.4 :  | Αιολικό πάρκο   | 59 |
| Σχήμα 4.5 :  | Ο χάρτης της Ελλάδας με τις περιοχές αιολικής προτεραιότητας.   | 65 |
| Σχήμα 4.6 :  | Χάρτης αιολικού δυναμικού στο Ν. Λακωνίας.  | 67 |
| Σχήμα 4.7 :  | Ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της<br>περιόδου 2006-2010 για την περιοχή της Λακωνίας | 70 |

v.

## Π Ι Ν Α Κ Ε Σ

|  |    |
|--|----|
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1:</b> Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας 2005,2010 (Πηγή: BP Global Statistical Review of World Energy)            | 4  |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 2:</b> Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας 2005,2010 (Πηγή: BP Global Statistical Review of World Energy)              | 5  |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3:</b> Πρόβλεψη για τα επόμενα 20 χρόνια (πηγή:BP Energy Outlook 2030)  | 7  |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4:</b> Παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ διασυνδεδεμένου συστήματος 2012(Πηγή: ΛΑΓΗΕ)                              | 9  |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5:</b> Παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ μη διασυνδεδεμένου συστήματος 2012 (Πηγή: ΔΕΗ)                            | 10 |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 6:</b> Ταξινόμηση Κ.Π. με βάση την CIGRE,2003   | 13 |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 7:</b> Ορισμός Κ.Π. βάσει CIRED 2009  | 14 |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 8:</b> Τεχνολογίες Κ.Π. (Πηγή: Pepermans G. Et al., 2005)   | 16 |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 9:</b> Σύγκριση χρόνου απόσβεσης και εκπομπών διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών(Πηγή: Pepermans G. Et al., 2005) | 17 |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 10:</b> Σύγκριση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών για την υλοποίηση Ε.Δ   | 47 |
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 11:</b> Αιολικά πάρκα με όρους σύνδεσης από τον ΔΕΣΜΗΕ στο Ν. Λακωνίας  | 69 |

## Γ Ρ Α Φ Η Μ Α Τ Α

|   |    |
|---|----|
| <b>ΓΡΑΦΗΜΑ 1:</b> Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα 1997-2011 ( Πηγή: Eunice Energy Group) | 11 |
| <b>ΓΡΑΦΗΜΑ 2:</b> Εγκατεστημένα MW ανα περιφέρεια στην Ελλάδα (Πηγή: Στατιστική ΕΛΕΤΑΕΝ)                    | 12 |

- [1] **BP:** (Global Statistical Review of World Energy) Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας 2005,2010
- [2] **BP:** (Energy Outlook 2030) Πρόβλεψη για τα επόμενα 20 χρόνια
- [3] **WWEA:** (World Wind Energy Association) Παγκόσμια Ένωση Αιολικής Ενέργειας)
- [4] **ΛΑΓΗΕ:** (Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας)
- [5] **ΔΕΗ:** Παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ μη διασυνδεδεμένου συστήματος 2012
- [6] **Eunice Energy Group:** Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα 1997-2011
- [7] **ΕΛΕΤΑΕΝ:** (Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας)
- [8] **HWEA** Wind Energy Statistics HWD 2012A)
- [9] **ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΛΕΤΑΕΝ:** Εγκατεστημένα MW ανά περιφέρεια στην Ελλάδα
- [10] **CIGRE :** (International Council on Large Electric Systems) Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων
- [11] **IEEE :** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
- [12] **CIRED :** (International Research Center on the Environment and Development,1999)
- [13] **Pepermans G. et al., 2005**
- [14] **ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EMRP ENG04:** «Μετρολογία για Έξυπνα Ηλεκτρικά Δίκτυα»
- [15] **SCADA:** Συστήματα Ελέγχου Επιτήρησης και Απόκτησης Δεδομένων
- [16] **CAISO:** California Independent System Operator
- [17] **PIRP:** Participating Intermittent Resources Program (**Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, 2008**)
- [18] **ΚΑΠΕ:** ([http://www.cres.gr/kape/images/maps/img\\_pre2.htm](http://www.cres.gr/kape/images/maps/img_pre2.htm))
- [19] **ΡΑΕ :** Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας
- [20] **ΔΕΣΜΗΕ:** Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
- [21] **Μπαμπινιώτης, Γ. Δ.,** Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας με Σχόλια για τη Σωστή Χρήση των Λέξεων, Κέντρο Λεξικολογίας, Αθήνα, 1998

## 1.1 **Ιστορική Αναδρομή**

### 1.1.1 **Εξέλιξη της ενέργειας**

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τη δυνατότητα των ανθρώπων να διαχειρίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας ανά τις εποχές. Σε όλη την ιστορική του πορεία, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε με εφευρετικότητα τις δυνατότητες που του παρείχε η φύση, τη δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών της διαβίωσής του. Στους πιο πρόσφατους αιώνες, χρησιμοποίησε την ενέργεια από την καύση υδρογονανθράκων και βρήκε τρόπο να τη μετατρέψει σε ηλεκτρική.

Η σπάταλη διαχείριση των φυσικών πόρων όμως άρχισε να έχει επιβαρυντικές συνέπειες στο οικοσύστημα. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από τα συμβατικά καύσιμα δημιούργησαν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο δημιουργεί σημαντικά οικονομικά και οικολογικά προβλήματα σε όλες οι περιοχές του κόσμου και της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα παραπάνω αλλά και ο κίνδυνος ότι τα συμβατικά καύσιμα τελειώνουν οδήγησε την διεθνή ερευνητική κοινότητα και την ενεργειακή βιομηχανία να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

### 1.1.2 **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)**

#### 1.1.2.1 **Ορισμός ΑΠΕ**

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους.

Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

**Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι :**

- **ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια**, με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή.
- **ο άνεμος - αιολική ενέργεια**.
- **οι υδατοπτώσεις - υδραυλική ενέργεια**, με περιορισμό στα μικρά υδροηλεκτρικά, ισχύος κάτω των 10 MW.

- **η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια:** υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας.
- **η βιομάζα:** θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων.
- **οι θάλασσες:** ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.

### 1.1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΑΠΕ

#### Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ :

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

#### **Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:**

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.

- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.

- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.

- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

### **1.1.2.3 Αιολική ενέργεια**

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

### **1.1.2.4 Πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας**

- Πιο κατανεμημένη και αποκεντρωμένη ενεργειακή παραγωγή.
- Μειώνονται οι εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων σε σχέση με συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού ανεφοδιασμού.
- Είναι από τις πιο οικονομικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα καθώς αφθονεί η διαθέσιμη πηγή, ο άνεμος.
- Δεν εμποδίζει τις γεωγραφικές τις γεωγραφικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες καθώς το 99% της γης που φιλοξενεί αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για χρήσεις.
- Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι πολύ ήσυχες, το επίπεδο της έντασης του ήχου σε απόσταση 40 μέτρων από μια ανεμογεννήτρια (50-60 db(A)), είναι αντίστοιχο με την ένταση μιας συζήτησης.

### **1.1.2.5 Μειονεκτήματα της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας**

- Η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας απαιτεί μια αρχική επένδυση υψηλότερη από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με καύση ορυκτών.
- Ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος και δεν φυσά πάντα όταν ο ηλεκτρισμός απαιτείται.
- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.

- Τα αιολικά πάρκα μπορεί να συναγωνιστούν άλλες χρήσεις της γης και αυτές οι εναλλακτικές χρήσεις ίσως χαίρουν μεγαλύτερης εκτιμήσεως απ' ό τι η παραγωγή ηλεκτρισμού.

- Προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τις λεπίδες του ηλεκτρικού κινητήρα (ρότορα), την αισθητική επίπτωση και τα πουλιά που μερικές φορές έχουν σκοτωθεί καθώς πετούσαν προς τους ηλεκτρικούς κινητήρες.

**«Τα περισσότερα από τα παραπάνω προβλήματα έχουν ήδη λυθεί».**

## **1.2 Παρούσα Ενεργειακή Κατάσταση**

### **1.2.1 Παγκόσμια παρούσα ενεργειακή κατάσταση**

#### **1.2.1.1 Γενικά**

Η παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αυξήθηκε κατά 2,5% το 2011, λιγότερο από το ήμισυ του ποσοστού αύξησης που γνώρισε τον προηγούμενο χρόνο (5,1% το 2010). Το πετρέλαιο κατέχει την ηγετική θέση ανάμεσα στα καύσιμα με 33,1% της παγκόσμιας κατανάλωσης και ακολουθεί ο άνθρακας.

Η μεγαλύτερη αναλογική αύξηση στην κατανάλωση παρατηρείται στην περίπτωση του άνθρακα, του οποίου τα αποθέματα εκτιμάται ότι θα τελειώσουν περίπου σε 170 χρόνια. Αυτό μας δείχνει ότι θα έπρεπε ήδη να έχει γίνει στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς οι πρώτες πηγές κατανάλωσης ενέργειας θα τείνουν να τελειώσουν και όλες οι προβλέψεις όσο αφορά στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας, δείχνουν αύξηση .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1:** Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας 2005,2010 [1]

| <b>Κατανάλωση ενέργειας</b>               |               |               |
|---|---------------|---------------|
| Εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου         | 2005          | 2010          |
| Βόρεια Αμερική                            | 1131,0        | 1039,7        |
| N. & Κ. Αμερική                           | 239,9         | 282,0         |
| Ευρώπη και Ευρασία                        | 970,1         | 922,9         |
| Μέση Ανατολή                              | 288,5         | 360,2         |
| Αφρική                                    | 134,5         | 155,5         |
| Ασία-Ειρηνικός                            | 1144,5        | 1267,8        |
| <b>Συνολική κατανάλωση υγρών καυσίμων</b> | <b>3908,5</b> | <b>4028,1</b> |
| <i>Εκ των οποίων βιοκαύσιμα</i>           | <i>19,9</i>   | <i>59,3</i>   |

|  |               |               |
|--|---------------|---------------|
| Βόρεια Αμερική                             | 705,0         | 767,4         |
| N. & Κ. Αμερική                            | 110,6         | 132,9         |
| Ευρώπη και Ευρασία                         | 1010,5        | 1023,5        |
| Μέση Ανατολή                               | 251,3         | 329,0         |
| Αφρική                                     | 74,7          | 94,5          |
| Ασία-Ειρηνικός                             | 359,0         | 510,8         |
| <b>Συνολική κατανάλωση αέριων καυσίμων</b> | <b>2511,2</b> | <b>2858,1</b> |
| Βόρεια Αμερική                             | 614,9         | 556,3         |
| N. & Κ. Αμερική                            | 21,2          | 23,8          |

|                                    |               |               |
|------------------------------------|---------------|---------------|
| Ευρώπη και Ευρασία                 | 513,9         | 486,8         |
| Μέση Ανατολή                       | 9,1           | 8,8           |
| Αφρική                             | 92,1          | 95,3          |
| Ασία-Ειρηνικός                     | 1761,6        | 2384,7        |
| <b>Συνολική κατανάλωση άνθρακα</b> | <b>3012,9</b> | <b>3555,8</b> |

|  |              |              |
|--|--------------|--------------|
| Βόρεια Αμερική                                     | 209,4        | 213,8        |
| N. & K. Αμερική                                    | 3,8          | 4,9          |
| Ευρώπη και Ευρασία                                 | 285,5        | 272,8        |
| Μέση Ανατολή                                       | 0,0          | 0,0          |
| Αφρική   | 2,9          | 3,1          |
| Ασία-Ειρηνικός                                     | 125,2        | 131,6        |
| <b>Συνολική κατανάλωση της πυρηνικής ενέργειας</b> | <b>626,8</b> | <b>626,2</b> |

|   |              |              |
|---|--------------|--------------|
| Βόρεια Αμερική                                      | 150,1        | 149,9        |
| N. & K. Αμερική                                     | 140,6        | 157,2        |
| Ευρώπη και Ευρασία                                  | 180,1        | 195,9        |
| Μέση Ανατολή  | 4,1          | 3,0          |
| Αφρική  | 19,8         | 23,2         |
| Ασία-Ειρηνικός                                      | 163,9        | 246,4        |
| <b>Συνολική κατανάλωση υδροηλεκτρικής ενέργειας</b> | <b>658,6</b> | <b>775,6</b> |

|  |             |              |
|--|-------------|--------------|
| Βόρεια Αμερική   | 24,9        | 44,2         |
| N. & K. Αμερική  | 6,2         | 11,1         |
| Ευρώπη και Ευρασία                                     | 35,3        | 69,6         |
| Μέση Ανατολή   | 0,0         | 0,1          |
| Αφρική   | 0,6         | 1,1          |
| Ασία-Ειρηνικός   | 16,0        | 32,6         |
| <b>Συνολική κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας</b> | <b>83,1</b> | <b>158,6</b> |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2:** Παγκόσμια παραγωγή ενέργειας 2005,2010 [1]

| <b>Παραγωγή ενέργειας</b>           |               |               |
|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου   | 2005          | 2010          |
| Βόρεια Αμερική                      | 645,3         | 648,2         |
| N. & K. Αμερική                     | 347,1         | 350,0         |
| Ευρώπη και Ευρασία                  | 844,8         | 853,3         |
| Μέση Ανατολή                        | 1217,9        | 1184,6        |
| Αφρική                              | 470,7         | 478,2         |
| Ασία-Ειρηνικός                      | 380,8         | 399,4         |
| <b>Συνολική παραγωγή πετρελαίου</b> | <b>3906,6</b> | <b>3913,7</b> |

|   |               |               |
|---|---------------|---------------|
| Βόρεια Αμερική                          | 676,5         | 750,4         |
| N. & K. Αμερική                         | 124,8         | 145,1         |
| Ευρώπη και Ευρασία                      | 934,2         | 938,8         |
| Μέση Ανατολή                            | 287,9         | 414,6         |
| Αφρική                                  | 156,9         | 188,1         |
| Ασία-Ειρηνικός                          | 327,5         | 443,9         |
| <b>Συνολική παραγωγή φυσικού αερίου</b> | <b>2507,8</b> | <b>2880,9</b> |

|                                  |               |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| Βόρεια Αμερική                   | 618,8         | 591,6         |
| N. & K. Αμερική                  | 46,3          | 53,8          |
| Ευρώπη και Ευρασία               | 438,1         | 430,9         |
| Μέση Ανατολή                     | 0,8           | 1,0           |
| Αφρική                           | 141,0         | 144,9         |
| Ασία-Ειρηνικός                   | 1819,4        | 2509,4        |
| <b>Συνολική παραγωγή άνθρακα</b> | <b>3064,4</b> | <b>3731,4</b> |

|   |              |              |
|---|--------------|--------------|
| Βόρεια Αμερική                                    | 209,4        | 213,8        |
| N. & K. Αμερική                                   | 3,8          | 4,9          |
| Ευρώπη και Ευρασία                                | 285,5        | 272,8        |
| Μέση Ανατολή                                      | 0,0          | 0,0          |
| Αφρική  | 2,9          | 3,1          |
| Ασία-Ειρηνικός                                    | 125,2        | 131,6        |
| <b>Συνολική παραγωγή πυρηνικής ενέργειας</b>      | <b>626,8</b> | <b>626,2</b> |
| Βόρεια Αμερική                                    | 150,1        | 149,9        |
| N. & K. Αμερική                                   | 140,6        | 157,2        |
| Ευρώπη και Ευρασία                                | 180,1        | 195,9        |
| Μέση Ανατολή                                      | 4,1          | 3,0          |
| Αφρική  | 19,8         | 23,2         |
| Ασία-Ειρηνικός                                    | 163,9        | 246,4        |
| <b>Συνολική παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας</b> | <b>658,6</b> | <b>775,6</b> |

|                                      |             |             |
|--------------------------------------|-------------|-------------|
| Βόρεια Αμερική                       | 7,6         | 26,4        |
| N. & K. Αμερική                      | 8,1         | 18,3        |
| Ευρώπη και Ευρασία                   | 3,4         | 11,4        |
| Μέση Ανατολή                         | 0,0         | 0,0         |
| Αφρική                               | 0,0         | 0,0         |
| Ασία-Ειρηνικός                       | 0,8         | 3,3         |
| <b>Συνολική παραγωγή βιοκαυσίμων</b> | <b>19,9</b> | <b>59,3</b> |

|  |             |              |
|--|-------------|--------------|
| Βόρεια Αμερική                                       | 24,9        | 44,2         |
| N. & K. Αμερική                                      | 6,2         | 11,1         |
| Ευρώπη και Ευρασία                                   | 35,3        | 69,6         |
| Μέση Ανατολή   | 0,0         | 0,1          |
| Αφρική   | 0,6         | 1,1          |
| Ασία-Ειρηνικός                                       | 16,0        | 32,6         |
| <b>Συνολική παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας</b> | <b>83,1</b> | <b>158,6</b> |

Η παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά 1,6% ετησίως κατά την περίοδο 2010 έως 2030, προσθήκη 39% στη συνολική κατανάλωση το 2030. Το μίγμα καυσίμων αλλάζει αργά, λόγω της μακράς περιόδου παραγωγής και της ενεργητικής διάρκειας ζωής. Το φυσικό αέριο και τα μη ορυκτά καύσιμα αποκτούν μερίδιο σε βάρος του άνθρακα και του πετρελαίου. Τα ταχύτερα αναπτυσσόμενα καύσιμα είναι οι ανανεώσιμες πηγές (συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων) οι οποίες αναμένεται να αυξηθούν κατά 8,2% ετησίως το 2010-30.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Πρόβλεψη για τα επόμενα 20 χρόνια [2]

|   |                |
|---|----------------|
| <b>Κατανάλωση ενέργειας</b>                       |                |
|   |                |
| Εκατ. Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου                 | 2030           |
|   |                |
| <b>Συνολική κατανάλωση υγρών καυσίμων</b>         | <b>4719,5</b>  |
| <b>Συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου</b>         | <b>4299,5</b>  |
| <b>Συνολική κατανάλωση άνθρακα</b>                | <b>4608,7</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή πυρηνικής ενέργειας</b>      | <b>1006,2</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας</b> | <b>1137,4</b>  |
| <b>Συνολική κατανάλωση ενέργειας</b>              | <b>16631,6</b> |

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Παραγωγή ενέργειας</b>                            |                |
| Εκατ. Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου                    | 2030           |
| <b>Συνολική παραγωγή υγρών καυσίμων</b>              | <b>4511,7</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή φυσικού αερίου</b>              | <b>4328,1</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή άνθρακα</b>                     | <b>4573,0</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή πυρηνικής ενέργειας</b>         | <b>1006,2</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας</b>    | <b>1137,4</b>  |
| <b>Συνολική παραγωγή βιοκαυσίμων</b>                 | <b>188,0</b>   |
| <b>Συνολική παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας</b> | <b>860,2</b>   |
| <b>Συνολική παραγωγή ενέργειας</b>                   | <b>16604,7</b> |

### 1.2.1.2 Η Αιολική ενέργεια παγκοσμίως

Σύμφωνα με στοιχεία της WWEA [3] (World Wind Energy Association, Παγκόσμια Ένωση Αιολικής Ενέργειας), το 2011 τέθηκαν σε λειτουργία παγκοσμίως νέες μονάδες αιολικής συνολικής απόδοσης περίπου 40 GW ενέργειας ανά μονάδα παραγωγής, δηλαδή 237 GW απόδοσης παγκοσμίως.

Η WWEA ανέφερε 20% αύξηση ετησίως στην κατασκευή αιολικών γεννητριών, ενώ συγχρόνως πρόβλεψε πως η ενεργειακή απόδοση των αιολικών σταθμών θα τετραπλασιαστεί μέχρι το 2020.

#### 1.2.2.1 Γενικά

Κατά την τελευταία δεκαπενταετία βρίσκεται σε εξέλιξη σημαντική προσπάθεια εκσυγχρονισμού και ανάπτυξης του ενεργειακού τομέα της χώρας. Η προσπάθεια αυτή περιλαμβάνει:

1. τον τεχνολογικό εκσυγχρονισμό με την εισαγωγή του φυσικού αερίου, την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της αξιοπιστίας των δικτύων
2. προσαρμογή του ρυθμιστικού πλαισίου και των κρατικών επιχειρήσεων στο πλαίσιο της απελευθέρωσης των ενεργειακών αγορών ώστε να αναπτυχθεί ο ανταγωνισμός στον ενεργειακό τομέα και να ενισχυθεί η ανταγωνιστικότητα της ελληνικής οικονομίας
3. ενίσχυση της προστασίας του περιβάλλοντος από τις ενεργειακές δραστηριότητες παραγωγής και κατανάλωσης στο πλαίσιο και των διεθνών δεσμεύσεων της χώρας σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο.

#### 1.2.2.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η Ελλάδα προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ενέργειας, με σκοπό να δημιουργήσει ασφάλεια και διαφοροποίηση των ενεργειακών πόρων, να διασφαλίσει την προστασία του περιβάλλοντος και της βιώσιμης ανάπτυξης και να ενισχύσει την κοινωνική συνοχή.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαδραματίζουν όλο και περισσότερο κεντρικό ρόλο στην πολιτική της Ελλάδας για την παραγωγή ενέργειας.

Η παραγωγή σήμερα βασίζεται σε μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικούς σταθμούς που διαχειρίζεται η ΔΕΗ. Οι ανανεώσιμες πηγές αποτελούν περίπου 5% της ηλεκτρικής παραγωγής εάν αφαιρέσουμε το 5% των υδροηλεκτρικών σταθμών. Το παρόν επενδυτικό πλαίσιο απαιτεί σημαντική αύξηση της παραγωγής από αιολική και ηλιακή ενέργεια, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, βιομάζα και γεωθερμία. Αναμένεται ότι τα βιοκαύσιμα θα συμβάλλουν σημαντικά ως μελλοντικά καύσιμα.

Το πρώτο εξάμηνο του 2011, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ανανεώσιμων πηγών έφτασε τα 222,2 MW. Το 75% της ισχύος παράγεται από αιολική ενέργεια, το 11,5% από ηλιακή ενέργεια, ενώ το υπόλοιπό 13,5% από βιομάζα και υδροηλεκτρική ενέργεια.

Στόχος της Ελλάδας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ να αγγίξει το 40 % επί της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2020.

Σύμφωνα με την ΛΑΓΗΕ (Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) η παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ διασυνδεδεμένου συστήματος για φέτος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4:** Παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ διασυνδεδεμένου συστήματος 2012 [4]

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 2012  
(Αρθρο 9 Ν.3468/2006)

| Μήνας       | Αιολική        |                          | Υδροηλεκτρική  |                          | Βιομάζα        |                          | Σύνολο         |                          |
|-------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
|             | Ενέργεια (MWh) | Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) | Ενέργεια (MWh) | Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) | Ενέργεια (MWh) | Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) | Ενέργεια (MWh) | Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) |
| Ιανουάριος  | 305.773        | 1363,84                  | 49.672         | 205,33                   | 1.7125         | 44,53                    | 372.570        | 1.613,70                 |
| Φεβρουάριος | 240.102        | 1363,04                  | 61.441         | 206,20                   | 15.604         | 44,53                    | 317.226        | 1.614,65                 |
| Μάρτιος     | 214.612        | 1387,84                  | 83.472         | 211,88                   | 16.109         | 44,53                    | 314.093        | 1.644,25                 |
| Απρίλιος    | 324.614        | 1387,84                  | 91.283         | 211,88                   | 16.117         | 44,53                    | 432.013        | 1.644,25                 |
| Μάιος       | 210.050        | 1428,29                  | 84.085         | 211,88                   | 15.952         | 44,75                    | 310.086        | 1.634,92                 |
| Ιούνιος     |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
| Ιούλιος     |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
| Αύγουστος   |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
| Σεπτέμβριος |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
| Οκτώβριος   |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
| Νοέμβριος   |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
| Δεκέμβριος  |                |                          |                |                          |                |                          |                |                          |
|             | 1.295.130      |                          | 369.953        |                          | 80.907         |                          | 1.745.990      |                          |

ΛΑΓΗΕ/ΜΑΙΟΣ 2012

Σύμφωνα με την ΔΕΗ η παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ μη διασυνδεδεμένου συστήματος για το 2012 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Παραγωγή ενέργειας μονάδων ΑΠΕ μη διασυνδεδεμένου συστήματος 2012 [5]

Συγκεντρωτικά Στοιχεία Μονάδων ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά  
για το Έτος 2012

| ΜΗΝΑΣ         | ΑΙΟΛΙΚΑ                  |                   | ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ             |                  | ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ            |                | ΕΥΝΟΔΟ                   |                   |
|---------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
|               | ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)    | ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)   | ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) | ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)    |
| Ιανουάριος    | 277,02                   | 60.590,04         | 04,27                    | 6.020,33         | 0,30                     | 02,20          | 362,09                   | 57.730,27         |
| Φεβρουάριος   | 277,02                   | 54.322,02         | 05,97                    | 7.005,27         | 0,30                     | 02,87          | 363,29                   | 52.324,03         |
| Μάρτιος       |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Απρίλιος      |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Μάιος         |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Ιούνιος       |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Ιούλιος       |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Αύγουστος     |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Σεπτέμβριος   |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Οκτώβριος     |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Νοέμβριος     |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| Δεκέμβριος    |                          |                   |                          |                  |                          |                |                          |                   |
| <b>Σύνολο</b> |                          | <b>119.252,52</b> |                          | <b>14.525,90</b> |                          | <b>185,07</b>  |                          | <b>130.264,30</b> |

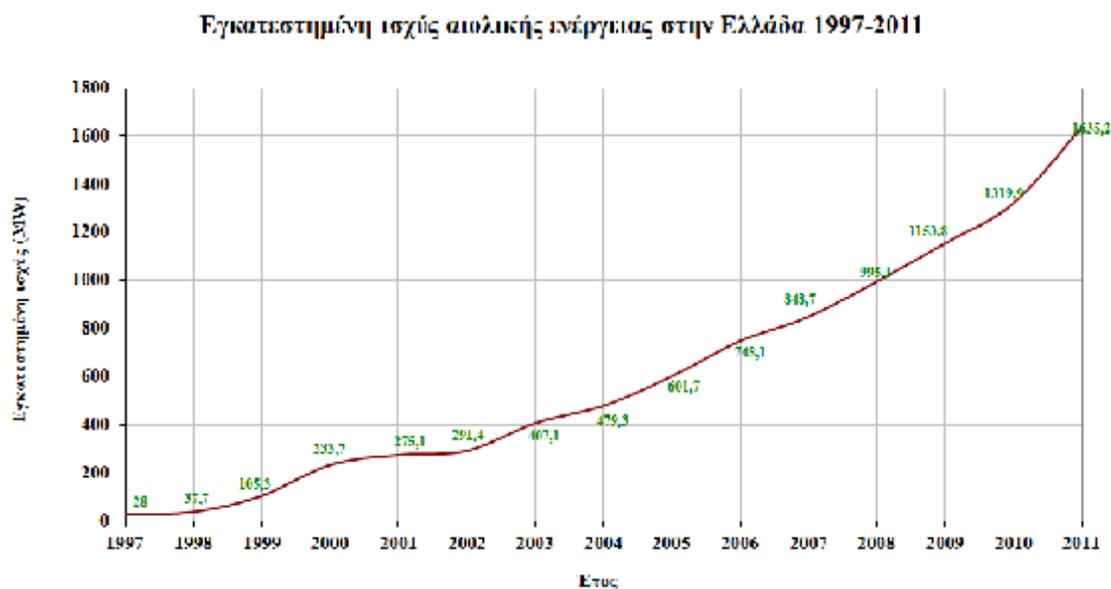
### 1.2.2.3 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αντιμετωπίζει μέχρι τώρα αρκετά προβλήματα. Παρά τη σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα τελευταία χρόνια, είναι κοινά αποδεκτό ότι αυτή η αύξηση είναι πολύ μικρή δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας μας. Μετά τις νομοθετικές αλλαγές στο χώρο των ΑΠΕ και την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά. Στο γράφημα 1 φαίνεται η ανάπτυξη εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια.

Παρέχονται οικονομικά κίνητρα υπό μορφή κυβερνητικής επιδότησης ή χορηγίας για την πραγματοποίηση επενδύσεων στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρισμού από ΑΠΕ.

- Για μεγάλα εμπορικά αιολικά συστήματα (δυναμικότητας πέραν των 30 KW) η επιδότηση γίνεται επί της παραγόμενης KWh.
- Για αιολικά συστήματα δυναμικότητας κάτω των 30 KW δίδεται κεφαλαιουχική χορηγία για αγορά και εγκατάσταση του εξοπλισμού.
- Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά συστήματα εκδόθηκαν σε πρώτο στάδιο , άδειες συνολικής ισχύος 40000 MW

## ΓΡΑΦΗΜΑ 1: Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα 1997-2011[6]



Η ΕΛΕΤΑΕΝ [7] (Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας) πραγματοποίησε έρευνα και παρουσίασε την Στατιστική της αγοράς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα για το πρώτο πεντάμηνο του 2012 [8] (HWEA Wind Energy StatisticsHWD2012A).

Με βάση τη Στατιστική, το σύνολο της αιολικής ισχύος που κατά τα τέλη του Μαΐου 2012 βρισκόταν σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία είναι :**1723,06MW**.

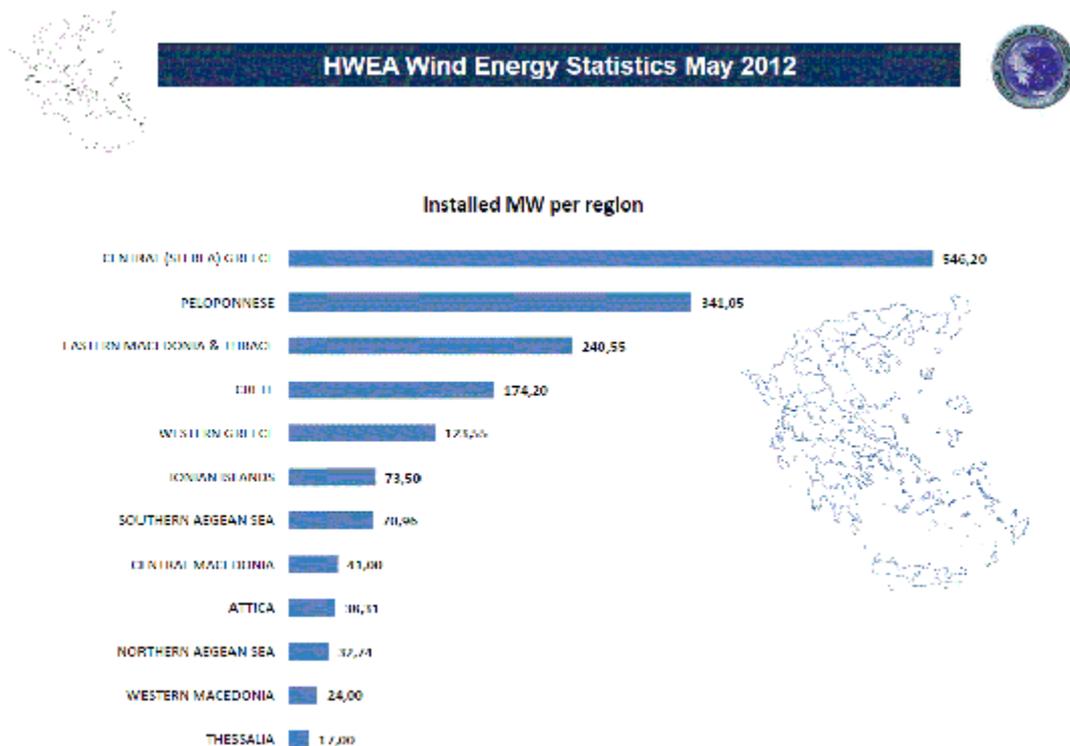
Η ισχύς αυτή κατανέμεται ως εξής:

**α. Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά : 275,92 MW .**

**β. Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα: 1447,14 MW.**

Η νέα αιολική ισχύς που εγκαταστάθηκε το 2012 είναι 88 MW αυξημένη κατά 5,4% σε σχέση με το τέλος του 2011. Αντιστοιχούν σε επενδύσεις άνω των 115 εκατομμυρίων Ευρώ. Σε επίπεδο Περιφερειών όπως φαίνεται και στο γράφημα 2 η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 546,2 MW (31,7%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 341,05 MW (19,8%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη με 240,55 MW (14%).

## ΓΡΑΦΗΜΑ 2 : Εγκατεστημένα MW ανά περιφέρεια στην Ελλάδα [9]



### 1.2.3 Προοπτικές εξέλιξης αιολικών πάρκων-Υπεράκτια αιολικά πάρκα

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα (offshore wind farms) αποτελούν μια νέα σχετικά παγκόσμια προσπάθεια αύξησης της παραγωγής ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η μέχρι τώρα πρακτική εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ήταν η δημιουργία αιολικών πάρκων σε διάφορες περιοχές στη ξηρά. Με την νέα αυτή πρακτική των υπεράκτιων αιολικών πάρκων εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες στη θάλασσα ή σε παράκτια ζώνη αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τις κατάλληλες περιοχές δημιουργίας αιολικών πάρκων. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας «φιλικής» προς το περιβάλλον από χώρες μικρές όπως η Ελλάδα όπου οι κατάλληλες περιοχές στη ξηρά για δημιουργία αιολικών πάρκων είναι περιορισμένες ενώ από την άλλη πλευρά διαθέτει ατελείωτες θαλάσσιες περιοχές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό.

Τα πλεονεκτήματα στη θάλασσα σε σχέση με την ξηρά είναι ότι στη θάλασσα πνέουν εντονότεροι άνεμοι και επίσης, δεδομένου ότι η παραγόμενη ενέργεια μεταβάλλεται ανάλογα με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, εκτιμάται ότι κάθε θαλάσσια ανεμογεννήτρια παράγει αρκετή ενέργεια σε ένα χρόνο, ώστε να καλύψει τις ανάγκες περίπου 1.500 νοικοκυριών, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει κατά 35.000 τόνους την παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα. Αν μάλιστα συνυπολογιστεί και ο χρόνος της ζωής της, που στη θάλασσα είναι μεγαλύτερος κατά 25 χρόνια, προκύπτει η μεγάλη σημασία της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την προστασία του περιβάλλοντος.

Το ότι το θαλάσσιο περιβάλλον δίνει περισσότερη ελευθερία στην εύρεση κατάλληλης περιοχής για εγκατάσταση αιολικού πάρκου δεν σημαίνει ότι η επιλογή της περιοχής γίνεται αυθαίρετα. Για να επιλεγεί κάποια περιοχή πρέπει να πληροί κάποια βασικά κριτήρια τα οποία θέτονται από την εκάστοτε χώρα. Στην Ελλάδα για την 1<sup>η</sup> φάση του προγράμματος των θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων (2012-2017) τα κριτήρια για την χωροθέτηση των θαλάσσιων πάρκων είναι:

- Το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό.
- Η συμβατότητα της ανάπτυξης των πάρκων με άλλες χρήσεις του συγκεκριμένου χώρου.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Η τεχνική δυνατότητα εγκατάστασης στην συγκεκριμένη θέση.
- Η ευκολία σύνδεσης με το δίκτυο (και τις μελετώμενες επεκτάσεις του).
- Η οπτική όχληση.

Στα μειονεκτήματά των υπεράκτιων αιολικών πάρκων περιλαμβάνεται το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους. Στη θάλασσα η κατασκευή του έργου στοιχίζει κατά 50% περισσότερο σε σχέση με ένα αιολικό πάρκο παρόμοιας ισχύος στην ξηρά, καθώς απαιτούνται μεγάλα κεφάλαια τόσο για την εγκατάστασή του (τοποθέτηση στον βυθό) όσο και για τη σύνδεσή του μέσω υποβρύχιου καλωδίου με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα.

### 1.3 Καταναμημένη Παραγωγή Ενέργειας

#### 1.3.1 Ορισμός

Η καταναμημένη παραγωγή (Κ.Π) συναντάται στην ελληνική βιβλιογραφία επίσης με τους όρους «διανεμημένη παραγωγή» και «διασπαρμένη παραγωγή» και στην διεθνή βιβλιογραφία ως «embedded generation», «dispersed generation» και «decentralized generation».

Σύμφωνα με το CIGRE [10] (CIGRE International Council on Large Electric Systems, Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων) μονάδες παραγωγής που: α) η μέγιστη ισχύς τους κυμαίνεται από 50 έως 100 MW, β) είναι συνήθως συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής και γ) η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δεν γίνεται κεντρικά συνιστούν Κ.Π. Στον πίνακα ταξινομείται η καταναμημένη παραγωγή με βάση την πηγή.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6:** Ταξινόμηση Κ.Π. με βάση την CIGRE,2003

| (1) Ανανεώσιμη       | (2) Ορυκτό καύσιμο | (3) Ανεκμετάλλευτη Ενέργεια | (4) Άλλη     |
|----------------------|--------------------|-----------------------------|--------------|
| -Ηλιακή              | -Συμπαγωγή         | -Απορρίματα                 | -Συσσωρευτής |
| -Αιολική             | -Αεριοστρόβιλος    | -Βιομάζα                    | -Σφόνδυλος   |
| -Μικρή υδροηλεκτρική | -Κυψέλη καυσίμου   |                             |              |

Σύμφωνα τώρα με την IEEE [11] ( Institute of Electrical and Electronics Engineers, Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών) Κ.Π. είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Η.Ε.) από εγκαταστάσεις μικρότερες από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διασύνδεση τους σχεδόν σε κάθε σημείο του συστήματος Η.Ε.

Οι Dondi et al. και ο Chambers δίνουν αντίστοιχους ορισμούς που καθορίζονται τόσο από την παραγόμενη ισχύ όσο και από τον τρόπο σύνδεσης στην πλευρά σύνδεσης των καταναλωτών.

Οι Pepermans ορίζουν ως καταναλωτή την πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής ή στην πλευρά σύνδεσης των καταναλωτών .

Στον πίνακα 7 αναφέρονται οι ορισμοί που προέκυψαν από τη CIREN[12], βάσει ενός ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε από τα κράτη μέλη:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7:** Ορισμός Κ.Π. βάσει CIREN 2009

| ΧΩΡΑ               | ΑΠΑΝΤΗΣΗ   |
|--------------------|--|
| Αυστραλία          | Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 132kV), όπου παρέχεται η δυνατότητα άμεσης παροχής στο φορτίο του πελάτη.   |
| Αυστρία            | Παραγωγή συνήθως μέχρι 10MW, συνδεδεμένη στο δίκτυο μέσης τάσης.   |
| Βέλγιο             | Δεν συμπεριλαμβάνεται στην εθνική συντονισμένη παραγωγή.   |
| Δημοκρατία Τσεχίας | Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 110kV) και μέχρι την ανώτερη επιτρεπτή κατάταξη ισχύος.   |
| Φιλανδία           | Συνδεδεμένη σε επίπεδο τάσης από 20kV έως 0,4kV.   |
| Γαλλία             | Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 132kV), όπου παρέχεται η δυνατότητα άμεσης παροχής στο φορτίο του πελάτη. Παραγωγή που συνδέεται στα εξής επίπεδα τάσης (0,4, 15 και 20kV). |
| Γερμανία           | Δεν υπάρχει αυστηρός ορισμός, κυριότερες τεχνολογίες, ήλιου, ανέμου, μικρών υδροηλεκτρικών (σύνδεση μέχρι 20kV, ενώ για αιολικά πάρκα μέχρι 110 kV).                               |
| Ελλάδα             | Σύνδεση στο σύστημα διανομής, όχι κεντρικά σχεδιασμένο. Η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δε γίνεται κεντρικά.   |
| Ινδία              | Νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (σύνδεση μέχρι τα 11kV).  |
| Ιταλία             | Συνδεδεμένη στο σύστημα διανομής (από 0,4 kV έως 150 kV).  |
| Ολλανδία           | Ανήκει σε επιχείρηση δημόσιας ωφέλειας, βιομηχανία ή συνδυασμό αυτών, αλλά δε μετέχει στην βελτιστοποίηση της εθνικής παραγωγής ( σύνδεση μέχρι τα 150kV).                         |
| Πολωνία            | Δεν γίνεται κεντρική κατανομή φορτίου, και συνδέεται μέχρι τα 110kV.   |
| Πορτογαλία         | Όριο ισχύος τα 10MW (εκτός από CHP), Συμπαράγωγή ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Σύνδεση σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης.  |
| Ισπανία            | Συνδεδεμένη στο σύστημα διανομής.  |
| Μ. Βρετανία        | Συνδεδεμένη στο σύστημα διανομής (μέχρι τα 132kV), ενδεχομένως να γίνεται κεντρική κατανομή φορτίου.   |

Είναι προφανές λοιπόν από τα παραπάνω πως μεταξύ των προσπαθειών να βρεθεί ορισμός για την Κ.Π. υπάρχουν διαφοροποιήσεις, έτσι για να υπάρξει σαφής ορισμός θα πρέπει να εξεταστούν οι εξής παράμετροι:

- Σκοπός της Κ.Π.
- Θέση της Κ.Π.
- Ισχύς της Κ.Π.
- Περιοχή που τροφοδοτεί η Κ.Π.
- Τεχνολογία της Κ.Π.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την Κ.Π.

- Τρόπος λειτουργίας της Κ.Π.
- Ιδιοκτησία των μονάδων Κ.Π.
- Διείσδυση της Κ.Π
- **Σκοπός της Κ.Π.**

Παραγωγή ενεργού ισχύος χωρίς να επιβάλλεται η παραγωγή άεργου ισχύος.

- **Θέση της Κ.Π.**

Εγκατάσταση και λειτουργία μονάδων ηλεκτρικής παραγωγής απ' ευθείας στο δίκτυο διανομής ή στη θέση κατανάλωσης.

- **Ισχύς της Κ.Π.**

Ως προς την ισχύ (δυναμικότητα) υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες Κ.Π. χωρίς όμως να είναι καθολικά αποδεκτές και είναι οι εξής: **α) πολύ μικρή** Κ.Π. 1W-5kW , **β) μικρή** Κ.Π. 5kW-5MW, **γ) μεσαία** Κ.Π. 5MW-50MW, **δ) μεγάλη** Κ.Π. 50MW-300MW. Είναι όμως φανερό ότι η μέγιστη δυναμικότητα ενός σταθμού κατανεμημένης παραγωγής που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο διανομής είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του ίδιου του δικτύου διανομής. Εξαιτίας του ότι η δυναμικότητα ενός δικτύου διανομής μπορεί να ποικίλει ευρέως, δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθεί ως στοιχείο ορισμού για την κατανεμημένη παραγωγή [Pepermans G. et al., 2005]. Εντούτοις, η δυναμικότητα θα έπρεπε να αποτελεί κριτήριο ορισμού της κατανεμημένης παραγωγής.

- **Περιοχή που τροφοδοτεί η Κ.Π.**

Η περιοχή που τροφοδοτεί η Κ.Π. είναι κυρίως εντός του δικτύου διανομής. Υπάρχει η περίπτωση το βράδυ όμως και κατά τις ώρες ελαχίστου φορτίου και υψηλών ταχυτήτων ανεμογεννητριών, τα αιολικά πάρκα συνήθως εξάγουν ενέργεια στο δίκτυο μεταφοράς.

- **Τεχνολογία της Κ.Π.**

Σε ό, τι έχει να κάνει με την τεχνολογία της Κ.Π. υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες, οι εξής:

**α. Κ.Π. από συνεργασία συμβατικών πηγών με Α.Π.Ε.** όπως συνδυασμοί μικρών υδροηλεκτρικών, φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών, μηχανών diesel, ηλιοθερμικών συστημάτων, κυψελών καυσίμου και μπαταριών,

**β. Κ.Π. από μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας,**

**γ. Κ.Π. από Α.Π.Ε.** όπως ήλιος, άνεμος, βιομάζα, υδατοπτώσεις, ενέργεια ωκεανού, και γεωθερμική ενέργεια.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8:** Τεχνολογίες Κ.Π. [13]

|                             | Τεχνολογία                           | Τυπικά μεγέθη |
|-----------------------------|--------------------------------------|---------------|
| Ορυκτά<br>καύσιμα           | Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου   | 35-450 MW     |
|                             | Μηχανή εσωτερικής καύσης             | 5 kW-10MW     |
|                             | Γεννήτρια καύσης                     | 1-250MW       |
|                             | Μικρο-Τουρμπίνα                      | 35kW-1MW      |
| Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | Πολύ μικρό υδροηλεκτρικό             | 25-kW-1MW     |
|                             | Μικρό υδροηλεκτρικό                  | 1-100MW       |
|                             | Ανεμογεννήτρια                       | 200W-3MW      |
|                             | Φωτοβολταϊκή συστοιχία               | 20W-100kW     |
|                             | Ηλιακό θερμικό, κεντρικός δέκτης     | 1-10MW        |
|                             | Ηλιακό θερμικό, σύστημα Lutz         | 10-80MW       |
|                             | Βιομάζα (αεριοποίηση)                | 100kW-20MW    |
|                             | Κυψέλη φωσφορικού οξέος              | 200kW-2MW     |
|                             | Κυψέλη τηγμένου άνθρακα              | 250kW-2MW     |
|                             | Κυψέλη καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίου | 1kW-250kW     |
|                             | Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου     | 250kW-5MW     |
|                             | Γεωθερμική                           | 5-100MW       |
|                             | Ωκεανική ενέργεια                    | 100kW-1MW     |
|                             | Μηχανή Stirling                      | 2-10kW        |
|                             | Συσσωρευτές                          | 500kW-5MW     |

· **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την Κ.Π.**

Λόγω του αυξημένου φαινομένου του θερμοκηπίου μπορεί να θεωρηθεί ότι όλες οι τεχνολογίες Κ.Π. περιορίζουν σημαντικά τις εκπομπές έναντι των μονάδων που λειτουργούν με καύση άνθρακα. Ακόμη ένα θετικό είναι η μείωση των απωλειών μεταφοράς. Από την άλλη, η μεγάλη διείσδυση Κ.Π. μπορεί να αναγκάσει τις μονάδες βάσης να λειτουργούν όχι με μέγιστη απόδοση, πράγμα που αυξάνει τις εκπομπές ανά παραγόμενη kWh. Τέλος, υπάρχει δυσκολία περιβαλλοντικής σύγκρισης όταν τίθενται θέματα ασφάλειας πυρηνικών σταθμών ή οπτικής ρύπανσης, θορύβου και απαιτήσεων γης από ανεμογεννήτριες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9:** Σύγκριση χρόνου απόσβεσης και εκπομπών διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών [13]

| Τεχνολογία                        | Απόσβεση (μήνες) | SO <sub>2</sub> (kg/GWh) | NO <sub>x</sub> (kg/GWh) | CO <sub>2</sub> (t/GWh) | CO <sub>2</sub> και eqCO <sub>2</sub> για CH <sub>4</sub> (t/GWh) |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| Μηχανές καύσης άνθρακα            | 1-1,1            | 630-1370                 | 630-1560                 | 830-920                 | 1240  |
| Πυρηνικές                         | Δ.Ε              | Δ.Ε                      | Δ.Ε                      | Δ.Ε                     | Δ.Ε   |
| Αεροστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου | 0,4              | 45-140                   | 650-810                  | 370-420                 | 450   |
| Μεγάλο υδροηλεκτρικό              | 5-6              | 18-21                    | 34-40                    | 7-8                     | 5   |
| Πολύ μικρό υδροηλεκτρικό          | 9-11             | 38-46                    | 71-86                    | 16-20                   | Δ.Ε   |
| Μικρό υδροηλεκτρικό               | 8-9              | 24-29                    | 45-56                    | 10-12                   | 2   |
| Ανεμογεννήτρια 4,5 m/s            | 6-20             | 18-32                    | 26-43                    | 19-34                   | Δ.Ε   |
| Ανεμογεννήτρια 5,5 m/s            | 4-13             | 13-20                    | 18-27                    | 13-22                   | Δ.Ε   |
| Ανεμογεννήτρια 6,5 m/s            | 2-8              | 10-16                    | 14-22                    | 10-17                   | 11  |
| Φωτοβολταϊκό μονοκρυστ.           | 72-93            | 230-295                  | 270-340                  | 200-260                 | Δ.Ε   |
| Φωτοβολταϊκό πολυκρυστ            | 58-74            | 260-330                  | 250-310                  | 190-250                 | 228   |
| Φωτοβολταϊκό άμορφο               | 51-66            | 135-175                  | 160-200                  | 170-220                 | Δ.Ε   |
| Γεωθερμική                        | Δ.Ε              | Δ.Ε                      | Δ.Ε                      | Δ.Ε                     | 50-70   |
| Κυματική                          | Δ.Ε              | Δ.Ε                      | Δ.Ε                      | Δ.Ε                     | 2   |

- **Τρόπος λειτουργίας της Κ.Π.**

Η Κ.Π. δεν υπακούει στους κανόνες λειτουργίας των κεντρικών συστημάτων παραγωγής.(σχεδιασμό, τιμές, κατανομή).

- **Ιδιοκτησία των μονάδων Κ.Π.**

Δεν υπάρχει κάποια συμφωνία για το αν οι μονάδες Κ.Π. ανήκουν σε ανεξάρτητους παραγωγούς ή στους ίδιους τους καταναλωτές ή σε μεγάλες επιχειρήσεις ηλεκτρισμού.

- **Διείσδυση της Κ.Π.**

Δεν υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστεί ακριβώς το ύψος της ισχύος διείσδυσης σε σχέση με την περιοχή (τοπικό σύστημα διανομής ή εθνικό σύστημα ισχύος).

Ένας ορισμός λοιπόν που μπορεί να γίνει γενικά αποδεκτός είναι ο εξής: «Καταναμημένη παραγωγή είναι οποιαδήποτε πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής ή στη θέση κατανάλωσης».

### 1.3.2 Χρήσεις της καταναμημένης παραγωγής

Οι τυπικές χρήσεις της καταναμημένης παραγωγής ενέργειας είναι οι εξής:

- Οικιακή (ηλεκτρισμός και θέρμανση)
- Εμπορική (ηλεκτρισμός και θέρμανση)

- Θερμοκήπια
- Βιομηχανική (ηλεκτρισμός και ατμός)
- Περιφερειακή θέρμανση
- Ισχύς δικτύου (μόνο ηλεκτρισμός που παρέχεται στο δίκτυο)

### 1.3.3 Επίδραση της κατανεμημένης παραγωγής στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων μεταφοράς και διανομής είναι πολύ σημαντικά από τεχνικής άποψης καθώς εμφανίζουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους.

**Πρώτον**, τα δίκτυα διανομής έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικό σκοπό από τα δίκτυα μεταφοράς με κύρια διαφορά ότι τα συστήματα διανομής δεν έχουν σχεδιαστεί για τη σύνδεση τους με συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επί παραδείγματι η σύνδεση της κατανεμημένης παραγωγής οδηγεί σε αλλαγή της τιμής του ρεύματος σφάλματος, ως εκ τούτου, επανασχεδιασμός του τοπικού συστήματος προστασίας από σφάλματα ενδέχεται να απαιτηθεί. Επιπλέον τα δίκτυα διανομής είναι συνήθως ακτινικά ή βροχοειδή που λειτουργούν ακτινικά και όχι διασυνδεδεμένα δηλαδή η ροή ενέργειας στα δίκτυα αυτά είναι συνήθως προς μία διεύθυνση οπότε με τη σύνδεση μονάδων κατανεμημένης παραγωγής η ροή ισχύος αλλάζει.

**Δεύτερον**, οι γραμμές υψηλής τάσης, π.χ. γραμμές μεταφοράς έχουν χαμηλή αντίσταση σε σύγκριση με τους αγωγούς χαμηλής τάσης των δικτύων διανομής. Στις γραμμές μεταφοράς η επίδραση της αντίστασης καλωδίου ΤΗΣ στην πτώση τάσης είναι μικρή, αφού το μέγεθός της είναι εν γένει λιγότερο από την αντίδραση (X), δηλαδή  $X / R > 5$ . Ως εκ τούτου, η αντίδραση είναι η πιο σημαντική παράμετρος στην πτώση τάσης και τις απώλειες των αγωγών. Στα συστήματα διανομής, ωστόσο, η αντίσταση στις γραμμές είναι συχνά μεγαλύτερη ή τουλάχιστον παρόμοια με την αυτεπαγωγή. Οπότε η αντίσταση της γραμμής διανομής προκαλεί σημαντική πτώση τάσης κατά μήκος των γραμμών διανομής και συνεπώς παρουσιάζονται αυξημένες οι απώλειες γραμμής. Η σύνδεση της κατανεμημένης παραγωγής μπορεί επομένως να έχει σημαντική επιρροή στο τοπικό επίπεδο τάσης.

**Τρίτον**, η χαμηλή τάση στα άκρα των συστημάτων διανομής δεν είναι συνήθως συνδεδεμένη με τα συστήματα επιτήρησης και ελέγχου δεδομένων [15] (SCADA), συνεπώς η συλλογή δεδομένων που απαιτούνται για τον έλεγχο του συστήματος διανομής, όπως και των μονάδων ΚΠ είναι αρκετά δύσκολη. Η πολυπλοκότητα συλλογής δεδομένων για τον έλεγχο του συστήματος σε ανταγωνιστικές αγορές αυξάνεται λόγω του γεγονότος ότι οι ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν τις μονάδες τους, σύμφωνα με τα μηνύματα των τιμών της αγοράς, που δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στις απαιτήσεις των συστημάτων ελέγχου στις τοπικές περιοχές παραγωγής και διανομής.

**Οι επιδράσεις των μονάδων ΚΠ στο δίκτυο διανομής που συνδέονται συνίστανται λοιπόν στα παρακάτω:**

- Αύξηση στην ισχύ βραχυκυκλώσεως.
- Αλλαγή της εικόνας τάσης (συνήθως είναι ανύψωση τάσης οπότε δρα ευεργετικά κατά τις ώρες μεγίστου φορτίου, μπορεί όμως να μην είναι αποδεκτή κατά τις ώρες ελαχίστου φορτίου). Εισαγωγή στο δίκτυο ρευμάτων ανώτερων αρμονικών που επηρεάζουν την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος.
- Δυσχέρεια στην προγραμματισμένη συντήρηση του δικτύου, διότι η τροφοδότηση από πολλά σημεία επηρεάζει τις διαδικασίες ασφάλειας.

- Δυσχέρεια στη ρύθμιση των διατάξεων προστασίας με επιπλέον απαίτηση προστασίας έναντι της νησιδοποίησης.
  - Αλλαγή των απωλειών του δικτύου.
- Επίδραση στα σήματα ακουστικής συχνότητας που μεταφέρονται στο δίκτυο διανομής.

#### **1.3.4 Διασύνδεση κατανεμημένης παραγωγής**

Η διασύνδεση της κατανεμημένης παραγωγής δεν αφορά μόνο το ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατανεμημένη παραγωγή έχει τρία επίπεδα διασύνδεσης :

**α. τη φυσική διασύνδεση**, η οποία αφορά τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο και το δίκτυο φυσικών καυσίμων.

**β. τη διασύνδεση επικοινωνιών**, η οποία αφορά τη επικοινωνία της Κ.Π. με κάποια κεντρική οντότητα για έλεγχο και εποπτεία της Κ.Π.

**γ. τη διασύνδεση με την αγορά**, η οποία αφορά τη λειτουργία της Κ.Π. στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και στους παράλληλους μηχανισμούς της, όπως αγορά πράσινων πιστοποιητικών και δικαιωμάτων εκπομπών. Η φυσική διασύνδεση και η διασύνδεση επικοινωνιών σχετίζονται με θέματα ποιότητας ισχύος, προτύπων, πρωτοκόλλων, ασφάλειας, προστασίας, αξιοπιστίας, και μετρήσεων. Η διασύνδεση αγοράς σχετίζεται με την κατανομή φορτίου και γενικότερα με τη λειτουργία της αγοράς.

Η διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, επιτρέπει στην Κ.Π. να αλληλεπιδρά με αυτό για την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων. Η αλληλεπίδραση αφορά επίσης τη συμμετοχή της Κ.Π. στους μηχανισμούς της αγοράς για την παροχή υπηρεσιών στο ηλεκτρικό δίκτυο, επιτρέποντας έτσι π.χ. σε αυτό να ανταλλάσσει ηλεκτρική ενέργεια. Η διασύνδεση της Κ.Π. με ένα δίκτυο καυσίμων, επιτρέπει την τροφοδότηση πρωτογενούς μορφής ενέργειας. Η διασύνδεση της Κ.Π. με ένα δίκτυο επικοινωνιών, επιτρέπει στην Κ.Π. να υπόκειται σε κεντρικό έλεγχο από τον Τοπικό Διαχειριστή Δικτύου, ενώ παράλληλα να υπάρχει και πλήρης εποπτεία των χαρακτηριστικών του δικτύου και των ηλεκτρικών συναλλαγών.

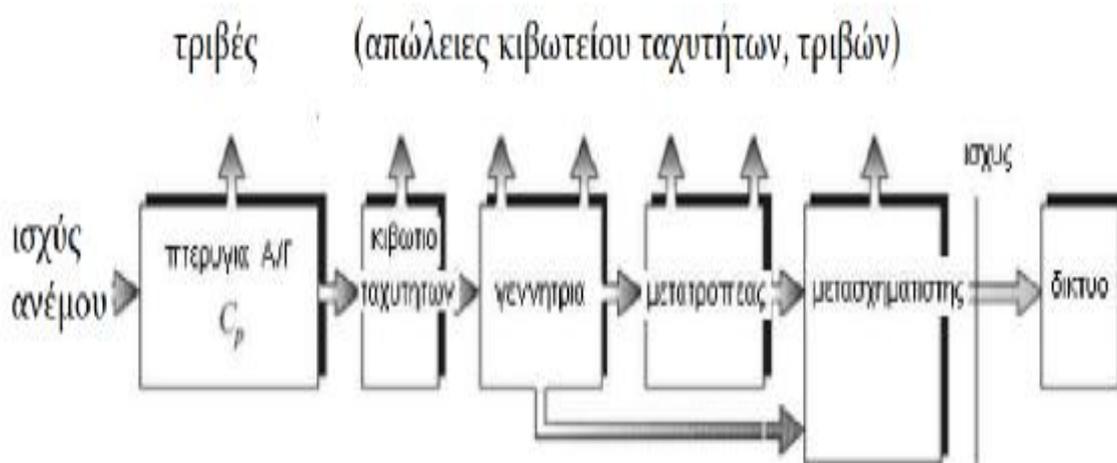
**Η διασύνδεση της Κ.Π. είναι συνεπώς πολυεπίπεδη και αποβλέπει στο να μετατρέψει το συμβατικό ηλεκτρικό δίκτυο σε ένα «ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο» (smart power network) ή γενικότερα συμπεριλαμβάνοντας και τα υπόλοιπα ενεργειακά δίκτυα σε ένα «ευφυές ενεργειακό δίκτυο».**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Η ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

### 2.1 Η ανεμογεννήτρια (Α/Γ)

Η ανεμογεννήτρια είναι μία κατασκευή, η οποία μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η διαδικασία της μετατροπής χρησιμοποιεί την δύναμη του ανέμου (κινητική ενέργεια) για την παραγωγή ροπής σε μία περιστρεφόμενη επιφάνεια. Σαν αποτέλεσμα έχουμε αρχικά την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και μετά την μετατροπή της σε ηλεκτρισμό μέσω ενός κινητήρα-γεννήτριας. Σε αντίθεση με οποιαδήποτε άλλη μορφή γεννήτριας, οι ανεμογεννήτριες, μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογα με τον άνεμο που διαθέτουν αυτοστιγμής καθώς είναι αδύνατη η αποθήκευση του ανέμου για μελλοντική χρήση. Η παραγωγή ηλεκτρισμού λοιπόν από μία ανεμογεννήτρια είναι κυμαινόμενη.

Η σχηματική παράσταση μίας ανεμογεννήτριας και του πώς αυτή παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, θα μπορούσε να είναι το εξής:



**Σχήμα 2.1:** Η σχηματική παράσταση μίας ανεμογεννήτριας.

Η κινητική ενέργεια που έχει ο άνεμος, μετατρέπεται από την τουρμπίνα σε στρεφόμενη μηχανική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια, με τον επιθυμητό αριθμό στροφών χάρη στο κιβώτιο ταχυτήτων, διοχετεύεται στον ρότορα της γεννήτριας, η οποία την μετατρέπει σε ηλεκτρική και την αποδίδει στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Παρεμβάλλεται ένας μετασχηματιστής για την προσαρμογή της τάσης με αυτήν του δικτύου. Στο σχήμα δεν φαίνεται το σύστημα ελέγχου.

Έχοντας λοιπόν μία γενικότερη εικόνα για την ανεμογεννήτρια, θα δούμε στη συνέχεια αναλυτικά το σχεδιασμό της.

#### 2.1.1 Σχεδιασμός της μοντέρνας ανεμογεννήτριας

Με βάση το σχεδιασμό τους, οι ανεμογεννήτριες κατηγοριοποιούνται σε Α/Γ κατακόρυφου άξονα και σε Α/Γ οριζόντιου άξονα.

Θα αναφερθούμε και στους δύο τύπους ανεμογεννητριών με κύρια έμφαση στις Α/Γ οριζόντιου άξονα.

### 2.1.2 Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα

Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα έχουν τον άξονα του ρότορα τοποθετημένο κατακόρυφα. Πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι, ότι η μηχανή δε χρειάζεται να προσανατολίζεται προς τον άνεμο για να είναι αποτελεσματική. Αυτό ισχύει ιδίως για τοποθεσίες όπου η κατεύθυνση του ανέμου έχει υψηλή μεταβλητότητα. Το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στο έδαφος, έτσι είναι εύκολα προσβάσιμα και δεν χρειάζεται πυλώνας στήριξης. Υπάρχουν όμως και σοβαρά μειονεκτήματα όπως:

- Η ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο του εδάφους είναι χαμηλή και ως εκ τούτου δεν έχουν υψηλή απόδοση.

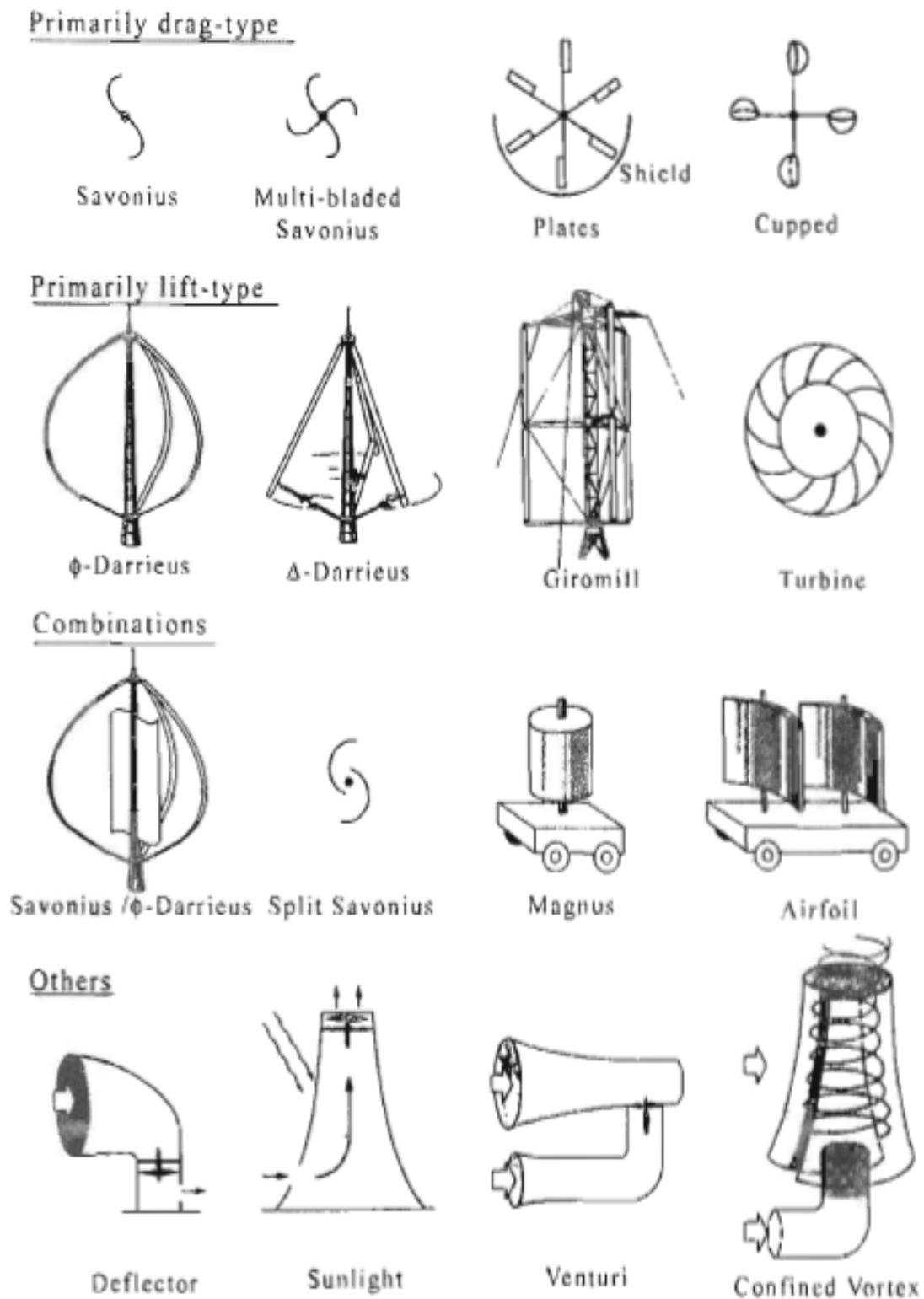
- Η ροπή εκκίνησης τους είναι χαμηλή και δεν εκκινούν μόνες τους (χρειάζεται να λειτουργήσουν σαν κινητήρες στην αρχή παίρνοντας ρεύμα από το δίκτυο).

Γι' αυτούς τους λόγους οι μηχανές κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται κυρίως για γεωργικούς σκοπούς.



**Σχήμα 2.2:** Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα.

Ακολούθως, με τη βοήθεια της κάτωθι εικόνας, αποτυπώνονται ενδεικτικά διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα. Ειδικότερα:



**Σχήμα 2.3:** Τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα.

### 2.1.3 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα

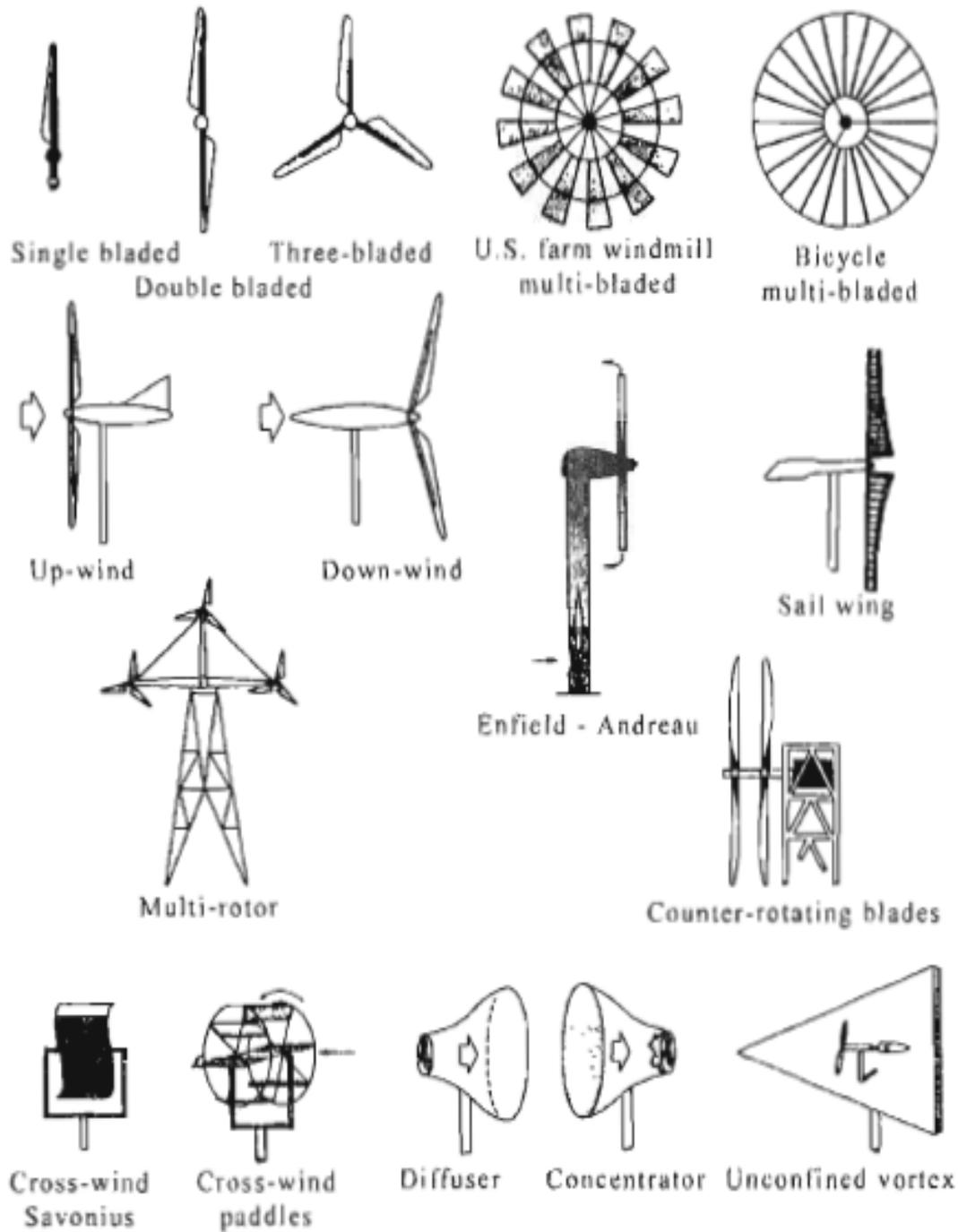
Σήμερα το πιο συχνό σχέδιο μίας ανεμογεννήτριας (90% της παγκόσμιας αγοράς) είναι αυτή του οριζόντιου άξονα περιστροφής. Ο ρότορας δηλαδή, με τα πτερύγιά του, βρίσκεται σχεδόν παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους. Η ισχύς τους φτάνει τα 5MW, η διάμετρος του ρότορα κυμαίνεται από 40, έως και 120 m, το ύψος του πύργου αγγίζει τα 120m και το παράθυρο ταχυτήτων που λειτουργούν είναι από 3 έως και τα 30m/s. Γενικά επιδεικνύουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή. Όμως η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να τοποθετηθούν στην κορυφή του πυλώνα στήριξης, πράγμα που κάνει τον σχεδιασμό τους πιο σύνθετο και ακριβό. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η ανάγκη ύπαρξης ουραίου πτερυγίου ή σερβομηχανισμού, για τον προσανατολισμό του ρότορα προς τον άνεμο. Οι Α/Γ οριζόντιου άξονα περιστροφής κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την κατεύθυνση του προσπίπτοντος ανέμου (σύμφωνα με τον άνεμο, δρομέας έναντι ή κόντρα σε αυτόν, δρομέας κατάντη), την πλήμνη (άκαμπτη ή ταλαντευόμενη), τον έλεγχο του ρότορα (υπό γωνία ή σταθερό), τον αριθμό των πτερυγίων (μονόπτερες, δίπτερες τρίπτερες και πολύπτερες) και πώς αυτά ρυθμίζονται, ανεξάρτητα μεταξύ τους, ως προς την γωνία βήματος πτερυγίου (pitch angle).



**Σχήμα 2.4:** Τύπος ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

Ακολουθως, με τη βοήθεια της κάτωθι εικόνας, αποτυπώνονται ενδεικτικά διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα. Ειδικότερα:

Horizontal axis turbines



**Σχήμα 2.5:** Τύποι ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα

Μία τυπική ΑΓ οριζόντιου άξονα αποτελείται από:

- Τον ρότορα, ο οποίος αποτελείται από τα πτερύγια και το κέντρο στήριξής τους (πλήμνη του ρότορα).
- Το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το οποίο συμπεριλαμβάνει τα κινούμενα μέρη της ΑΓ και συνήθως αποτελείται από άξονες, κιβώτια ταχυτήτων, συζεύξεις, ένα μηχανικό φρένο και τον κινητήρα.
- Την άτρακτο και το κυρίως πλαίσιο, όπου συμπεριλαμβάνεται η κάλυψη της τουρμπίνας, η βάση και το σύστημα εκτροπής.
- Τον πύργο και τα θεμέλια.
- Το σύστημα ελέγχου της μηχανής.
- Την εξισορρόπηση του ηλεκτρικού συστήματος.

Επιπλέον για το σχεδιασμό και κατασκευή της ΑΓ λαμβάνουμε υπόψη:

- Τον αριθμό των πτερυγίων (μονόπτερες, δίπτερες, τρίπτερες και πολύπτερες).

Οι μονόπτερες είναι φθηνότερες εξαιτίας των λιγότερων πτερυγίων. Όμως για εξισορρόπηση, πρέπει να τοποθετηθεί αντίβαρο στην πλήμνη. Οι δίπτερες έχουν το ίδιο πρόβλημα σε μικρότερη έκταση. Η πλειονότητα των ΑΓ που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροπαραγωγή έχουν τρία πτερύγια. Είναι πιο σταθερές καθώς το αεροδυναμικό φορτίο είναι σχετικά ομοιόμορφο. Μηχανές με μεγαλύτερο αριθμό πτερυγίων (6, 8, 12 ή και περισσότερα) είναι επίσης διαθέσιμες. Ο λόγος της πραγματικής επιφάνειας των πτερυγίων προς την επιφάνεια σάρωσης του ρότορα ονομάζεται στιβαρότητα. Οι ρότορες μεγάλης στιβαρότητας μπορούν να εκκινήσουν εύκολα, καθώς μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπιδρά με τον άνεμο. Έχει αποδειχθεί όμως ότι οι τρίπτεροι ρότορες έχουν μεγαλύτερο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος από τους πολύπτερους, έτσι οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται σε κάποιες εφαρμογές όπως η άντληση υδάτων, όπου η απαιτούμενη ροπή εκκίνησης είναι μεγάλη.

- Το υλικό κατασκευής τους, τη μέθοδο και το προφίλ.
- Τον έλεγχο ισχύος μέσω αεροδυναμικής ή μεταβλητών πτερυγίων.
- Προκαθορισμένη ή μεταβλητή ταχύτητα του δρομέα.
- Αυτοπροσανατολισμό ή ενεργό προσανατολισμό.
- Σύγχρονο ή επαγωγικό κινητήρα.
- Κιβώτιο ταχυτήτων ή απευθείας μετάδοση κινητήρα.

Στη συνέχεια θα μιλήσουμε αναλυτικότερα για πιο σημαντικά μέρη της ανεμογεννήτριας.

- **Ρότορας:** Ο ρότορας αποτελείται από την πλήμνη και τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Αυτά συνήθως θεωρούνται τα πιο σημαντικά εξαρτήματα για την απόδοση και το συνολικό κόστος της ΑΓ. Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες σήμερα έχουν δρομείς προσανατολισμένους κόντρα στον άνεμο (δρομέας ανάντη) [21] με τρία πτερύγια. Ο ρότορας έτσι δέχεται τον άνεμο άμεσα. Καθώς ο άνεμος περνάει πρώτα από τον ρότορα, δεν έχουν το πρόβλημα του φαινομένου της σκίασης του πυλώνα. Ο μηχανισμός του προσανατολισμού τους όμως είναι θεμελιώδης, ώστε να διατηρεί τον ρότορα στην

κατεύθυνση του ανέμου. Από την άλλη μεριά οι μηχανές δεν χρειάζονται σερβομηχανισμό προσανατολισμού, αλλά επειδή ο ρότοράς τους είναι τοποθετημένος στην υπήνεμη πλευρά του πύργου, μπορεί να φορτισθούν στα πτερύγια ασύμμετρα, καθώς ο άνεμος περνάει από την «σκιά» του πύργου.

- **Το σύστημα μετάδοσης κίνησης:** Αποτελείται από τα κινητά μέρη της ανεμογεννήτριας. Αυτά τυπικά συμπεριλαμβάνουν έναν άξονα χαμηλής ταχύτητας (από την πλευρά του δρομέα), ένα κιβώτιο ταχυτήτων και έναν άξονα υψηλής ταχύτητας (από την πλευρά του κινητήρα). Άλλα εξαρτήματα είναι βοηθητικά ρουλεμάν, ένας ή περισσότεροι συζεύκτες, ένα δισκόφρενο και τα περιστρεφόμενα μέρη του κινητήρα. Ο σκοπός του κιβωτίου ταχυτήτων είναι να επιταχύνει την ροπή του δρομέα (μερικές δεκάδες rpm) ώστε να είναι κατάλληλη για την οδήγηση ενός συνηθισμένου κινητήρα (εκατοντάδες-χιλιάδες rpm). Δύο τύποι κιβωτίων ταχυτήτων χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες: παράλληλων αξόνων και πλανητικά. Για μεγαλύτερες μηχανές (περίπου πάνω από 500kW), το μέγεθος και το βάρος των πλανητικών κιβωτίων τους προσδίδει εμφανή πλεονέκτημα. Επίσης μερικά σχέδια ανεμογεννητριών χρησιμοποιούν ειδικούς κινητήρες χαμηλών στροφών και δεν απαιτούν κιβώτιο ταχυτήτων. Πρέπει να σημειωθεί, ότι για τον σχεδιασμό ενός κιβωτίου ταχυτήτων για χρήση σε ανεμογεννήτρια, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, λόγω των συνεχών μεταβολών των ανέμων και των μεγάλων δρομέων που στρέφονται, τα κιβώτια ταχυτήτων αντιμετωπίζουν ένα ευρύ φάσμα φορτίων ανέμου για τα επιμέρους εξαρτήματά τους.

- **Γεννήτρια:** Σχεδόν όλες οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν σύγχρονους ή επαγωγικούς κινητήρες. Τα δύο αυτά σχέδια κινητήρων, αποδίδουν μία σχεδόν συνεχή περιστροφή όταν ο κινητήρας είναι άμεσα συνδεδεμένος στο δίκτυο. Η πλειονότητα των ανεμογεννητριών εγκατεστημένων σε εφαρμογές συνδεδεμένες στο δίκτυο, είναι επαγωγικού τύπου.

Κύριο πλεονέκτημα του τύπου αυτού είναι ότι η σύνδεσή τους στο δίκτυο είναι εύκολη, η κατασκευή τους στιβαρή και έχουν χαμηλό κόστος.

Μία ακόμη επιλογή για χρήση σε γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η τουρμπίνα μεταβλητού αέρα. Πλεονεκτήματα αυτής της εναλλακτικής είναι η ελαχιστοποίηση φθορών και η δυνατότητα λειτουργίας με μεγαλύτερη επάρκεια σε ένα ευρύτερο φάσμα ταχύτητας ανέμων.

- **Άτρακτος και σύστημα εκτροπής-μηχανισμός προσανατολισμού:** Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσεται το κάλυπτρο της τουρμπίνας, του κυρίως πλαισίου ή βάσης και του συστήματος εκτροπής. Το κυρίως πλαίσιο χρησιμεύει στην τοποθέτηση και ευθυγράμμιση του κιβωτίου ταχυτήτων. Η άτρακτος προστατεύει τα μέρη της Α/Γ που αναφέρθηκαν παραπάνω από τις καιρικές συνθήκες. Το σύστημα εκτροπής-μηχανισμός προσανατολισμού είναι όπως προαναφέραμε απαραίτητο για την αποδοτικότητα της Α/Γ. Στις Α/Γ με δρομέα ανάντη του πύργου, συνήθως χρησιμοποιείται το σύστημα ενεργούς προσανατολισμού, που συμπεριλαμβάνει ένα ή περισσότερα μοτέρ. Το κάθε ένα οδηγεί ένα γρανάζι, το οποίο μέσω ενός μειωτήρα καταλήγει στο ρουλεμάν του μηχανισμού προσανατολισμού. Ο μηχανισμός αυτός ελέγχεται από ένα αυτόματο σύστημα του οποίου ο αισθητήρας κατεύθυνσης ανέμου είναι συνήθως επάνω στην άτρακτο της Α/Γ. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται ακόμα και φρένα στο σύστημα αυτό, για να συγκρατούν την θέση της άτρακτος. Ελεύθερα συστήματα προσανατολισμού (εννοώντας πως αυτοπροσανατολίζονται με την κατεύθυνση του αέρα) χρησιμοποιούνται ευρέως στις Α/Γ με δρομέα κατάντη του πύργου.

- **Πύργος και θεμελίωση:** Η κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνει την κατασκευή του πύργου, πάνω στον οποίο θα στηρίζονται όλοι οι προαναφερθέντες μηχανισμοί καθώς επίσης και η θεμελίωση του πύργου. Τυπικά το ύψος του πύργου είναι από μία έως και

μιάμιση φορά τη διάμετρο του ρότορα, αλλά σε κάθε περίπτωση είναι το ελάχιστο στα είκοσι μέτρα. Η ακαμψία του πύργου είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην κατασκευή μίας Α/Γ, λόγω της πιθανότητας συνδυασμένων δονήσεων ανάμεσα στον ρότορα και τον πύργο, καθώς θα απορροφά επίσης στατικά και δυναμικά φορτία.

Για Α/Γ με δρομέα κατάντη του πύργου η επίδραση του φαινομένου της σκιάς του πύργου, των αναταράξεων δηλαδή που προκαλούνται από τον πύργο. Για τον λόγο αυτό οι Α/Γ με δρομέα κατάντη πύργου έχουν τυπικά περισσότερο θόρυβο.

· **Σύστημα ελέγχου:** Το σύστημα ελέγχου μίας ανεμογεννήτριας είναι σημαντικό δίνοντας σημασία εξίσου στην λειτουργία της Α/Γ σαν μηχανή και σαν μέσο παραγωγής ενέργειας.

· **Εμπεριέχει:**

α. Αισθητήρες - Ταχύτητας, θέσης, ροής ανέμου, θερμοκρασίας, ρεύματος, τάσης, κ.τ.λ.

β. Ελεγκτές - μηχανισμούς, ηλεκτρικά κυκλώματα και υπολογιστές.

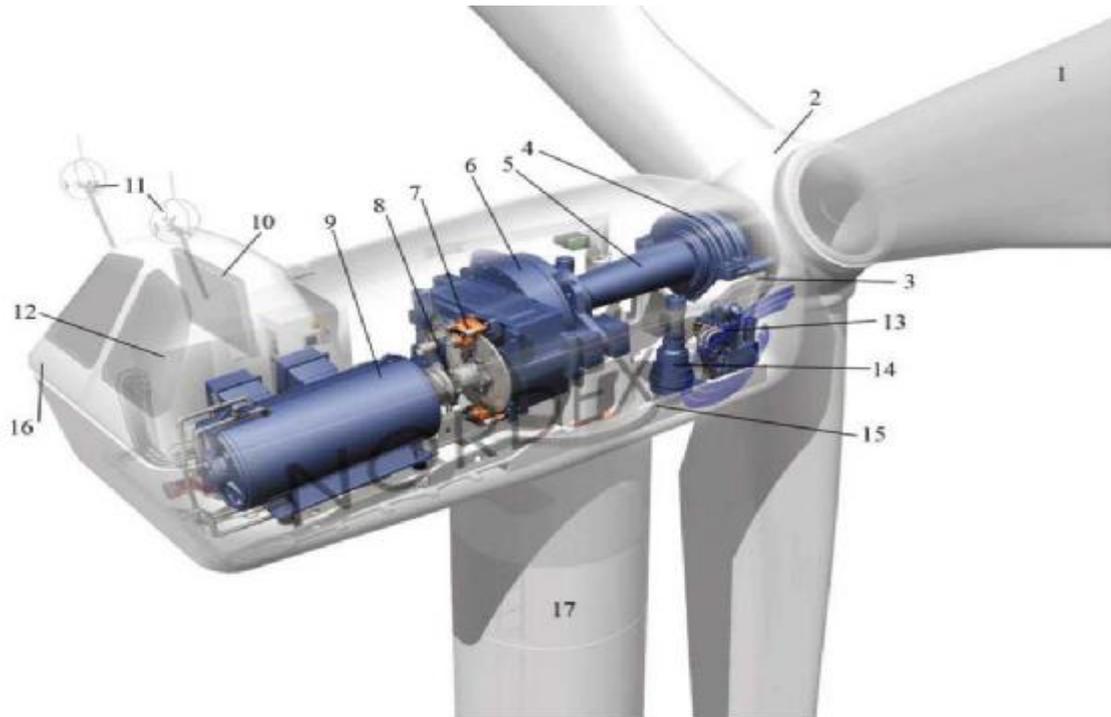
γ. Ενισχυτές ισχύος - διακόπτες ηλεκτρικούς, ενισχυτές, υδραυλικές αντλίες και βαλβίδες.

δ. Ενεργοποιητές - μοτέρ, πιστόνια, μαγνήτες και σωληνοειδή.

Στόχος του συστήματος ελέγχου είναι να περιορίσει την ροπή του ρότορα και την ισχύ που δέχεται το κιβώτιο ταχυτήτων, να μεγιστοποιήσει τη διάρκεια ζωής του καθώς και των λοιπών εξαρτημάτων που συμπεριλαμβάνονται στον μηχανισμό προσανατολισμού. Τέλος, στόχος είναι και η μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας.

· **Εξισορρόπηση του ηλεκτρικού συστήματος:** Επιπρόσθετα στον κινητήρα, το σύστημα της Α/Γ χρησιμοποιεί έναν αριθμό από άλλα ηλεκτρικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων καλωδίων, εξοπλισμού παρεμβολής, μετασχηματιστές και πιθανών ηλεκτρονικών μετασχηματισμού ισχύος.

**Στο παρακάτω σχήμα, παρατηρούμε όσα περιγράψαμε παραπάνω:**



**Σχήμα 2.6:** Μέρη συστήματος ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

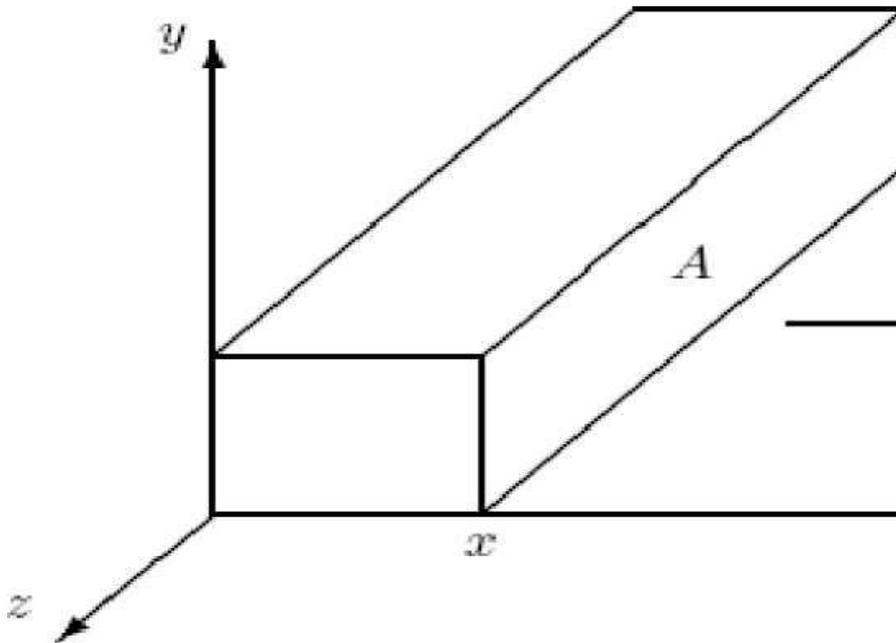
1. πτερύγιο ρότορα
2. πλήμνη
3. πλαίσιο ατράκτου
4. κύριο έδρανο
5. άξονας ρότορα
6. κιβώτιο ταχυτήτων
7. δισκόφρενο
8. ζεύκτης γεννήτριας
9. επαγωγική γεννήτρια
10. ψύκτης γεννήτριας και κιβωτίου ταχυτήτων
11. αισθητήρες ανέμου
12. έλεγχος ατράκτου
13. υδραυλικό σύστημα
14. οδηγός συστήματος προσανατολισμού
15. έδρανο συστήματος προσανατολισμού
16. κάλυμμα ατράκτου.
17. πυλώνας

## 2.2 Αεροδυναμική μετατροπή

Αφού αναφέραμε πώς είναι σχεδιασμένη μία ανεμογεννήτρια, θα αναφέρουμε στη συνέχεια τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε αυτήν και ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή της.

### 2.2.1 Η ισχύς του ανέμου

Η κινητική ενέργεια ενός σώματος αέρα μάζας  $m$  και ταχύτητας  $Vw$  είναι:  $E_{\text{κιν}} = 1/2 m Vw^2$ . Με την παραδοχή ότι ο άνεμος διαπερνά κάθετα μία επιφάνεια  $A$ , πάχους  $x$  και ότι η ροή του αέρα, πυκνότητας  $\rho$ , είναι ομαλή και χωρίς στροβιλισμούς, τότε η μάζα του αέρα που υπάρχει στο σώμα αυτό είναι  $m = \rho V = \rho A x$ .



Σχήμα 2.7: Σώμα αέρα εμβαδού  $A$  και πάχους  $x$ .

Από τις παραπάνω εξισώσεις βλέπουμε ότι η κινητική ενέργεια αυτής της αέριας μάζας είναι:

$$E_{\text{κιν}} = 1/2 A x Vw^2$$

$$\text{Όμως } dx/dt = Vw$$

$$\text{Από τις παραπάνω έχουμε } dE_{\text{κιν}}/dt = P_{\text{wind}} = 1/2 \rho A Vw^3$$

$$\text{Για μια A/Γ με } A = \pi R^2$$

$$\text{Άρα } P_{\text{wind}} = 1/2 \rho \pi R^2 Vw^3$$

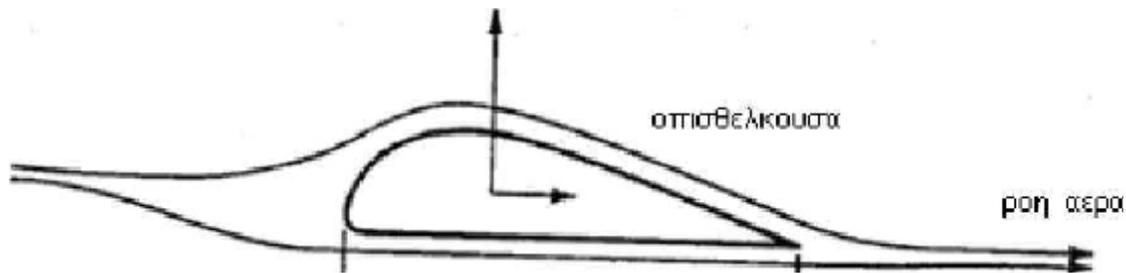
Όπου

- $\rho$  η πυκνότητα του αέρα, που σε κανονικές συνθήκες είναι ίση με 1,225 Kg/m<sup>3</sup>
- $R$  η ακτίνα του ρότορα της A/Γ σε m και  $Vw$  η ταχύτητα του ανέμου σε m/s.

Από την τελευταία εξίσωση βλέπουμε τη μεγάλη επίδραση που έχει η ταχύτητα του ανέμου στην ισχύ του και πόσο σημαντικό παράγοντα αποτελεί για την επιλογή της τοποθεσίας που θα εγκατασταθεί η αιολική μηχανή.

## 2.2.2 Η αεροδυναμική των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας

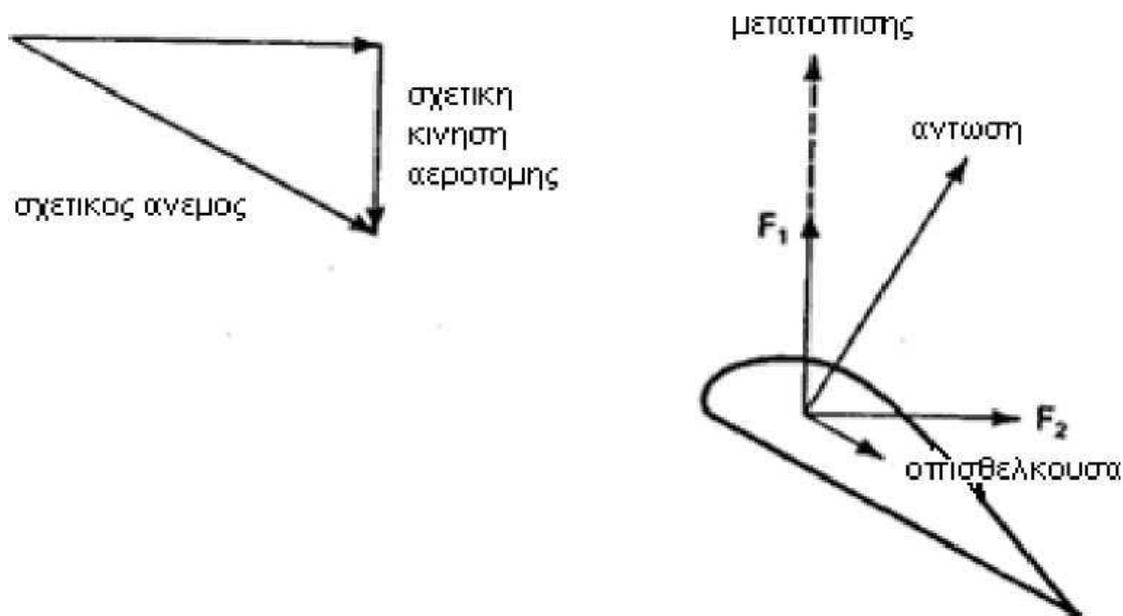
Η ροή του αέρα γύρω από μία σταθερή αεροτομή, παράγει δύο δυνάμεις. Μία δύναμη που λέγεται άνωση (lift) και είναι κάθετη στη ροή και μία άλλη που λέγεται οπισθέλκουσα (draft), στην κατεύθυνση του ανέμου.



**Σχήμα 2.8:** Άνωση και οπισθέλκουσα δύναμη σε μία σταθερή αεροτομή.

Η ύπαρξη της άνωσης εξαρτάται από την ομοιόμορφη ροή γύρω από την αεροτομή, πράγμα που σημαίνει ότι ο αέρας ρέει ομαλά και από τις δύο πλευρές της. Εάν η ροή είναι τυρβώδης, τότε θα δημιουργηθεί μικρή ή και μηδενική άνωση. Ο αέρας που ρέει πάνω από την κορυφή της αεροτομής επιταχύνεται, γιατί πρέπει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση και αυτή η αύξηση της ταχύτητας προκαλεί κάποια μικρή μείωση της πίεσης. Αυτή η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών της αεροτομής προκαλεί την άνωση, δύναμη κάθετη στην κατεύθυνση της ροής του ανέμου.

Η κίνηση του ανέμου προκαλεί επίσης την οπισθέλκουσα δύναμη κατά την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτός είναι ένας όρος απωλειών και ελαχιστοποιείται όσο είναι δυνατόν, σε υψηλής απόδοσης Α/Γ. Και οι δύο αυτές δυνάμεις είναι ανάλογες της πυκνότητας του αέρα, της επιφάνειας της αεροτομής και του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου.



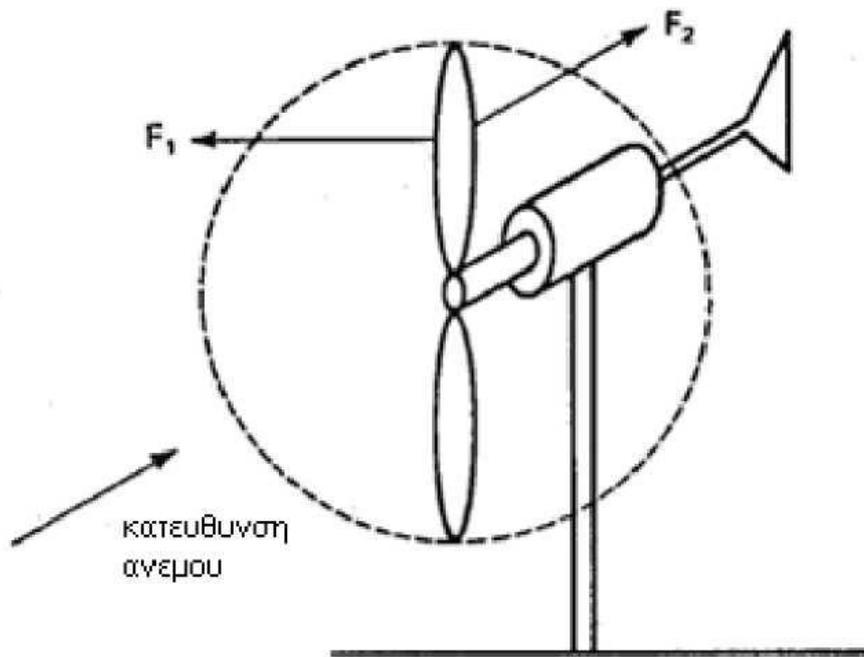
**Σχήμα 2.9:** Άνωση και οπισθέλκουσα δύναμη σε μία μετατοπισμένη αεροτομή.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι επιτρέπουμε στην αεροτομή να κινηθεί κατά την κατεύθυνση της άνωσης. Αυτή η κίνηση (μετατόπιση) θα συνδυαστεί με την κίνηση του αέρα, ώστε να παραχθεί η σχετική κατεύθυνση του ανέμου όπως παρατηρούμε και στο παραπάνω σχήμα. Η αεροτομή έχει αναπροσανατολιστεί, ώστε να διατηρήσει έναν καλό λόγο άνωσης προς την οπισθέλκουσα δύναμη. Η άνωση είναι κάθετη στη σχετική κατεύθυνση του ανέμου, αλλά δεν είναι κάθετη στην κατεύθυνση της μετατόπισης.

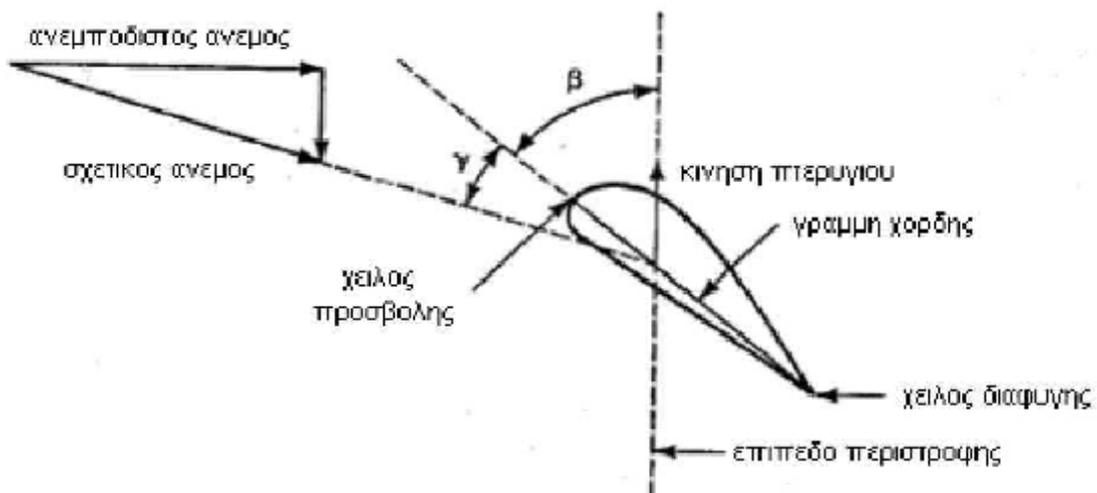
Οι δύο δυνάμεις μπορούν να αναλυθούν σε δύο συνιστώσες, μία παράλληλη και μία κάθετη στην διεύθυνση του αδιατάρακτου ανέμου και αυτές οι συνιστώσες συνδυάζονται για να διαμορφώσουν την δύναμη  $F_1$  στην κατεύθυνση της μετατόπισης και την  $F_2$  στην κατεύθυνση του αδιατάρακτου ανέμου. Η δύναμη  $F_1$  είναι διαθέσιμη για να παράγει το χρήσιμο έργο. Η δύναμη  $F_2$  πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της στήριξης της αεροτομής, ώστε να υπάρχει δομική στιβαρότητα.

Ένας πρακτικός τρόπος για να χρησιμοποιηθεί η  $F_1$ , είναι η σύνδεση των αεροτομών ή πτερυγίων σε μία κεντρική πλήμνη και να επιτρέψουμε σε αυτά να περιστραφούν γύρω από έναν οριζόντιο άξονα. Η δύναμη  $F_1$  προκαλεί τη ροπή, η οποία οδηγεί κάποιο φορτίο συνδεδεμένο με την προπέλα. Ο πύργος πρέπει να είναι αρκετά ισχυρός για να αντέξει τη δύναμη  $F_2$ . Αυτές οι δυνάμεις και η όλη απόδοση εξαρτώνται από την κατασκευή και τον προσανατολισμό των πτερυγίων.

Μία σημαντική παράμετρος είναι η γωνία βήματος (κλίσης) του πτερυγίου  $\beta$  (pitch angle), η οποία είναι η γωνία μεταξύ της χορδής του πτερυγίου και του επιπέδου περιστροφής. Η χορδή είναι μία ευθεία που συνδέει το χείλος προσβολής (leading edge) με το χείλος διαφυγής (trailing edge) μίας αεροτομής. Το επίπεδο περιστροφής είναι το επίπεδο το οποίο σχηματίζουν τα ακροπτερύγια καθώς περιστρέφονται.



**Σχήμα 2.10:** Αεροδυναμικές δυνάμεις  $F_1$  και  $F_2$  στα πτερύγια μίας ΑΓ.



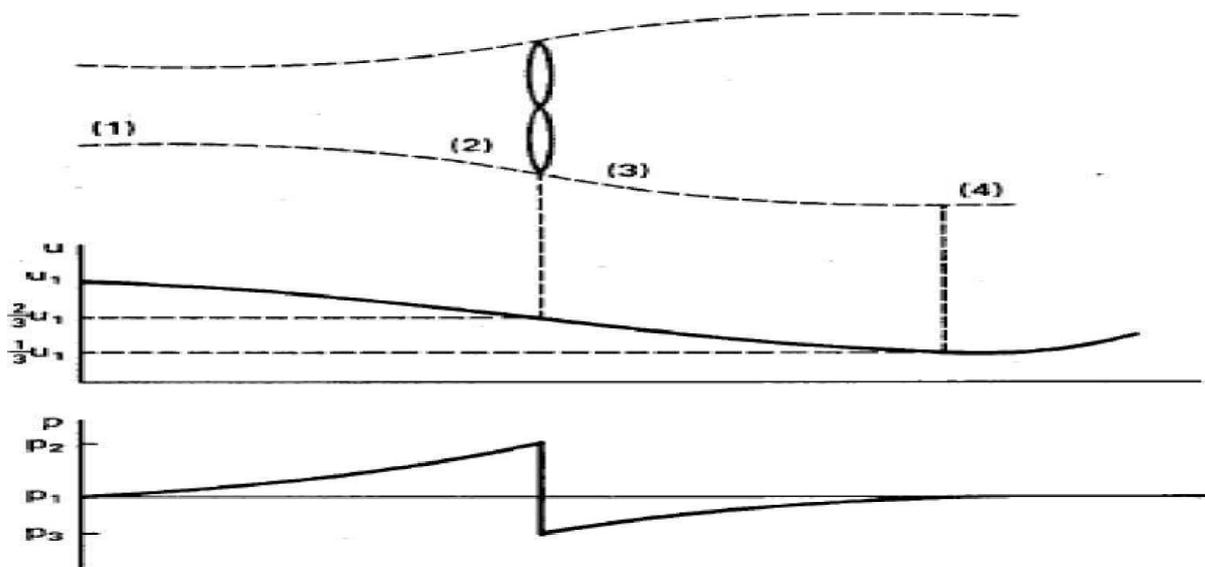
**Σχήμα 2.11:** Ορισμός της γωνίας βήματος πτερυγίου και της γωνίας πρόσπτωσης.

Μία άλλη σημαντική παράμετρος του πτερυγίου είναι η γωνία πρόσπτωσης  $\gamma$  (angle of attack), η οποία είναι η γωνία μεταξύ της χορδής του πτερυγίου και του σχετικού ανέμου ή της αποτελεσματικής κατεύθυνσης της ροής του αέρα.

### 2.2.3 Παραγωγή ισχύος

Όπως συμβαίνει με όλα τα συστήματα μετατροπής ενέργειας, η Α/Γ δεσμεύει ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Το κλάσμα  $P_{mec}/P_{wind}=C$  δείχνει το μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από την Α/Γ σε μηχανική.

Το κλάσμα αυτό λέγεται αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος και συμβολίζεται με  $C_p$ . Η παρουσία της Α/Γ μπροστά από μία μάζα κινούμενου αέρα τροποποιεί την ταχύτητα και την πίεσή της όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 2.12 :** Κυλινδρικός σωλήνας αέρα που πνέει μέσα από ιδανική Α/Γ.

Ας θεωρήσουμε τον σωλήνα κινούμενου αέρα με αρχική διάμετρο  $d_1$ , ταχύτητα  $u_1$  και πίεση  $p_1$ ; καθώς πλησιάζει την τουρμπίνα. Η ταχύτητα του αέρα μειώνεται και η πίεσή του αυξάνεται, προκαλώντας μεγέθυνση της διαμέτρου του σωλήνα σε  $d_2$ , όση και αυτή της τουρμπίνας. Η πίεση του αέρα θα γίνει μέγιστη λίγο μπροστά από την τουρμπίνα και θα πέσει κάτω από την ατμοσφαιρική αμέσως μετά από αυτήν.

Μέρος της κινητικής ενέργειας του αέρα μετατρέπεται σε δυναμική, για να προκαλέσει την αύξηση της πίεσης. Ακόμη περισσότερη κινητική ενέργεια θα μετατραπεί σε δυναμική μετά την τουρμπίνα, έτσι ώστε να αυξηθεί η πίεση του αέρα και να γίνει πάλι ίση με την ατμοσφαιρική. Αυτό προκαλεί περαιτέρω μείωση της ταχύτητας του αέρα, μέχρις ότου η πίεση να γίνει και πάλι ίση με την ατμοσφαιρική (σημείο 4).

Σύμφωνα με τον Γερμανό φυσικό **Albert Betz** για τον αεροδυναμικό συντελεστή  $C_p$  ισχύει η σχέση:

$$C_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{u_4}{u_1} \right) \left( 1 - \left( \frac{u_4}{u_1} \right)^2 \right)$$

δηλαδή αυτός είναι συνάρτηση του λόγου των ταχυτήτων του αέρα  $u_4$  και  $u_1$ . Η συνάρτηση αυτή μεγιστοποιείται, όταν η πρώτη παράγωγος της μηδενιστεί κάτι που συμβαίνει, όταν ο λόγος των ταχυτήτων γίνει ίσος με  $\frac{1}{3}$ . Τότε έχουμε :

$$C_{pmax}=0,593$$

Αυτό είναι το όριο του **Betz** που σημαίνει ότι από την κινητική ενέργεια του ανέμου δεν μπορούμε να δεσμεύσουμε σε μηχανική μέσω μίας Α/Γ ποσοστό μεγαλύτερο από το 59.3% ,και όταν αυτό συμβεί, η ταχύτητα του αέρα μετά την τουρμπίνα θα πέσει σε μία ελάχιστη τιμή ίση με το ένα τρίτο της αρχικής. Ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος  $C_p$  δεν είναι σταθερός. Εξαρτάται από δύο παράγοντες, το λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$  και τη γωνία βήματος πτερυγίου  $\beta$ .

$$\lambda = \omega_{rot} / v_w,$$

όπου  $\omega_{rot}$  η γωνιακή ταχύτητα του ρότορα σε rad/s,  $R$  η ακτίνα του ρότορα σε m και  $v_w$  η ταχύτητα του ανέμου σε m/s . Από τις εξισώσεις

$$P_{mec}/P_{wind} = C \quad \text{και} \quad P_{wind} = 1/2\rho \pi R^2 v_w^3$$

προκύπτει η βασική εξίσωση της αεροδυναμικής μετατροπής ενέργειας μίας Α/Γ

$$P_{mech} = 1/2\rho \pi R^2 C_p v_w$$

Ο συντελεστής ισχύος  $C_p$  ( $\lambda$  ,  $\beta$ ), όπως αναφέραμε παραπάνω, είναι συνάρτηση των  $\lambda$  και  $\beta$  και για κάθε ταχύτητα του ανέμου πρέπει η γωνιακή ταχύτητα του ρότορα να παίρνει τιμές που να βελτιστοποιεί τα  $\lambda$  και  $\beta$ , έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη παραγωγή ισχύος από την Α/Γ.

## 2.2.4 Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος της ανεμογεννήτριας

Σε υψηλές ταχύτητες του ανέμου είναι απαραίτητος ο περιορισμός της παραγόμενης μηχανικής ισχύος της Α/Γ, για να μην έχουμε υπέρβαση των ονομαστικών μεγεθών της γεννήτριας. Επίσης έλεγχος εφαρμόζεται και για την αποφυγή υπερτάχυνσης του ρότορα και την αποσύνδεση της Α/Γ στις πολύ υψηλές ταχύτητες. Οι κύριοι τρόποι ελέγχου είναι:

- Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control).
- Έλεγχος βήματος πτερυγίου (pitch control).
- Έλεγχος ενεργής απώλειας στήριξης (active stall control).
- Έλεγχος προσανατολισμού (yaw control).

## 2.2.5 Οι ανεμογεννήτριες και το ηλεκτρικό τους σύστημα

Οι δύο χρησιμοποιούμενοι τύποι Α/Γ είναι οι εξής:

- **S** Α/Γ σταθερών στροφών ή σταθερής ταχύτητας (fixed speed)
- **S** Α/Γ μεταβλητών στροφών (variable speed)

Στις Α/Γ σταθερών στροφών η γεννήτρια (επαγωγική) συνδέεται απευθείας στο δίκτυο. Επειδή η ταχύτητα είναι σχεδόν σταθερή σε σχέση με τη συχνότητα του δικτύου, δεν είναι δυνατό να αποθηκεύσει τις ριπές του ανέμου υπό μορφή μηχανικής ενέργειας. Έτσι σε αυτές τις Α/Γ οι ριπές του ανέμου έχουν σαν αποτέλεσμα διακυμάνσεις στην ισχύ, επηρεάζοντας την ποιότητα ισχύος του δικτύου.

Τα τελευταία χρόνια οι Α/Γ μεταβλητών στροφών έχουν καταστεί ο κυρίαρχος τύπος των ανά έτος εγκαθιστάμενων Α/Γ. Το αυξημένο ενδιαφέρον σε αυτές οφείλεται στα ελκυστικά χαρακτηριστικά τους, εξαιτίας της παρουσίας του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος και όσον αφορά την ίδια την Α/Γ και όσον αφορά τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των διαχειριστών του δικτύου. Οι μεταβλητής ταχύτητας Α/Γ έχουν πιο πολύπλοκο ηλεκτρικό σύστημα από αυτές με σταθερή ταχύτητα. Είναι εφοδιασμένες με επαγωγική ή σύγχρονη γεννήτρια και μετατροπέα ισχύος.

Η παρουσία του μετατροπέα ισχύος κάνει δυνατή τη λειτουργία σε διαφορετικές ταχύτητες. Έτσι αυτές μπορούν να σχεδιασθούν να επιτύχουν μεγαλύτερο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος σε ένα σημαντικό εύρος ταχυτήτων ανέμου.

Ο μετατροπέας ισχύος ελέγχει την ταχύτητα της γεννήτριας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι διακυμάνσεις της ισχύος που οφείλονται σε αλλαγή της ταχύτητας του ανέμου, να απορροφώνται από αλλαγή στην ταχύτητα της γεννήτριας. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της λειτουργίας με μεταβλητές στροφές σε σχέση με τη λειτουργία με σταθερές στροφές είναι:

- Μειωμένη μηχανική καταπόνηση στα μηχανικά μέρη, όπως ο άξονας και το κιβώτιο ταχυτήτων - η υψηλή αδράνεια της Α/Γ χρησιμοποιείται σαν αποθήκη ενέργειας κατά τη διάρκεια ριπών του ανέμου, δηλαδή η διακύμανση της ισχύος απορροφάται στη μηχανική αδράνεια της Α/Γ.

- Αυξημένη απόσπαση ισχύος - εξαιτίας του χαρακτηριστικού της μεταβλητής ταχύτητας, είναι δυνατή η συνεχής προσαρμογή της γωνιακής ταχύτητας της Α/Γ στην ταχύτητα του ανέμου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος να διατηρείται στη μέγιστη τιμή του.

- Μειωμένος ακουστικός θόρυβος - η λειτουργία σε χαμηλές ταχύτητες είναι δυνατή σε χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου.

Επίσης, η παρουσία του μετατροπέα δίνει στην Α/Γ την δυνατότητα να εκπληρώσει τις υψηλές τεχνικές απαιτήσεις που επιβάλλονται από τους διαχειριστές των δικτύων και συγκεκριμένα:

- Ελεγχόμενη ενεργό και άεργο ισχύ.
- Γρήγορη απόκριση σε περίπτωση μεταβατικών φαινομένων.
- Επίδραση στη σταθερότητα του δικτύου.
- Βελτιωμένη ποιότητα ισχύος (βελτιωμένο επίπεδο flicker, φιλτραρισμένες κατώτερες αρμονικές και περιορισμένα ρεύματα βραχυκύκλωσης).

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν τις Α/Γ μεταβλητών στροφών πολύ δημοφιλείς, παρά τα κάποια μειονεκτήματα, όπως οι απώλειες στο μετατροπέα ισχύος και το αυξημένο κόστος εγκατάστασης εξαιτίας του .

Υπάρχουν δύο κυρίαρχες ομάδες με Α/Γ μεταβλητών στροφών :

- Οι διατάξεις πλήρους εύρους μεταβλητής ταχύτητας, όπου ο στάτης της γεννήτριας συνδέεται στο δίκτυο μέσω ενός μετατροπέα πλήρους ισχύος. Η γεννήτρια μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη.

· Οι διατάξεις περιορισμένου εύρους μεταβλητής ταχύτητας, όπου ο στάτης της γεννήτριας συνδέεται στο δίκτυο. Η συχνότητα και η ταχύτητα του δρομέα ελέγχονται και υπάρχουν δύο τέτοιες διατάξεις :

1. Η διάταξη μεταβλητής αντίστασης του δρομέα, όπου ο δρομέας συνδέεται σε μια εξωτερική ελεγχόμενη αντίσταση, της οποίας το μέγεθος καθορίζει το εύρος της μεταβλητής ταχύτητας ( περίπου 0-10% πάνω από τη σύγχρονη ).

2. Η διάταξη της επαγωγικής γεννήτριας διπλής τροφοδότησης (doubly fed induction generator-DFIG), όπου ο δρομέας ελέγχεται από ένα μετατροπέα μερικής κλίμακας, του οποίου το μέγεθος καθορίζει την ταχύτητα (  $\pm 30\%$  γύρω από τη σύγχρονη).

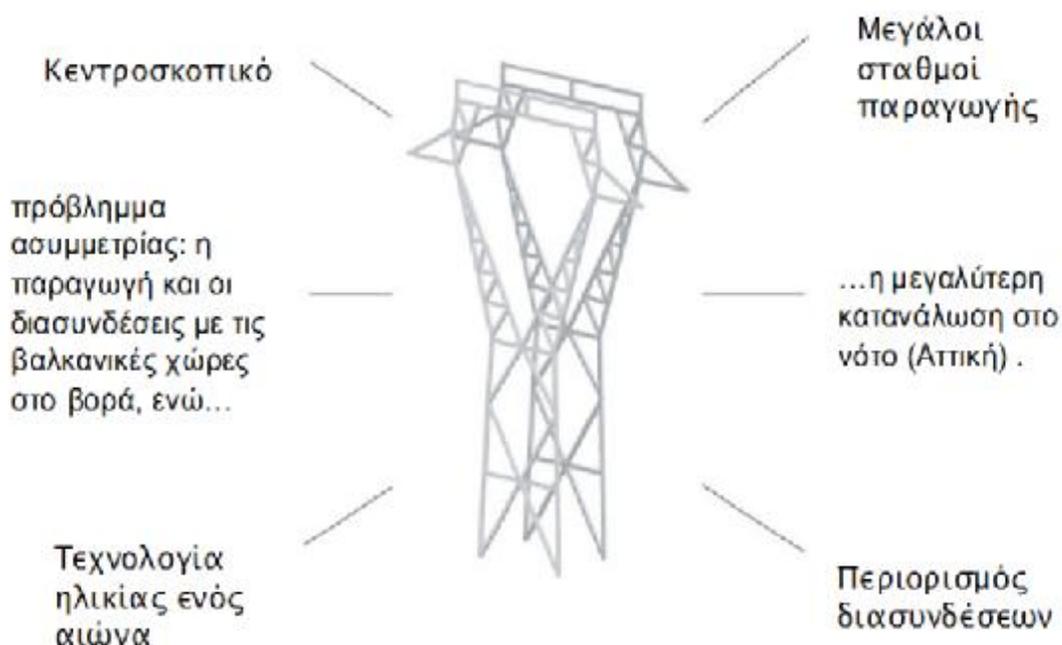
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ (SMART GRID)

### 3.1 Το ηλεκτρικό δίκτυο σήμερα

Το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο στην Ελλάδα σήμερα χαρακτηρίζεται από:

- Κεντρικό έλεγχο των σταθμών παραγωγής και του συστήματος μεταφοράς.
- Το δίκτυο διανομής και οι διεσπαρμένες μονάδες (ΑΠΕ) λειτουργούν παθητικά με περιορισμένες δυνατότητες διείσδυσης και κόστος.
- Η ροή του ρεύματος κινείται προς μία κατεύθυνση, από τους σταθμούς παραγωγής προς τους τελικούς καταναλωτές, διανύοντας μεγάλες αποστάσεις.
- Απώλειες μεταφοράς και διανομής, επενδύσεις σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής, δαπάνες συντήρησης, αξιοπιστία τροφοδότησης.
- Προβλήματα στάθμης τάσεως και αέργου ισχύος, ποιότητα παροχής.
- Εκπομπές CO<sub>2</sub> για σταθμούς παραγωγής από ορυκτά καύσιμα.

## ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ



Σχήμα 3.1: Παραδοσιακό Δίκτυο [14]

«ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ»

Τα ηλεκτρικά δίκτυα που εξυπηρετούν μέχρι τώρα τους καταναλωτές έχουν εγκατασταθεί σταδιακά τα τελευταία εκατό χρόνια χωρίς να είναι σε θέση να αφομοιώσουν την απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ και τις τεχνολογικές καινοτομίες. Το μοντέλο λειτουργίας της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ΗΕ έχει αρχίσει να αμφισβητείται για τους παρακάτω λόγους:

1. Οι εταιρίες ΗΕ στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες πλέον πρέπει να μετατραπούν από κοινωφελείς και καθετοποιημένους οργανισμούς σε επιχειρήσεις ανταγωνιστικές με διαχωρισμό της παραγωγής, διανομής και μεταφοράς της ΗΕ. Υπό το πρίσμα αυτό είναι απαραίτητη η ριζική αλλαγή της δομής και του τρόπου λειτουργίας των δικτύων.

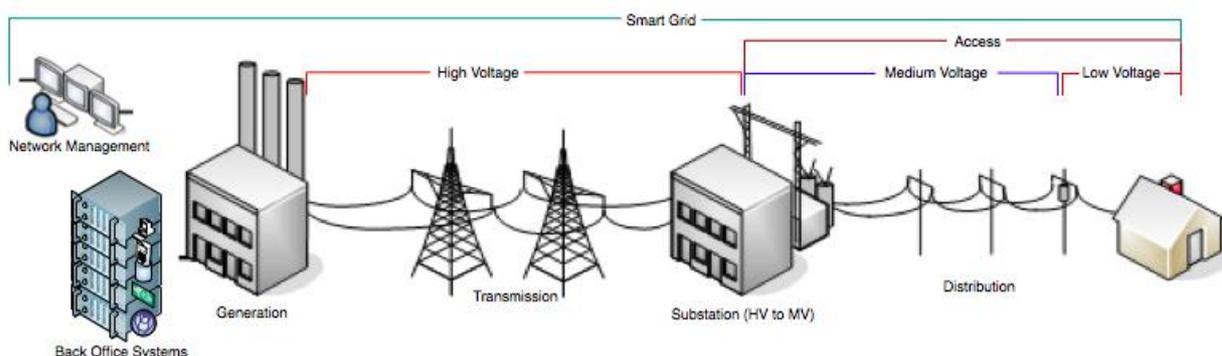
2. Η ανάγκη για αξιοποίηση ΔΠ με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας των δικτύων και την αύξηση της παραγωγής μέσω της συμπαραγωγής ΗΕ.

3. Το μεγάλο εύρος διαφοροποίησης στις απαιτήσεις των καταναλωτών. Τα συμφέροντα των καταναλωτών με αυξημένες ανάγκες αξιοπιστίας αντικρούονται με το κόστος αύξησης της αξιοπιστίας σε καταναλωτές οι οποίοι δεν απαιτούν τέτοια επίπεδα αξιοπιστίας αλλά καλούνται να πληρώσουν το κόστος. Πλέον κάθε ένας καταναλωτής είναι πελάτης που συμμετέχει στην απελευθερωμένη αγορά ΗΕ.

4. Οι αυστηρές απαιτήσεις για παροχή διαρκώς βελτιούμενης ποιότητας ΗΕ.

5. Η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κ्यοτο πρέπει να μειωθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής γιατί οι ρύποι που εκπέμπουν είναι αρκετά επιβλαβείς για το περιβάλλον. Συνεπώς, η χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ είναι μονόδρομος για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα των δικτύων ΗΕ.

6. Η ραγδαία ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών και πληροφοριακών συστημάτων που καθιστούν ευκολότερο τον αποκεντρωμένο έλεγχο των ΣΗΕ και χαράσσουν νέους δρόμους για τις τεχνικές λειτουργίας των δικτύων διανομής.



Σχήμα 3.2: Δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος

### 3.2 Τα δίκτυα του μέλλοντος

Οι νέες προκλήσεις που προέρχονται από την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και από τις τεχνολογικές εξελίξεις επιβάλλουν την αναθεώρηση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υπάρχοντα δίκτυα έχουν λειτουργήσει καλά έως τώρα αλλά δεν θα είναι επαρκή στο μέλλον. Θα πρέπει να εξασφαλίσουν ασφάλεια και σταθερότητα στην παροχή

ηλεκτρικής ενέργειας, να εκμεταλλευτούν τις νέες τεχνολογίες και να συμβαδίσουν με τις νέες πολιτικές και τα νέα επιχειρηματικά πλαίσια.

### **3.2.1 Το μικροδίκτυο**

#### **3.2.1.1 Η έννοια του μικροδικτύου**

Ένα μικροδίκτυο (microgrid) προσδιορίζεται ως ένα εν δυνάμει ηλεκτρικά απομονωμένο σύνολο μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνολικής ισχύος μερικών MW, που τροφοδοτούν κατ' αποκλειστικότητα όλη τη ζήτηση ενός συνόλου καταναλωτών. Ο σχεδιασμός του μικροδικτύου είναι ανεξάρτητος από το κεντρικό δίκτυο, ωστόσο μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με αυτό, για ανταλλαγή ενέργειας. Τυπικές πηγές ενός μικροδικτύου είναι οι γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού (γεννήτριες, μικροστρόβιλοι), οι ανεμογεννήτριες, οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι κυψέλες καυσίμου, οι γεωθερμικοί και οι ηλιοθερμικοί σταθμοί, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη βιομάζα, βιοντίζελ ή οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να εγκατασταθεί εκεί όπου υπάρχει διαθέσιμη μία από τις παραπάνω φυσικές πηγές ενέργειας και να καλύπτει τις καταναλώσεις της περιοχής στην οποία εγκαθίσταται.

Η κλίμακα του Μικροδικτύου ποικίλει, από μία οικία που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και γεννήτριας ντίζελ ή βιοκαυσίμων, ένα νοσοκομείο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού, μέχρι και μία πόλη η οποία τροφοδοτείται από σταθμούς βιομάζας, γεννήτριες ντίζελ και αιολικά πάρκα. Μία συνδυασμένη χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων. Η αξιόπιστη λειτουργία ενός μικροδικτύου, απαιτεί εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων ενεργού και αέργου ισχύος, και τη συνεχή ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας αυτού.

Παράλληλα, θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

Ένα μικροδίκτυο έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μία τέτοια παραλληλισμένη λειτουργία είναι δυνατή η ανταλλαγή ενέργειας. Ακόμη, σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου.

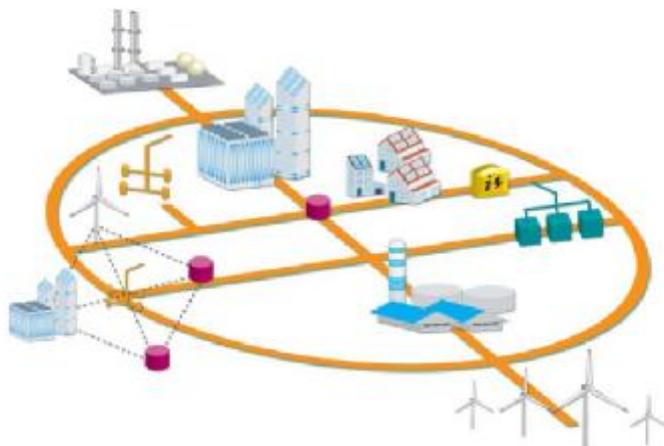
Δεδομένης της μικρής ισχύος των περισσότερων μονάδων ενός Μικροδικτύου, η παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι προτιμότερο να γίνεται στη Χαμηλή Τάση καθώς δεν απαιτείται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Το μέγεθος δηλαδή των μονάδων παραγωγής είναι ουσιαστικά αυτό που καθορίζει τη στάθμη λειτουργίας. Το μέγεθός του συνολικότερα - μονάδων παραγωγής και φορτίων - καθορίζει εξάλλου και τον τρόπο διασύνδεσής του με άλλα μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο, στη Μέση ή στη Χαμηλή Τάση. Προφανώς, μεγάλη ισχύς απαιτεί διασύνδεση στη Μέση Τάση.

Βασικό γνώρισμα των μικροδικτύων 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 μιας 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 μέσης τάσης, που είναι και η συνήθης λειτουργία τους, αλλά και απομονωμένα (ή 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 διασπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο εύκολο να επιτευχθεί τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά. Από την πλευρά του δικτύου, ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ελεγχόμενη οντότητα μέσα στο σύστημα ενέργειας που μπορεί να λειτουργεί όπως ένα συγκεντρωμένο φορτίο, μια μικρή πηγή ενέργειας ή σαν μια βοηθητική υπηρεσία που υποστηρίζει το δίκτυο.

Από την πλευρά του καταναλωτή, τα μικροδίκτυα εκπληρώνουν τις ανάγκες τους σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, όμοια με τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής Μέσης Τάσης, αλλά επιπροσθέτως ενισχύουν και την τοπική αξιοπιστία, μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνουν την ποιότητα ενέργειας υποστηρίζοντας την τάση και μειώνοντας τις βυθίσεις της.

Επίσης, δυναμικά, «ρίχνουν» τις τιμές του αποθέματος ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι, ενώ υπό ομαλές λειτουργεί διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, μπορεί αυτόματα να τεθεί σε απομονωμένη λειτουργία σε περιπτώσεις σφαλμάτων του ανάντη δικτύου. Συνεπώς 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.



**Σχήμα 3.3:** Τυπικό μικροδίκτυο

### **3.2.1.2 Τα πλεονεκτήματα του μικροδικτύου**

Τα πλεονεκτήματα που μπορεί να παρέχει στη λειτουργία του συστήματος ένα μικροδίκτυο είναι πολλά, κάποια από τα οποία είναι τα εξής :

- Η συνέχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου σε περιπτώσεις κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας μπορεί να εξασφαλίσει στον καταναλωτή που ανήκει

στο εκάστοτε μικροδίκτυο την αδιάλειπτη λειτουργία την ίδια ώρα όπου το ανάντη δίκτυο διανομής μπορεί να είναι σε ασταθή κατάσταση ή να έχει καταρρεύσει προσωρινά (black out).

- Η αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ελαχιστοποίηση των απωλειών και η καλύτερη ποιότητα ισχύος με την ενσωμάτωση μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, καθώς και με την εγκατάσταση αυτών κοντά στους καταναλωτές. Η τοπική κάλυψη του φορτίου συνεπάγεται ότι δεν παρεμβάλλονται ούτε μεγάλα μήκη γραμμών ούτε πολλοί ενδιάμεσοι καταναλωτές που αλλοιώνουν με τη χωρητική (ή επαγωγική αν πρόκειται για φορτία) συμπεριφορά τους το συντελεστή ισχύος.

- Η πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές εντός αυτού, το οποίο είναι ύψιστης σημασίας ζήτημα ιδιαίτερα για τους καταναλωτές, όπως νοσοκομεία κ.λπ., για τους οποίους είναι σημαντική η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας.

- Η μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η ενσωμάτωση τοπικά παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας διαμορφώνει ευνοϊκότερους όρους για το περιβάλλον και την αειφόρο ανάπτυξη.

- Η βελτίωση της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας του συστήματος, αφού τα μικροδίκτυα ακολουθούν την αρχή της κατανεμημένης παραγωγής, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να μην παράγεται αποκλειστικά από λίγες μεγάλες μονάδες.

- Η μείωση του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών, όταν το μικροδίκτυο συμμετέχει σε πλήρως απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.

- Η ενεργή διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων), διαδικασία η οποία είναι σε θέση να βοηθά σημαντικά στην ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.

Από την πλευρά του χειριστή του Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης ή της Επιχείρησης Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η δυνατότητα τοπικής κάλυψης του φορτίου από το Μικροδίκτυο προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως:

- Τη δυνατότητα αναβολής επενδύσεων προς ενίσχυση του δικτύου και των κεντρικών σταθμών παραγωγής.

- Τη μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα κατά τον χειρισμό των συμφορήσεων.

- Την επαναφορά του συστήματος μετά από σβέση, είναι μερικά από αυτά.

Κάποιες από τις μεταβλητές που επηρεάζουν τις δυνατότητες ενός μικροδικτύου, από οικονομικής και τεχνικής απόψεως, αποτελούν:

- Ο τύπος του φορτίου (οικιακό, βιομηχανικό, εμπορικό ή συνδυασμός τους).

- Ο αριθμός των καταναλωτών.

- Ο τύπος των πηγών κατανεμημένης παραγωγής (φωτοβολταϊκές πηγές, αιολική ενέργεια, κυψέλη καυσίμου/fuel cell κτλ.).

- Το μέγεθος και ο αριθμός των μονάδων παραγωγής.

## Το επίπεδο της αξιοπιστίας του συστήματος.

Το μικροδίκτυο είναι σχεδιασμένο για λειτουργία τόσο σε διασύνδεση με το δίκτυο όσο και σε απομονωμένη κατάσταση, σε έκτακτες περιπτώσεις. Η δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε παραλληλισμένη λειτουργία καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ενέργειας. Δηλαδή, την παροχή πλεονάζουσας ενέργειας σ' αυτό ή την απορρόφηση ενέργειας όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση. Ακόμα, σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου, βάσει της δυνατότητας λειτουργίας σε απομονωμένη κατάσταση. Σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το μικροδίκτυο προβλήματα. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου και η απορροφώμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή.

Ακόμα περισσότερο, σε ένα δεύτερο επίπεδο, το μικροδίκτυο μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παίζει υποστηρικτικό ρόλο ως προς το δίκτυο. Λειτουργία η οποία μπορεί για παράδειγμα να σημαίνει ότι το μικροδίκτυο θα απορροφά ή θα παρέχει ενεργό ή άεργο ισχύ όταν χρειάζεται για το κεντρικό δίκτυο. Στη συγκεκριμένη απαιτείται η συντονισμένη λειτουργία και επικοινωνία μεταξύ των μονάδων ελέγχου του μικροδικτύου και του κεντρικού συστήματος.

### 3.2.2 Το έξυπνο δίκτυο

#### 3.2.2.1 Η έννοια του έξυπνου δικτύου

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί να ενσωματώσει ευφυώς τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό – παραγωγών, καταναλωτών και όσων κάνουν και τα δύο με σκοπό να διασφαλιστεί αποτελεσματικά η σταθερότητα, η οικονομία και η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο, περιλαμβάνει ένα συνδυασμό λογισμικού και υλικού που επιτρέπει αποτελεσματικότερη ροή ισχύος και δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν τη ζήτηση ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ομάδα Ειδικών Καθηκόντων για τα Έξυπνα ηλεκτρικά Δίκτυα τα ορίζει ως τα δίκτυα ηλεκτρισμού στα οποία μπορούν να ενοποιηθούν αποτελεσματικά η συμπεριφορά και οι δράσεις του συνόλου των χρηστών που συνδέονται με αυτά, εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής, καταναλωτές και όσοι έχουν και τις δύο ιδιότητες, ώστε να εξασφαλίζεται οικονομικά αποδοτικό, βιώσιμο και ασφαλές σύστημα ισχύος με χαμηλές απώλειες και υψηλή ποιότητα και ασφάλεια εφοδιασμού.

Η ιδέα του έξυπνου δικτύου υπόσχεται στον κόσμο μια αποτελεσματική και ευφυή προσέγγιση διαχείρισης της προμήθειας και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να πάρει έξυπνες αποφάσεις για να διατηρήσει την ισορροπία στο ηλεκτρικό δίκτυο.

#### 3.2.2.2 Η λειτουργία του έξυπνου δικτύου

Η βασική λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου είναι να διανέμει το ηλεκτρικό ρεύμα με οικονομικό τρόπο ανταποκρινόμενο στους περιορισμούς χωρητικότητας και αξιοπιστίας του εξοπλισμού ηλεκτρικής ισχύος και των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος. Το σύστημα δικτύου ηλεκτρικής ισχύος περιλαμβάνει δύο μέρη: μετάδοση και διανομή.

Η μετάδοση είναι το μεγαλύτερο μέρος μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, που λειτουργεί σε υψηλή τάση (100 kV ή και παραπάνω) και διανέμει την ηλεκτρική ισχύ προς τους υποσταθμούς που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Η διανομή διανέμει το ηλεκτρικό ρεύμα από τους υποσταθμούς προς τους τελικούς καταναλωτές, όπως

εμπορικούς, βιομηχανικούς και αστικούς καταναλωτές, λειτουργώντας σε μεσαία και χαμηλά επίπεδα τάσης (λιγότερα από 100 kV). Το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο θεωρείται ως ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος ηλικιωμένου συστήματος ηλεκτρικής ισχύος. Αποτελεί το σημείο σύγκλισης της πληροφορικής, των επικοινωνιών και των συστημάτων ισχύος με σκοπό να δημιουργήσει ένα πιο στιβαρό, αποτελεσματικό και ευέλικτο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος.

Η ιδέα του έξυπνου δικτύου υπόσχεται στον κόσμο μια αποτελεσματική και ευφυή προσέγγιση διαχείρισης της προμήθειας και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να πάρει έξυπνες αποφάσεις για να διατηρήσει την ισορροπία στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι καταναλωτές και οι προμηθευτές ενέργειας μπορούν να επωφεληθούν από την πρακτικότητα, την ευκολία, τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας που θα παρέχεται μέσω της διαχείρισης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

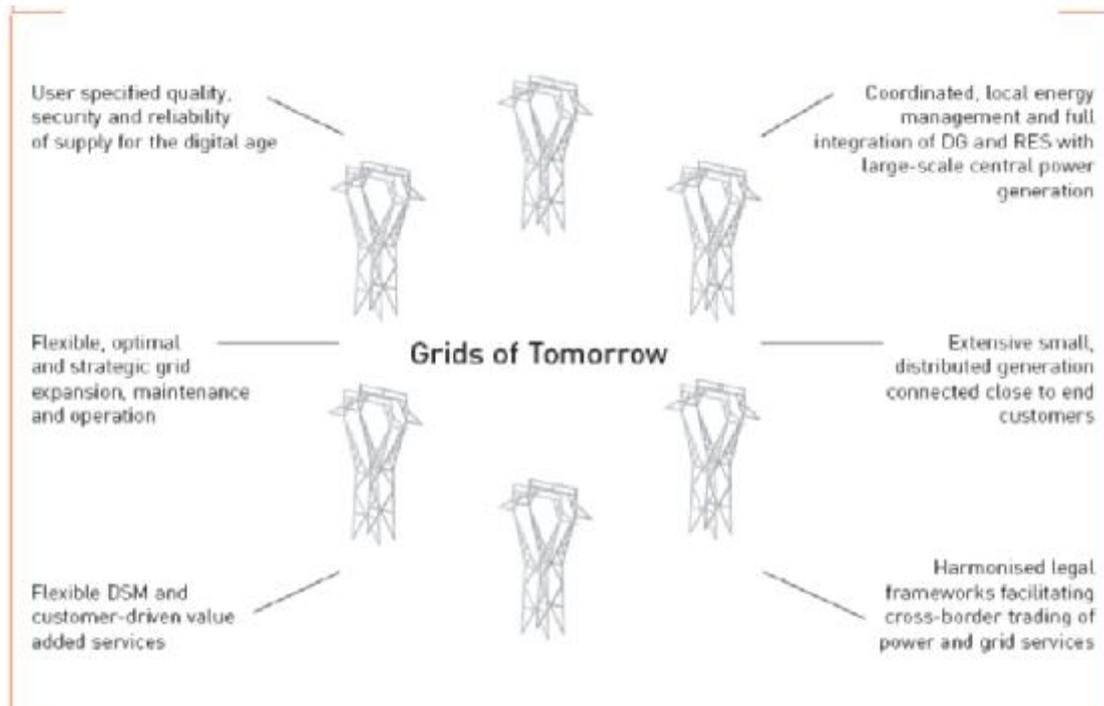
Ένα από τα πλεονεκτήματα του έξυπνου δικτύου είναι η εγκατάσταση ενός εντελώς καινούριου, αμφίδρομου δικτύου επικοινωνιών μεταξύ των προμηθευτών ενέργειας και των πελατών τους.

Αυτό το γεγονός του επιτρέπει να συγκεντρώνει και να αναλύει τα δεδομένα σε κάθε επίπεδο σε πραγματικό χρόνο και να βοηθάει στην ισορροπία παραγωγής και ζήτησης.

Επίσης, η ικανότητα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο θα δώσει τη δυνατότητα στους παρόχους να βελτιστοποιήσουν και να εκσυγχρονίσουν το δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος και να κατανοήσουν τις πλήρεις δυνατότητές του.

Αυτό το δίκτυο επικοινωνιών θα παρέχει:

- αυτόνομη ανάρρωση δικτύου
- τιμολόγηση πραγματικού χρόνου
- διαχείριση κατανάλωσης και προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης
- απομακρυσμένος έλεγχος έξυπνων οικιακών συσκευών μέσω έξυπνων μετρητών
- εξοικονόμηση κόστους από τη μείωση του φορτίου αιχμής
- αύξηση ενεργειακής απόδοσης και ποιότητας ισχύος
- ενσωμάτωση plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων για αποθήκευση ενέργειας
- ενσωμάτωση εναλλακτικών κατανεμημένων πηγών παραγωγής, όπως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα.



**Σχήμα 3.4:** Το σύστημα δικτύου ηλεκτρικής ισχύος- μετάδοση και διανομή.

### 3.2.2.3 Τα συστήματα Ελέγχου Επιτήρησης και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA) [15]

Τα συστήματα Ελέγχου Επιτήρησης και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA) χρησιμοποιούνται για έλεγχο και παρακολούθηση λειτουργιών βιομηχανικής και κρίσιμης υποδομής, όπως ηλεκτρικό ρεύμα, φυσικό αέριο, νερό, απορρίμματα και απόβλητα, σιδηροδρόμους και κυκλοφοριακής κίνησης. Τα πρώτα πρωτόκολλα επικοινωνιών αυτών των συστημάτων δημιουργήθηκαν πάνω στην τεχνολογία των τηλεφωνικών γραμμών και είχαν ως στόχο να διασφαλίσουν την ασφάλεια των εντολών ελέγχου. Σήμερα, αυτά τα συστήματα μετακινήθηκαν προς τις ψηφιακές επικοινωνίες και τη χρήση μεθόδων με χρήση bits για τον έλεγχο λαθών.

Σε κάθε σπίτι, ο έξυπνος μετρητής συλλέγει τα δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις οικιακές συσκευές του σπιτιού και τα στέλνει στο τοπικό γραφείο διεύθυνσης της εταιρίας παρόχου. Αυτά τα δεδομένα συναθροίζονται και προωθούνται στο διαχειριστή παροχής του συστήματος SCADA. Με αυτή την πληροφορία, ο διαχειριστής παροχής του συστήματος SCADA μπορεί να παρακολουθήσει ολόκληρο το έξυπνο δίκτυο και να ελέγξει την κατάστασή του.

Έπειτα, έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ισχύος για βέλτιστη ποιότητα ισχύος, να εξομαλύνει τη μέγιστη ζήτηση και να αποφύγει πιθανές διακοπές ρεύματος στην πλευρά του παρόχου.

Αυτά τα μηνύματα διαχείρισης πραγματικού χρόνου θα διανεμηθούν στους καταναλωτές και πάλι μέσω των έξυπνων μετρητών. Με αυτό τον τρόπο, οι έξυπνες οικιακές συσκευές αναπρογραμματίζουν τις εργασίες τους και τις περιόδους λειτουργίας τους σύμφωνα με τις οδηγίες των συστημάτων SCADA.

Το ηλεκτρικό δίκτυο βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε αυτά τα συστήματα. Στην κορυφή της υποδομής ισχύος, τοποθετούνται τα στρώματα της τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών, τα οποία διασυνδέονται με τα ηλεκτρικά δίκτυα. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν

εξελίξει τα ηλεκτρικά δίκτυα από απομονωμένες δομές σε ανοιχτά και δικτυωμένα περιβάλλοντα βασισμένα σε Ethernet και TCP/IP.

Οι υψηλές ταχύτητες, οι μετρήσεις και η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι ουσιαστικά ζητήματα για την επιτυχία μιας καλής ορατότητας του τεράστιου δικτύου ηλεκτρικής ισχύος και παροχή καθ όλη τη διάρκεια διασυνδέσεων. Συγχρονισμένες μετρήσεις από γεωγραφικά διασκορπισμένες τοποθεσίες μέσα σε μια τεράστια περιοχή δίνουν τη δυνατότητα για καλύτερη λειτουργική ενημερότητα της κατάστασης πραγματικού χρόνου του δικτύου και επιτρέπει στους διαχειριστές να λαμβάνουν σωστότερες αποφάσεις.

Οι μονάδες μέτρησης φασιθέτη (PMU), που αναπτύχθηκαν στις αρχές του 1990, ήταν ανάμεσα στις πρώτες συσκευές που μπορούσαν να παρακολουθήσουν το δίκτυο με συγχρονισμένο τρόπο και να παράγουν συντονισμένες μετρήσεις φασιθετών. Ένα ρολόι GPS ήταν η χρονική στιγμή αναφοράς για τις συγχρονισμένες μετρήσεις. Ο ρυθμός δειγματοληψίας αυτών των μονάδων κυμαίνεται από 30 δείγματα το δευτερόλεπτο έως 120 δείγματα το δευτερόλεπτο. Ακόμη και το κατώτατο όριο ρυθμού δειγματοληψίας, 30 δείγματα το δευτερόλεπτο, είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερο από το ρυθμό δειγματοληψίας των συστημάτων SCADA. Αυτό το γεγονός καθιστά τις μονάδες μέτρησης φασιθετών την ιδανική συσκευή παρακολούθησης WAMS.

#### **3.2.2.4 Οι έξυπνοι μετρητές και η αρχιτεκτονική του δικτύου**

Το έξυπνο δίκτυο αποτελείται από συστήματα αισθητήρων, επικοινωνιών, ελέγχου και ενεργοποίησης που δίνουν τη δυνατότητα διεισδυτικής παρακολούθησης και ελέγχου του δικτύου ηλεκτρικής ισχύος. Εκατομμύρια έξυπνες συσκευές μέτρησης, αναπτυσσόμενες σε μια περιοχή, μπορούν να δώσουν τη δυνατότητα στους παρόχους να αλληλεπιδρούν με τους καταναλωτές.

Ένας έξυπνος μετρητής είναι μια συσκευή η οποία μετράει την ενέργεια που χρησιμοποιείται και στέλνει τις πληροφορίες στο σύστημα και από εκεί καταλήγουν στον πελάτη, ενημερώνοντας τον για την εκάστοτε κατανάλωση και το αντίστοιχο κόστος αυτής.

Αυτοί οι έξυπνοι μετρητές εγκαθίστανται στη μεριά του καταναλωτή και αποτελούν την ψηφιακή-ηλεκτρονική έκδοση των υπαρχόντων μετρητών κατανάλωσης ισχύος. Παίζουν ζωτικό ρόλο στην υποδομή του έξυπνου δικτύου και μετατρέπουν το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος σε αξιόπιστο και αποτελεσματικό, αφού μπορούν να:

- παρακολουθούν τη λεπτομερή κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και επεμβαίνουν σε έκτακτες περιπτώσεις απόκρισης ζήτησης
- παρακολουθούν την ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος
- υποστηρίζουν τα δίκτυα ιδιοκτητών HANs, κατεβάζοντας αυτόματα ενημερώσεις λογισμικού από το Διαδίκτυο
- παρέχουν στους πελάτες πληροφορίες πραγματικού χρόνου τιμολόγησης ενέργειας
- εκτελούν αυτόματο έλεγχο στις έξυπνες οικιακές συσκευές για να εξοικονομήσουν ενέργεια.

Το δίκτυο επικοινωνιών που αναπτύσσεται για να διευκολύνει την ανταλλαγή των πληροφοριών ανάμεσα στους παρόχους και τους καταναλωτές είναι το εξής:

Οι έξυπνοι μετρητές των νοικοκυριών (δίκτυο HAN- **Hosted Area Network**) που βρίσκονται στην ίδια γειτονιά, εξοπλισμένοι με διεπιφάνειες επικοινωνίας, συνδέονται με ένα συλλέκτη δεδομένων, δημιουργώντας το δίκτυο NAN (**Neighborhood Area Network**). Ο συλλέκτης δεδομένων συνδέεται σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο WAN (**Wide Area Network**), ώστε να μεταφέρει τα δεδομένα στην εφαρμογή διαχείρισης δεδομένων του κέντρου ελέγχου.

Τα τρία παραπάνω δίκτυα αποτελούν τα στρώματα της αρχιτεκτονικής του δικτύου, πιο συγκεκριμένα:

1. **Home Area Network** (HAN), το οποίο αποτελείται από τον έξυπνο μετρητή που καταγράφει την κατανάλωση ενέργειας της οικίας και ένα εξάρτημα που παρέχει κόστος ενέργειας πραγματικού χρόνου και δεδομένα κατανάλωσης προς τους καταναλωτές.

2. **Neighborhood Area Network** (NAN), το οποίο είναι ένα μεγαλύτερο δίκτυο μετρήσεων και ελέγχου που συλλέγει τις μετρήσεις και τις πληροφορίες εξυπηρέτησης από τα πολλαπλά HANs που είναι γεωγραφικά κοντά μεταξύ τους. Επίσης αποτελείται από ελεγκτή κεντρικής πρόσβασης και το συλλέκτη δεδομένων από έξυπνους μετρητές. Ο ελεγκτής κεντρικής πρόσβασης μπορεί να θεωρηθεί ως η διεπαφή που διαχειρίζεται την επικοινωνία ανάμεσα στα HANs και τον προμηθευτή ενέργειας. Τέλος, ο συλλέκτης δεδομένων από έξυπνους μετρητές είναι ο ασύρματος κόμβος που έχει την ευθύνη της καταγραφής των μετρήσεων ολόκληρης της κοινότητας που συνθέτουν τα γειτονικά HANs.

3. **Wide Area Network** (WAN), το οποίο παρέχει ευρυζωνικές ενσύρματες ή ασύρματες επικοινωνίες ανάμεσα στο NAN, τους υποσταθμούς και τον προμηθευτή. Επίσης αποτελείται από το σύστημα κατανομής ενέργειας και τον ελεγκτή **SCADA**. Το σύστημα κατανομής ενέργειας είναι υπεύθυνο για την κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και των μετρήσεων.

Ο ελεγκτής **SCADA** παρέχει στον προμηθευτή έλεγχο κατανομής για να διαχειρίζεται τα διάφορα στοιχεία του έξυπνου δικτύου. Στα δύο χαμηλότερα στρώματα HAN και NAN, οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν υψηλή χωρητικότητα δικτύου και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Στο τρίτο στρώμα WAN, η κύρια απαίτηση είναι η σταθερότητα και η αξιοπιστία του δικτύου επικοινωνιών.

Στο **HAN**, το πρότυπο δικτύου που επιλέγεται είναι το 802.15.4 ZigBee, που παρέχει ραδιοεπικοινωνίες ειδικά κατάλληλες για δίκτυα προσωπικής και οικιακής περιοχής. Η ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz επιλέγεται επειδή υποστηρίζει εναέριο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 kbps που είναι υψηλότερος των ρυθμών μετάδοσης των δυο άλλων ζωνών συχνοτήτων. Αυτή η ζώνη συχνοτήτων έχει επίσης 16 κανάλια. Η μέγιστη ασύρματη χωρητικότητα μιας ζεύξης δεδομένων υπό το πρότυπο 802.15.4 ZigBee προκύπτει 4 Mbps.

Στο **NAN**, το πρότυπο δικτύου που επιλέγεται είναι το 802.11n Wi-Fi, το οποίο συγκρινόμενο με άλλα πρότυπα Wi-Fi, προσφέρει το μεγαλύτερο εναέριο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 300 Mbps στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz. Παρέχοντας 23 μη επικαλυπτόμενα κανάλια, η μέγιστη ασύρματη χωρητικότητα μιας ζεύξης δεδομένων υπό το πρότυπο 802.11n Wi-Fi ανέρχεται σε 6900 Mbps.

Στο **WAN**, το πρότυπο δικτύου που επιλέγεται είναι το 802.16 WiMAX. Ο σημαντικότερος λόγος είναι ότι παρέχει επικοινωνίες σε απόσταση έως και 3 km. Επίσης υποστηρίζει εναέριο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 70 Mbps.

Ως προς την επίτευξη επικοινωνίας των ΕΔ οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές που είναι διαθέσιμες και είδαμε παραπάνω μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται συνήθεις τεχνολογίες τοπικών δικτύων (LAN technologies),

για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες σε επίπεδο ΕΔ, στο οποίο υπάρχει υψηλή ανάγκη παραγωγής πληροφορίας στους κόμβους του δικτύου, όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι υποσταθμοί ΥΤ/ΧΤ. Τέτοιες τεχνολογίες είναι η ενσύρματη επικοινωνία Ethernet των τοπικών δικτύων, η WiFi επικοινωνία, BlueTooth / ZigBee ή παρόμοιες τεχνολογίες μικρής ασύρματης εμβέλειας . Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται τεχνολογίες μητροπολιτικών δικτύων (MAN technologies) για να καλύψουν τις ανάγκες ολόκληρου του δικτύου. Αυτές οι τεχνολογίες επικοινωνιών είναι οι ενσύρματες (οπτικές ίνες ή πιθανή DSL πρόσβαση), οι ασύρματες (GSM, 3G, 4G, Metro WiFi, WiMax), οι δορυφορικές, η δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω ηλεκτρικών γραμμών (Broadband over Power Line, BPL), οι υβριδικές λύσεις όπως είναι η ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση μέσω ηλεκτρικών γραμμών (W - BPL).

Στον Πίνακα παρουσιάζονται οι διαθέσιμες υποδομές τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών για μητροπολιτικά δίκτυα, καθώς και τα χαρακτηριστικά που έχουν όσο αφορά τη διαθεσιμότητα, την ποιότητα υπηρεσίας (σταθερότητα και αξιοπιστία) και το κόστος.

|                          | Κάλυψη - Διαθεσιμότητα                   | Ποιότητα υπηρεσίας (QoS)   | Κόστος       |
|--------------------------|--|----------------------------|--------------|
| Οπτικές ίνες GSM /3G     | Αστικές περιοχές                         | Πολύ καλή                  | Αρκετά υψηλό |
|                          | Αστικές και ορισμένες αγροτικές περιοχές | Μέτρια (χαμηλή αξιοπιστία) | Χαμηλό       |
| 4G / WiMax               | Αστικές και ορισμένες αγροτικές περιοχές | Καλή                       | Μέτριο       |
| Δορυφορικές επικοινωνίες | Καθολική                                 | Πολύ καλή                  | Πολύ υψηλό   |
| Wireless - BPL           | Καθολική                                 | Πολύ καλή                  | Μέτριο       |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10 :** Σύγκριση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών για την υλοποίηση Ε.Δ

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι η τεχνολογία BPL, και συγκεκριμένα η ασύρματη τεχνολογία BPL (W - BPL), προσφέρει συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες μία ποικιλία λύσεων για την επικοινωνία των ΕΔ.

Μπορεί άλλες τεχνολογίες να υπερτερούν σε κάποιους συγκεκριμένους τομείς, ωστόσο η τεχνολογία W - BPL αθροιστικά υπερέρχει λόγω των χαρακτηριστικών που διαθέτει.

### 3.2.2.5 Η λειτουργία της τεχνολογίας W – BPL

Η ευρυζωνική μετάδοση πληροφορίας μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος ή αλλιώς τεχνολογία Broadband over Power Lines (BPL) όπως ονομάζεται (συναντάται και με τους όρους PLC - Powerline Communications, PLT - Powerline Telecommunications, BPLC - Broadband Powerline Communications), είναι μία αναδυόμενη τεχνολογία η οποία παρέχει σύνδεση υψηλής ταχύτητας στο Διαδίκτυο για το γραφείο ή το σπίτι μέσω σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι γραμμές ηλεκτρικής ισχύος, εκτός από τη μεταφορά και τη διανομή ΗΕ μπορούν ταυτόχρονα να μεταδώσουν πληροφορία με ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να υπερβεί, προς το παρόν θεωρητικά, τα 200 Mbps στο φυσικό επίπεδο.

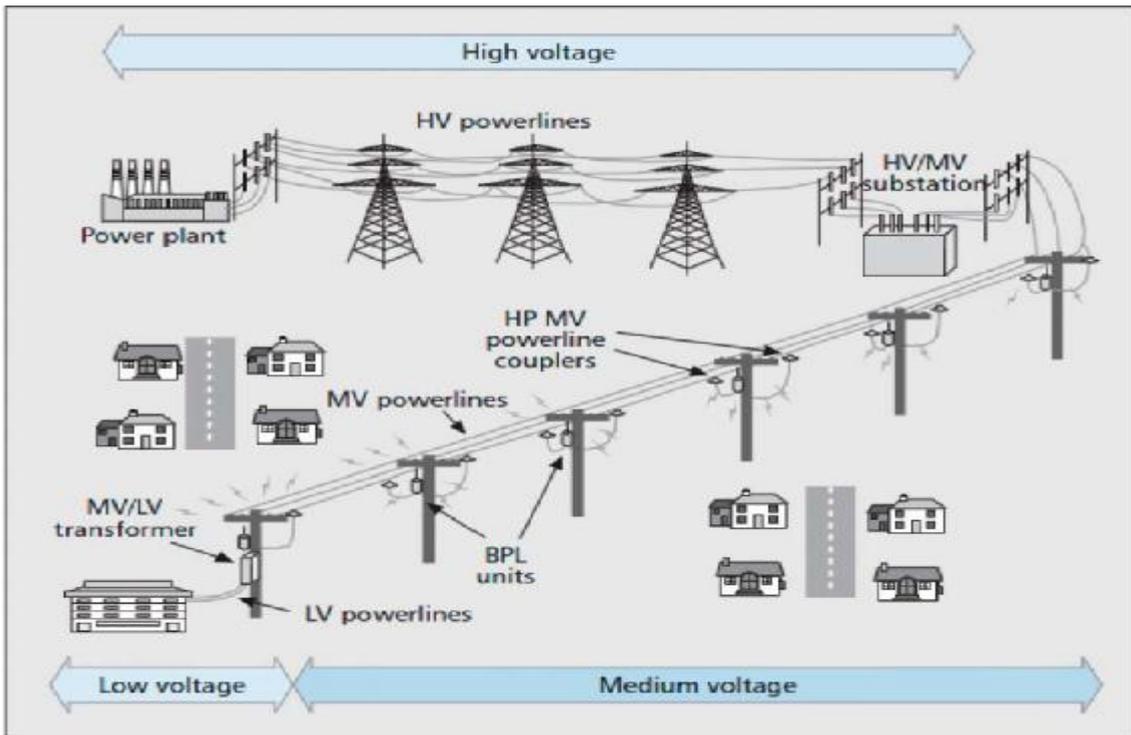
Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον γύρω από αυτή την τεχνολογία εστιάζεται στο γεγονός ότι πρακτικά κάθε σπίτι ή γραφείο είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και έχει εγκατεστημένες ηλεκτρικές καλωδιώσεις.

Έτσι οποιοσδήποτε μηχανισμός που παρέχει τη δυνατότητα να μεταδώσει δεδομένα σε υψηλούς ρυθμούς πάνω από το ηλεκτρικό δίκτυο, έχει τη δυνατότητα να παρέχει μέθοδο πρόσβασης στο Διαδίκτυο πραγματικά από οποιοδήποτε σημείο. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω ηλεκτρικού δικτύου εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς . Ενώ η ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο μπορεί να αποτελέσει κύρια εφαρμογή των συστημάτων BPL, το πλήθος των πιθανών εφαρμογών που μπορούν να εξυπηρετηθούν είναι μεγάλο και αποτελεί μία επιχειρησιακή και επιχειρηματική δραστηριότητα που τώρα αρχίζει να αναπτύσσεται. Τα οφέλη από την αναμενόμενη εγκατάσταση των συστημάτων BPL επί του δικτύου MT είναι άμεσα και έμμεσα. Το ίδιο το δίκτυο ΗΕ αποκτά τη δυνατότητα αυτοδιαχείρισης, ενώ παράλληλα οι εταιρίες παροχής ΗΕ μπορούν να λειτουργήσουν και ως πάροχοι ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε κάθε είδους χρήση με ότι αυτό συνεπάγεται.

Η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων πάνω από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά πολλούς τρόπους είναι βασισμένη στην ίδια ιδέα με την οποία οι τηλεφωνικές εταιρίες παρατήρησαν ότι το ζεύγος καλωδίων που έφτανε μέχρι το σπίτι και το γραφείο, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να μεταδώσει δεδομένα επιπλέον της παραδοσιακής υπηρεσίας φωνής. Οι τηλεφωνικές εταιρίες αναγνώρισαν το γεγονός ότι το ζεύγος καλωδίων μπορούσε να υποστηρίξει συχνότητες μέχρι περίπου 1 MHz.

Επειδή μία τηλεφωνική συνομιλία χρησιμοποιεί περίπου 4 kHz από το διαθέσιμο εύρος, είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων με διαμόρφωση σε συχνότητες πάνω από αυτές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της φωνής. Αυτή η τεχνική, με την οποία η φωνή μεταδίδεται σε συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων, ενώ τα δεδομένα χρησιμοποιώντας διαμόρφωση μεταδίδονται σε διαφορετικό εύρος συχνοτήτων, αναφέρεται ως πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (frequency domain multiplexing - FDM) και χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την ανάπτυξη των DSL και καλωδιακών μόντεμ τεχνολογιών.

Κατά παρόμοιο τρόπο η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι στα 60 Hz στη Βόρεια Αμερική και στα 50 Hz στην Ευρώπη και σε πολλές άλλες περιοχές ανά τον κόσμο. Αυτό σημαίνει ότι, παρόμοια με τον τοπικό βρόχο μίας τηλεφωνικής εταιρίας, οι ηλεκτρικές γραμμές έχουν πολλές συχνότητες διαθέσιμες για χρησιμοποίησή τους για άλλους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης και της μετάδοσης δεδομένων. Για παράδειγμα σε μία γραμμή στη Βόρεια Αμερική (όπου επομένως η συχνότητα μετάδοσης του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι στα 60 Hz), οι συχνότητες πάνω από τα 60 Hz είναι αχρησιμοποίητες.

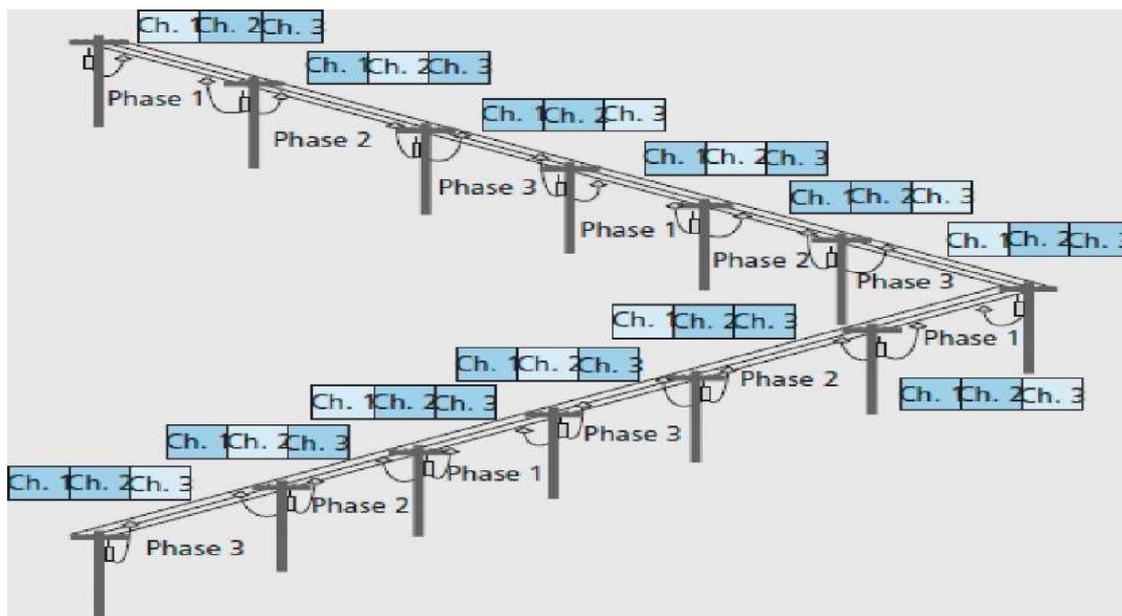


**Σχήμα 3.5 :** Ηλεκτρικό δίκτυο με ενσωματωμένη υβριδική W - BPL τεχνολογία.

Έτσι, η εξέλιξη της μετάδοσης δεδομένων στις αχρησιμοποίητες συχνότητες των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς βασίζεται στις ίδιες αρχές που επέτρεψαν στην 59 DSL τεχνολογία να παρέχει σε χιλιάδες συνδρομητές πρόσβαση υψηλής ταχύτητας στον παγκόσμιο ιστό.

Ως εκ τούτου, το εύρος συχνοτήτων του BPL υπόκειται σε κανονισμούς που επιβάλλονται από την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα του BPL με άλλες ασύρματες υπηρεσίες. Το βασικό στοιχείο του δικτύου είναι το PLC μόντεμ, το οποίο είναι ενσωματωμένο στην BPL μονάδα. Το PLC μόντεμ διοχετεύει το σήμα στις γραμμές MT μέσω επαγωγικών ζεύξεων, επιτρέποντας έτσι την ταυτόχρονη μετάδοση του BPL σήματος και της ηλεκτρικής ισχύος.

Σε κάθε μονάδα BPL το μεταδιδόμενο σήμα ενισχύεται και αναμεταδίδεται μέσω ενός άλλου αγωγού, διαφορετικής φάσης, ακολουθώντας κυκλική εναλλαγή, για την αποφυγή παρεμβολών με το μη ενισχυμένο αντίγραφο του σήματος, το οποίο εξακολουθεί να μεταδίδεται στην ίδια φάση. Το εύρος συχνοτήτων χωρίζεται σε τρία κανάλια των 10 MHz, τα οποία και αυτά εναλλάσσονται κυκλικά. Η εναλλαγή της φάσης και του καναλιού φαίνονται στο Σχήμα.



**Σχήμα 3.6 :** Εναλλαγή φάσης και κατανομή καναλιών κατά την μετάδοση BPL σήματος κατά μήκος μίας γραμμής MT.

Χρησιμοποιώντας αυτή την κυκλική εναλλαγή ελαχιστοποιείται το φαινόμενο cross talk, το οποίο επηρεάζει τη μετάδοση σημάτων BPL, δεδομένου ότι μόνο μία φάση μεταφέρει ένα BPL σήμα κάθε φορά, και το αναπαραγόμενο αντίγραφο του σήματος δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη πολλαπλών αντιγράφων τα οποία μεταδίδονται μέσω της ίδιας φάσης.

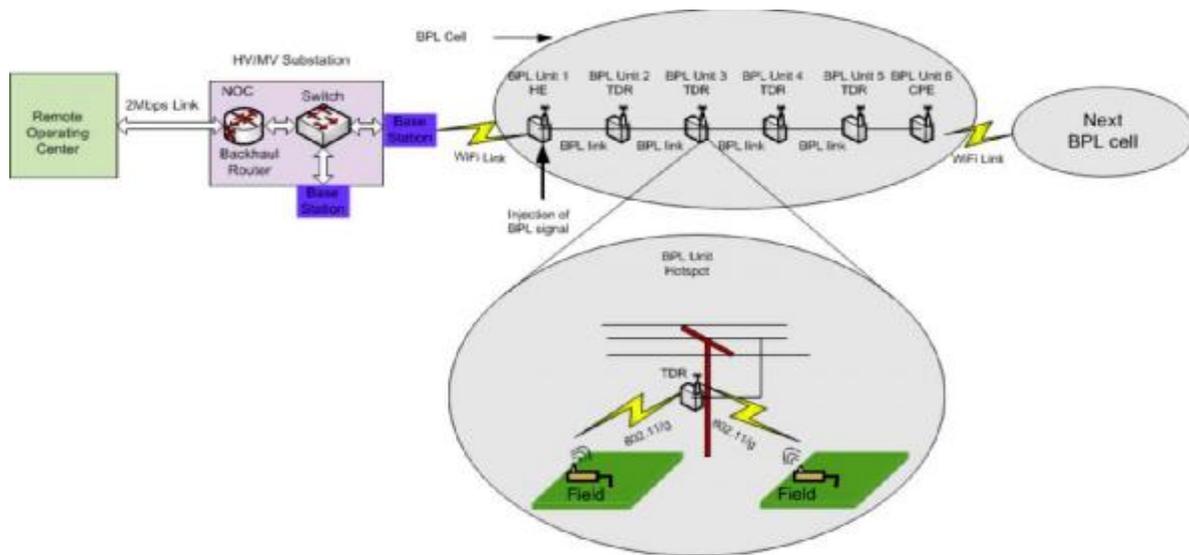
Τα εναέρια καλώδια της MT, τα οποία κατασκευάζονται είτε από χαλκό είτε από αλουμίνιο, υποστηρίζονται από πυλώνες, οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση 50m ο ένας από τον άλλο. Οι BPL μονάδες τοποθετούνται στους πυλώνες της MT σε απόσταση περίπου 500m, ενώ η ζεύξη των σημάτων γίνεται πάνω στα καλώδια. Οι εγκατεστημένες BPL μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως επαναλήπτες (repeaters) είτε ως συγκεντρωτές (aggregators). Ο επαναλήπτης λειτουργεί ως συσκευή πρώτου στρώματος (layer - 1), εκτελώντας λήψη, αναπαραγωγή και έγχυση του BPL σήματος. Ο συγκεντρωτής λειτουργεί ως συσκευή δεύτερου στρώματος (layer - 2), εκτελώντας MAC (medium access control) διεργασίες. Ο συγκεντρωτής ελέγχει την συνολική κίνηση που προκαλείται από τους επαναλήπτες, οι οποίοι συνιστούν το BPL δίκτυο. Ο πρώτος συγκεντρωτής σε κάθε γραμμή MT λειτουργεί ως πύλη για την παραγόμενη W - BPL κίνηση που παράγεται σε κάθε γραμμή MT.

Ανεξάρτητα από το ρόλο τους στην τοπολογία του δικτύου, οι BPL μονάδες είναι ικανές να υποστηρίξουν τόσο την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε τελικούς χρήστες (end users), όσο και να επιτρέπουν την από σημείο σε σημείο (point - to - point) ασύρματη σύνδεση μεταξύ των συγκεντρωτών και των υπόλοιπων εγκατεστημένων BPL μονάδων σε διάφορα τμήματα του BPL δικτύου, όταν αυτό επιβάλλεται από τις ανάγκες του δικτύου.

Επιπλέον αυτές οι δυνατές συνδέσεις παρέχουν τη δυνατότητα βιωσιμότητας του δικτύου σε περίπτωση που κόβονται οι ενσύρματες συνδέσεις, αφού κάθε μονάδα εγγυάται ασύρματη σύνδεση μερικών ωρών, όταν λειτουργεί με μπαταρία.

Τα υβριδικά W - BPL δίκτυα συνδυάζουν την καθολική παρουσία του ηλεκτρικού δικτύου με την τεχνολογία WiFi με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αξιόπιστου, αποδοτικού και οικονομικού τρόπου πρόσβασης στο δίκτυο. Η BPL τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα

μετάδοσης δεδομένων μέσω των ηλεκτρικών γραμμών, ταυτόχρονα με τη μετάδοση της ΗΕ, προσφέροντας τη δυνατότητα ελέγχου και διαχείρισης του ηλεκτρικού δικτύου, ενώ παράλληλα προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες. Το βασικό πλεονέκτημα της BPL τεχνολογίας είναι ότι το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ενσωματώνεται σε ένα ήδη υπάρχον δίκτυο, το δίκτυο ΗΕ. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει ανάγκη για την εγκατάσταση νέων ενσύρματων υποδομών. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα επιλογής της πρόσβασης στον τελικό χρήστη, είτε ασύρματα με WiFi, είτε αξιοποιώντας το δίκτυο ΧΤ.



**Σχήμα 3.7:** W - BPL δίκτυο

Η BPL τεχνολογία προσφέρει βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση των επικοινωνιακών προκλήσεων που προκύπτουν σε ένα ΕΔ. Αρχικά, η υβριδική W - BPL λύση δίνει τη δυνατότητα παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, με χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Προσφέρει αρκετά υψηλή υπηρεσία και αξιοπιστία, δεδομένου ότι διαθέτει επιπλέον και τη δυνατότητα ασύρματης Wi-Fi λειτουργίας σε περίπτωση σφάλματος των γραμμών ΗΕ. Η τεχνολογία W-BPL είναι αρκετά οικονομική, αφού το συνολικό κόστος συνίσταται στο κόστος εγκατάστασης και στο κόστος λειτουργίας.

Εκτός από τα ανωτέρω οφέλη, ένα BPL δίκτυο προσφέρει μία ακτινογραφία των γραμμών ΜΤ. Αυτό οφείλεται στο ότι παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης - ελέγχου των γραμμών σε πραγματικό χρόνο, εντοπίζει πιθανές αστοχίες του ηλεκτρικού δικτύου, μειώνει τις απώλειες μεταφοράς, βελτιώνει την ποιότητα της ΗΕ, κατηγοριοποιεί τα σφάλματα που γίνονται στις γραμμές ανάλογα με το προφίλ θορύβου, συμβάλλοντας έτσι στην πρόβλεψη σφαλμάτων αλλά και στην άμεση επιδιόρθωση των γραμμών μεταφοράς. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, συμπεραίνεται ότι οι BPL μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν και ως τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι αλλά και ως συσκευές πραγματικού ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου. Τέλος, καθοριστικός είναι ο ρόλος του BPL δικτύου στη μέτρηση και τιμολόγηση της ΗΕ. Προσφέρει την πραγματική παρακολούθηση κατανάλωσης και παραγωγής, την τιμολόγηση πραγματικής κατανάλωσης καθώς και την αντιμετώπιση φαινομένων κλοπής ενέργειας.

### 3.2.2.6 Η ασφάλεια και η αξιοπιστία του δικτύου

Ένα συνεργατικό σενάριο επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων μετρητών που διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός ασύρματου δικτύου πολλαπλών κόμβων μπορεί να αναπτυχθεί για να διασφαλίσει ασφαλείς και αξιόπιστες επικοινωνίες στο έξυπνο δίκτυο, αντιμετωπίζοντας παράλληλα τις διάφορες ηλεκτρονικές απειλές:

- **Αμοιβαίες πιστοποιήσεις αυθεντικότητας** (*mutual authentications*):

Όταν ένας έξυπνος μετρητής εγκαθίσταται και γίνεται μέλος του ευρύτερου δικτύου μέτρησης. Με αυτό τον τρόπο παρέχονται έμπιστες υπηρεσίες, διασφαλίζεται η ακεραιότητα και ιδιωτικότητα των δεδομένων.

- **Κρυπτογράφηση δεδομένων** (*data encryption*):

Χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα κλειδιά που αναπαράγονται στη διαδικασία πιστοποίησης αυθεντικότητας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η εμπιστευτικότητα των δεδομένων που μεταφέρονται.

- **Σενάριο μεταφοράς δεδομένων** (*data transmission scheme*):

Διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων και τη διαχείριση μεταφοράς μηνυμάτων μεταξύ των έξυπνων μετρητών και ενός τοπικού συλλέκτη δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μικρότερη από άκρη σε άκρη καθυστέρηση και μικρότερη απώλεια πακέτων σε σχέση με τη βασική μέθοδο ασφάλειας.

#### 3.2.2.6.1 Θέματα ασφάλειας

- **Ταυτότητα και διαχείριση κλειδιών** (*identity and key management*):

Κάθε οντότητα επικοινωνίας είτε στο HAN είτε στο WAN θα έχει μια μοναδική ταυτότητα. Αυτές οι ταυτότητες θα χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν ότι τα μηνύματα εκπέμπονται και λαμβάνονται από νόμιμες οντότητες άξιες εμπιστοσύνης. Επιπλέον, ο έξυπνος μετρητής, ο ηλεκτρικός πάροχος, οι πάροχοι υπηρεσιών και κάποιες από τις οικιακές συσκευές θα έχουν πιστοποιητικά για τα δημόσιά τους κλειδιά και τα ζευγάρια ιδιωτικών κλειδιών θα κρατούνται εμπιστευτικά. Ο ηλεκτρικός πάροχος θα είναι η αρχή εξουσιοδότησης της πιστοποίησης που θα παρέχει πιστοποιητικά για οντότητες μέσα στο WAN. Το πιστοποιητικό του ηλεκτρικού παρόχου θα αποθηκεύεται σε κάθε έξυπνο μετρητή πριν την εγκατάσταση και τα πιστοποιητικά για τους έξυπνους μετρητές και τους παρόχους υπηρεσιών θα υπογράφονται από τον ηλεκτρικό πάροχο. Μετά τη συμφωνία για σύναψη συμβολαίου ανάμεσα σε έναν έξυπνο μετρητή και έναν πάροχο υπηρεσίας και οι δύο οντότητες ανταλλάσσουν υπογεγραμμένα πιστοποιητικά για να διασφαλίσουν την ταυτότητα και τη νομιμότητα των δημόσιων κλειδιών τους. Παρόμοια, ο έξυπνος μετρητής θα είναι η αρχή εξουσιοδότησης που θα χειρίζεται τα πιστοποιητικά μέσα στο HAN. Εάν χρειάζεται, τα πιστοποιητικά για τις έξυπνες οικιακές συσκευές θα υπογράφονται από τον έξυπνο μετρητή και θα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τους παρόχους υπηρεσιών.

- **Διασφάλιση ιδιωτικής ζωής** (*privacy assurance*):

Αμέσως μόλις ο έξυπνος μετρητής πιστοποιήσει την αυθεντικότητα μιας απομακρυσμένης οντότητας, μπορεί να δημιουργήσει ένα ασφαλές κανάλι επικοινωνίας χρησιμοποιώντας αποθηκευμένα κλειδιά για να κρυπτογραφήσει/ αποκρυπτογραφήσει τα μεταδιδόμενα μηνύματα. Η κύρια ανησυχία για την προστασία της ιδιωτικής ζωής τοποθετείται στην περιοχή WAN, όπου εξωτερικές οντότητες συγκεντρώνουν πληροφορίες

κατανάλωσης χρηστών. Ουσιαστικά, ο έξυπνος μετρητής θα παρέχει δεδομένα που θα είναι επαρκή για την απομακρυσμένη οντότητα του παρόχου υπηρεσιών να κάνει τη δουλειά της.

- **Διασφάλιση ακεραιότητας (integrity assurance):**

Επειδή ο έξυπνος μετρητής θα δρα ως μια πύλη δικτύου μεταξύ του HAN και του WAN και θα εξυπηρετεί ως ένα τείχος προστασίας για το HAN, είναι σημαντικό να διακατέχεται από υψηλή ασφάλεια ακεραιότητας. Η δημιουργία μιας σχέσης εμπιστοσύνης με τον έξυπνο μετρητή παρέχει μια καλύτερη ασφάλεια τόσο για εξωτερικές όσο και για εσωτερικές οντότητες. Ο ηλεκτρικός πάροχος και οι πάροχοι υπηρεσιών προστατεύονται από επιθέσεις που εξαπολύονται από κακόβουλους έξυπνους μετρητές.

### **3.2.2.6.2 Ασφαλής επικοινωνία**

- **Επικοινωνίες ηλεκτρικού παρόχου-έξυπνου μετρητή:**

Ο ηλεκτρικός πάροχος θα συγκεντρώσει πληροφορίες κατανάλωσης από του έξυπνους μετρητές για τη διαχείριση του έξυπνου δικτύου. Κάθε έξυπνος μετρητής θα προμηθεύει τον πάροχο με συνεχείς αναφορές στοιχείων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ελάχιστη, μέγιστη, μέση κατανάλωση ισχύος των χρηστών. Το διάστημα και η συχνότητα αυτών των αναφορών καθορίζεται από τον πάροχο, έτσι ώστε οι συγκρούσεις πακέτων και οι συνωστισμοί να ελαχιστοποιούνται. Η επικοινωνία μεταξύ αυτών των δύο οντοτήτων πραγματοποιείται μέσω μονο-εκπομπής (unicast), αφού έχει εγκατασταθεί και πιστοποιηθεί η αυθεντικότητα της ταυτότητάς τους.

Στην περίπτωση διαταραχής της κατανάλωσης ή παράδοσης ηλεκτρικής ισχύος, ο έξυπνος μετρητής θα αποστέλλει μηνύματα έκτακτης ανάγκης (urgent messages) προς τον ηλεκτρικό πάροχο. Αυτά τα μηνύματα θα ενεργοποιήσουν αντίστοιχους συναγερμούς, έτσι ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες προφυλάξεις και τα κατάλληλα μέτρα από τον πάροχο.

Για παράδειγμα, εάν ένας έξυπνος μετρητής αναφέρει στον πάροχο το επείγον περιστατικό εκδήλωσης πυρκαγιάς σε ένα σπίτι-νοικοκυριό, τότε ο πάροχος θα αποστέλλει σήματα πολυ-εκπομπής (multicast) ή ευρυ-εκπομπής (broadcast) στους έξυπνους μετρητές της γύρω περιοχής του επείγοντος περιστατικού.

- **Επικοινωνίες έξυπνου μετρητή - οικιακών συσκευών :**

Στο επίπεδο HAN, οι απαιτήσεις ασφάλειας είναι λιγότερο αυστηρές από το επίπεδο WAN. Ο έξυπνος μετρητής θα αποτελεί την αρχή εξουσιοδότησης στο HAN και θα παρέχει πιστοποιητικά στις έξυπνες συσκευές όταν χρειάζεται. Όταν μια έξυπνη συσκευή συστήνεται στο σύστημα, θα καταγράφεται στον έξυπνο μετρητή. Ο έξυπνος μετρητής θα αποθηκεύει την ταυτότητα των συσκευών αυτών και θα διατηρεί την ακεραιότητά τους.

Ο έξυπνος μετρητής θα καθοδηγεί ξεχωριστά τις οικιακές συσκευές να σταματήσουν να λειτουργούν ή να μεταβάλλουν τον κύκλο λειτουργίας τους. Αντίστροφα, οι έξυπνες συσκευές θα στέλνουν αναφορές κατανάλωσης και μηνύματα λάθους στον έξυπνο μετρητή. Εάν ληφθεί ένα μήνυμα λάθους από συσκευή που έχει υπογράψει συμβόλαιο με κάποιο πάροχο υπηρεσιών, ο έξυπνος μετρητής θα στείλει μήνυμα αναζήτησης (request message) στον αντίστοιχο πάροχο υπηρεσιών.

Επίσης, η τοποθέτηση προτεραιότητας μπορεί να διαμορφωθεί από τον χρήστη εάν πιστεύει ότι μια συσκευή είναι πιο σημαντική από μια άλλη.

- **Επικοινωνίες παρόχου υπηρεσιών - έξυπνου μετρητή :**

Οι πάροχοι υπηρεσιών παρακολουθούν και συντηρούν τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές μέσω του έξυπνου μετρητή. Κάθε πάροχος υπηρεσιών που θέλει να συμμετέχει στο σύστημα, πρέπει πρώτα να καταγραφεί στον ηλεκτρικό πάροχο και έπειτα να υπογράψει συμβόλαιο με ιδιωτικούς χρήστες για συγκεκριμένες συσκευές. Ο έξυπνος μετρητής γίνεται τότε ένας πληρεξούσιος μεταξύ των οικιακών συσκευών και παρόχου υπηρεσιών που έχουν υπογράψει συμβόλαιο μεταξύ τους. Επιτρέποντας σε ένα πάροχο υπηρεσιών περιορισμένη πρόσβαση στις πληροφορίες των συσκευών ενός νοικοκυριού, κάποιο μέρος της ιδιωτικής ζωής αποκαλύπτεται. Αυτή η αποκάλυψη ίσως ελαχιστοποιηθεί, παρέχοντας στον πάροχο υπηρεσίας μόνο επαρκείς πληροφορίες για να εκτελέσει τη δουλειά του.

Για παράδειγμα, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να προσφέρουν αναβάθμιση σε συγκεκριμένα στοιχεία λογισμικού των έξυπνων συσκευών.

### 3.2.2.6.3 Η σημασία του συνεργατικού σεναρίου

Το συνεργατικό σενάριο επικοινωνίας για το έξυπνο δίκτυο ,επιτυγχάνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- **Πιστοποίηση αυθεντικότητας συσκευής** (*device authentication*):

Η ταυτότητα και η νομιμότητα των έξυπνων μετρητών και των σχετιζόμενων καταναλωτών πιστοποιείται πριν γίνει μέλος του διασυνδεδεμένου δικτύου έξυπνων μετρητών και λάβει τις κατάλληλες υπηρεσίες του παρόχου.

- **Εμπιστευτικότητα δεδομένων** (*data confidentiality*):

Οι μετρήσεις και τα μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου κρατούνται μυστικά έτσι ώστε να αποκρύπτουν την ιδιωτική ζωή των καταναλωτών και τις επιχειρησιακές πληροφορίες του παρόχου από μη εξουσιοδοτημένες οντότητες.

- **Ακεραιότητα μηνυμάτων** (*message integrity*):

Το έξυπνο δίκτυο πιστοποιεί ότι οι μετρήσεις και τα μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου μεταφέρονται μη τροποποιημένα μες στο έξυπνο δίκτυο μέτρησης.

- **Συντηρητική μυστικοπάθεια** (*maintaining secrecy*):

Κάποια μυστικά του έξυπνου μετρητή κρατούνται για τον ίδιο και μόνο (μετρήσεις), ενώ κάποια άλλα μυστικά μοιράζονται με συγκεκριμένους εταίρους για την εξασφάλιση ασφαλών επικοινωνιών (κλειδιά).

- **Αντιμετώπιση πιθανών ηλεκτρονικών επιθέσεων** (*cyber attacks*):

Ένας έξυπνος μετρητής, έχοντας στην κατοχή του τα ψηφιακά διαπιστευτήρια της νομιμότητάς του, εγγυάται ότι παρέχει ασφαλείς συνδέσεις επικοινωνίας με ολόκληρο το δίκτυο έξυπνων μετρητών. Ακόμη και αν ένας έξυπνος μετρητής τεθεί σε κίνδυνο, ο επιτιθέμενος δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει τον κατελιημμένο έξυπνο μετρητή για περαιτέρω πρόσβαση στις πληροφορίες άλλων έξυπνων μετρητών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> Η ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

---

### 4.1 Η Ανεμογεννήτρια (Α / Γ) στο έξυπνο δίκτυο



**Σχήμα 4.1:** Αιολικό πάρκο

Έχει παρατηρηθεί μία φρενήρης ένταξη των Α/Γ στο ηλεκτρικό δίκτυο τα τελευταία χρόνια. Η συνεισφορά της αιολικής ενέργειας, παγκοσμίως από το 2006 ανέρχεται στα 59,322 MW. Περίπου το 70% της παγκόσμιας εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας βρίσκεται στην Ευρώπη. Στο τέλος του 2005 η παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω της αιολικής ενέργειας, έφτασε το στόχο που είχε τεθεί από την Ε.Ε. για το 2010. Μεγαλύτερη εισροή - χρήση αιολικής ενέργειας παγκοσμίως έχει η Δανία, με παραγωγή που καλύπτει την εγχώρια ζήτηση ακόμη και χωρίς τις πιο κατάλληλες συνθήκες. Περισσότερο από το 67% της αγοράς για σχέδια εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας ανήκει σε Ευρωπαίους κατασκευαστές, 18% σε Αμερικανούς και 6,1% σε Ινδούς. Σήμερα, οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές επεκτείνονται σε νέες αγορές όπως η Ασία, η Λατινική Αμερική. Η ζήτηση για εγκατάσταση Α/Γ σε αυτές τις χώρες αναπτύσσεται ραγδαίως. Η παρούσα και αναπτυσσόμενη ένταξη Α/Γ στο δίκτυο, έχει ως αποτέλεσμα την ανησυχία για μελλοντική ασφάλεια, σταθερότητα και αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου.

#### 4.1.1 Είδη Α/Γ

Εξαιτίας της γρήγορης ανάπτυξης τεχνολογιών σε μηχανές, του σχεδιασμού κιβωτίων ταχυτήτων, υλικών, τουρμπίνων και μετατροπέων ισχύος επιτρέπεται η βελτίωση της απόδοσης των μηχανών. Δύο είδη Α/Γ κυριαρχούν στην αγορά:

- σταθερής ταχύτητας, με τον κινητήρα άμεσα συνδεδεμένο στο δίκτυο.
- μεταβλητής ταχύτητας, με μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος (PEC: Power Electronic Converter) , συνδεδεμένους μεταξύ της Α/Γ και του δικτύου.

#### 4.1.2 ΑΓ με τουρμπίνα σταθερής ταχύτητας

Είναι συνήθως εφοδιασμένη με έναν εγκλωβισμένο (squirrel-cage) κινητήρα, του οποίου οι μεταβολές στην ταχύτητα είναι αρκετά περιορισμένες. Αυτή η ρύθμιση χρησιμοποιεί την αποθήκευση με πυκνωτές της άεργου ισχύος (capacitive bank for reactive power compensation) και διαθέτει κιβώτιο ταχυτήτων που «ταιριάζει» την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων με αυτήν του κινητήρα. Η μηχανική ενέργεια, μπορεί να ελεγχθεί είτε μέσω της σχεδίασης των πτερυγίων της ΑΓ, και έτσι αναστέλλεται η αεροδυναμική τους, είτε με ενεργό έλεγχο της επιφάνειας των πτερυγίων.

#### 4.1.3 ΑΓ με τουρμπίνα μεταβλητής ταχύτητας

Η τουρμπίνα μεταβλητής ταχύτητας, τρέχει μόνη της, αποσυνδέοντας την συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου και αυτή του μηχανικού ρότορα. Υπάρχουν διαφορετικά σχέδια για την τουρμπίνα μεταβλητής ταχύτητας:

1. Δακτυλιοφόρος Δρομέας Επαγωγικής γεννήτριας με δυναμικό έλεγχο ολίσθησης (Wound rotor induction generator with dynamic slip control), που είναι συνδεδεμένος σε μία μεταβλητή αντίσταση. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να χαρακτηριστεί και ως τουρμπίνα ημιμεταβλητής ταχύτητας, με μία ολίσθηση 10% πάνω από την ταχύτητα συγχρονισμού. Οι συνθήκες μεταβολής της ταχύτητας μπορούν να επιτευχθούν με την απώλεια ενέργειας μίας αντίστασης, τοποθετημένης μέσα στον ρότορα.

2. Άμεσης οδήγησης (δίχως γρανάζια-ταχύτητες) πολυπολικός, σύγχρονος κινητήρας, συνδεδεμένος στο δίκτυο μέσω πλήρους ηλεκτρονικών μετατροπής ισχύος (PEC). Ο μετατροπέας συχνότητας επιτρέπει την ύπαρξη μίας ευρείας γκάμας ταχύτητας λειτουργίας, αφού επιδρά στην άεργο ενέργεια

3. Επαγωγική Γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας (Doubly fed induction generator), όπου ένα PEC είναι συνδεδεμένο μεταξύ του κυκλώματος του ρότορα και του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι μόνο η ολισθήσα ενέργεια χειρίζεται από τον μετατροπέα και το ποσοστό του είναι συνήθως 20%-30% του κινητήρα. Έχουν λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας που εξαρτάται από την αναλογία των μεταβλητών ισχύος σε σχέση με το ποσοστό της τουρμπίνας. Το ποσοστό αναλογίας ανάμεσα στο μέγεθος του μετατροπέα και της τουρμπίνας είναι το μισό της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα.

4. Ο μικρότερος μετατροπέας συχνότητας καθιστά αυτόν τον σχεδιασμό ελκυστικό από οικονομικής άποψης. Εκτός της απευθείας οδήγησης (πολύ-πολικό) σύγχρονο κινητήρα, όλες οι άλλες ρυθμίσεις είναι κιβώτια ταχυτήτων συνδεδεμένα με τουρμπίνες.

Οι σταθερής και ημι-σταθερής ταχύτητας κινητήρες, είναι μέρος της πρώτης γενιάς τουρμπίνων. Εξαιτίας της έλλειψης ελέγχου στην ενεργό και άεργο ενέργεια, αυτή η τεχνολογία της σταθερής ταχύτητας, δίνει σταδιακά τη θέση της σε μηχανές μεταβλητής ταχύτητας. Η ευελιξία ελέγχου που προσφέρεται από στατικούς ελεγκτές στις τουρμπίνες μεταβλητής ταχύτητας, κάνουν εφικτό τον ανεξάρτητο έλεγχο ενεργής και άεργου ενέργειας που αλλάζει ανάμεσα στο δίκτυο και τη μηχανή για την καλύτερη χρήση της υπάρχουσας αιολικής ενέργειας και τη μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας, καθώς η τουρμπίνα μπορεί να περιστρέφεται σύμφωνα με την ταχύτητα του εκάστοτε ανέμου και του δυναμικού του δικτύου και η παραγωγή άεργου ενέργειας, μπορεί να ποικίλει.

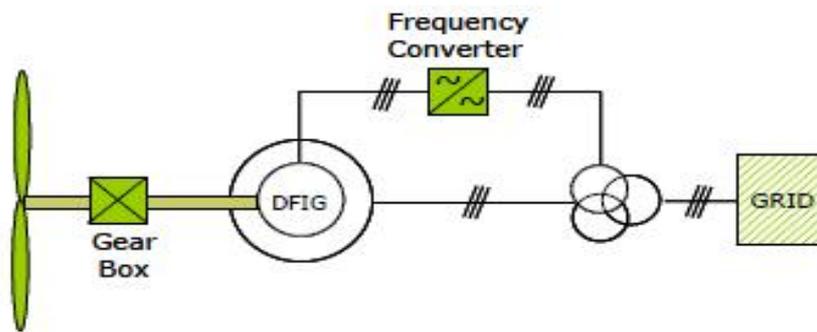
Η ενεργή ενέργεια που παράγεται από μίας μεταβλητής ταχύτητας τουρμπίνα ελέγχεται ηλεκτρονικά από μετατροπείς ισχύος και έτσι ελαττώνει την αρνητική επίδραση των αλλαγών του αέρα από το δίκτυο. Γενικά παρατηρείται μία ομαλότητα με τις τουρμπίνες μεταβλητής ταχύτητας. Κρατά επίσης τις αρμονικές στο δίκτυο σε χαμηλά επίπεδα μέσω του μετατροπέα ισχύος, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ενέργειας που αυτό διαθέτει στο

ευρύ κοινό. Σαν μειονεκτήματα, οι μεταβλητής ταχύτητας τουρμπίνες χρήζουν της παρουσίας μετατροπέα ισχύος, άρα μεγαλώνει ο αριθμός των εξαρτημάτων, δηλαδή το κόστος και γενικότερα, καθιστά τον έλεγχο πιο δύσκολο. Το συνολικό κόστος των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιείται είναι περίπου το 7% του κόστους της τουρμπίνας.

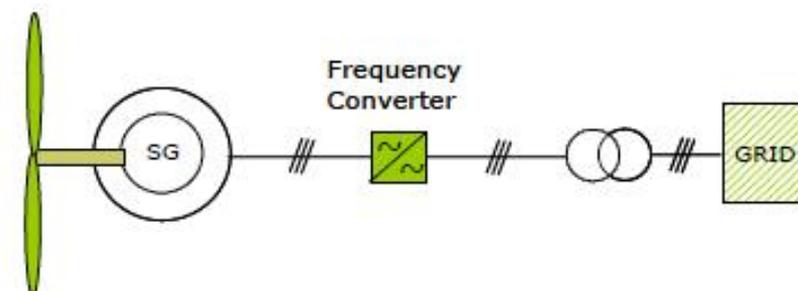
Οι σύγχρονες μηχανές βασισμένες σε τουρμπίνες μεταβλητής ταχύτητας, προσφέρουν πολύ καλύτερη δυνατότητα ένταξης στο δίκτυο αφού ο τρόπος σύνδεσής τους σε αυτό είναι παρόμοιος με τα συμβατικά και επιτυγχάνουν μεγαλύτερο βαθμό χρήσης. Τα δύο μοντέλα με τουρμπίνα μεταβλητής ταχύτητας με την ευρύτερη χρήση παγκοσμίως είναι τα εξής:

α. Επαγωγική Γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας (Doubly - fed induction generators - DFIG) και

β. Πολυπολικές, σύγχρονες γεννήτριες (Multi - pole synchronous generators) (όπως παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες).



**Σχήμα 4.2:** Doubly - fed induction generator.



**Σχήμα 4.3:** Multi - pole synchronous generator.

#### 4.1.4 Καινοτομίες

Παρ' όλη τη φαινομενική άνθηση και βελτίωση τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας, συνεχίζει να προχωρά ώστε να πετύχει την αποτελεσματικότητα του κόστους των Α/Γ. Καθώς πολλά από τα πολυπύθητα σημεία με υψηλούς δείκτες καταγραφής υψηλών ανέμων έχουν αναπτυχθεί στην Ευρώπη και η γη είναι κατάλληλη για νέες εγκαταστάσεις Α/Γ, η αγορά στρέφει την προσοχή της στην αντικατάσταση παλαιών Α/Γ πρώτης γενιάς, με νεότερες και πολύ πιο αποδοτικές μηχανές καθώς και την επαναλειτουργία αυτών των παλαιότερων σταθμών.

Για να ικανοποιήσουν το κόστος εγκατάστασης και αποδοτικότητας, το πρόγραμμα που θέτει ξανά σε λειτουργία παλαιούς σταθμούς, μελετά την εφαρμογή υψηλότερων πύργων, ώστε οι Α/Γ να είναι σε θέση να εκμεταλλευτούν ισχυρότερους ανέμους.

Για την ακρίβεια σε ύψος πάνω από 100 μέτρα από το έδαφος το οριακό ατμοσφαιρικό στρώμα (boundary atmospheric layer) είναι αρκετά διαφορετικό σε σχέση με αυτή κοντά στο έδαφος. Έτσι, νέες έρευνες σε αεροδυναμικές σήραγγες και μοντέλα προσομοίωσης είναι απαραίτητα. Μέχρι στιγμής, ο υψηλότερος πύργος Α/Γ βρίσκεται στην Γερμανία (τύπου πυλώνα - lattice) και μετρά 160 μέτρα πάνω από το έδαφος. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου Α/Γ (lattice) είναι πως είναι ελαφρύτεροι και φθηνότεροι.

Νέα σχέδια Α/Γ μεγαλύτερου μεγέθους μελετώνται για εφαρμογή εκτός στεριάς σε ρηχά και μη νερά σε Ευρώπη και Αμερική. Η σχεδίαση μίας τέτοιας Α/Γ είναι τελείως διαφορετική από αυτή της στεριάς και θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες για να ικανοποιούν τα έξοδα μίας τέτοιας εγκατάστασης (>3MW). Βέβαια με το να μεγαλώσει μία μηχανή συνεπάγεται αύξηση του κόστους μεταφοράς, συντήρησης και εγκατάστασης της Α/Γ. Έτσι καταλήγουμε στην ανάγκη μείωσης του κόστους, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μέσω καινοτομιών στην σχεδίαση και στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για αυτές.

Η ανάπτυξη γεννητριών πολλών MW με μόνιμο μαγνήτη μελετάται καθώς μειώνεται το κόστος και αυξάνεται η χρήση μόνιμου μαγνήτη, ο οποίος βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην γη. Ο μόνιμος μαγνήτης έχει μία μαγνητική ροή (magnetic flux) κοντά σε αυτήν του ηλεκτρομαγνήτη χωρίς την ανάγκη για περισσότερο όγκο που συνεπάγεται και το κόστος των καλωδίων χαλκού. Έτσι επιτρέπεται δημιουργία μικρότερων πολυπολικών γεννητριών. Αυτές οι γεννήτριες δεν έχουν γρανάζια και ψήκτρες, μία συνθήκη σημαντική για μηχανές εκτός στεριάς. Επιτυγχάνεται λοιπόν, η μείωση απωλειών, η αύξηση της αξιοπιστίας και η μείωση του κόστους συντήρησης. Ένα υβριδικό σχέδιο κατασκευάζεται για τις γεννήτριες μόνιμου μαγνητισμού (permanent magnet – PM) το οποίο εμπεριέχει γεννήτριες μικρότερων πόλων με ένα στάδιο κιβωτίου ταχύτητας.

Καινοτομίες αναμένονται επίσης στις τεχνικές μετατροπής ενέργειας. Καίρια θέματα, σχετιζόμενα με τη μετατροπή ενέργειας στις Α/Γ με τουρμπίνα μεταβλητής ταχύτητας, αφορούν τη διατήρηση υψηλής απόδοσης σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου. Οι συμβατικοί μετατροπείς δεν είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που εκμεταλλεύονται ποικίλες ταχύτητες ανέμου. Οι μετατροπείς ισχύος επιτυγχάνουν την μέγιστη απόδοσή τους στην κατανομημένη ενέργεια. Παρουσιάζουν χαμηλή αποδοτικότητα στις χαμηλές ταχύτητες.

#### **4.2 Δυσκολίες στην ένταξη των Α/Γ**

Οι διαταραχές που προκαλούν οι Α/Γ είναι ανάλογες εκείνων που προκαλούνται από τα συνήθη φορτία και αναφέρονται στο σημείο σύνδεσής τους στο δίκτυο διανομής (ΧΤ ή ΜΤ). Ανεξάρτητα, ωστόσο, από το σημείο σύνδεσής τους, οι διαταραχές αυτές διακρίνονται ως εξής:

- Στις διαταραχές που συμβαίνουν κατά την κανονική λειτουργία και έχουν επίπτωση στη σταθερότητα της τάσης του δικτύου. Οι διαταραχές αυτές μπορούν να διακριθούν ως εξής:

- ο Αργές μεταβολές της τάσης, οι οποίες προκαλούνται λόγω της αλλαγής στη ροή των φορτίων κατά την λειτουργία των Α/Γ.

- ο Ταχείες μεταβολές της τάσης, οι οποίες διατηρούνται για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.

- ο Διακυμάνσεις της τάσης, λόγω των συνεχών ταχέων μεταβολών της παραγόμενης ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις αντίστοιχες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου ή και σε συνεχείς ταλαντώσεις.

· Στις επιπτώσεις που έχει η ύπαρξη των Α/Γ κατά τη διάρκεια μη ομαλής λειτουργίας του δικτύου, οπότε η ύπαρξη τους είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει:

- Ανωμαλίες στην ορθή λειτουργία των προστασιών του δικτύου.
- Απαραδέκτες καταπονήσεις των στοιχείων του δικτύου.
- Επικίνδυνες καταστάσεις λόγω «απομονωμένης λειτουργίας» τμήματος του δικτύου, το οποίο απομονώνεται από την κύρια τροφοδότηση του, αλλά παραμένει τροφοδοτούμενο από τις Α/Γ με τάση και συχνότητα που μπορεί να απέχουν σημαντικά από τις ονομαστικές τους τιμές.

Μεγάλες εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων έχουν παρατηρηθεί να εντάσσονται με δύο τρόπους. Μεγάλα αιολικά πάρκα τα οποία συνδέονται στο σύστημα μετάδοσης προς το δίκτυο, ή αρκετές μικρότερες συνδέονται στο σύστημα διαμοιρασμού σε μία περιοχή του δικτύου. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η αποτελεσματική ένταξη μίας σημαντικής ποσότητας αιολικής ενέργειας στο δίκτυο.

Για μία επιτυχής ένταξη, η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να αντιμετωπίσει την απελευθέρωση της αγοράς, την ανανέωση του δικτύου ως αναφορά τις γραμμές του, την περιορισμένη δυνατότητα για την προβλεψιμότητα των καιρικών συνθηκών, στοιχείων δηλαδή που επηρεάζουν άμεσα την αξιοπιστία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αιολικής ενέργειας και τέλος ο διαμοιρασμός και η μεταφορά στα δίκτυα.

Με τον καιρό, η αγορά ελευθερώνεται και περισσότεροι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας εμπλέκονται. Κάτι τέτοιο δίνει έναν δυναμικό και κατασταλακτικό ρόλο στο μέσο καταναλωτή, ο οποίος έχει πλέον την ελευθερία, ευχέρεια, επιλογής της εταιρίας από την οποία θα προμηθευτείται ενέργεια. Πρόβλημα επίσης παρατηρείται και με την παλαιότητα των δικτύων σε Ευρώπη, Αμερική και σε διάφορα άλλα μέρη του κόσμου. Υπάρχει λοιπόν ανάγκη επένδυσης στη συντήρηση του δικτύου, καθώς και στην επέκτασή του.



**Σχήμα 4.4:** Αιολικό πάρκο

#### **4.2.1 Εξάρτηση από τον άνεμο**

Είναι λογικό η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από αιολική ενέργεια να εξαρτάται από τη μεταβλητότητα του ανέμου. Αυτός είναι και ο μεγαλύτερος φόβος που εκφράζουν πολλοί μηχανικοί και χειριστές δικτύου μεταφοράς κυρίως λόγω της ανακρίβειας των μετεωρολογικών προβλέψεων. Οι προβλέψεις της ίδιας μέρας εξάγονται ανά ώρα, ενώ οι 48-ωρες προβλέψεις της επομένης ημέρας βγαίνουν δύο φορές την ημέρα. Ανάλογα των προβλέψεων λοιπόν, ο χειριστής του δικτύου πρέπει να επιλέξει ανάμεσα στη συμπλήρωση παραγόμενης ενέργειας από άλλη γεννήτρια, ή στη μείωση παροχής της. Η επίδραση των ανακριβών προβλέψεων εξαρτάται από τη διαπερατότητα του ανέμου και τη διαφορά δύναμης ανέμου σχετικά με την «προηγούμενη ώρα».

Η περιορισμένη προβλεψιμότητα του ανέμου αποτελεί μία πρόκληση, ωστόσο η διακύμανση στην ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι κάτι καινούριο. Έτσι, μία διεσπαρμένη παραγωγή από αιολική ενέργεια μπορεί να μειώσει αυτή την διακύμανση που παρατηρείται, ν' αυξήσει την προβλεψιμότητα και να ελαττώσει τις περιπτώσεις όπου εμφανίζεται ελάχιστη ή και καθόλου παραγωγή. Μελέτες δείχνουν πως για μία Α/Γ, η διακύμανση στην έξοδο της είναι μικρή για χρονικά διαστήματα μερικών δευτερολέπτων, για ένα αιολικό πάρκο, η διακύμανση αυτή κυμαίνεται σε δεκάδες δευτερολέπτων (λόγω του πλήθους των Α/Γ) και τέλος, για έναν αριθμό αιολικών πάρκων, όπως ένα σύστημα εθνικού δικτύου η διακύμανση που παρατηρείται είναι σε χρονικό διάστημα μερικών λεπτών έως και δεκάδων λεπτών της ώρας. Παράλληλα η ενέργεια που παράγεται από ένα σύστημα Α/Γ (αιολικό πάρκο) θα είναι λιγότερο μεταβλητή σε σύγκριση με μία Α/Γ.

Ο οργανισμός **CAISO** [16] προσφέρει μία διαφορετική προσέγγιση εξαγωγής μέσου όρου ταχύτητας – έντασης ανέμου ανά ώρα σε συνεργασία με το πρόγραμμα **PIRP**[17], προς την ενθάρρυνση ένταξης της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Ανεμογεννήτριες παντός τύπου καταθέτουν ένα πλάνο με ωριαίες προσφορές για την επικείμενη ημέρα ή για τις ερχόμενες ώρες και τυχόν αποκλίσεις από το πλάνο αυτό αποτιμούνται κάθε 10 λεπτά. Πιθανή κύρωση που μπορεί να επιβληθεί, είναι η απαγόρευση λειτουργίας των αιολικών πάρκων, από εκείνους τους χειριστές που δεν μπορούν να ελέγξουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το αιολικό πάρκο. Εναλλακτικά το **PIRP** αποτιμά τις επιβαρύνσεις για την επιπλέον παραγωγή Η/Ε με βάση τις μηνιαίες αποκλίσεις, δεδομένου ότι χρησιμοποιείται η υπηρεσία της CAISO για την πρόβλεψη του καιρού. Αποτέλεσμα ήταν οι πολύ χαμηλές επιβαρύνσεις προς τις εταιρίες παραγωγής Η/Ε από μέρους του **PIRP** και αρκετά μεγάλες εταιρίες παραγωγής συμμετέχουν στο πρόγραμμα που ταχύτατα εξαπλώνεται.

#### **4.2.2 Λύσεις στα «προβλήματα του ανέμου»**

- **Προσωρινή αποθήκευση:**

Μία λύση στα προβλήματα που δημιουργούνται από τη μεταβλητότητα του ανέμου και κατά συνέπεια της παραγωγής Η/Ε μίας Α/Γ είναι η **προσωρινή αποθήκευση παραγόμενης ενέργειας, προς εξομάλυνση της παρεχόμενης προς το δίκτυο Η/Ε**. Είναι μία συχνά συζητήσιμη προοπτική που επιλύει τα διαλλείματα ανέμου που παρατηρούνται. Μελέτες δείχνουν ότι, αν και δεν αποτελεί απαραίτητη και αναγκαία συνθήκη για την εγκατάσταση και δημιουργία ενός αιολικού πάρκου, και γενικότερα για την εγκατάσταση ενός σταθμού παραγωγής Η/Ε μέσω ΑΠΕ, η εγκατάσταση κάποιου μέσου αποθήκευσης ενέργειας ουσιαστικά απαλλάσσει την ένταξη της αιολικά παραγόμενης Η/Ε από οποιαδήποτε δυσκολία και δυσλειτουργία. Ωστόσο, το πολύ υψηλό κόστος των συστημάτων αποθήκευσης περιορίζει τις περιστάσεις που έχουν αποδειχτεί χρήσιμες. Η ένταξη των αιολικών συστημάτων παραγωγής Η/Ε μπορεί, λοιπόν, να διευκολυνθεί εάν προϋπάρχει ένα σύστημα αποθήκευσης. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει ήδη, η κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος υψηλής χωρητικότητας και μακροπρόθεσμης διάρκειας, αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση ενός αιολικού πάρκου έχει περιοριστεί σε αρκετά απομονωμένες περιοχές ή συστήματα – αιολικά πάρκα που είναι εγκατεστημένα σε νησιά.

Παρ' όλα αυτά, για μερικές εφαρμογές ένα μικρής χωρητικότητας αποθηκευτικό μέσο, μικρής διάρκειας και γρήγορης ανταπόκρισης μπορεί να αποδειχθεί αρκετά προσοδοφόρο. Για παράδειγμα, η προσθήκη ενός τέτοιου συστήματος σε μία ηλεκτρονικά ελεγχόμενη διασύνδεση αιολικού πάρκου και δικτύου μπορεί να προάγει τη δυναμική απόκριση της αμφίδρομης αυτής επικοινωνίας, προσφέροντας άεργο ενέργεια για τον έλεγχο της τάσης του ρεύματος και τη δυνατότητα απόσβεσης του πλάτους ταλάντωσης που υπάρχει. Στη Βόρεια Αμερική συγκεκριμένα, σε αρκετά αιολικά πάρκα, χρησιμοποιείται ενός είδους στατικής ή δυναμικής αντιστάθμισης της άεργου ενέργειας.

Σε εφαρμογές όπου η εκμετάλλευση της δυναμικής είναι σημαντικότερη και σε άλλες όπου άλλα αντισταθμιστικά μέτρα είναι περιορισμένα, πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας καθώς και ενεργειακοί σφόνδυλοι (Flywheels) τίθενται σε χρήση. Παράδειγμα αποτελεί το σύστημα **Electronic Shock Absorber (ESA)**, το οποίο εγκατέστησε η εταιρία **Hawaiian Electric Company** σε ένα αιολικό πάρκο στη νήσο της Χαβάης. Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο, ώστε να απορροφά και να αποθηκεύει ενέργεια που προέρχεται από ριπές ανέμου, δηλαδή όταν η παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο είναι σε πλεόνασμα, και να τη διοχετεύει στο δίκτυο όταν η Η/Ε που προσφέρει το πάρκο είναι λιγότερη από το επιθυμητό, είτε λόγω της χαμηλής έντασης του ανέμου, είτε λόγω απώλειας μίας Α/Γ. Καίριο όφελος του συστήματος **ESA** είναι όταν υπάρχει ελάχιστη παραγωγή Η/Ε στο νησί, όπως κατά την διάρκεια της νύχτας όπου παρατηρούνται διακυμάνσεις στην ένταση του ανέμου και μπορούν να επηρεάσουν την σταθερότητα του δικτύου. Το σύστημα μπορεί επίσης να προσθέσει ή να απορροφήσει άεργο ισχύ για να ισορροπήσει τυχόν διαφορές τάσης στο δίκτυο. Η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας γίνεται με τη χρήση πυκνωτών μεγάλης χωρητικότητας που έχουν μέγεθος τέτοιο ώστε να καθιστά τη συσκευή εύκολα ρυμουλκούμενη.

#### · Χρήση υδρο-ηλεκτρικών μέσων:

Ένα μέσο αποθήκευσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η μεταφορά όγκων νερού από χαμηλό υψόμετρο σε υψηλό. Χρησιμοποιείται πλεονασματική ενέργεια παραγόμενη από το αιολικό πάρκο σε περιόδους υψηλών ταχυτήτων ανέμου. Ουσιαστικά το σύστημα αυτό αποτελεί αποθήκευση δυναμικής ενέργειας, η οποία ανακτάται με την κάθοδο του νερού από την υψηλότερη δεξαμενή στην χαμηλή μέσω υδροηλεκτρικών γεννητριών. Η μόνη δυσκολία που συναντάται στην υλοποίηση αυτού του σεναρίου είναι η εύρεση περιοχών που να επιτρέπουν την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος καθώς επίσης και στην έκδοση των απαιτούμενων αδειών για την κατασκευή του. Επιπρόσθετα οι πλέον διαθέσιμες περιοχές για εκμετάλλευση είναι αρκετά απόμακρες, οπότε το κόστος κατασκευής είναι και αρκετά μεγάλο μιας και θα πρέπει να εγκατασταθούν καινούργιες γραμμές μεταφοράς. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την περιορισμένη ευρεία εκμετάλλευση ενός τέτοιου συστήματος.

Οι ήδη υπάρχουσες όμως υδρο-ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ένα εικονικό μέσο αποθήκευσης, για παράδειγμα η **Bonneville Power Administration (BPA)** προσφέρει υπηρεσίες ένταξης στο δίκτυο σε αιολικά πάρκα, χρεώνοντας 0.6¢/kWh ώστε να προσφέρει την απαραίτητη αντιστάθμιση στις διακυμάνσεις που εμφανίζονται. Παράλληλα, η αιολική ενέργεια προσφέρει στη **BPA** ένα μέσο συντήρησης των υδάτινων πόρων της, τα οποία διακυμαίνονται εποχιακά και εισφέρουν μεγαλύτερα εισοδήματα για την εταιρία εάν χρησιμοποιηθούν σε ώρες αιχμής.

#### · Χρήση πεπιεσμένου αέρα:

Πέρα του υδροηλεκτρικού συστήματος, μία άλλη ώριμη εμπορικά λύση είναι η χρήση πεπιεσμένου αέρα για αποθήκευση ενέργειας - **Compressed-air Energy Storage (CAES)**. Σε αυτή την περίπτωση, αέρας αποθηκεύεται με υψηλή πίεση σε υπόγειους χώρους. Το σύστημα χρησιμοποιεί το πλεόνασμα παραγόμενης Η/Ε και με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού συμπιεστή συσσωρεύει αποθέματα συμπιεσμένου αέρα, ο οποίος χρησιμοποιείται στη συνέχεια σε θάλαμο καύσης μίας τουρμπίνας γκαζιού για να παράγει την εκάστοτε συμπληρωματική ενέργεια που απαιτείται. Με τη χρήση του μέσου αυτού, μειώνεται κατά 40% το απαιτούμενο καύσιμο (φυσικό αέριο) για την παραγωγή Η/Ε της τάξης των MW.

Παραδείγματα έχουμε στην Iowa το 2009 με μία δυνατότητα παραγωγής 100-200 MW, στο Τέξας με 270 MW όπου βέβαια, απαιτήθηκε η αναβάθμιση των γραμμών μεταφοράς δικτύου.

- **Χρήση μπαταριών:**

Έχουν συχνά προταθεί για αποθήκευση ενέργειας στα αιολικά πάρκα για την εξισορρόπηση της απόδοσης αιολικών πάρκων. Συνήθως είναι μπαταρίες μολύβδου - οξέως (lead-acid), αν και έρευνες απέδειξαν πώς κάτι τέτοιο δεν θα κάλυπτε το κόστος τους από άποψη πλήρων αποφορτίσεων και χρόνου ζωής. Ο χρόνος ζωής μίας τέτοιας μπαταρίας καθώς και η χωρητικότητά της είναι περιορισμένοι και προς το παρόν, δεν θα υποστηρίξουν κάποια αιολική δραστηριότητα παραγωγής Η/Ε. Μία σχετικά όμως νέα τεχνολογία μπαταρίας χρησιμοποιείται ήδη σε εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας για την αποθήκευσή της σε επίπεδο MW. Είναι μπαταρίες τύπου **VRB (Vanadium Redox Batteries)** και είναι ευρέως γνωστές σαν μπαταρίες ροής (flow batteries) και αντί για σταθερά ηλεκτρόδια, έχουν υγρούς ηλεκτρολύτες. Έχουν ήδη εγκατασταθεί στο King Island, στην Αυστραλία, όπου μία μονάδα προσφέρει σταθεροποίηση τάσης με 200 kW.

Μία παρόμοια εγκατάσταση μεγαλύτερης κλίμακας είναι στην Ιαπωνία όπου η VRB είναι αρκετά μεγάλη για να προσφέρει 4 MW αποφόρτισης σε 1.5 ώρα ή 6 MW για 20 λεπτά. Μία τελευταίας τεχνολογίας μπαταρία που έχει δυνατότητες για χρήση σε συνδυασμό με την αιολική ενέργεια είναι οι μπαταρίες θειούχου νατρίου (sodium-sulfur), ευρέως γνωστές με το όνομα NAS. Η τεχνολογία πίσω από αυτού του τύπου των μπαταριών είναι βασισμένη σε υψηλές θερμοκρασίες ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, ανάμεσα στο νάτριο και το θείο, που μετρίζονται από την παρουσία κεραμικού ηλεκτρολύτη από β- οξειδίο του αργιλίου (beta alumina ceramic electrolyte). Η τεχνολογία αυτή έχει συχνά χρησιμοποιηθεί στην Ιαπωνία για εξισορρόπηση αιολικής ενέργειας. Για παράδειγμα το 2001 μία μπαταρία τύπου NAS της τάξης των 400kW χρησιμοποιήθηκε για να προσφέρει εξισορρόπηση στο δίκτυο για μία μικρή εγκατάσταση αιολικής ενέργειας στο νησί της Hachijojima.

Γενικά η χρήση κάποιου αποθηκευτικού μέσου σε συνδυασμό με την αιολική ενέργεια, μπορεί να αποδειχθεί αρκετά ωφέλιμη, καθώς ακόμα και μερικά λεπτά αποθήκευσης πλεονάζουσας ενέργειας για μεταγενέστερη χρήση – μετάδοση στο δίκτυο καθιστούν ένα τέτοιο συνδυαστικό σύστημα ικανό να αντικαταστήσει ακόμα και συμβατικά μέσα παραγωγής συμπληρωματικής ενέργειας για το αιολικό πάρκο.

#### **4.2.3 Επιλογή θέσης εγκατάστασης αιολικών πάρκων**

Ο αντικειμενικός σκοπός της διαδικασίας επιλογής της θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου είναι ο προσδιορισμός, σε λογικό χρονικό διάστημα, των θέσεων οι οποίες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα οικονομικοτεχνικής βιωσιμότητας των μελλοντικών αιολικών εγκαταστάσεων με την ταυτόχρονη μεγαλύτερη κοινωνική και περιβαλλοντική αποδοχή.

Από την πλευρά της βέλτιστης επιλογής της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με το αιολικό δυναμικό η τήρηση των βασικών ανεμολογικών κριτηρίων προϋποθέτει την επιλογή τοποθεσιών με:

- Υψηλή μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου.
- Αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας, δηλαδή μεγάλη διάρκεια ισχυρών ανέμων και περιορισμένη ύπαρξη περιόδων νηνεμίας.
- Απουσία αποφράξεων του ανέμου καθώς και υψηλών εμποδίων.

Κατά τη διαδικασία χωροθέτησης των Α/Γ, είναι επιθυμητό να υπάρχει όσο το δυνατό ευρύτερη και ανοιχτή όψη στην κατεύθυνση του επικρατούντος αέρα, λιγότερα εμπόδια και χαμηλότερη τραχύτητα σε εκείνη την κατεύθυνση. Είναι καλό να τοποθετούνται κοντά σε ένα στρογγυλεμένο λόφο και να αναζητούνται περιπτώσεις φυσικής επιτάχυνσης της ροής του αέρα. Επίσης, είναι απαραίτητο να μην υπάρχουν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια διότι όταν η ροή του ανέμου είναι κάθετη σε κάποιο εμπόδιο, όπως ένα βουνό, τότε σύμφωνα με τους νόμους της ρευστομηχανικής επιταχύνεται και αντίστοιχα επιβραδύνεται μετά την προσπέλαση του εμποδίου. Επομένως, με βάση τα παραπάνω κριτήρια, ενδιαφέροντα μέρη αποτελούν οι κορυφές λείων και κυκλωτερών λόφων με ελαφρές κατωφέρειες και ανοικτό ορίζοντα καθώς και οι ανοικτές πεδιάδες ή τέλος και τα ανοίγματα των βουνών που δημιουργούν φυσικούς επιταχυντές (ρεύματα αέρα) . Ένα εξίσου ευνοϊκό μέρος για τη χωροθέτησή τους είναι τα παραθαλάσσια μέρη όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η θαλάσσια αύρα, καθώς και μέσα στη θάλασσα (offshore wind arks). Τα offshore αιολικά πάρκα δεν έχουν αναπτυχθεί καθόλου στην Ελλάδα και δεν αναμένεται κάτι τέτοιο τα προσεχή χρόνια.

Το φυσικά διαθέσιμο δυναμικό μιας τοποθεσίας χαρακτηρίζεται χονδρικά συνήθως από τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (σε m/sec ή σε miles/h). Αυτό όμως μπορεί να διαφέρει μέχρι και 20% από χρόνο σε χρόνο και για το λόγο αυτό, μια πλήρης εικόνα του ανέμου απαιτεί μετρήσεις τριών τουλάχιστον χρόνων. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δεδομένα 3-6 μηνών ή το πολύ ενός χρόνου σαν πρώτη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού. Για τη μέτρηση του ανέμου και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές (ανεμογράφοι) που μετρούν την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.

Οι μετρήσεις αρχικά γίνονται σε ύψος 10m από το έδαφος όπως συστήνει ο παγκόσμιος μετεωρολογικός οργανισμός (WMO) και καταγράφονται σε ειδικό όργανο που περιέχει κατάλληλο πρόγραμμα συλλογής και αποθήκευσης των μετρήσεων. Στη συνέχεια μεταφέρονται σε υπολογιστή και γίνεται η επεξεργασία τους με κατάλληλα προγράμματα. Αν τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και προκειμένου να μελετηθεί με ακρίβεια η πιθανή απόδοση μιας αιολικής μηχανής (όπως άλλωστε απαιτείται για την αδειοδότηση του αιολικού πάρκου), οι μετρήσεις επεκτείνονται και σε ύψος 40 m που είναι το συνηθισμένο ύψος του άξονα των μεγάλων μηχανών.

Η ακρίβεια των μετρήσεων των ανεμολογικών δεδομένων είναι δύσκολο να επιτευχθεί δεδομένου ότι η ταχύτητα του ανέμου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η τραχύτητα της επιφάνειας της περιοχής, και η ύπαρξη εμποδίων (π.χ. δέντρα, κτίρια). Με τις σημερινές συνθήκες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, θέσεις με μέση ετήσια ταχύτητα άνω των **6,4 m/s** θεωρούνται κατ' αρχάς κατάλληλες για περαιτέρω διερεύνηση με επιτόπιες μετρήσεις. Επειδή η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού αποτελεί τον πρωταρχικό αλλά όχι και καθοριστικό παράγοντα επιλογής της θέσης της αιολικής εγκατάστασης, αυτή θα είναι η κατάλληλη εφόσον συνυπολογιστούν και οι ακόλουθες συνιστώσες:

- Οικονομικά συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας.
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την αιολική εγκατάσταση (οπτική και ηχητική όχληση, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, επιδράσεις στα πουλιά κ.λπ).
- Κανονισμοί και περιορισμοί στη χρήση γης.
- Αποδοχή της ανεμογεννήτριας από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.
- Αντιμετώπιση ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών (πολύ ισχυροί άνεμοι, ακραίες θερμοκρασίες, σχετική υγρασία, βροχοπτώσεις κλπ).

- Αποδοχή της εγκατάστασης από το κοινό.

Η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή προσπελάσιμη στα συνήθη μεταφορικά μέσα, να υπάρχει πρόσβαση σε λιμάνια ή συγκοινωνιακούς κόμβους για τη μεταφορά των υλικών και φυσικά να είναι κοντά στο δίκτυο της ΔΕΗ στη συνήθη περίπτωση σύνδεσής της με αυτό. Το ηλεκτρικό δίκτυο που βρίσκεται κοντά στις ανεμογεννήτριες θα πρέπει να είναι ικανό να δεχτεί την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια. Εάν υπάρχουν ήδη αιολικά πάρκα στην περιοχή, θα πρέπει να εξεταστεί αν το δίκτυο χρειάζεται ενίσχυση.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης μιας αιολικής εγκατάστασης είναι η μορφολογία και η φύση του εδάφους, η διαθέσιμη έκταση και οι χρήσεις της, το άμεσο περιβάλλον της θέσης, η προσέγγιση σε αρχαιολογικούς ή άλλους ευαίσθητους χώρους (π.χ. στρατιωτικούς), η γειτνίαση με οικισμούς ή αεροδρόμια, η ύπαρξη εγκαταστάσεων τηλεπικοινωνιών ή τηλεόρασης στο άμεσο περιβάλλον, η ύπαρξη οδών μετανάστευσης ή χώρων διαβίωσης πτηνών και ιδιαίτερα σπανίων καθώς και οι κλιματικές συνθήκες.

Συνοψίζοντας, λαμβάνοντας υπόψη το αιολικό δυναμικό της περιοχής καθώς και όλες τις παραπάνω παραμέτρους είναι δυνατή η κατασκευή μιας οικονομικοτεχνικά βιώσιμης εγκατάστασης αιολικής ενέργειας.

Η θεσμοθέτηση Ειδικού Πλαισίου αποτελεί, ίσως, την πλέον ενδεδειγμένη και νομικά ασφαλή λύση για την αποτελεσματική χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ και ειδικότερα αιολικών πάρκων, καθώς κατοχυρώνει τον μακροπρόθεσμο χωρικό σχεδιασμό και καλύπτει τις απαιτήσεις στρατηγικού σχεδιασμού για την χωρική ένταξη των έργων ΑΠΕ.

Το Ειδικό Πλαίσιο, σύμφωνα με την Κοινή Διακήρυξη Αρχών για την προώθηση ΑΠΕ που εξέδωσαν οι αρμόδιοι φορείς, πρέπει να περιλαμβάνει σαφή κριτήρια για τη χωροθέτηση τους, λαμβάνοντας υπόψη, κατά προτεραιότητα όλες τις άλλες οριζόντιες πολιτικές εθνικού επιπέδου (Εθνικές και Κοινοτικές πολιτικές και δεσμεύσεις), την ιδιαιτερότητα των ΑΠΕ, τον περιβαλλοντικά φιλικό χαρακτήρα τους, τη σημειοκή τους φύση (εγκατάσταση όπου υπάρχει δυναμικό), ενσωματώνοντας τα ζητήματα προστασίας του περιβάλλοντος και ελαχιστοποίησης των όποιων επιπτώσεων μπορεί να συνεπάγεται η εγκατάσταση έργου ΑΠΕ σε μια περιοχή και γενικότερα στο σύνολο της επικράτειας.

Το Ειδικό Πλαίσιο, για την καλύτερη χωροθέτηση των αιολικών εγκαταστάσεων, διακρίνει τον εθνικό χώρο στις ακόλουθες μείζονες κατηγορίες, με βάση το εν δυνάμει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό του και τα ιδιαίτερα χωροταξικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του:

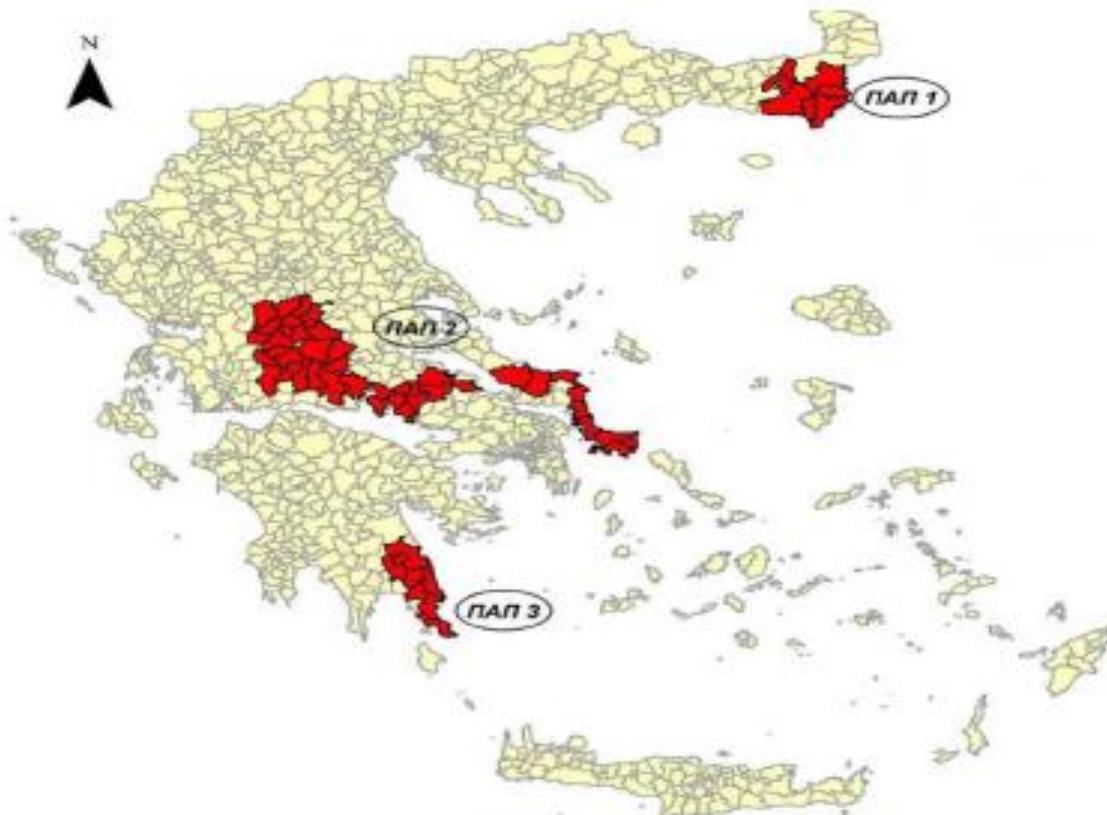
- Στην ηπειρωτική χώρα, συμπεριλαμβανομένης και της νήσου Εύβοιας
- Στην Αττική, που αποτελεί ειδικότερη κατηγορία της ηπειρωτικής χώρας λόγω του μητροπολιτικού χαρακτήρα της.
- Στα κατοικημένα νησιά του Ιονίου και Αιγαίου Πελάγους, συμπεριλαμβανομένης και της Κρήτης.
- Στον υπεράκτιο θαλάσσιο χώρο και τις ακατοίκητες νησίδες.

Εν συνεχεία, η ηπειρωτική χώρα διακρίνεται περαιτέρω σε Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (ΠΑΠ) και σε Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας (ΠΑΚ) ως εξής:

- Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (ΠΑΠ):

Είναι οι περιοχές της ηπειρωτικής χώρας, που απεικονίζονται στην ακόλουθη εικόνα. Πρόκειται για τμήματα των νομών Ροδόπης και Έβρου (περιοχή 1), τμήματα των νομών Ευβοίας, Ευρυτανίας, Βοιωτίας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας και Καρδίτσας (περιοχή 2) και τέλος, τμήματα των νομών **Λακωνίας** και Αρκαδίας (περιοχή 3). Στο Παράρτημα, αναφέρονται όλοι οι Δήμοι που περιλαμβάνονται στις ΠΑΠ. Σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο και τη μελέτη που προηγήθηκε, οι περιοχές αυτές διαθέτουν συγκριτικά πλεονεκτήματα για την εγκατάσταση αιολικών σταθμών. Εν πρώτοις, διαθέτουν ικανό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό ενώ υπάρχει αυξημένη ζήτηση εγκατάστασης ανεμογεννητριών από μέρους των επενδυτών. Ταυτόχρονα, προσφέρονται από άποψης επίτευξης των χωροταξικών στόχων (ελεγχόμενη συγκέντρωση των αιολικών εγκαταστάσεων) διότι συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη ζήτηση με βάση τις αιτήσεις για άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας.

Στις περιοχές αυτές, εκτιμάται η μέγιστη δυνατότητα χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων (φέρουσα ικανότητα), όπως ειδικότερα αυτή προσδιορίζεται στο Παράρτημα. Ως «Φέρουσα Ικανότητα» ή «χωρητικότητα» μιας περιοχής ως προς την εγκατάσταση έργων ΑΠΕ, ορίζεται ως **«η μέγιστη δυνατότητα εγκατάστασης έργων ΑΠΕ στη περιοχή αυτή, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, στον βαθμό που αυτές συνηγορούν ή περιορίζουν την μέγιστη δυνατότητα εγκατάστασής των, έτσι ώστε, να μην αλλοιώνονται ανεπιστρεπτί, τα βασικά χαρακτηριστικά του υποδοχέα»**. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, 2008). Η στάθμιση των πιο πάνω παραμέτρων, επιτυγχάνεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια προσδιοριζόμενα, κατά το δυνατόν, αντικειμενικά. Ο ορισμός της φέρουσας ικανότητας είναι από τη φύση του εξαιρετικά πολύπλοκος και δύσκολα ποσοτικοποιήσιμος.



**Σχήμα 4.5 :** Ο χάρτης της Ελλάδας με τις περιοχές αιολικής προτεραιότητας.

- Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας (ΠΑΚ): Είναι ομάδες ή επιμέρους περιοχές πρωτοβάθμιων Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης της ηπειρωτικής χώρας καθώς και μεμονωμένες θέσεις, οι οποίες δεν εμπίπτουν σε ΠΑΠ αλλά διαθέτουν ικανοποιητικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, και προσφέρονται για το λόγο αυτό για την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων. Στις ΠΑΚ συμπεριλαμβάνονται και οι κατάλληλες για χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων ζώνες, που θα προσδιοριστούν, με βάση τα κριτήρια του Ειδικού Πλαισίου, από τα οικεία Περιφερειακά Πλαίσια, Ρυθμιστικά Σχέδια, Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια, Σχέδια Χωρικής και Οικιστικής Οργάνωσης Ανοικτών Πόλεων, Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου ή άλλα σχέδια χρήσεων γης.

- Αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και απόδοσης των αιολικών εγκαταστάσεων:

Για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και της απόδοσης των εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων, είναι σκόπιμο να τηρούνται κάποιες αποστάσεις.

Αυτές σχετίζονται με τις αποστάσεις από το οδικό δίκτυο, από το δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, από στοιχεία που εμποδίζουν την αξιοποίηση του ανέμου καθώς και τις μεταξύ των ανεμογεννητριών αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα:

- Μέγιστη απόσταση από υφιστάμενη οδό χερσαίας προσπέλασης οποιασδήποτε κατηγορίας :

- § Για εγκατεστημένη ισχύ κάτω των 10 MWe: Σε ΠΑΠ και Αττική 20km μήκους όδευσης.

- § Σε άλλες περιοχές (ΠΑΚ) 15km μήκους όδευσης, ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ.

- § Σε νησιά 10km μήκους χερσαίας όδευσης, ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ.

- Μέγιστη απόσταση από το σύστημα (δίκτυο) μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Υψηλής, Μέσης, Χαμηλής Τάσης: όπως ορίζει ο ΔΕΣΜΗΕ στους όρους σύνδεσης της εγκατάστασης (με υψηλή τάση) και η ΔΕΗ (με μέση και χαμηλή τάση).

- Ελάχιστη απόσταση (A) από σημαντικά σταθερά στοιχεία άμεσης παρεμβολής (φυσικά ή ανθρωπογενή) που εμποδίζουν την εκμετάλλευση του ανέμου: 7 φορές το ύψος του σταθερού στοιχείου άμεσης παρεμβολής ( $A=7\chi Y$ ).

- Ελάχιστη απόσταση (A) μεταξύ των ανεμογεννητριών:

- § Με ανάπτυγμα κάθετα στην κατεύθυνση του κυρίαρχου ανέμου: 3 φορές τη διάμετρο (d) της φτερωτής της ανεμογεννήτριας ( $A=3d$ ).

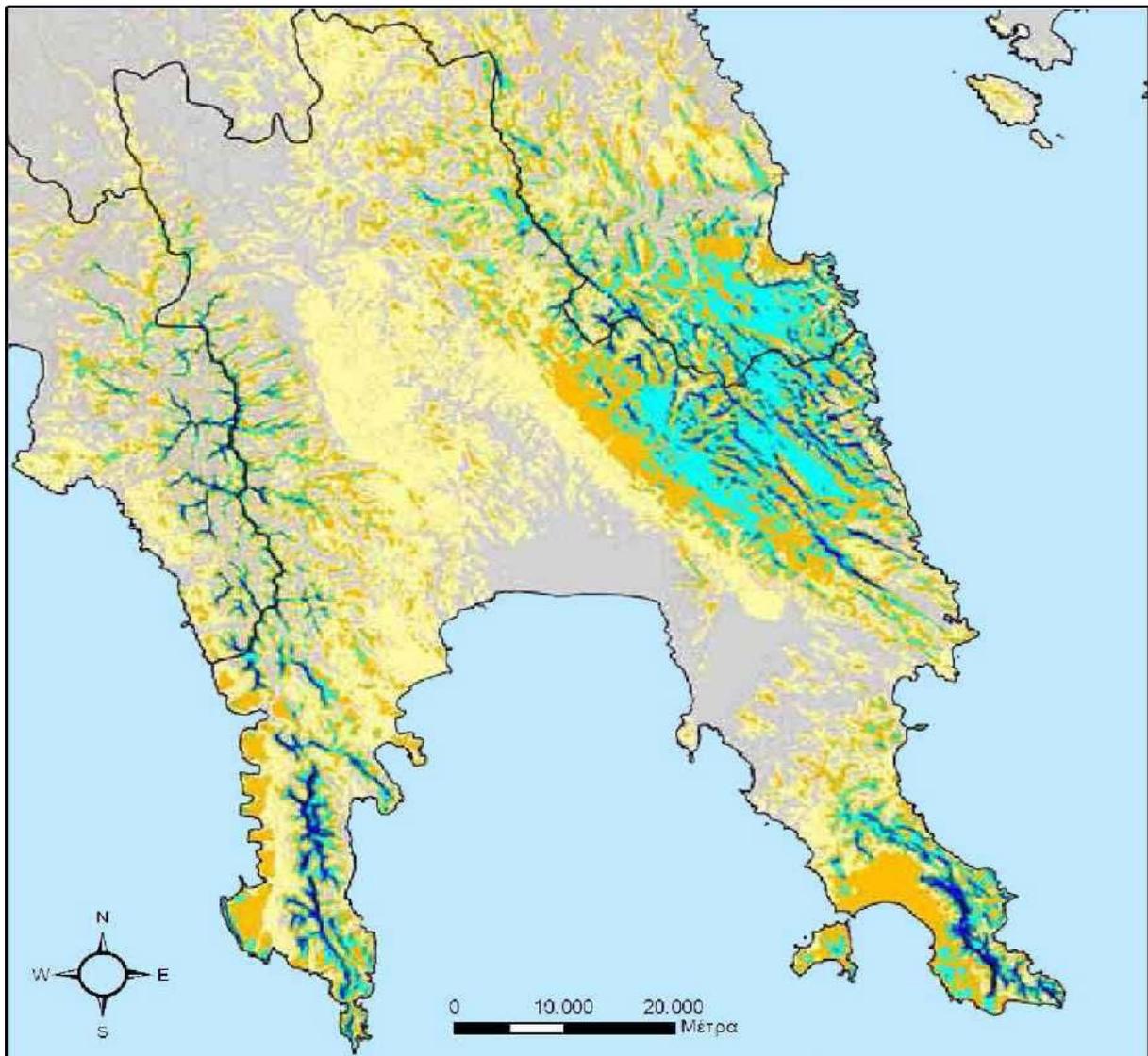
- § Με ανάπτυγμα παράλληλο στην κατεύθυνση του κυρίαρχου ανέμου: 7 φορές τη διάμετρο (d) της φτερωτής της ανεμογεννήτριας ( $A=7d$ ).

### **Η περιοχή μελέτης :**

Ο Ν. Λακωνίας παρουσιάζει πολύ έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, το μεγαλύτερο στην Περιφέρεια της Πελοποννήσου. Γεγονός είναι ότι διαθέτει ένα πολύ σημαντικό φυσικό διαθέσιμο, υψηλό αιολικό δυναμικό, το οποίο εντοπίζεται σε περιοχές όπως η βορειοανατολική, η νοτιοανατολική και νοτιοδυτική πλευρά του, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο χάρτη του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

(ΚΑΠΕ). Σε αυτές τις περιοχές, η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου ξεπερνάει τα 6 m/s και θεωρείται, με βάση τα σημερινά τεχνικοοικονομικά δεδομένα, αξιοποιήσιμη για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων.

Ο χάρτης αυτός αποτελεί μια πολύ χρήσιμη και ασφαλή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στο Ν. Λακωνίας, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασικό κριτήριο για μια εκ των προτέρων επιλογή θέσεων και χωροθέτηση σταθμών, αφού όπως έχει ήδη αναλυθεί στο πρώτο κεφάλαιο, η επιλογή της θέσης εξαρτάται από πολλούς επιπλέον παράγοντες.



Σχήμα 4.6 : Χάρτης αιολικού δυναμικού στο Ν. Λακωνίας [18]

Με βάση τον παραπάνω χάρτη διαπιστώνεται ότι η ύπαρξη τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού εντοπίζεται, κυρίως, στο ανατολικό τμήμα του Νομού Λακωνίας, κατά μήκος του Πάρνωνα. Οι περιοχές με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, άνω του ελάχιστου ορίου των 6 m/s, έχουν υψόμετρο συνήθως μεγαλύτερο των 400 m.

Αναλυτικά, για το ανατολικό τμήμα του νομού, ο δήμος Βοιών διαθέτει μικρά ποσοστά αιολικού δυναμικού εκτός του ανατολικού τμήματός του προς το Αιγαίο, όπου υπάρχει συγκέντρωση αιολικού δυναμικού μέσου μεγέθους. Οι δήμοι Νιάτων και Ζάρακα, λόγω των έντονων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, διαθέτουν υψηλό αιολικό δυναμικό το οποίο κατανέμεται σε όλη τους σχεδόν την έκταση. Οι δήμοι Μονεμβασίας, Ασωπού, Μολάων και Έλους χαρακτηρίζονται από σαφώς πιο ήπια μορφολογία και μικρά ποσά αιολικού δυναμικού. Στο δυτικό τμήμα του νομού, ισχυρό αιολικό δυναμικό διαθέτουν οι δήμοι Ανατολικής Μάνης και Οιτύλου κατά μήκος του Ταυγέτου. Στην "Ειδική Χωροταξική Μελέτη αναζήτησης αιολικών σταθμών στη ΒΑ Λακωνία" επισημαίνεται ότι:

**«Στο ανατολικό τμήμα του Νομού Λακωνίας (όπου συγκεντρώνεται κυρίως το αιολικό δυναμικό του) υπάρχουν δύο ευρύτερες ενότητες εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού, η ΒΑ ενότητα (πιο εκτεταμένη και ανομοιογενής, με υψηλότερα συνολικά μεγέθη) και η ΝΑ ενότητα (μικρότερη και πιο ομοιογενής). Ουσιαστικά, πρόκειται για δύο διαφορετικές περιοχές, που απαιτούν διαφορετική προσέγγιση για την εξακρίβωση της φέρουσας ικανότητάς τους όσον αφορά τη χωροθέτηση αιολικών σταθμών».**

Δεν αποκλείεται φυσικά η ύπαρξη θέσεων με κατάλληλο αιολικό δυναμικό εκτός των δύο ενότητων, αλλά εκτιμάται ότι αυτές θα είναι διάσπαρτες και δεν θα οδηγούν σε τοπική συσσώρευση αιολικών σταθμών.

Σύμφωνα με τα αρχεία αιτήσεων της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) [19], για το Ν. Λακωνίας έχουν δοθεί 20 θετικές γνωμοδοτήσεις για άδειες παραγωγής για αιολικά πάρκα (στοιχεία Μαΐου 2008). Μέχρι τον Ιούνιο του 2008 εκκρεμούσαν 29 αιτήσεις, συνολικής ισχύος 590,6 MW, για άδεια παραγωγής και προμήθειας. Άδειες παραγωγής έχουν δοθεί σε 20 αιολικά πάρκα στο Ν. Λακωνίας με συνολική ισχύ 337,5 MW. Τέλος, στον πίνακα 5 και σύμφωνα με τον Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) [20], φαίνονται τα αιολικά πάρκα που έχουν όρους σύνδεσης (ισχύς, τοποθεσία και με ποιον υποσταθμό θα συνδεθεί με το κύκλωμα της ΔΕΗ) αλλά δεν έχουν άδεια λειτουργίας. Εκκρεμούν 5 αιτήσεις μονάδων αιολικών πάρκων για προσφορά σύνδεσης. Οι αιτήσεις επικεντρώνονται στους προαναφερθέντες δήμους που χαρακτηρίζονται από αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό.

| ΟΝΟΜΑ ΦΟΡΕΑ                      | ΙΣΧΥΣ (ΣΕ MW) | ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ                      | ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ  |
|----------------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------|
| WRE ΕΛΛΑΣ Α.Ε                    | 4,8           | Αλώνια Ελληνικού               | Μ.Τ.                               |
| ΑΙΟΛΙΚΗ ΖΑΡΑΚΑ ΚΟΥΠΙΑ Α.Ε.       | 4,5           | Μουτζούρι Κουπιών Δ. Ζάρακος   | ΛΑΚ2                               |
| ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΟΛΑΩΝ ΛΑΚΩΝΙΑΣ Α.Β.Ε.Ε. | 20,4          | Γκρόπτες-Ράχη Γκιώνη Δ. Ζάρακα | ΛΑΚ2 – Τροπο/ση (N) ή Μ.Τ. -Μολάοι |
| ΑΙΟΛΙΚΗ ΖΑΡΑΚΑ ΣΠΑΡΤΙΛΑ Α.Ε.     | 6,6           | Σπαρτίλα-Κάρκανο Ρειχέας       | ΛΑΚ2 – Τροπο/ση (N) ή Μ.Τ. -Μολάοι |

|   |      |   |                |
|---|------|---|----------------|
| <b>ΑΙΟΛΙΚΗ<br/>ΖΑΡΑΚΑ<br/>ΚΟΝΤΟΡΡΑΧΗ<br/>Α.Ε.</b> | 10,8 | Κοντορράχη Λαμπόκαμποι<br>Δ.Ζάρακος                     | ΛΑΚ2           |
| <b>ΑΙΟΛΙΚΗ<br/>ΖΑΡΑΚΑ<br/>ΤΟΥΡΛΑ Α.Ε.</b>         | 8,25 | Τούρλα-Κορδέλιζα Κουπιών<br>Δ.Ζάρακος                   | Μολάοι         |
| <b>ΑΙΟΛΙΚΗ<br/>ΖΑΡΑΚΑ ΡΑΧΗ<br/>ΓΚΙΩΝΗ Α.Ε.</b>    | 9,0  | Ράχη Λούτσας-Γκιώνη<br>Κουπιών-Λαμπόκαμπου<br>Δ.Ζάρακος | ΛΑΚ2           |
| <b>ΜΕΛΚΑ<br/>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ<br/>ΑΛΦΑ Α.Ε.</b>         | 1,5  | ΔΙΚΛΑΔΙ Δ.ΒΟΙΩΝ   | Μ.Τ.           |
| <b>ΑΙΟΛΙΚΗ<br/>ΜΠΕΛΕΧΕΡΙ Α.Ε.</b>                 | 18,0 | Μπελεχέρι Δ.Νιάτων                                      | ΚΡΕΜΑΣΤΗ 2 (Ν) |

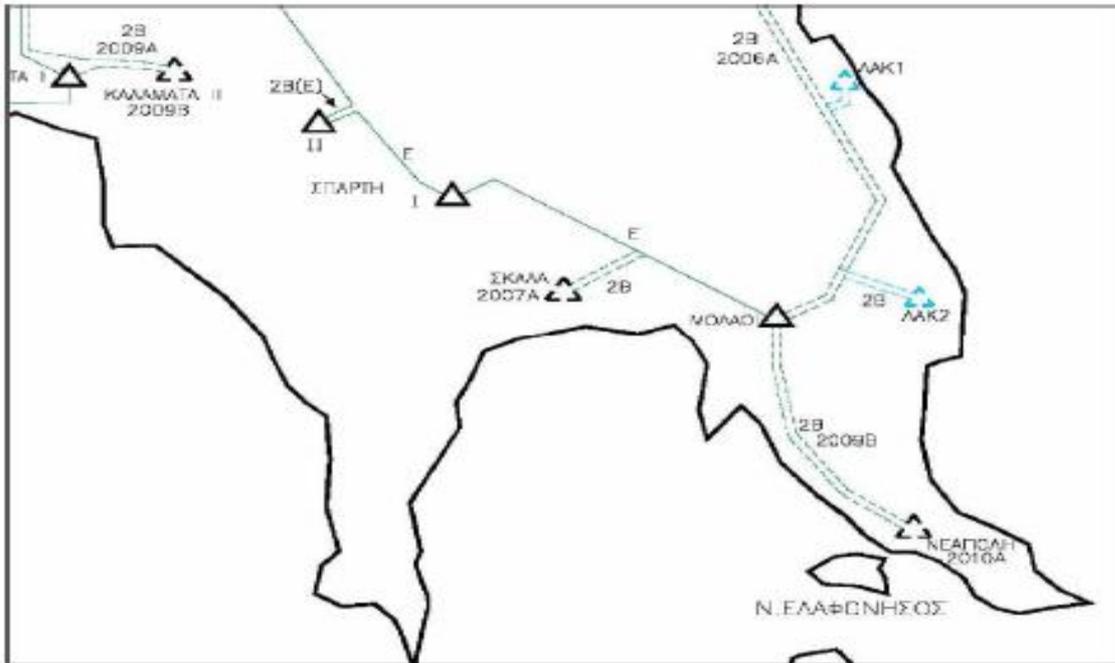
**ΠΙΝΑΚΑΣ 10.:** Αιολικά πάρκα με όρους σύνδεσης από τον ΔΕΣΜΗΕ στο Ν. Λακωνίας

Στον παρακάτω χάρτη που έχει διαμορφώσει ο ΔΕΣΜΗΕ, φαίνεται το ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της περιόδου 2006-2010 για την περιοχή της Λακωνίας. Κάποια από τα έργα, δεν έχουν ακόμη πραγματοποιηθεί αλλά εντάσσονται στην παρούσα περίοδο και αναμένεται η κατασκευή τους. Αναμένεται επίσης, η κατασκευή του έργου σύνδεσης αιολικών πάρκων στην ανατολική Λακωνία, του ΛΑΚ1, ενώ ο ΛΑΚ2 έχει ήδη κατασκευαστεί. Η νέα γραμμή Άστρος - Μολάοι έχει ως ένα από τους στόχους της την αύξηση της αιολικής διείσδυσης στην περιοχή Λακωνίας - Κυνουρίας.

Τα πιο πάνω έργα, σύμφωνα με τον ΔΕΣΜΗΕ, θα επιτρέψουν την αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ισχύος αιολικών πάρκων στην περιοχή έως τα 280 MW. Σε μεταγενέστερο στάδιο και εφόσον αδειοδοτηθούν νέα έργα στην περιοχή, σχεδιάζεται η κατασκευή νέας γραμμής μεταφοράς 2B/150 Μολάοι-Μεγαλόπολη.

Η Πελοπόννησος αποτελεί την κρισιμότερη περιοχή του συστήματος για τα επόμενα έτη, καθώς έχει αρχίσει να είναι εισαγωγική σε περιόδους υψηλού φορτίου, ενώ υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά την μελλοντική κατάσταση από άποψη διαθέσιμου παραγωγικού δυναμικού στην περιοχή Μεγαλόπολης (ΔΕΣΜΗΕ, 2006).

Γενικά, παρατηρείται η τάση βελτίωσης του υπάρχοντος συστήματος αφού η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας πολλαπλασιάζεται, με ταυτόχρονη πρόνοια για την διείσδυση της αιολικής ενέργειας. Επομένως, για ένα από τα προβλήματα ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας, που ήταν η έλλειψη των κατάλληλων δικτύων για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται προσπάθεια επίλυσής του.



**Σχήμα 4.7 :** Ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της περιόδου 2006-2010 για την περιοχή της Λακωνίας

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, δηλαδή την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού, το έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον που υπάρχει για ανάπτυξη αιολικών πάρκων, την βελτίωση του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που δίνει τη δυνατότητα για μεγαλύτερη διείσδυση αιολικής ενέργειας, ταυτόχρονα με το γεγονός ότι δεν υπάρχει καμία αιολική εγκατάσταση στην περιοχή αλλά προωθείται από Ειδικό Πλαίσιο, ο Ν. Λακωνίας θεωρήθηκε **κατάλληλος για την εφαρμογή της χωροθέτησης αιολικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

---

1. The Smart Grid: Opportunities for industry and how IEEE can help, whitepaper IEEE, September 2011
2. Power Systems Engineering Research Center, U.S. Energy Infrastructure Investment: Large-Scale Integrated Smart Grid Solutions with High Penetration of Renewable Resources, Dispersed Generation, and Customer Participation, March 2009
3. National Energy Technology Laboratory Understanding the Benefits of the Smart Grid June 18, 2010
4. Jack Casazza and Frank Delea, Understanding Electric Power Systems: An Overview of the Technology and the Marketplace, ISBN 0-471-44652-1
5. The Role of DSOs on Smart Grids and Energy Efficiency, A EURELECTRIC position paper January 2012
6. Electric Power Research Institute (EPRI), The Cost of Power Disturbances to Industrial and Digital Economy Companies, June 2001
7. D. Elmakias, Reliability of Distribution Systems, Studies in Computational Intelligence (SCI), 2008, 111, 373–404
8. D. Elmakias, Basic Notions of Power System Reliability, Studies in Computational Intelligence, 2008, (SCI) 111, 1–53 (2008)
9. Khosrow Moslehi, Member, IEEE, Ranjit Kumar, Senior Member, IEEE , Smart Grid - A Reliability Perspective Paper, IEEE PES Conference on “Innovative Smart Grid Technologies”, January 19-20, 2010, Washington, DC.
10. M. McGranaghan and F. Goodman, Technical and system requirements for advanced distribution automation, 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, pages 1–5, 2005.