

**ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ**

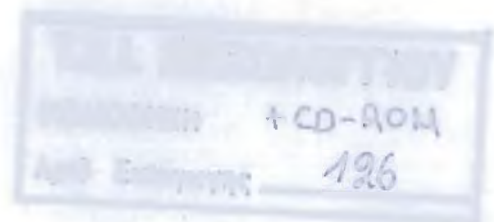


**ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ**

**Χιώτης Γιακουμής Α.Μ. 8222  
Ντόντης Αθανάσιος Α.Μ. 8122**

**Εισηγητής: Αλεξόπουλος Γιώργος**

**Μεσολόγγι, Ιανουάριος 2007**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1	Γενικά.....	5
1.2	Περίληψη εργασίας.....	5
2.	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
2.1	Άνεμος και Ατμοσφαιρική κυκλοφορία.....	8
2.2	Ταχύτητα ανέμου.....	9
2.3	Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.....	11
2.4	Ενέργεια του ανέμου.....	11
2.5	Χωρική μεταβολή της έντασης του ανέμου.....	13
2.6	Μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου.....	14
2.7	Ανάλυση αιολικών μηχανών.....	18
2.7.1	Ιστορική αναδρομή αιολικής ενέργειας.....	18
2.7.2	Κατάταξη αιολικών μηχανών.....	19
2.7.3	Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών.....	19
2.7.4	Εφαρμογές Ανεμογεννητριών.....	21
2.7.5	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.....	21
2.8	Άντληση νερού.....	22
2.8.1	Τεχνολογικές εφαρμογές.....	22
2.8.2	Αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	23
2.8.3	Παραγωγή υδρογόνου.....	23
2.8.4	Μικρές ανεμογεννήτριες.....	23
2.9	Ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στον κόσμο.....	24
2.9.1	Παγκόσμια κατάσταση.....	24
2.9.2	Παγκόσμια αγορά.....	25
2.9.3	Προβλέψεις για την περίοδο 2005-2014.....	26
2.10	Ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	27
2.10.1	Αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα.....	27
2.10.2	Παρούσα κατάσταση.....	28
2.10.3	Προβλέψεις-στόχοι.....	29

3.	ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	
3.1	Εισαγωγή.....	30
3.2	Είδη μικρών ανεμογεννητριών.....	31
3.3	Εφαρμογές μικρών Α/Γ.....	32
3.4	Μικρές Α/Γ στη διεθνή αγορά.....	35
3.5	Εφαρμογές μικρών Α/Γ στην Ελλάδα.....	37
3.6	Μικρές Α/Γ στην ελληνική αγορά.....	39
4	ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	
4.1	Εφαρμογές μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές.....	41
4.1.1	Τεχνολ. χαρακτηριστικά και είδη Α/Γ σε αστικές περιοχές.....	41
4.1.2	Τοποθεσίες εγκατάστασης μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές.....	42
4.1.3	Εμπόδια για την ανάπτυξη των μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές.....	46
4.1.4	Μελλοντική σκοπιά.....	47
4.2	Εφαρμογή μικρών Α/Γ σε αγροτικές περιοχές.....	48
4.2.1	Βασικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.....	48
4.2.2	Πιθανές χρήσεις μικρών Α/Γ σε αγροτικές περιοχές.....	50
4.3	Εφαρμογή μικρών Α/Γ για αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	52
5	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΥ/ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (PV)	
5.1	Εισαγωγή.....	53
5.1.1	Τα επιμέρους τμήματα ενός συστήματος Ανέμου/ PV.....	53
5.1.2	Σχεδιασμός υβριδικών συστημάτων Ανέμου/ PV.....	54
5.1.3	Υβριδικά Φωτοβολταϊκά/ θερμικά συστήματα ( hybrid PV/T systems).....	55
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

## Παράρτημα 1

$v$	η ταχύτητα ανέμου (m/s)
$T_t$	η χρονική περίοδος (s)
$m$	η μάζα $m$ ποσότητα αέρα (Kg)
$\rho$	η πυκνότητα του αέρα ( $\text{kg/m}^3$ )
$p$	η πίεση (atm)
$S$	το εμβαδόν ( $\text{m}^2$ )
$E_{\text{κιν}}$	η κινητική ενέργεια του ανέμου (Joule)
$P$	η ισχύς του ανέμου (W)
$T$	η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ , K)
$z$	το ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (m)
$p_0$	η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας ( $\text{kg/m sec}^2$ )
$R_0$	η παγκόσμια σταθερά των αερίων (J/K mol)
$g$	η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $\text{m/s}^2$ )
$C_{P \text{ Betz}}$	ο συντελεστής ισχύος της Α/Γ
$\lambda$	η παράμετρος περιστροφής
$\omega_0$	η γωνιακή ταχύτητα της πτέρυγας (rad/sec)
$R$	η ακτίνα της πτέρυγας (m)
$\sigma$	η παράμετρος στιβαρότητας Α/Γ
$\delta$	ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής
$c$	το πλάτος των πτερυγίων (m)
$L$	η δυναμική άνωση (N)
$D$	η οπισθέλκουσα (N)
$C_L$	ο συντελεστής δυναμικής άνωσης
$C_D$	ο συντελεστής οπισθέλκουσας
$\eta$	ο βαθμός απόδοσης
$M$	η αυτονομία υβριδικού συστήματος Ανέμου/ PV
$K$	η χωρητικότητα μπαταρίας (Ampere-hours)
$V$	η συνεχή τάση (volt)
$E_B(t)$	η ενεργειακή κατάσταση της μπαταρίας
$CF_W$	ο συντελεστής χωρητικότητας Α/Γ
$CF_H$	ο συντελεστής χωρητικότητας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά

Είναι κοινά αποδεκτό ότι οι ενεργειακές ανάγκες σήμερα είναι τεράστιες και συνεχώς αυξάνονται με ταχύτατους ρυθμούς σε σχέση με το παρελθόν. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες, αλλά και στην ενεργειακή απαίτηση ανά άτομο δεδομένης της τεχνολογικής εξέλιξης. Συνεπώς είναι αναγκαία, εκτός της μελέτης των συνηθισμένων ενεργειακών πόρων, η στροφή της παγκόσμιας αγοράς ενέργειας σε άλλες λύσεις.

Οι ενεργειακές ανάγκες μέχρι σήμερα απαιτούσαν γρήγορες και φθηνές λύσεις, έτσι το πετρέλαιο και το κάρβουνο έγιναν οι κύριες πρώτες ύλες για την κάλυψη των παραπάνω απαιτήσεων. Σήμερα, η κατάσταση αυτή αντιμετωπίζει δυο τεράστια προβλήματα. Το πρώτο αφορά την διαθεσιμότητα του πετρελαίου και του κάρβουνου. Οι προβλέψεις καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η εξάντληση των φυσικών καυσίμων θα είναι ορατή τις επόμενες δεκαετίες, γεγονός που οδηγεί την βιομηχανία σε αναζήτηση άλλων μορφών ενέργειας. Το δεύτερο πρόβλημα το οποίο είναι και το πιο σημαντικό αφορά τις επιπτώσεις των φυσικών καυσίμων στο περιβάλλον. Οι εκπομπές από την καύση των συμβατικών καυσίμων ρυπαίνουν το περιβάλλον ανεπανόρθωτα, δημιουργώντας το "φαινόμενο του θερμοκηπίου".

Κύρια αιτία του φαινομένου είναι η αυξημένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα που προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα.

Οι λύσεις των δυο παραπάνω προβλημάτων συγκλίνουν στη προώθηση νέων τεχνολογιών μείωσης των εκπεμπόμενων αερίων, στη εύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας και παράλληλα στη σταδιακή αντικατάσταση των συμβατικών πηγών ενέργειας από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες παρουσιάζουν ‘καθαρότητα’ στις διαδικασίες τους. Η ουσιαστική προώθηση των εναλλακτικών και κυρίως ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ξεκίνησε με την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 70’, ωστόσο η τεχνολογική υποστήριξη και διάθεση προώθησης εντοπίζεται τα τελευταία 15 χρόνια.

Μια εναλλακτική μορφή ενέργειας αποτελεί η αξιοποίηση του παγκόσμιου αιολικού δυναμικού, το οποίο είναι τεράστιο, καθιστώντας την αιολική ενέργεια έναν από τους βασικούς ανταγωνιστές των συμβατικών τρόπων παραγωγής ενέργειας.

## **1.2. Περίληψη εργασίας**

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αρχικά μια σύντομη αναφορά στην προέλευση του ανέμου. Γίνεται επίσης αναφορά στην επεξεργασία των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου, στον υπολογισμό της ενέργειας που αυτός μεταφέρει καθώς και τις ιδιότητές του που είναι χρήσιμες και αφορούν την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Επίσης παρατίθενται οι διαφορετικοί τύποι ανεμόμετρων. και οι λεπτομέρειες εφαρμογής τους. Στη συνέχεια γίνεται πλήρης περιγραφή στα είδη των Α/Γ, στους βασικούς αεροδυναμικούς νόμους που αφορούν μια ανεμογεννήτρια καθώς και στα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη αυτής. Επιπρόσθετα παρουσιάζονται οι εφαρμογές των Α/Γ για διαφορετικούς σκοπούς και διαφορετικές κλιματολογικές ζώνες. Τέλος γίνεται αναφορά στην κατάσταση που αφορά τις Α/Γ στην παγκόσμια και ελληνική αγορά.

Το κεφαλαίο 3 αφορά την κατηγορία των μικρών Α/Γ. Γίνεται περιγραφή καταρχήν, στα είδη των μικρών Α/Γ και στα τμήματα από τα οποία αποτελείται αυτή. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των αεροδυναμικών νόμων που ακολουθούν τα πτερύγια της μικρής Α/Γ και αναφέρονται οι μέθοδοι και τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων. Παράλληλα παρουσιάζονται οι κυριότερες εφαρμογές των μικρών Α/Γ. Τέλος γίνεται αναφορά στην διεθνή και ελληνική αγορά των μικρών Α/Γ.

Το κεφάλαιο 4 αφορά το υδρογόνο ως ενεργειακό φορέα. Αρχικά παρατίθενται γενικά στοιχεία για το υδρογόνο καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτού ως μελλοντικό καύσιμο. Στη συνέχεια γίνεται μια πλήρης αναφορά στους τρόπους παραγωγής του υδρογόνου και ειδικότερα στις τέσσερις γενικές μεθόδους παραγωγής του. Μετά περιγράφονται οι τρόποι αποθήκευσης του υδρογόνου για να χρησιμοποιηθεί όταν οι ενεργειακές ανάγκες το απαιτήσουν. Κατόπιν γίνεται περιγραφή των κυψέλων καυσίμου (fuel cells) και των κυριότερων τύπων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Τέλος γίνεται αναφορά στις εφαρμογές του υδρογόνου τόσο στον αστικό όσο και στον βιομηχανικό τομέα.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα βασικά υβριδικά συστήματα ανέμου. Αρχικά αναφέρονται τα υβριδικά συστήματα ανέμου/ντίζελ και γίνεται μια περιγραφή των τμημάτων που τα αποτελούν. Στη συνέχεια παρατίθενται οι μέθοδοι λειτουργίας και τα είδη των υβριδικών συστημάτων ανέμου/ντίζελ καθώς και οι βελτιώσεις στο σχεδιασμό τους. Στη συνέχεια περιγράφονται τα υβριδικά συστήματα ανέμου/PV και συγκεκριμένα τα τμήματα που τα αποτελούν και τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού τους. Επίσης εκτίθενται τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση αυτών των συστημάτων και γίνεται μια περιγραφή των υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών συστημάτων (PV/T). Τέλος γίνεται ανάλυση των υβριδικών συστημάτων ανέμου/υδροηλεκτρικής ενέργειας που αφορά τα τμήματα των συστημάτων ανέμου/υδροηλεκτρικής ενέργειας και τους παράγοντες λειτουργίας τους.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην εφαρμογή των μικρών Α/Γ σε αστικές και αγροτικές περιοχές. Ειδικότερα στην αρχή του κεφαλαίου αναφέρονται τα είδη των μικρών Α/Γ που μπορούν να τοποθετηθούν σε αστικές περιοχές. Επίσης γίνεται αναφορά στα εμπόδια εξάπλωσης των μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές. Τέλος γίνεται περιγραφή των βασικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας σε αγροτικές περιοχές και παρατίθενται πιθανές χρήσεις μικρών Α/Γ στον αγροτικό τομέα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



### 2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 2.1. Άνεμος και Ατμοσφαιρική Κυκλοφορία

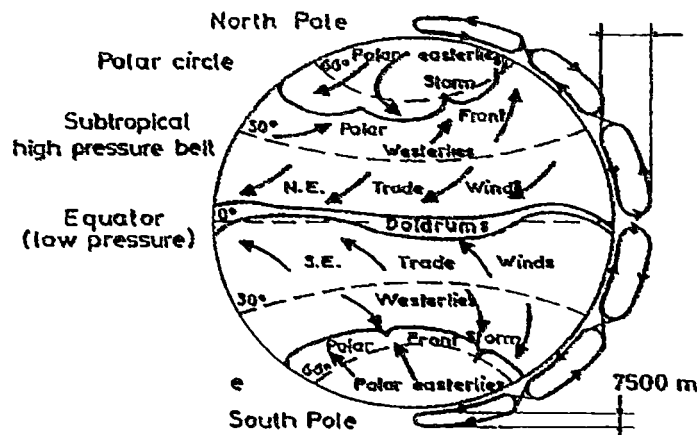
Άνεμος ονομάζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Όπως και για οποιοδήποτε ρευστό το οποίο βρίσκεται σε κίνηση, έτσι και στην περίπτωση του ανέμου για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητάς του απαιτείται η γνώση του μέτρου και της φοράς-διεύθυνσης του ανέμου.

Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται τόσο από ειδικούς παράγοντες (γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, πεδίο πίεσης) όσο και από τοπικούς παράγοντες ( ανάγλυφο της περιοχής, ύπαρξη θάλασσας κ.λ.π.). Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της γης. Η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία της γης, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αέριων μαζών από τους πόλους στον ισημερινό και αντίθετα. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί άνεμοι πνέουν από τους πόλους στον ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητάς του και ο οποίος κινείται δια μέσω της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους (Εικόνα 1) [1].



Παράλληλα, η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αέριων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά.

Τέλος σημαντικός παράγοντας για την δημιουργία του ανέμου είναι και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης.



Εικόνα 1. Πεδίο ανέμων γύρω από τον πλανήτη

Αποτέλεσμα του συνδυασμού των ανωτέρω παραγόντων είναι η συνεχής μεταβολή της κατάστασης της ατμόσφαιρας και η δημιουργία περιοχών υψηλών πιέσεων (αντικυκλώνες) όπως και περιοχών χαμηλών πιέσεων (κυκλώνες). Από το σύνολο των κινήσεων του ανέμου η σπουδαιότερη σε σχέση με τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου [2].

## 2.2. Ταχύτητα του ανέμου

Η κίνηση του ανέμου ακολουθεί τους νόμους της μηχανικής των ρευστών. Οι οποίοι διέπουν την τυρβώδη ροή ρευστού. Συνεπώς η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος, το οποίο εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις ακόμα και σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα.

Η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου γράφεται σαν άθροισμα της μέσης ταχύτητας του ανέμου  $v_{\mu}$  και μιας διακύμανσης  $v'(t)$ , δηλαδή:

$$v(t) = v_{\mu} + v'(t) \quad (1)$$

Ενώ η μέση ταχύτητα  $v_{\mu}$  του ανέμου σε μια χρονική περίοδο  $T_1$  δίνεται σαν:

$$v_{\mu} = 1/T_1 \int v(t') dt' \quad (2)$$

Συνήθως για τη στατιστική πρόβλεψη των μέγιστων ταχυτήτων του ανέμου χρησιμοποιούνται οι μέσες ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για μια σειρά ετών.

Το δείγμα που προκύπτει αναλύεται με βάση το στατιστικό νόμο των ακραίων τιμών, όποτε και επιχειρείται ο προσδιορισμός της μέγιστης ταχύτητας του ανέμου ο οποίος αναμένεται να εμφανισθεί σε μια χρονική περίοδο ορισμένων ετών [3].

Η διεθνής κλίμακα που χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως για την ένταση της ταχύτητας του ανέμου δημιουργήθηκε από τον στρατηγό Francis Beaufort [4] και αποτελείται από 18 επίπεδα ταχύτητας του ανέμου (Πίνακας 1). Τέλος η εξίσωση  $v \approx 1.8 B^{3/2}$  συνδέει τις βαθμίδες Beaufort (B) με την ταχύτητα του ανέμου (v) σε μιλιά την ώρα.

**Πίνακας 1 Κλίμακα Beaufort**

Αριθμός Beaufort	Ταχύτητα ανέμου		
	Κόμβοι	(m/s)	(km/h)
0	1	0-0.4	<1
1	1-3	0.5-1.5	1-6
2	4-5	2-3	7-11
3	7-10	3.5-5	12/19
4	11-16	5.5-8	20-28
5	17-21	8.1-10.9	29-38
6	22-27	11.4-13.9	39-49
7	28-33	14.1-16.9	50-61
8	34-40	17.4-20.4	62-74
9	41-47	20.5-23.9	75-88
10	48-55	24.4-28	89-102
11	56-63	28.4-32.5	103-117
12	64-71	32.6-35.9	118-133
13	72-80	36.9-40.4	134-149

14	81-89	40.1-45.4	150-166
15	90-99	45.1-50	167-183
16	100-108	50.1-54	184-201
17	109-118	54.1-60	202-220

### 2.3. Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας

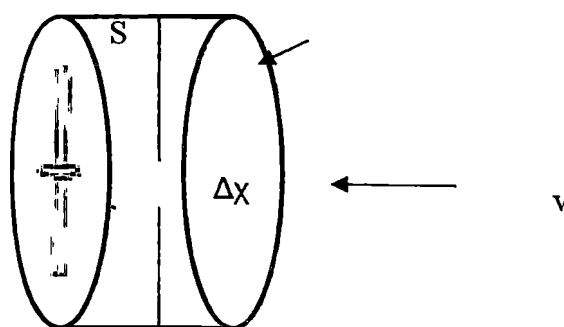
Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γίνεται με τη χρήση των ανεμογεννητριών (Α/Γ). Η Α/Γ αποτελείται από ένα πύργο στήριξης και μια πτερωτή, η οποία εκμεταλλεύεται την ροή του ανέμου χάρη στο αεροδυναμικό σχήμα των πτερυγίων της.

Είναι σημαντικό για την κατασκευή του πύργου και των πτερυγίων μιας Α/Γ η γνώση και η καταγραφή των μέγιστων τιμών της ταχύτητας του ανέμου.

Για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης μιας Α/Γ απαιτείται εκτός της γνώσης της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, οι επικρατούσες στην περιοχή αναταράξεις, ο στροβιλισμός και η τύρβη του ανέμου καθώς και η μεταβολή του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.

### 2.4. Ενέργεια του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου είναι εξαιρετικά σημαντική για το ποσό ενέργειας που μια ανεμογεννήτρια μπορεί να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια. Για να υπολογίσουμε την ενέργεια του ανέμου που δέχεται μια Α/Γ θεωρούμε ένα όγκο αέρα, ο οποίος κινείται με ταχύτητα  $v$ .



Σχήμα Α. Όγκος αέρα που διέρχεται από μια Α/Γ

Η μάζα  $m$  του όγκου αέρα θα είναι:

$$m = \rho S \Delta x = \rho S v \Delta t \quad (3)$$

όπου  $S$  είναι το εμβαδόν που ορίζουν τα περύγια μιας Α/Γ,  $\Delta x$  το ύψος της κυλινδρικής επιφάνειας και  $\Delta t$  ο χρόνος διέλευσης του όγκου αέρα από την Α/Γ. Επομένως η κινητική ενέργεια που μεταφέρει αυτός ο όγκος αέρα είναι:

$$E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho S v^3 \Delta t \quad (4)$$

Και η αντίστοιχη ισχύς:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (5)$$

Η ισχύς της αιολικής ενέργειας, όπως φαίνεται από την εξίσωση (5), εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα. Η πυκνότητα του αέρα  $\rho$  είναι μια συνάρτηση της ατμοσφαιρικής πίεσης  $p_0$  και της θερμοκρασίας του αέρα  $T$ , οι οποίες και οι δυο είναι συνάρτηση του ύψους  $z$  πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας [4,5]:

$$\rho(z) = p_0 / (R_0 T) \exp(-g z / (R_0 T)) \quad (6)$$

$\rho(z)$  = πυκνότητα του αέρα σαν συνάρτηση του ύψους ( $\text{kg/m}^3$ )

$p_0$  = η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας ( $\text{kg/m sec}^2$ )

$R_0$  = παγκόσμια σταθερά των αέριων ( $\text{J/K mol}$ )

$T$  = θερμοκρασία ( $\text{K}$ )

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας ( $\text{m/s}^2$ )

$z$  = το ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας ( $\text{m}$ )

Η ισχύς του ανέμου, σχέση (5), είναι η ολική διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου. Η ενέργεια του ανέμου δε μπορεί να μετατραπεί όλη σε κινητική-περιστροφική στην Α/Γ. Είναι προφανές ότι αν όλη η ενέργεια του ανέμου μπορούσε να μετατραπεί σε κινητική, η ταχύτητα του ανέμου μετά την Α/Γ θα ήταν μηδέν και συνεπώς δεν θα υπήρχε ροή του ανέμου. Επίσης αν η ταχύτητα του ανέμου μετά την Α/Γ ήταν ίδια με την προσπίπτουσα το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που θα μετατρέπεται σε μηχανική θα ήταν μηδενικό.

Έχει βρεθεί ότι μεταξύ αυτών των ακραίων καταστάσεων υπάρχει ένας λόγος ταχυτήτων τέτοιος ώστε η απόδοση της αιολικής μηχανής είναι μέγιστη.

Η ιδανική αυτή κατάσταση, ανακαλύφθηκε από τον Betz το 1926 [4,27], και είναι εκείνη για την οποία η ταχύτητα του ανέμου μετά την A/Γ είναι 1/3 της προσπίπτουσας και η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει μια A/Γ είναι το 59% της αρχικής:

$$P_{\text{Betz}} = \frac{1}{2} \rho S v^3 C_{P \text{ Betz}} = \frac{1}{2} \rho S v^3 0.59$$

όπου  $C_{P \text{ Betz}}$  συντελεστής ισχύος της A/Γ και περιγράφει το ποσοστό της ισχύος του ανέμου που εκμεταλλεύεται η πτερωτή της μηχανής.

## 2.5. Χωρική μεταβολή της έντασης του ανέμου

Είναι γεγονός ότι η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται σημαντικά με το ύψος. Πιο συγκεκριμένα η κατακόρυφη κατανομή ταχύτητας του ανέμου ακολουθεί τη συμπεριφορά τυρβώδους οριακού στρώματος και συνεπώς η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου αλλάζει σημαντικά από σημείο σε σημείο.

Συνήθως η μεταβολή αυτή είναι αξιοσημείωτη μέχρι τα πρώτα εκατό (100 m) μέτρα από το έδαφος, δηλαδή μέχρι το συνηθισμένο πάχος του οριακού ατμοσφαιρικού στρώματος [6].

Για την περιγραφή της κατακόρυφης κατανομής των ταχυτήτων έχουν προταθεί διάφορες αναλυτικές σχέσεις, οι οποίες στηρίζονται στη θεωρία των οριακών στρωμάτων. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

α. η λογαριθμική κατανομή (log-law) η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$v(z) = k_1 \ln(z/z_0) + k_2 \quad (7)$$

όπου  $v$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$ ,  $z_0$  είναι το τοπικό ύψος αναφοράς και  $k_1$  και  $k_2$  σταθερές που σχετίζονται με τοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

β. η εκθετική κατανομή (power-law) η οποία εκφράζεται σαν:

$$v(z)/v(z_1)=(z/z_1)^a \quad (8)$$

όπου δίνει την ταχύτητα του ανέμου  $v$  σε ύψος  $z$  από το έδαφος συναρτήσει της παραμέτρου  $a$ , της οποίας η ακριβής τιμή εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους αλλά και την διεύθυνση του ανέμου. Οι τιμές αυτής της παραμέτρου κυμαίνονται μεταξύ του 0.08 για επιφάνειες με χαμηλή θερμοκρασία και του 0.45 για αστικές περιοχές [7,8].

## 2.6. Μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου

Για την μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Αυτά μπορούν να χωριστούν σε τρεις διαφορετικές μεγάλες κατηγορίες: α) Τα περιστροφικά ανεμόμετρα, β) τα ανεμόμετρα πίεσης και γ) και τα ανεμόμετρα θερμαινόμενου νήματος. Πιο συγκεκριμένα:

### Περιστροφικά ανεμόμετρα

Τα ανεμόμετρα αυτής της κατηγορίας είναι τα πλέον απλά και η ταχύτητα του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του ανεμομέτρου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου.

Το πιο γνωστό μοντέλο αυτής της κατηγορίας είναι το ανεμόμετρο των Robinson-Papillon. Αυτό είναι γνωστό και σαν κυπελλοφόρο ανεμόμετρο και χρησιμοποιείται στους περισσότερους μετεωρολογικού σταθμούς. Αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, με τέτοιο τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη. Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του συνήθως καταγράφεται σε έναν μικροϋπολογιστή στο εσωτερικό του. Το κυπελλοφόρο ανεμόμετρο έχει ταχύτητα έναρξης λειτουργίας για ταχύτητες ανέμου από 1-2 m/s [9].

Ένα άλλο μοντέλο αυτής της κατηγορίας είναι το ανεμόμετρο του Ailleret. Το μοντέλο αυτό μοιάζει με αυτό των Robinson-Papillon με την διάφορα ότι αντί για κύπελλα έχει μεγάλες κοίλες επιφάνειες, συνήθως έξι. Επίσης ο κατακόρυφος άξονας στήριξης των επιφανειών αυτών συνδέεται με ένα ηλεκτροκίνητο κινητήρα, ο οποίος στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέεται με υπολογιστή και έχει την δυνατότητα καταγραφής όχι μόνο της έντασης του ανέμου αλλά και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Αυτό το όργανο αρχίζει να λειτουργεί για ταχύτητες μεγαλύτερες από 3 m/s.

Επίσης άλλο ένα μοντέλο είναι το ανεμόμετρο του Jules Richard, το οποίο είναι πιο ευαίσθητο από όλα τα παραπάνω και χρησιμοποιείται σε πολλά επιστημονικά εργαστήρια σε όλον τον κόσμο [7].

### **Ανεμόμετρα πίεσης**

Τα ανεμόμετρα πίεσης είναι πιο ακριβή από τα περιστρεφόμενα και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Υπάρχουν πολλά μοντέλα σε αυτήν την κατηγορία τα βασικά από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Το ανεμόμετρο Pitot και Dines είναι ένα πολύ ευαίσθητο και η λειτουργία του βασίζεται στην δυναμική πίεση του ανέμου. Αυτό το ανεμόμετρο έχει έναν καταγραφέα ανέμου, ο οποίος είναι συνδυασμένος με μια ειδικά αεροδυναμικά κατασκευασμένη ουρά για την παράλληλη καταγραφή και της διεύθυνσης του ανέμου.

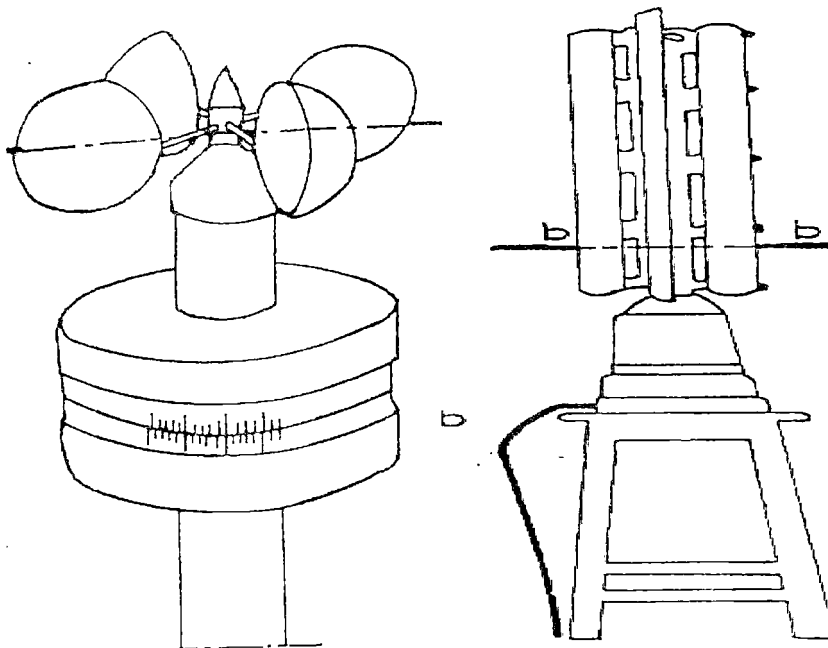
Το ανεμόμετρο ERA περιλαμβάνει μια συμπαγή μπάλα εκτεθειμένη, με την βοήθεια ενός βραχίονα, στον άνεμο είτε σε οριζόντια είτε κατακόρυφη θέση. Η ένταση του ανέμου προσδιορίζεται από το μέγεθος της εκτροπής της μπάλας από την αρχική της θέση.

Ένα άλλο μοντέλο αυτής της κατηγορίας είναι το ανεμόμετρο Romani στο οποίο η αεροδυναμική δύναμη δρα σε έναν κάθετο κύλινδρο. Η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου καθορίζεται από ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων που στηρίζεται σε μια σειρά γαλβανομέτρων. Τα γαλβανόμετρα αυτά δέχονται στιγμιαίους ηλεκτρικούς παλμούς διαμέσο αντιστάσεων οι οποίοι δημιουργούνται στην επιφάνεια του κάθετου κυλίνδρου [11,12].

## Ανεμόμετρα θερμαινόμενου νήματος και άλλες μέθοδοι

Τα ανεμόμετρα αυτής της κατηγορίας στηρίζονται στη θέρμανση και στην ψύξη διαφόρων συρμάτων. Συγκεκριμένα το σύρμα θερμαίνεται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και εκτίθεται στον άνεμο. Η ψύξη του σύρματος με τον άνεμο έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της ηλεκτρικής του αντίστασης. Μετρώντας το χρόνο ψύξης και την τιμή της αντίστασης σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή είναι δυνατός ο προσδιορισμός της έντασης του ανέμου.

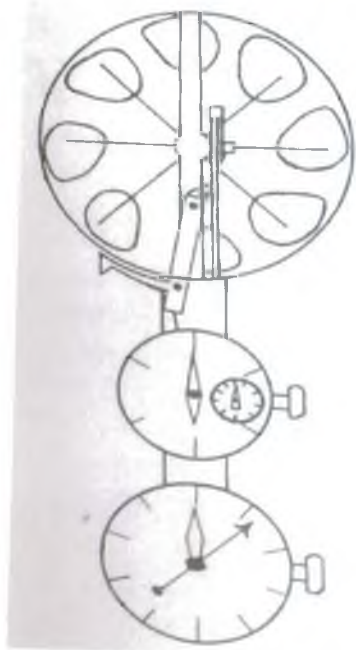
Μια μέθοδος για μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου σε ύψη από 30 m –200 m είναι η χρήση ρουκέτας η οποία αποβάλλει καπνό. Μια ρουκέτα εκτοξεύεται κάθετα και λαμβάνονται φωτογραφίες του σχήματος του καπνού που αφήνει η ρουκέτα. Από την ανάλυση φωτογραφιών υπολογίζεται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Επίσης η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μετρηθεί και με μετεωρολογικά μπαλόνια [13].



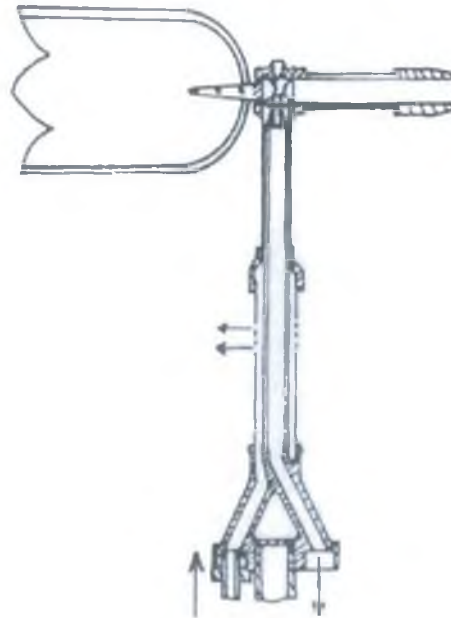
*Ανεμόμετρο Robinson-Papillon*

*Ανεμόμετρο Ailleret*

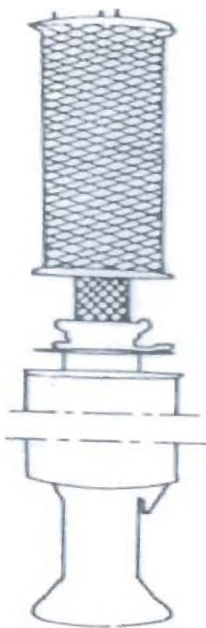




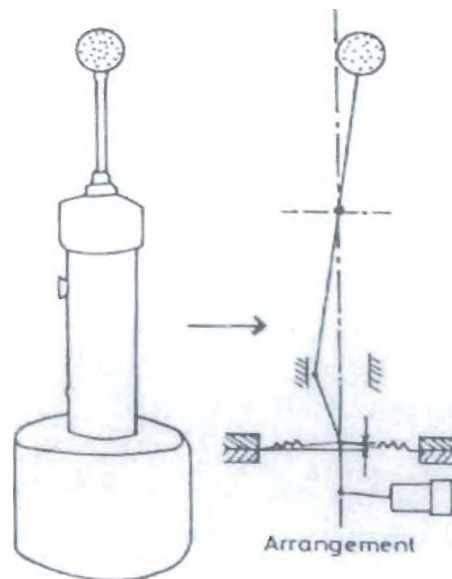
**Ανεμόμετρο Jules Richard**



**Ανεμόμετρο Pitot και Dines**



**Ανεμόμετρο Romani**



**Ανεμόμετρο ERA**

Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομοιογενή περιοχή, ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος δέκα μέτρων από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Σε μια ομοιόμορφη τοποθεσία με μέσο ύψος  $H$ , το όργανο πρέπει να τοποθετείται σε ύψος  $10+H$  μέτρων από το έδαφος. Βέβαια σε περίπτωση που απαιτείται η τοποθέτηση του ανεμόμετρου να γίνει σε ειδικές θέσεις, όπως στην ταράτσα ενός κτιρίου, θα πρέπει να γίνουν και οι αντίστοιχες διορθώσεις στον παραπάνω κανόνα [14].

## 2.7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

### 2.7.1. Ιστορική ανάδρομη αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια ήταν από τις πρώτες μη-ζωικές μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις διαφόρων επιστημόνων η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην αρχαία Αίγυπτο, όπου οι βάρκες εκείνης της εποχής χρησιμοποιήσουν πανιά για να ταξιδεύουν από ακτή σε ακτή.

Η πρώτη μορφή Α/Γ, ο ανεμόμυλος, κατασκευάστηκε περίπου το 2000 π.Χ. στην αρχαία Βαβυλωνία και περιελάμβανε έναν άξονα με πολλά πτερύγια σε τυχαίες θέσεις πάνω στην παράπλευρη επιφάνεια του άξονα. Ο δυτικός κόσμος ανάκλυσε το ανεμόμυλο τον 10ο αιώνα μ.Χ. και οι κύριες εφαρμογές του ήταν η άντληση νερού και η άλεση σιταριού [15].

Η ουσιαστική τους ανάπτυξη άρχισε στη δεκαετία του '30 και στη δεκαετία του '40, όταν εκατοντάδες ανεμόμυλοι εγκαταστάθηκαν κυρίως στην ΗΠΑ. Οι ανεμόμυλοι αυτοί είχαν δυο ή τρία πτερύγια τα οποία μπορούσαν να αναπτύξουν μεγάλη περιστροφική ταχύτητα και ήταν κατασκευασμένα κυρίως από σύνθετο πλαστικό ή ελαφρύ ξύλο. Αυτές οι Α/Γ παρείχαν ηλεκτρική ενέργεια σε αγροκτήματα για άντληση νερού και φόρτιση μπαταριών για τους ραδιοδέκτες εκείνης της εποχής.

Η εξέλιξη των Α/Γ σταμάτησε για 30 χρόνια περίπου έως την δεκαετία του 70 όπου ο οργανισμός πετρελαίων ΟΠΕΚ άσκησε περισσότερο έλεγχο στη διακίνηση πετρελαίου. Από εκείνη τη χρονική περίοδο και έπειτα υπήρξε μια ραγδαία εξέλιξη της αιολική βιομηχανίας. Άρχισαν να κατασκευάζονται μεγάλες Α/Γ με πολλαπλάσια ονομαστική ισχύ σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια και παράλληλα να έχουμε την πρώτη μορφή αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας με την εγκατάσταση μεγάλων αιολικών πάρκων [16].

### 2.7.2. Κατάταξη αιολικών μηχανών

Τις ανεμογεννήτριες, παρόλο τις σημαντικές διαφορές που παρουσιάζουν μεταξύ τους, μπορούμε να τις κατατάξουμε σε κάποιες βασικές κατηγορίες που αφορούν τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου, την αεροδυναμική τους συμπεριφορά και τον αριθμό των πτερυγίων τους. Οι μεγάλες και βασικές κατηγορίες είναι οι Α/Γ οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Οι Α/Γ οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως τον άξονα τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου, ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε Α/Γ των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου δεδομένου ότι ο άξονας αυτών είναι κάθετος σε αυτή καθώς και στην επιφάνεια της γης και η γεννήτρια μπορεί να βρίσκεται σε χαμηλό ύψος [17].

Επίσης οι αιολικές μηχανές κατατάσσονται σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής  $\lambda$ . Η παράμετρος περιστροφής  $\lambda$  (tip-speed ratio) συνδέεται άμεσα με την γωνιακή ταχύτητα των πτερυγίων και ορίζεται σαν:

$$\lambda = \omega_0 R / v \quad (9)$$

όπου  $R$  είναι η ακτίνα της πτέρυγας,  $\omega_0$  η γωνιακή ταχύτητα της πτέρυγας και  $v$  η ταχύτητα του ανέμου.

### 2.7.3. Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών

Κατά το σχεδιασμό και την επιλογή μιας αιολικής εγκατάστασης, οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη και χαρακτηρίζουν μια Α/Γ που πρόκειται να επιλεγεί είναι:

α. **Η διάμετρος της πτερωτής της Α/Γ "D"**, η οποία καθορίζει το εμβαδά το οποίο σαρώνει η πτερωτή και συνεπώς την ενεργό επιφάνεια δια μέσου της οποίας επιχειρούμε να αξιοποιήσουμε την αιολική ενέργεια. Ο καθορισμός της διαμέτρου μιας Α/Γ μπορεί να γίνει έχοντας κάποιες εκτιμήσεις για τη μέση ροή ενέργειας μιας περιοχής καθώς και για το ποσοστό το οποίο μπορούμε να αξιοποιήσουμε.

β. **Το ύψος τοποθέτησης "H"** για μηχανές οριζόντιου άξονα ή το ύψος της περωτής για μηχανές κατακόρυφου άξονα. Είναι γνωστό ότι αυξανόμενου του ύψους αυξάνεται αφενός το αεροδυναμικό και αφετέρου το βάρος και το κόστος εγκατάστασης. Επιπλέον, υπάρχουν και περιορισμοί ελάχιστου ύψους για την αποφυγή αλληλεπιδράσεων με το έδαφος. Γενικά το ύψος μιας Α/Γ καθορίζεται με βάση τη διάμετρο της περωτής και η αναλογία σε σχέση με το ύψος είναι μεταξύ  $H/D=1.0$  και  $H/D=1.5$  [23].

γ. **Το πλήθος των πτερυγίων** της περωτής το οποίο συνδέεται και με την στιβαρότητα της μηχανής. Ο καθορισμός του αριθμού των πτερυγίων βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις της εντάσεως του ανέμου λαμβάνοντας υπόψη και τη στιβαρότητα της μηχανής. Στις περισσότερες εφαρμογές σήμερα χρησιμοποιούνται τριπτέρυγες ή διπτέρυγες περωτές οι οποίες έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερη απόδοση.

δ. **Το είδος των πτερυγίων** της περωτής, που περιλαμβάνει τον τύπο των πτερυγίων, το πάχος τους, τη συστροφή τους και τα υλικά κατασκευής τους.

ε. **Η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής** της περωτής, η οποία καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε περιπτώσεις διασυνδεδεμένων μηχανών και η αντοχή των πτερυγίων σε φυγόκεντρες τάσεις [28].

στ. **Το βήμα της περωτής " $\beta=\beta(r)$ "**, το οποίο ορίζεται από τη γωνία 'β' η οποία σχηματίζεται από τη χορδή της αεροτομής και από το επίπεδο περιστροφής της περωτής. Το βήμα της περωτής αποτελεί γεωμετρικό στοιχείο αυτής και μεταβάλλεται σε όλο το μήκος των πτερυγίων  $\beta=\beta(r)$ . Το βήμα της έλικας μειώνεται από το 'πόδι' έως το 'κεφάλι' της πτερυγώσης, ενώ ο τρόπος μεταβολής του βήματος κατά το ύψος του πτερυγίου αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού του. Συνήθως ο ορισμός του βήματος μιας περωτής αναφέρεται σε απόσταση  $2/3$  της ακτίνας της μηχανής από τον άξονα ή στη θέση  $2/3$  του ύψους του πτερυγίου.

ζ. **Ο συντελεστής ισχύος " $C_P$ "** της Α/Γ, αποτελεί τον αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης της περωτής. Ο συντελεστής αυτός περιγράφει το ποσοστό της ισχύος του ανέμου που εκμεταλλεύεται η περωτή της μηχανής. Ο συντελεστής ' $C_P$ ' δεν είναι δυνατόν να υπερβεί το όριο του Betz, δηλαδή  $C_P \leq 16/27=0.59$ . Στην πραγματικότητα ο συντελεστής είναι πάντα μικρότερος από το παραπάνω όριο λόγω της συνεκτικότητας του ανέμου, του πεπερασμένου αριθμού των πτερυγίων και της απώλειας κινητικής ενέργειας που δεν μετατρέπεται σε στατική πίεση λόγω της μη βέλτιστης σχεδίασης των πτερυγίων της Α/Γ [3].

η. Η ονομαστική ισχύ “N” της μηχανής, η οποία καθορίζει το μέγεθος μιας Α/Γ και αποτελεί το μέτρο της στιγμιαίας ωφέλιμης παραγόμενης ενέργειας από την αξιοποίηση της αιολικής ισχύος σε μια επιφάνεια εμβαδού S, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι v και η πυκνότητα του αέρα είναι ρ. Στην περίπτωση αυτή ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$N = 0.5 C_p \eta \rho S v^3 \quad (16)$$

όπου ο βαθμός απόδοσης η περιλαμβάνει τις απώλειες του μηχανικού συστήματος η<sub>Μ</sub> καθώς και τις απώλειες της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής η<sub>Ε</sub>. Γενικά ισχύει:

$$\eta = \eta_M \eta_E \quad (17)$$

#### 2.7.4. Εφαρμογές Ανεμογεννητριών

Η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει ωφέλιμη για διαφορετικούς σκοπούς και σε διαφορετικές κλιματολογικές ζώνες. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εφαρμογές της χρήσης αιολικής ενέργειας.

#### 2.7.5. Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Η σημαντικότερη ίσως εφαρμογή των Α/Γ είναι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο σε σπίτια μακριά από το δίκτυο ή σε επιχειρήσεις. Σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο η χρήση Α/Γ ως μέσο παραγωγής και παροχής ενέργειας μπορεί να αποτελέσει μια οικονομική και αξιόπιστη λύση για τις ενεργειακές ανάγκες της περιοχής. Από την άλλη πλευρά υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης της Α/Γ με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, που προσφέρει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

## 2.8. Αντληση νερού

Σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο υπάρχουν περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο, η χρήση της αιολικής ενέργειας αποτελεί μια οικονομική και φιλική επιλογή για την παροχή νερού. Στις αναπτυγμένες χώρες, η κύρια λειτουργία των αντλιών νερού είναι η παροχή νερού τόσο για προσωπική χρήση όσο και για πότισμα των καλλιεργειών που υπάρχουν.

Ένα τέτοιο σύστημα άντλησης νερού μπορεί να χρησιμοποιήσει μια Α/Γ για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε μια αντλία νερού. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτείται μια Α/Γ με πολλά πτερύγια λόγω της δημιουργίας υψηλής αρχικής ροπής. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά είδη τέτοιων συστημάτων και εξαρτώνται από το απαιτούμενο ύψος άντλησης, την ένταση της άντλησης καθώς και από τις καιρικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής [23].

### 2.8.1 Τεχνολογικές Εφαρμογές

Ο αριθμός των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς συνεχώς αυξάνεται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ιδιαίτερα τα μικρά αιολικά συστήματα αρχίζουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές αυτές. Μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές είναι:

1. Τηλεπικοινωνίες
2. Ραντάρ
3. Μετεωρολογική σταθμοί
4. Έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας
5. Συστήματα πλοήγησης

Οι Α/Γ που χρησιμοποιούνται σε τεχνολογικές εφαρμογές, αντιμετωπίζουν συνήθως εξαιρετικά δύσκολες καιρικές συνθήκες και για αυτό το λόγο σχεδιάζονται να είναι πολύ ανθεκτικές και παράλληλα να είναι σε θέση να τεθούν σε λειτουργία άμεσα.

## **2.8.2 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού**

Σε απομακρυσμένες περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό όπως τα νησιά, η ενέργεια που απαιτείται για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού μπορεί να παραχθεί από ένα αιολικό πάρκο. Σε αυτή την περίπτωση η παροχή ενέργειας μπορεί να γίνει είτε με σύνδεση των Α/Γ στο ηλεκτρικό δίκτυο είτε με άμεση σύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης με τις Α/Γ. Σήμερα χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές για την αφαλάτωση οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι η ηλεκτροδιάλυση και η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης [28].

## **2.8.3 Παραγωγή υδρογόνου**

Η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή υδρογόνου, ως φορέα αποθηκευμένης ενέργειας. Πολλοί μελετητές ανά τον κόσμο θεωρούν ότι το υδρογόνο θα είναι στο μέλλον το καύσιμο που θα χρησιμοποιείται κατά κόρον. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι υπάρχει σε αφθονία στη φύση και επιπλέον κατά την καύση του δεν εκλύονται βλαβερές για το περιβάλλον και τον άνθρωπο ουσίες. Επίσης το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με παρά πολλές διαδικασίες. Η σημαντικότερη και πολλά υποσχόμενη στο μέλλον διαδικασία παραγωγής του, καθώς είναι η πιο οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον, είναι η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [6].

## **2.8.4 Μικρές Ανεμογεννήτριες**

Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια αγορά έχει στραφεί προς τα μικρά αιολικά συστήματα (<100 kW), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρά πολλές εφαρμογές.

Η σχεδίαση των μικρών Α/Γ παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις μεγάλες Α/Γ. Η σημαντικότερη διάφορα ανάμεσα τους είναι η αεροδυναμική τους σχεδίαση και οφείλεται τόσο στο διαφορετικό μέγεθος όσο και στο μέγεθος των εφαρμογών για τις οποίες κατασκευάζονται. Επίσης άλλη σημαντική διαφορά αφορά τον τρόπο παραγωγής και μετάδοσης της ενέργειας. Οι περισσότερες μικρές Α/Γ είναι κατασκευασμένες απλά χωρίς να διαθέτουν τα πολύπλοκα συστήματα που διαθέτει μια μεγαλύτερου μεγέθους Α/Γ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μικρές Α/Γ να έχουν λιγότερο κόστος παραγωγής κάτι που επιδρά θετικά για την περαιτέρω διάδοσή τους.

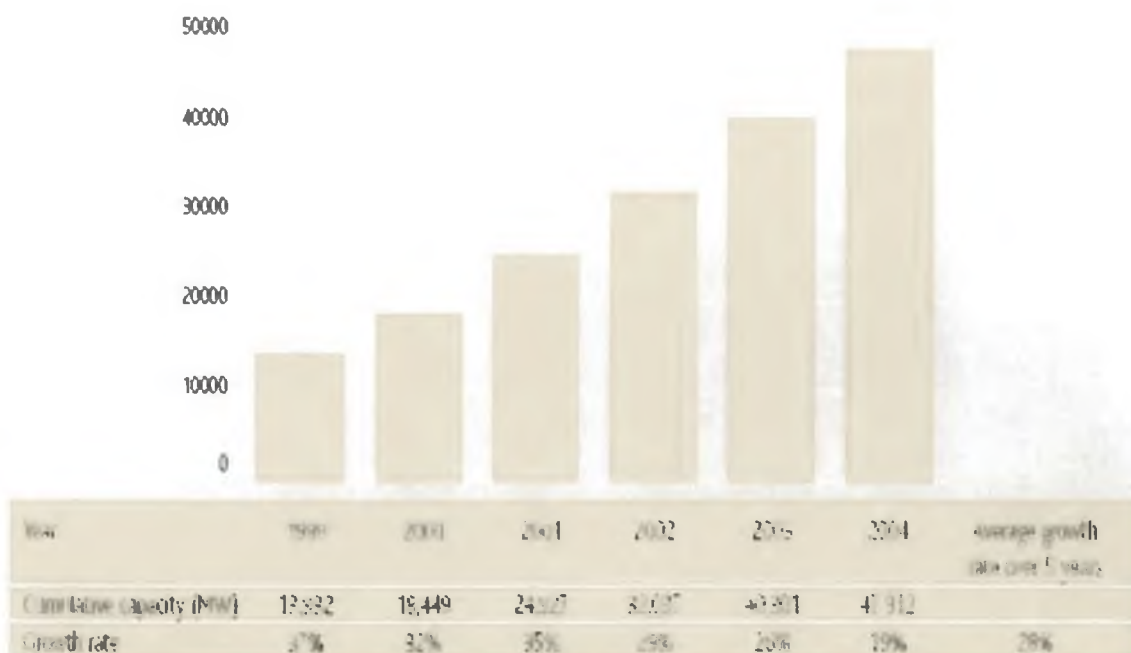
Από οικονομικής πλευράς, οι μικρές Α/Γ είναι πιο ακριβές σε σχέση με την αναλογία κόστους- kW από τις μεγάλες Α/Γ. Εντούτοις οι μικρές Α/Γ μπορούν να συναγωνιστούν σε αυτό τον τομέα άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας όπως οι μηχανές ντίζελ ή τα ηλιακά συστήματα. Μια εκτενέστερη αναφορά στις μικρές Α/Γ γίνεται στο κεφαλαίο 3 που ακολουθεί [3].

## **2.9 Ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στον κόσμο**

### **2.9.1 Παγκόσμια κατάσταση**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων πέντε ετών η παγκόσμια συσσωρευτική εγκατάσταση αιολικών συστημάτων παρουσίασε μια μέση αύξηση 28%. Η αύξηση στο ποσοστό ετήσιας εγκατάστασης άγγιξε σύμφωνα με προβλέψεις το 15.8% (Διάγραμμα 2). Κατά τη διάρκεια του έτους 2004, περισσότερα από 8000 MW προστέθηκαν στο παγκόσμιο πλέγμα ηλεκτρικής ενέργειας, ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει έναν επιχειρησιακό τομέα Α/Γ αξίας περίπου 8 δισεκατομμυρίων ευρώ. Σύμφωνα με διεθνείς εκθέσεις, η συνολική εγκαταστημένη ισχύ παγκοσμίως το έτος 2004 έφτασε τα 48.000 MW. Περίπου το 75% αυτών των εγκαταστάσεων βρίσκεται στην Ευρώπη με τις πέντε μεγαλύτερες χώρες στο κόσμο να είναι η Γερμανία, η Ισπανία, η Δανία, η ΗΠΑ και η Ινδία οι οποίες διαθέτουν το 80% της παγκόσμιας εγκατάστασης Α/Γ. Παράλληλα πάνω από 50 επιπλέον χώρες αρχίζουν να κάνουν τα πρώτα τους βήματα σε αυτό τον τομέα, γεγονός που έχει οδηγήσει την βιομηχανία Α/Γ να διαθέτει εργατικό δυναμικό περίπου 100.000 ανθρώπων [29].





Διάγραμμα 2: Συνολική εγκαταστημένη ισχύ (MW) πηγή: BTM

### 2.9.2 Παγκόσμια αγορά

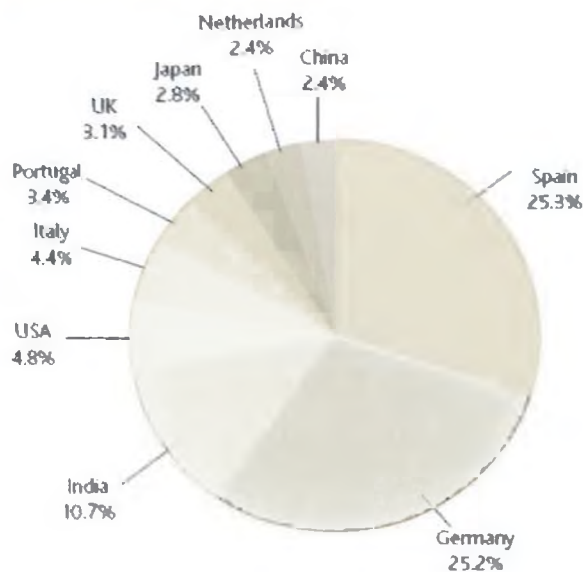
Μέσα στην Ευρώπη, η Γερμανία κατά το έτος 2004, έγινε ο νέος πρωτοπόρος στην αγορά διαθέτοντας την μεγαλύτερη συσσωρευτική ισχύ σε ολόκληρη την Ευρώπη που άγγιξε τα 16.649 MW. Σημαντικές επενδύσεις στον αιολικό τομέα έκανε και η Ισπανία έχοντας εγκαταστήσει περίπου 2.064 MW. Επίσης τέσσερα ακόμα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ιταλία, η Ολλανδία και η Πορτογαλία εντυπωσίασαν με τις προσθήκες νέων αιολικών συστημάτων.

Στην Αμερική, στις ΗΠΑ παρουσιάστηκε μια πτώση στα μέσα του 2004 κάτι που οφείλεται σε προβλήματα που δημιουργήθηκαν και αφορούσαν ορισμένες φορολογικές ρυθμίσεις. Η συνολική εγκαταστημένη ισχύ στη χώρα αυτή έχει φθάσει τα 6.750 MW. Από την άλλη πλευρά ο Καναδάς, μια από τις μεγαλύτερες χώρες στον κόσμο με πλούσιο αιολικό δυναμικό προχώρησε στην εγκατάσταση 444 MW και παράλληλα μέχρι το τέλος του 2004 πολλά προγράμματα βρίσκονταν ακόμα σε εξέλιξη.

Στις υπόλοιπες ηπείρους, η Αυστραλία διπλασίασε την εγκαταστημένη ισχύ της ενώ η Ινδία αύξησε ακόμα την ισχύ της, κατακτώντας την τρίτη θέση στη σχετική λίστα με τις μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως [30,31].

### TOP TEN WIND POWER MARKETS 2004- ANNUAL MW INSTALLED

Spain	2064
Germany	2054
India	477
USA	468
Italy	357
Denmark	274
UK	262
Japan	230
Netherlands	199
China	198
<b>Total</b>	<b>6,193</b>



Διάγραμμα 3: Οι δέκα μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως πηγή: BTM

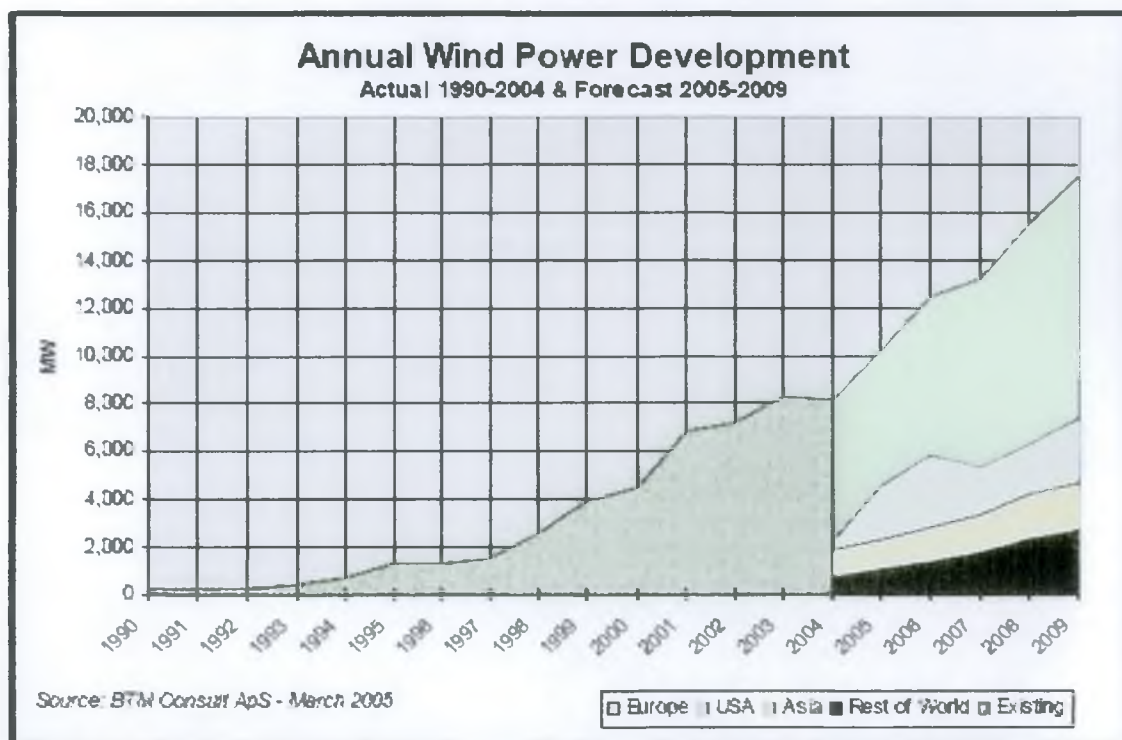
Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το έτος 2004 υπήρχαν 20 κορυφαίες εταιρίες Α/Γ που παρείχαν το 96.1% των συνολικών αιολικών εγκαταστάσεων. Οι εταιρίες αυτές είναι η Vestas, οποία κατέχει την πρώτη θέση και ακολουθούν η γερμανική Enercon GmbH, η Gamesa Eólica, η Suzlon από την Ινδία, και η Siemens Wind [33].

### 2.9.3 Προβλέψεις για την περίοδο 2005-2014

Αναλυτές ανά τον κόσμο περιμένουν μια αύξηση της εγκαταστημένης ισχύος της τάξης του 16.6% ως το έτος 2009. Εντούτοις η αύξηση αυτή δεν περιμένουν να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στην περίοδο 2005-2009. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά το έτος 2005 περιμένουν μια μεγάλη αύξηση της εγκαταστημένης ισχύος κυρίως στις ΗΠΑ, λόγω της πτώσης της αγοραστικής κίνησης την προηγούμενη περίοδο. Συγκεκριμένα η Ευρώπη μέχρι το έτος 2009 θα διατηρήσει την πρωτιά σε σύνολο εγκαταστημένης ισχύος.

Η Αμερική και ιδιαίτερα οι ΗΠΑ θα παρουσιάσουν μια ραγδαία αύξηση όπως επίσης η Κινά και η Ινδία. Υπολογίζεται ότι μέχρι το τέλος του 2009 η εγκαταστημένη ισχύ θα φτάσει 117.142 MW με τα 76.000 MW να βρίσκονται στην Ευρώπη.

Η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη ως το 2014 δείχνει μια μεγαλύτερη τάση για αιολικές εγκαταστάσεις λόγω της αυξανόμενης ανταγωνιστικότητας και ταυτόχρονα χρήση εύκαμπτων μηχανισμών σύμφωνα με τη συνθήκη του Κιότο. Μέχρι το τέλος του 2014 οι παγκόσμιες αιολικές εγκαταστάσεις θα αγγίξουν το όριο των 230.000 MW [33,34].



Διάγραμμα 4 Προβλέψεις για την περίοδο 2005-2009

## 2.10 Ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

### 2.10.1 Αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα

Είναι γνωστό ότι η Ελλάδα διαθέτει ένα θαυμάσιο αιολικό δυναμικό και ιδιαίτερα τα νησιά του Αιγαίου που σε συνδυασμό με την εμπορική και τεχνολογική ωριμότητα των Α/Γ καθώς και με το τωρινό υψηλό κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικά μέσα ευνοούν την εγκατάσταση αιολικών πάρκων σε πολλές περιοχές. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει στον ελλαδικό χώρο το αιολικό δυναμικό φτάνει τις 45 TWh ανά έτος, ένα ποσό ενέργειας που είναι ικανό να υπερκαλύψει τις εγχώριες ενεργειακές ανάγκες. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένες μετρήσεις του αιολικού δυναμικού σε κάποια νησιά του Αιγαίου από την ΔΕΜΕ ( υπηρεσία της ΔΕΗ αρμοδία σε θέματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) [33].

**Πίνακας Α Μετρήσεις αιολικού δυναμικού**

Τοποθεσία	Μέση ταχύτητα [m/s]	Περίοδος μετρήσεων
Ανδρος	9,7	1981-90
Τήνος	9,5	1987-90
Μύκονος	10,8	1983-90
Σύρος	8,1	1988-90
Κρήτη	8,1	1981-83
Λήμνος	8,1	1986-90
Λέσβος	8,7	1987-90
Χίος	8,1	1986-89
Σάμος	10,4	1986-90
Εύβοια	9,2	1989-90
Κάρπαθος	9,6	1983-89
Σκύρος	6,5	1987-89
Σαμοθράκη	6,6	1986-89

### 2.10.2 Παρούσα κατάσταση

Η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα έγινε με το Ν.1559/85 με τον οποίο δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας σε ιδιώτες και τους αυτοπαραγωγούς, μέχρι το τριπλάσιο της ισχύος των εγκαταστάσεών τους και την πώληση της περίσσιας ενέργειας στη ΔΕΗ. Η συνεισφορά του νόμου ήταν μηδαμινή λόγω της χαμηλής τιμής αγοράς της ενέργειας και τις πολύπλοκες διαδικασίες αδειοδότησης.

Η ουσιαστική ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας άρχισε με το Ν.2244/94, οποίος έδωσε την δυνατότητα σε ιδιώτες την ανάπτυξη αιολικών συστημάτων με μοναδικό σκοπό την πώληση ενέργειας στη ΔΕΗ. Στη συνέχεια θεσπίστηκαν αναπτυξιακά κίνητρα με αποτέλεσμα σήμερα η εγκαταστημένη ισχύ στον ελλαδικό χώρο να είναι περίπου 188.5 MW κατανεμημένη το μεγαλύτερο ποσοστό της σε 12 αιολικά πάρκα. Παράλληλα πολλά αιολικά προγράμματα βρίσκονται σε διαδικασία αδειοδότησης σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Αναλυτικότερα στον πίνακα που ακολουθεί δείχνεται η ανά διαμέρισμα της χώρας κατανομή των εγκεκριμένων έργων που έχουν ήδη άδεια εγκατάστασης καθώς και εκείνα τα οποία πρόκειται να γίνουν στο άμεσο μέλλον [35].

**Πίνακας Β Αιολικές εγκαταστάσεις ανά γεωγραφικό διαμέρισμα**

ΠΕΡΙΟΧΗ	Με Άδεια Εγκατάστασης ή Λειτουργίας (MW)	Μόνο με Άδεια Παραγωγής ή Θετική Γνώμη ΡΑΕ (MW)	Σύνολο Αδειοδοτη μένων την 12.2.2003 (MW)	Αδειοδοτημένα έργα που εκτιμάται ότι θα γίνουν (MW)	Εκτιρούμενες Πρόσθετες Δυνατότητες Μεχρι το 2010 (MW)	Σύνολο σε Λειτουργία το 2010 (MW)	Εκτιρούμενη Ετήσια Παραγωγή το 2010 (GWh)
ΘΡΑΚΗ	108	233	339	233	100	439	1077
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	0	72	72	72	0	72	184
ΗΠΕΙΡΟΣ	0	87	87	20	0	20	35
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	0	91	91	70	0	70	123
ΚΡΗΤΗ	80	46	127	46	50	178	525
ΝΗΣΙΑ	88	131	199	131	30	227	714
ΣΤ. ΕΛΛΑΔΑ (ΕΚΤΟΣ ΕΥΒΟΙΑΣ)	2	449	452	209	100	302	889
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ (ΕΚΤΟΣ ΛΑΚΩΝΙΑΣ)	40	319	359	109	100	240	589
ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	1	191	193	130	50	181	381
ΕΥΒΟΙΑ-ΑΝΔΡΟΣ-ΤΗΝΟΣ	238	634	873	634	0	872	2874
ΛΑΚΩΝΙΑ	29	89	118	50	50	129	338
ΑΤΤΙΚΗ	0	140	140	140	0	140	319
ΣΥΝΟΛΑ	563	2483	3046	1826	480	2869	7629

### 2.10.3 Προβλέψεις- στόχοι

Σύμφωνα με προβλέψεις η ηλεκτρική εγκαταστημένη ισχύ των 188.5 MW θα αυξηθεί κατά 400 MW στην περίοδο 2005-2009 με συνολική ισχύ στο τέλος του 2009 περίπου 590 MW. Ήδη σε πολλά μέρη ανά την Ελλάδα βρίσκονται σε εξέλιξη έργα κατασκευής όχι μόνο αιολικών συστημάτων αλλά και έργα τα οποία θα βοηθήσουν ουσιαστικά στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, όπως δρόμοι για πρόσβαση σε περιοχές με πλούσιο αιολικό δυναμικό κ.α.

Ωστόσο ήδη εκφράζονται ορισμένες επιφυλάξεις για την επίτευξη του παραπάνω στόχου καθώς υπάρχουν ακόμα αρκετά προβλήματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

1. Οι χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες έκδοσης αδειών εγκατάστασης, που κυρίως οφείλεται στην έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού και στην πολυπλοκότητα ορισμένων ρυθμίσεων
2. Η ανάγκη εκτεταμένων επεκτάσεων και ενισχύσεων των δικτύων της ΔΕΗ σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό (Ν. Εύβοια, Λακωνία)

3. Την αδυναμία πλήρους αξιοποίησης του υψηλού αιολικού δυναμικού των νησιών λόγω τεχνικών προβλημάτων συνεργασίας με τους υφιστάμενους ηλεκτρικούς σταθμούς. [33,35]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



### 3 ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

#### 3.1. Εισαγωγή

Οι μοντέρνες μεγάλες ανεμογεννήτριες, χρησιμοποιούνται συνήθως σε πάρκα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλα ηλεκτρικά δίκτυα. Η μέγιστη απόδοση στην έξοδο των Α/Γ είναι περίπου 47%, η οποία είναι ιδιαίτερα υψηλή σε σχέση με το όριο Betz (59%). Επίσης η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται ανάλογα με το μέγεθος των Α/Γ.

Τα τελευταία χρόνια οι μικρές ανεμογεννήτριες (small wind turbines-SWTs), των οποίων η ονομαστική ισχύς κυμαίνεται από τα 1 kW έως τα 100 kW έχουν αρχίσει να παρουσιάζουν ενδιαφέρον για πολλές εφαρμογές. Αυτές οι Α/Γ χρησιμοποιούνται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές και συχνά σε υβριδικά συστήματα για την παραγωγή και παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρά ηλεκτρικά δίκτυα [36].

### 3.2 Είδη μικρών ανεμογεννητριών

Οι μικρές Α/Γ όπως και οι μεγάλες χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: (i) Α/Γ οριζόντιου άξονα και (ii) Α/Γ κάθετου άξονα. Οι μικρές Α/Γ οριζόντιου άξονα εξαρτώνται από τη διεύθυνση του ανέμου και αυτό είναι ίσως το σημαντικότερο μειονέκτημά τους. Αντίθετα οι μικρές Α/Γ κάθετου άξονα είναι πιο πρακτικές αφού η εγκατάστασή τους είναι ευκολότερη και δεν εξαρτώνται από την διεύθυνση του ανέμου.

Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι το ιδιαίτερα υψηλό κόστος, γεγονός που έχει συμβάλει στο μικρό ποσοστό εγκατάστασης αυτού του είδους Α/Γ.

Συνήθως οι μικρές Α/Γ κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το είδος της εφαρμογής τους. Αυτές οι κατηγορίες είναι: (i) *micro* Α/Γ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολύ μικρή κλίμακα, για έλεγχο τηλεπικοινωνιών και ηλεκτροδότηση μικρών σκαφών, (ii) *mid-range* Α/Γ για παροχή ενέργειας σε απομακρυσμένα σπίτια και για (iii) *mini* Α/Γ για μικρά ηλεκτρικά δίκτυα σε απομακρυσμένες κοινότητες. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι παραπάνω κατηγορίες και κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά τους [37].

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Κατηγορία	Ισχύς W (kW)	Ακτίνα R (m)	Μέγιστη Ταχύτητα Ρότορα (rpm)	Τυπικές Χρήσεις	Τύπος Κινητήρα
Micro	1	1.5	700	Σκάφη και Τηλεπικoin.	Περιστρ. Μαγνήτη
Mid-range	5	2.5	400	Απόμεροι οικισμοί	Επαγωγής (PM)
Mini	20+	5	200	Μικρά δίκτυα	Επαγωγής (PM)

Κατηγορίες και τυπικά χαρακτηριστικά μικρών Α/Γ

Κάθε κατηγορία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά που σε κάποιες περιπτώσεις είναι και τελείως διαφορετικά όσο αναφορά τη γεωμετρία των πτερυγίων, τον αριθμό Reynolds (Re) και την αεροδυναμική συμπεριφορά κατά την έναρξη της λειτουργίας τους.

### **3.3 Εφαρμογές μικρών Α/Γ**

#### **Αγροτικές και εκτός οικισμών κατοικίες**

Τα αγροτικά και τα εκτός οικισμών σπίτια μπορούν να γίνουν ανεξάρτητα σε μικρό ή μεγάλο βαθμό από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μικρών Α/Γ που μπορούν να είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή να λειτουργούν σαν αυτόνομες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Μικρές Α/Γ ισχύος από 400 W έως 40 kW, μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες ενός αγροκτήματος. Στην περίπτωση που η Α/Γ είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο, οι αγρότες μπορούν να πάρουν τη μέγιστη παραγόμενη ενέργεια και σε περίπτωση που η Α/Γ παράγει επιπλέον ενέργεια, η ενέργεια αυτή μπορεί να προσφερθεί στο δίκτυο. Με αυτό το τρόπο ο αγρότης όχι μόνο καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του αλλά μπορεί να έχει κέρδος πουλώντας την επιπλέον ενέργεια. Το κόστος ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αυτό τον τρόπο είναι ακόμα υψηλότερο σε σχέση με αυτό των μεγάλων Α/Γ αλλά σύμφωνα με τελευταίες προβλέψεις, στα επόμενα χρόνια αυτή η διάφορα κόστους θα μειωθεί ανοίγοντας το δρόμο για την εγκατάσταση περισσότερων μικρών Α/Γ σε αγροτικές περιοχές [47].

#### **Τηλεπικοινωνίες**

Η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση μικρών τηλεπικοινωνιακών σταθμών, οι οποίοι βρίσκονται σε απομακρυσμένες και δύσβατες περιοχές όπως σε κορυφές βουνών. Αυτού του είδους τα συστήματα βρίσκονται συνήθως σε μέρη όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο ηλεκτρικό δίκτυο.

Μια μικρή Α/Γ μπορεί να προσφέρει σε αυτά τα συστήματα την απαιτούμενη ενέργεια και σε περίπτωση παραγωγής επιπλέον ενέργειας, αυτή να αποθηκεύεται σε μπαταρίες για μελλοντική χρήση όταν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την παραγωγή ενέργειας [48].



## **Αστικές περιοχές**

Μικρές Α/Γ σχεδιασμένες για αστική χρήση είναι δυνατόν να δώσουν ώθηση για εφαρμογές βασισμένες στην αιολική ενέργεια. Η εγκατάσταση Α/Γ σε κτίρια και η παραγωγή ενέργειας έχει ενδιαφέρον από αρχιτεκτονικής και ενεργειακής πλευράς.

Οι Α/Γ κάθετου άξονα (VAWTs) φαίνεται να είναι η καλύτερη επιλογή για αυτές τις περιοχές αφού επηρεάζονται λιγότερο από τα ανεπιθύμητα φαινόμενα και εκμεταλλεύονται πλήρως τον άνεμο. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι το κόστος τους, γεγονός που αποτελεί εμπόδιο στην περαιτέρω εξάπλωση τους. Για αυτό τον λόγο έχουν σχεδιαστεί ειδικά βοηθητικές και συγκεντρωτικές διατάξεις του αέρα που προσαρμόζονται στις Α/Γ οριζόντιου άξονα (HAWTs) προσφέροντας υψηλή αισθητική και παράλληλα μεγαλύτερη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

## **Θερμοκήπια**

Τα θερμοκήπια είναι ένα άλλο πεδίο που μπορεί να χρησιμοποιηθούν μικρές Α/Γ για ενεργειακούς σκοπούς. Η εγκατάσταση των Α/Γ γίνεται κοντά στα θερμοκήπια και η έναρξη λειτουργίας τους σχεδιάζεται να είναι μικρή για άμεση παραγωγή ενέργειας.

Σημαντικά στοιχεία είναι το ύψος της Α/Γ, το υλικό κατασκευής των πτερυγίων και το χρώμα καθώς είναι απαραίτητο να ταιριάζει με το περιβάλλον της εγκατάστασης.

## **Άντληση νερού**

Η χρήση μικρών Α/Γ είναι γεγονός σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Σε αυτές τις χώρες, η άντληση νερού για παροχή πόσιμου νερού είναι πολύ διαδεδομένη και σε πολλές περιπτώσεις απαραίτητη. Η σχεδίαση της Α/Γ εξαρτάται από την τοποθεσία και την ποσότητα νερού που απαιτείται να δώσει η συγκεκριμένη εφαρμογή.

Πολλά είδη μικρών Α/Γ έχουν συνδυαστεί με συστήματα άντλησης έχοντας απόλυτη επιτυχία κάτι που είναι αισιόδοξο για τη αύξηση τέτοιων εφαρμογών [49].

## **Μονάδες αφαλάτωσης**

Το καθαρό νερό είναι εξαιρετικά πολύτιμο σε μικρά και απομονωμένα νησιά. Σε αυτές τις περιοχές πόσιμο νερό μπορεί να μεταφερθεί με υψηλό κόστος μεταφοράς ή να παραχθεί με τη μέθοδο της αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη ηλεκτροδιάλυση, τη συμπίεση ατμού ή την αντίστροφη ώσμωση. Η τελευταία μέθοδος είναι και πιο διαδεδομένη λόγω της χαμηλής ενέργειας που απαιτείται.

Μικρές Α/Γ έχουν εγκατασταθεί κοντά σε μονάδες αφαλάτωσης με σκοπό την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας για την συγκεκριμένη διαδικασία. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται το κόστος μεταφοράς και το κόστος των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την αφαλάτωση.

## **Παραγωγή υδρογόνου**

Η νέα αιολική τεχνολογία έδωσε ώθηση στις εφαρμογές που αφορούν την παραγωγή υδρογόνου από τον άνεμο. Με τη βοήθεια των κυψέλων καυσίμου (fuel cells) το υδρογόνο ως καύσιμο δεν παράγει ρυπογόνες εκπομπές αλλά νερό κατά τη διαδικασία της ηλεκτροχημικής μετατροπής.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Α/Γ χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο με την βοήθεια μιας συσκευής ηλεκτρόλυσης.

Το υδρογόνο παραγόμενο από αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια λύση για το πέρασμα από τα συμβατικά καύσιμα σε πιο καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ειδικά για χρήσεις σε απομακρυσμένες περιοχές. Σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια γενική ανάλυση του υδρογόνου ως ενεργειακός φορέας [50].

## **Υβριδικά Συστήματα**

Πολλά συστήματα παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν περισσότερο από έναν μηχανισμό για την ομαλότερη παροχή ενέργειας. Παράλληλα σε περιόδους που η ένταση του ανέμου δεν είναι αρκετή για παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας από τις μικρές Α/Γ, ο συνδυασμός αυτών σε υβριδικά συστήματα με άλλες συσκευές παραγωγής ενέργειας μπορεί να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη πρόταση για παροχή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι μικρές Α/Γ μπορούν με επιτυχία να συνδυαστούν με μηχανές ντίζελ (Wind/diesel), με φωτοβολταϊκά

στοιχεία (wind/PV) και με συστήματα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας. Εκτενέστερη αναφορά στα υβριδικά αυτά συστήματα γίνεται σε επόμενο κεφαλαίο.

### 3.4 Μικρές Α/Γ στη διεθνή αγορά

Σήμερα υπάρχουν 55 κατασκευαστές μικρών Α/Γ από τους οποίους οι 8 βρίσκονται στις ΗΠΑ και οι 47 στον υπόλοιπο κόσμο. Αυτοί έχουν σχεδιάσει και διαθέτουν προς πώληση περίπου 150 είδη μικρών Α/Γ το καθένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Από αυτά τα 150 μοντέλα τα 23 προέρχονται από τις ΗΠΑ και τα υπόλοιπα από την διεθνή αγορά. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι σήμερα το 37% των μοντέλων Α/Γ που χρησιμοποιούνται στην Ανατολική Ευρώπη και Ασία κατασκευάζονται στην Ρωσία και στην Κίνα, κάτι που δείχνει την τάση των δυο αυτών χωρών να κυριαρχήσουν στην μελλοντική αγορά [51].

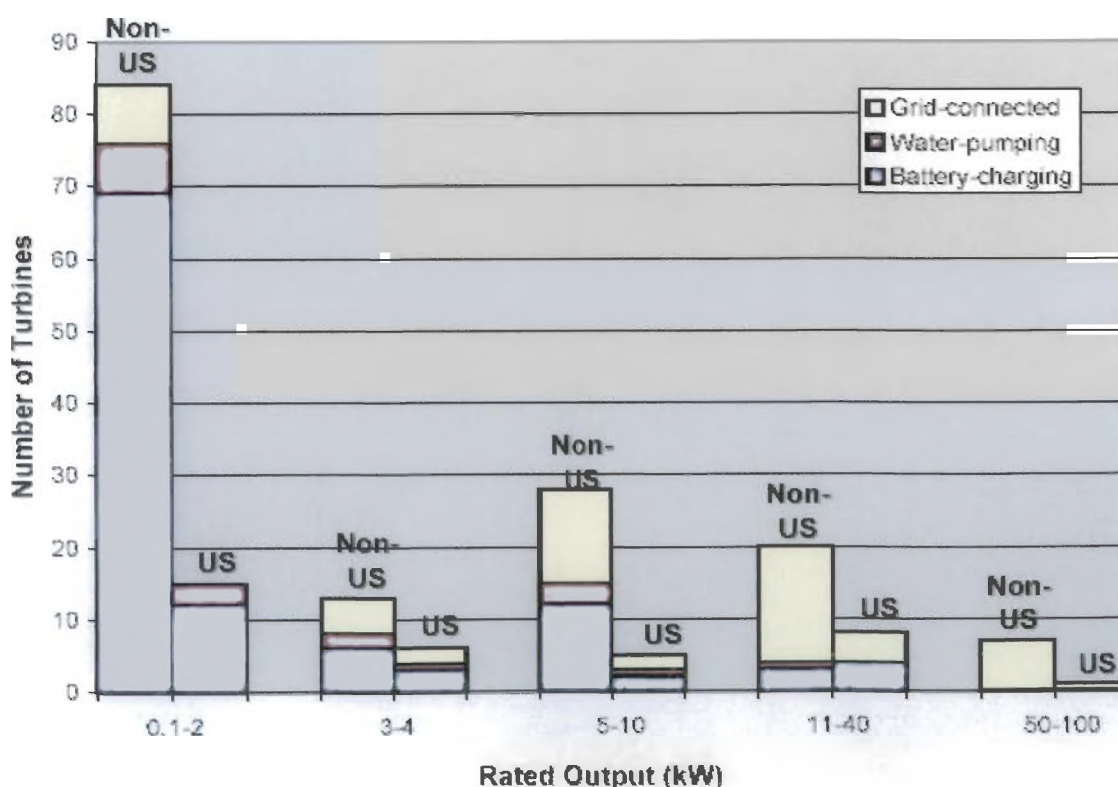
Στην αγορά των μικρών Α/Γ κάποιος μπορεί να βρει και τα δυο είδη Α/Γ, HAWTs και VAWTs με ονομαστική ισχύ από 5 W έως 100 kW. Το 86% των μικρών Α/Γ έχουν την πτερωτή στραμμένη προς την διεύθυνση του ανέμου και οι περισσότερες από αυτές χρησιμοποιούν ως μηχανισμό στροφής μια κατάλληλα αεροδυναμικά σχεδιασμένη ουρά. Ο έλεγχος της υπερβολικής ταχύτητας στις εμπορικές Α/Γ γίνεται με τρεις τρόπους. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν απόκλιση της Α/Γ από τον άνεμο, περίπου το 39% των Α/Γ, αλλάζοντας την γωνία των πτερυγίων με τον άνεμο (36% των Α/Γ) και χρησιμοποιώντας αεροδυναμικά βοηθήματα (25% των Α/Γ). Οι περισσότερες Α/Γ χρησιμοποιούν μηχανικά φρένα, Στην περίπτωση πολύ μικρών Α/Γ έχουν σχεδιαστεί και χειροκίνητα φρένα για μείωση του βάρους και χαμηλότερο κόστος.

Επίσης τα περισσότερα μοντέλα έχουν μικρή ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της τάξης των 2-3 m/s ενώ είναι σχεδιασμένες για να αποδίδουν την μέγιστη ισχύ σε ταχύτητες ανάμεσα 10-15 m/s [18]. Κάποιες είναι κατασκευασμένες να σταματούν να λειτουργούν όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει κάποιο όριο ενώ κάποιες άλλες δεν έχουν τέτοιο όριο. Σημαντικές διακυμάνσεις παρουσιάζουν τα διάφορα εμπορικά είδη Α/Γ όσο αναφορά το ύψος, το βάρος και τη διάμετρο του ρότορα. Μεγαλύτερες Α/Γ μπορούν να φτάσουν τα 30-40 m, με τη διάμετρο του ρότορα από 12-15 m και το βάρος σε πολλές περιπτώσεις να αγγίζει τα 500- 600 kg. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και μικρότερα μοντέλα που δεν ξεπερνούν τα 15 m, το βάρος τους είναι περίπου 30-40 kg και ο ρότορας είναι μικρότερος από 5 m [52].

Οι μικρές Α/Γ είναι κατασκευασμένες να είναι αθόρυβες και χωρίς μηχανικές δονήσεις που μπορούν να ενοχλήσουν το γειτονικό τους περιβάλλον. Επίσης λόγω της χρήση τους σε

εξαιρετικά δύσκολες καιρικές συνθήκες οι εμπορικές μικρές Α/Γ μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $+40^{\circ}\text{C}$  και ο χρόνος ζωής τους να είναι μεγαλύτερος από 20 χρόνια [48].

Οι μικρές Α/Γ στην αγορά προτείνονται για πολλές και διάφορες εφαρμογές. Πολλές κατασκευαστικές εταιρίες προτείνουν ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών που θα μπορούσαν να καλύψουν τα προϊόντα τους. Γενικά αυτά τα μοντέλα σχεδιάζονται για να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες οικισμών, πλοίων, μικρών τηλεπικοινωνιακών σταθμών και εφαρμογές που σχετίζονται με την άντληση νερού. Παράλληλα πολλές εταιρίες προτείνουν πολύ μικρές Α/Γ για μαρίνες, μικρά σκάφη και τροχόσπιτα. Οι εφαρμογές που καλύπτει κατά κύριο λόγο σήμερα η παγκόσμια αγορά μικρών Α/Γ είναι η άντληση νερού σε αγροτικές και ορεινές περιοχές, η αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες για μελλοντική χρήση και η σύνδεση των Α/Γ στο ηλεκτρικό δίκτυο πουλώντας την επιπλέον ενέργεια. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει στατιστικά στοιχεία των κύριων εφαρμογών σε σχέση με το μέγεθος των Α/Γ στις ΗΠΑ και στον υπόλοιπο κόσμο.



Εικόνα 10: Εφαρμογές μικρών Α/Γ βάσει μεγέθους

Πολλές κατασκευαστικές εταιρίες ανά τον κόσμο το τελευταίο διάστημα εκμεταλλεύονται εμπορικά συνδυασμούς μικρών Α/Γ με φωτοβολταϊκά (PV) και σύστημα Diesel. Ιδιαίτερα τα υβριδικά συστήματα wind/PV μπορούν να είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα λύση για παραγωγή ενέργειας σε διάφορες κλιματολογικές συνθήκες με πολύ καλή απόδοση.

Έτσι τα φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν επιτυχώς για διάφορες χρονικές και κλιματολογικές περιόδους, όπως είναι οι ηλιόλουστες μέρες, που εκμεταλλεύονται τα PV και συνεφιασμένες ή νύχτες που εκμεταλλεύονται τα αιολικά συστήματα.

Οι προβλέψεις για την αύξηση της εγκατάστασης μικρών Α/Γ είναι αισιόδοξες. Η διεθνής επιτροπή AWEA σε ερευνά που πραγματοποίησε στις περισσότερες εταιρίες κατασκευής Α/Γ έδειξε ότι υπάρχει αύξηση 14 –20% κάθε χρόνο τα τελευταία 15 χρόνια για τις ετήσιες πωλήσεις που για το έτος 2004 άγγιξαν τα 15.8 εκατομμύρια δολάρια. Συγκεκριμένα πωλήθηκαν 7.800 μικρές Α/Γ συνολικής ισχύος 7.5 MW από τις οποίες τα δυο τρίτα εγκαταστάθηκαν στις ΗΠΑ και το 40% προερχόταν από τις ευρωπαϊκές αγορές [53].

Οι προβλέψεις για το έτος 2005 δείχνουν ότι οι πωλήσεις μικρών Α/Γ θα φτάσουν τα 13.000 μοντέλα ισχύος 13.8 MW και συνολικής αξίας 25 εκατομμυρίων δολαρίων με στόχο για την περίοδο 2006-2010 την αύξηση των πωλήσεων σε 75.000 μικρών Α/Γ αξίας 115 εκατομμυρίων δολαρίων.

### **3.5 Εφαρμογές μικρών Α/Γ στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με χιλιάδες χιλιόμετρα ακτών και περισσότερα από 2000 νησιά. Παράλληλα η μορφολογία της ηπειρωτικής Ελλάδος είναι τέτοια που μικρές Α/Γ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης το αιολικό δυναμό πολλών περιοχών και ιδιαίτερα των νησιών είναι το πλέον κατάλληλο για χρήση τέτοιων Α/Γ.

Η εγκατάσταση μικρών Α/Γ σε σπίτια σε ορεινές περιοχές και απομακρυσμένα νησιά, όπου η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι εξαιρετικά δύσκολη, θα ήταν μια οικονομική και φιλική για το περιβάλλον λύση. Έχει υπολογιστεί ότι μια Α/Γ ισχύος 15 kW θα μπορούσε να καλύψει ένα μεγάλο μέρος από τις ενεργειακές ανάγκες ενός σπιτιού. Επίσης η μικρή Α/Γ θα μπορούσε να συνδυαστεί και με άλλα συστήματα παραγωγής, με υβριδικά, όπως ντιζελοκινητήρες και φωτοβολταϊκά στοιχεία για την κάλυψη επιπλέον ενέργειας που πιθανόν να χρειαζόταν ένα σπίτι.

Παράλληλα ο συνδυασμός υβριδικών (wind/PVT-photovoltaic/ thermal solar) θα ήταν ικανός να καλύψει και τις θερμικές ανάγκες όπως θέρμανση νερού ενός οικισμού [54].

Μονάδες αφαλάτωσης θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σε απομακρυσμένα νησιά ιδιαίτερα του ανατολικού Αιγαίου για την παραγωγή πόσιμου νερού. Η χρήση Α/Γ μεσαίου μεγέθους για την διαδικασία της αφαλάτωσης θα ήταν η ιδανικότερη λύση λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού τέτοιων περιοχών.

Οι μικρές Α/Γ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις σε περιοχές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλη. Πολλά ξενοδοχεία σε ελληνικά νησιά θα μπορούσαν να εγκαταστήσουν στους ελεύθερους χώρους τους μια ή πολλές Α/Γ οριζόντιου ή κάθετου άξονα. Το πιο κατάλληλο μέρος για την τοποθέτηση θα ήταν οι ταράτσες των ξενοδοχείων δεδομένου ότι η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος. Η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιείται άμεσα ή να αποθηκεύεται σε μπαταρίες για χρήση σε δευτερεύουσες ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις όπως είναι ο φωτισμός γηπέδων και παιδότοπων. Τα οφέλη από μια τέτοια εγκατάσταση σε τουριστικές περιοχές θα μπορούσαν να είναι τεράστια και για το ξενοδοχείο αλλά και για το υπερφορτωμένο δίκτυο ειδικά τους μήνες του καλοκαιριού [55].

Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες που διαθέτουν τις περισσότερες μαρίνες σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η χρήση πολύ μικρών Α/Γ σε σκάφη για τη φόρτιση των μπαταριών με ηλεκτρικό ρεύμα θα ήταν μια πολύ πρακτική και έξυπνη λύση. Μεσοπέλαγα η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνάει τις περισσότερες φορές την απαιτούμενη ταχύτητα για την έναρξη της Α/Γ για μεγάλο χρονικό διάστημα, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει στην κάλυψη των αναγκών πολλών συσκευών ταυτόχρονα. Με αυτό το τρόπο οι ιδιοκτήτες σκαφών θα μπορούσαν να γίνουν ανεξάρτητοι από τις κοινές και ακριβές πηγές ενέργειας.

Ένας άλλος τομέας που οι μικρές Α/Γ θα μπορούσαν να έχουν σημαντικό ρόλο είναι οι αγροτικές φάρμες και τα θερμοκήπια. Τα αγροκτήματα χρησιμοποιώντας την αιολική ενέργεια θα μπορούσαν να γίνουν αυτόνομες μονάδες. Στα αγροκτήματα οι μικρές Α/Γ θα μπορούσαν να συνδυαστούν με κινητήρες Diesel για τις μέρες όπου επικρατεί άπνοια και μπαταρίες για αποθήκευση της επιπλέον παραγόμενης ενέργειας. Στην περίπτωση σύνδεσης της Α/Γ με το δίκτυο είναι δυνατόν να πωληθεί η επιπλέον ενέργεια με σημαντικά οικονομικά οφέλη. Μικρές Α/Γ για θερμοκήπια είναι δυνατόν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζουν με το περιβάλλον εγκατάστασής τους [54,56].

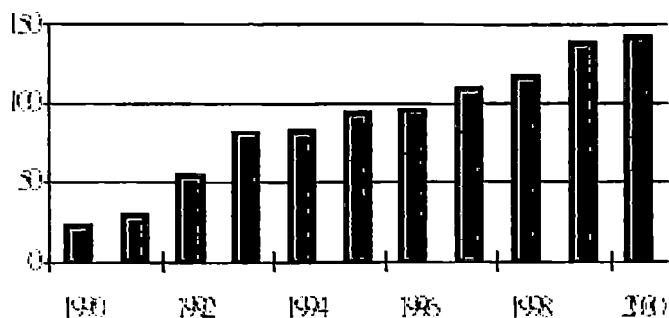
### 3.6 Μικρές Α/Γ στην ελληνική αγορά

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται σημαντικό αγαθό για την ανάπτυξη διάφορων κοινωνιών και την υποστήριξη του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων τους. Την ίδια στιγμή υπάρχουν απομακρυσμένες περιοχές στην Ελλάδα όπου η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι δυνατή. Σε αυτές της περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μηχανές εσωτερικής καύσης με το κόστος να είναι πολύ μεγάλο.

Το υψηλό δυναμικό ορισμένων περιοχών δίνει την δυνατότητα για εγκατάσταση μικρών Α/Γ προσφέροντας σημαντική λύση στις ενεργειακές απαιτήσεις αυτών των περιοχών.

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν 40 επιχειρήσεις που ασχολούνται με τον αιολικό τομέα από τις οποίες οι 15 περιλαμβάνουν μικρά αιολικά συστήματα. Από τις 15 αυτές εταιρίες το 65% έχει ήδη εγκαταστήσει διάφορα αιολικά συστήματα ενώ το υπόλοιπο ποσοστό ακόμα δεν έχει μπει εξ'ολοκλήρου στη παραγωγική διαδικασία

Ένα σημαντικό στοιχείο που έχει σχέση με αυτές τις εταιρίες είναι το γεγονός ότι για τις περισσότερες εταιρίες τα αιολικά συστήματα δεν είναι το κύριο μέρος των δραστηριοτήτων τους. Επίσης 9 εταιρίες υποστηρίζουν συστήματα από το εξωτερικό (συγκεκριμένα από τη Γερμανία, Ισπανία, ΗΠΑ, Μεγάλη Βρετανία, Κάτω Χώρες, Γαλλία), ενώ υπάρχουν δύο ελληνικές επιχειρήσεις που κατασκευάζουν μικρού μεγέθους Α/Γ και τις εξάγουν στο εξωτερικό [55]. Υπολογίζεται ότι 970 μικρού μεγέθους Α/Γ έχουν εγκατασταθεί στην Ελλάδα συνολικής ισχύος 850 kW.

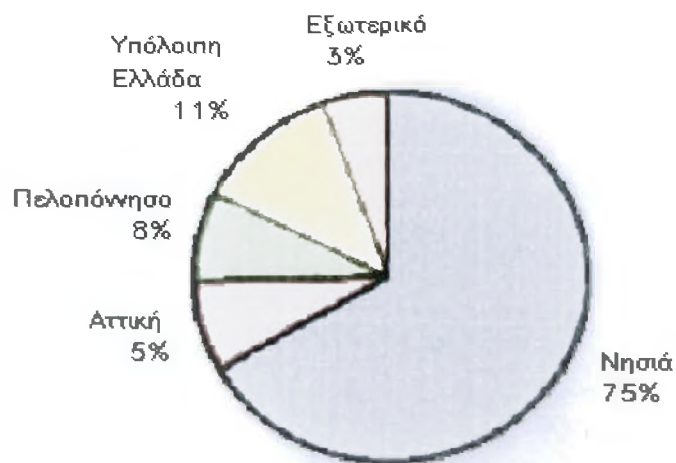


Εικόνα 11 Πωλήσεις μικρών Α/Γ με την πάροδο του χρόνου [55]

Το ανωτέρω διάγραμμα παρουσιάζει μια ανοδική τάση στα συστήματα που πωλούνται και που ακολουθείται επίσης από μια αύξηση στο μέγεθος των Α/Γ. Όσον αφορά τον αριθμό εγκατεστημένων μονάδων, 70% των συστημάτων είναι μέχρι 1 kW και 30% μέχρι 10 kW.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες και έντονες διακυμάνσεις του αέρα συχνά απαιτούνται πρόσθετα συστήματα για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας ή την παροχή μιας επιπλέον πηγής ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος από τα ήδη εγκαταστημένα συστήματα περιλαμβάνουν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και το 60% εξ'αυτών είναι υβριδικά συστήματα με φωτοβολταϊκά στοιχεία ή μηχανές Diesel [56].

Η πλειοψηφία των συστημάτων έχει εγκατασταθεί στα νησιά και στις παράκτιες περιοχές, κυρίως στο Αιγαίο πέλαγος, εξαιτίας της μεγάλης έντασης του ανέμου. Επίσης μικρά αιολικά συστήματα έχουν εγκατασταθεί και σε άλλες περιοχές της Ελλάδος σε μεγάλο υψόμετρο. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει το ποσοστό εγκατάστασης μικρών Α/Γ ανά την Ελλάδα και το εξωτερικό.



**Εικόνα 12** Τοποθεσίες εγκατάστασης μικρών Α/Γ [55]

Η αγορά και κατά συνέπεια η εγκατάσταση μικρών αιολικών συστημάτων στην Ελλάδα θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά μετατρέποντας το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο και παράλληλα ενημερώνοντας το κόσμο σχετικά με την αιολική ενέργεια και τα πλεονεκτήματά της.



Συγκεκριμένα, το νομοθετικό πλαίσιο δεν δίνει τα επαρκή κίνητρα για την επέκταση των αιολικών συστημάτων όπως κάποιου είδους επιχορήγηση και συμφέρουσες τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από ιδιώτες στο δίκτυο. Επίσης η προβολή των Α/Γ μέσα από τις εκπαιδευτικές διαδικασίες και η διαφήμιση από κάθε μέσο μαζικής ενημέρωσης θα έδιναν άλλη δυναμική στον αιολικό τομέα.

Συνέπεια των παραπάνω είναι η αντιμετώπιση της χρήσης αιολικών συστημάτων για παραγωγή ενέργειας με σκεπτικισμό και αρνητική διάθεση γεγονός που έχει και άμεση συνέπεια για το ευρύτερο περιβάλλον.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **4: ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

#### **4.1 Εφαρμογές μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές**

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιείται μια στροφή της παγκόσμια αγορά των μικρών Α/Γ σε εφαρμογές αυτών σε αστικές περιοχές. Οι πιθανότητες χρήσης μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές εξαρτώνται κυρίως από το αιολικό δυναμικό και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής. Αν παρατηρήσουμε σε παγκόσμια κλίμακα της κλιματικές συνθήκες θα δούμε ότι υπάρχουν συγκεκριμένες τιμές του αιολικού δυναμικού σε αστικές περιοχές. Έτσι η εφαρμογή μικρών Α/Γ κυρίως σε πόλεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οικονομικά και φιλικά για το περιβάλλον οφέλη.

##### **4.1.1 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και είδη Α/Γ σε αστικές περιοχές**

Οι μεγάλες Α/Γ (κλάσης MW) οριζόντιου άξονα δεν είναι κατάλληλες για εγκατάσταση σε αστικές περιοχές και ιδιαίτερα σε οροφές κτιρίων λόγω του μεγάλου μεγέθους και των πολύπλοκων συστημάτων που διαθέτουν. Οι πολύ μικρές Α/Γ (<20 kW) οριζόντιου ή κάθετου άξονα, σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί δεν κρίνονται οικονομικά αποδοτικές. Το κατάλληλο μέγεθος για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις κρίνεται ότι είναι από 50 kW έως 150 kW και αποτελεί την καλύτερη πρόταση για τέτοιες εφαρμογές λαμβάνοντας υπόψη και τα επιμέρους τεχνολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά.

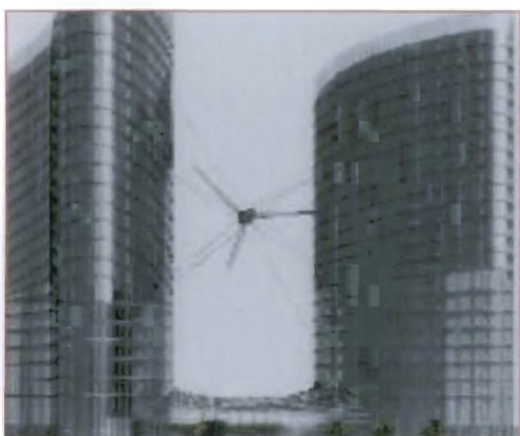
Σημαντικό ρόλο στην απόδοση της εγκατάστασης έχει και το αποθηκευτικό σύστημα (μπαταρίες), το οποίο θα πρέπει να έχει την δυνατότητα φόρτισης και εκφόρτισης για χιλιάδες φορές χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στην απόδοση του. Επίσης πρέπει να λειτουργεί σε μέσες θερμοκρασίες κτιρίων και χωρίς εκπομπές επιβλαβών και εκρηκτικών αερίων. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα περιέχει εκτός των άλλων και σύστημα διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας καθώς η παροχή ηλεκτρισμού γίνεται σε πολλές και διαφορετικές συσκευές με την κάθε μια από αυτές να έχει τα δικά της τεχνικά χαρακτηριστικά [123].

#### 4.1.2 Τοποθεσίες εγκατάστασης μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές

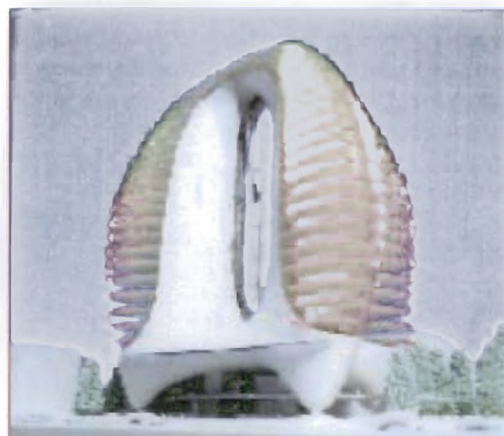
Τις μικρές Α/Γ μπορούμε να τις τοποθετήσουμε με τρεις διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι είναι:

1. Ανάμεσα σε δυο κτίρια, που παίζουν το ρόλο του συγκεντρωτή ανέμου, (Εικόνα 31),
2. Τοποθετημένες σε αγωγό μέσα σε ένα κτίριο (Εικόνα 32),
3. Σε οροφές κτιρίων μεγάλου σχετικά ύψους (Εικόνα 33).

Επιπλέον μικρές Α/Γ μπορούν να τοποθετηθούν σε γέφυρες, σε μεγάλες πινακίδες δρόμων κ.α. [124].



**Εικόνα 31**



**Εικόνα 32**



**Εικόνα 33**

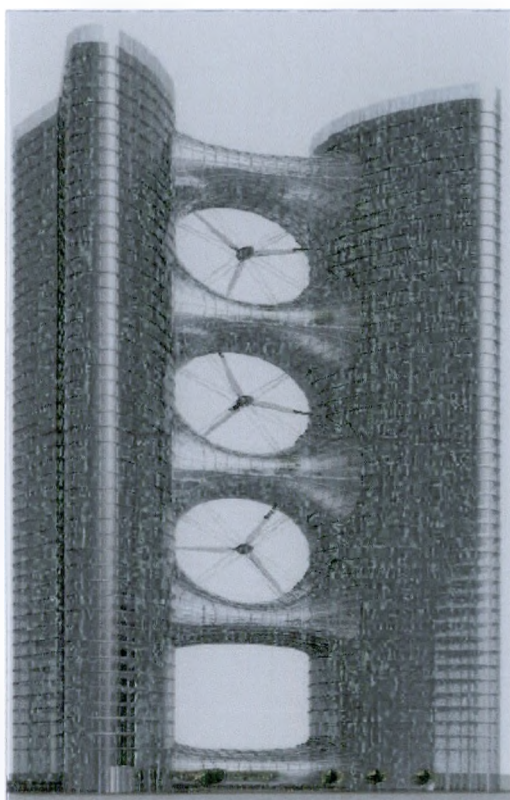
Περισσότερα στοιχεία για τις παραπάνω διαφορετικές τοποθεσίες εγκατάστασης αναφέρονται παρακάτω:

#### **Τοποθετημένες ανάμεσα σε κτίρια με σχήμα συγκεντρωτή**

Σε αυτή την περίπτωση τα κτίρια είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα συγκεντρωτή ανέμου. Στο παρελθόν υπήρχε μεγάλο ενδιαφέρον για τέτοιες εγκαταστάσεις και είχαν γίνει πολλά πειράματα σχετικά με συνθήκες λειτουργίας και την αεροδυναμική απόδοση αυτών των συστημάτων. Όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν έγιναν με οριζόντιου άξονα μικρές Α/Γ χρησιμοποιώντας συγκεντρωτές σχήματος δακτυλιδίου. Αυτός ο συνδυασμός οδηγούσε το σύστημα σε υψηλή αεροδυναμική απόδοση σε σχέση με τις άλλους πιθανούς συνδυασμούς [125].

Παρόλο τη υψηλή απόδοση, μετρήσεις έδειξαν ότι ταυτόχρονα παρουσιαζόταν και στροβιλισμοί που οφειλόταν στο μακρύ σχήμα του συγκεντρωτή. Η τοποθέτηση Α/Γ σε κτίρια που είναι λιγότερο εξαρτώμενα από την διεύθυνση του ανέμου είχε καλύτερα αποτελέσματα. Το

σύστημα αυτό δεν λειτουργεί πλέον ως συγκεντρωτής αλλά ως συνδυασμός συγκεντρωτή και αγωγού (Εικόνα 34).



Εικόνα 34



Εικόνα 35

#### Τοποθετημένες σε αγωγό μέσα σε κτίριο

Η διαφορά πίεσης μεταξύ της προσάνεμης και της απάνεμης πλευράς ενός κτιρίου έχει ως αποτέλεσμα η ροή του ανέμου να περνά μέσα από έναν ειδικά κατασκευασμένο αγωγό. Σε περίπτωση όπου η γωνία πρόσπτωσης του ανέμου δεν είναι κάθετη με την μετωπική επιφάνεια του κτιρίου η ροή διευκολύνεται με την κατασκευή προεξοχών.

Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δυο πλευρών συνήθως παραμένει σταθερή στις αλλαγές κατεύθυνσης του ανέμου, κάτι που επιτρέπει στην αεροδυναμική απόδοση του ρότορα της Α/Γ να είναι σταθερή. Η Α/Γ θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί και προς τις δυο κατευθύνσεις. Για αυτό το λόγο τρία είδη Α/Γ έχουν προταθεί: (i) η Α/Γ Darrieus, (ii) η Α/Γ Wells και (iii) μια Α/Γ οριζόντιου άξονα με την δυνατότητα περιστροφής των πτερυγίων της κατά  $180^{\circ}$  [126].

- Η μηχανή Darrieus έχει το μειονέκτημα ότι εκμεταλλεύεται την ροή του ανέμου στην περιοχή του αγωγού όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρή. Έτσι η ο συγκεκριμένος τύπος Α/Γ δεν μπορεί να εξάγει ενέργεια στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου που δημιουργούνται σε κάποια σημεία του αγωγού με συνέπεια η διακύμανση της παραγόμενης ενέργειας να είναι έντονη.
- Η μηχανή Wells μπορεί να χρησιμοποιήσει και υψηλότερες ταχύτητες ανέμου στην εξωτερική πλευρά του αγωγού αλλά έχει το μειονέκτημα του υψηλού θορύβου που δημιουργείται κατά την διάρκεια της λειτουργίας της.
- Η μηχανή οριζόντιου άξονα δεν έχει το μειονέκτημα της μηχανής Wells αλλά απαιτείται ένας μηχανισμός στροφής των πτερύγιων κατά  $180^0$  και μια γεννήτρια που να μπορεί να λειτουργήσει σε δυο διαφορετικές κατευθύνσεις [127].

### **Τοποθετημένες πάνω στην οροφή ή σε παράλληλη με το κτίριο θέση**

Οι Α/Γ πάνω στην οροφή ή σε θέση παράλληλη ενός κτιρίου λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τις άλλες θέσεις εγκατάστασης σε αστικές περιοχές. Η ταχύτητα του ανέμου κοντά σε κτίρια είναι 20% υψηλότερη σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου μακριά από αυτά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ολόκληρο το ρεύμα αέρα βρίσκεται εντοπισμένο πολύ κοντά στην μικρή Α/Γ λόγω ιδιαιτερότητας της περιοχής.

Για εγκαταστάσεις πάνω σε οροφές κτιρίων θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη το γεγονός ότι η ροή του χωρίζεται στην άκρη του ορόφου κάτι που επιδρά αρνητικά στην λειτουργία της Α/Γ. Για μηχανή τύπου Darrieus, η επίδραση του φαινομένου είναι σχεδόν μηδαμινή κάτι όμως που δεν συμβαίνει με τις Α/Γ οριζόντιου άξονα. Σε αυτές τις Α/Γ παρατηρείται δυσκολία στην εκκίνηση, χαμηλή απόδοση και ανομοιόμορφη κατανομή των στρεπτικών φορτίων. Για αυτό το λόγο συνήθως χρησιμοποιούνται Α/Γ κάθετου άξονα με κάποιες μικρές τροποποιήσεις (Εικόνα 34) [128].

### **4.1.3 Εμπόδια για την ανάπτυξη των μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές**

Εκτός από την βιωσιμότητα μιας εγκατάστασης μικρών Α/Γ σε αστικές περιοχές, υπάρχουν αρκετά εμπόδια τα οποία πρέπει να εξεταστούν και να επιλυθούν.

#### **Θέματα ασφάλειας**

Το ζήτημα της δημόσιας αφέλειας μιας τέτοιας εγκατάστασης λαμβάνει μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με ένα πραγματικό πρόβλημα λόγω της αντίληψης που επικρατεί για κάθε είδους νέα και άγνωστη στο ευρύ κοινό τεχνολογία. Οι σύγχρονες Α/Γ διαθέτουν εξαιρετικά μέτρα ασφάλειας και υποβάλλονται σε εξονυχιστικούς ελέγχους μέχρι το τελικό στάδιο της εφαρμογής τους. Εντούτοις, ο αντιληπτός κίνδυνος για τις νέες τεχνολογίες μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλιστικές δυσκολίες που θα απαιτούσαν θέσπιση νέων ρυθμίσεων και νόμων.

Ένα άλλο ζήτημα ασφάλειας είναι η ανησυχία σύγκρουσης πουλιών με τις Α/Γ. Η έρευνα έχει δείξει ότι οι Α/Γ δεν ενοχλούν τα πουλιά και οι συγκρούσεις σε ανοιχτούς χώρους είναι σπάνιες. Ωστόσο, σε αστικές περιοχές οι πιθανότητες σύγκρουσης είναι μεγαλύτερες κάτι που χρήζει ειδικής μελέτης της περιοχής πριν το τελικό στάδιο εγκατάστασης [129].

#### **Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία (Η.Ε.)**

Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή είναι ένα πιθανό πρόβλημα με τις Α/Γ μέσω της αντανάκλασης των σημάτων από τα πτερύγια των στροφών. Η αρμοδία Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αρχίσει να διεξάγει έρευνα πάνω σε αυτόν τον τομέα και τα πρώτα αποτελέσματα αναφέρουν ότι η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε αυτόν τον τομέα είναι μικρή [130].

#### **Ηχορύπανση**

Υπάρχουν δυο τύποι ακουστικών θορύβων, ο αεροδυναμικός και ο μηχανικός. Ο μηχανικός θόρυβος έχει μειωθεί πολύ στις σύγχρονες Α/Γ μέσω των βελτιώσεων στους μηχανισμούς λειτουργίας τους. Η αεροδυναμική ηχορύπανση ωστόσο είναι ένα πιο πολύπλοκο ζήτημα. Δεδομένου ότι η αεροδυναμική ακουστική ρύπανση προκαλείται από στροβίλους και την ατμοσφαιρική διαταραχή είναι πιθανό να αυξηθεί σε αστικές περιοχές.

Η μέγιστη ακουστική εκπομπή για μια μικρή Α/Γ είναι περίπου 70 dB που αντιστοιχεί στο θόρυβο που δημιουργείται από αυτοκίνητα σε ώρα αιχμής. Σε απόσταση περίπου 300 m το επίπεδο θορύβου μειώνεται σε περίπου 45 dB, το οποίο ισοδυναμεί με ένα ήρεμο καθιστικό.

Ωστόσο το πραγματικό επίπεδο θορύβου δεν είναι το μόνο στοιχείο που ερευνάται. Σύμφωνα με ερευνά που πραγματοποίησε το δανέζικο ερευνητικό ίδρυμα DK Teknik, η στάση των ανθρώπων απέναντι στη αιολική τεχνολογία είναι εκείνη που δημιουργεί την αίσθηση του θορύβου παρά ο πραγματικός θόρυβος [130,131].

## **Οπτική όχληση**

Η οπτική όχληση είναι επίσης ένα σημαντικό εμπόδιο για την εφαρμογή μικρών Α/Γ σε αστικό περιβάλλον και σε σχετική ερευνά που έχει διεξάγει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καταδεικνύεται ότι το παραπάνω πρόβλημα εξαρτάται από τη στάση των ανθρώπων-θεατών απέναντι στις Α/Γ. Η εγκατάσταση μεμονωμένων και ιδιαίτερα μεγάλης κλίμακας Α/Γ συναντούν τις περισσότερες φορές την αντίδραση της τοπικής κοινωνίας, ενώ συγχρόνως τις θεωρούν ως σύμβολο καθαρής ενέργειας. Παράλληλα η αντίδραση της τοπικής κοινωνίας για τους πυλώνες ηλεκτροδότησης είναι ελάχιστη θεωρώντας τους απαραίτητους.

Εντούτοις θα πρέπει να τεθεί η αντίδραση για την αιολική τεχνολογία ως οπτική ρύπανση στα πλαίσια των γενικότερων και καθιερωμένων νέων τεχνολογιών.

Μια Α/Γ σε αστικό περιβάλλον παρόλο το μικρό μέγεθος της μπορεί να συναντήσει παρόμοιες αντιδράσεις παρά την πολύ μεγάλη αξία της ως καθαρή πηγή ενέργειας. Για την ελαχιστοποίηση της άσχημης εντύπωσης της Α/Γ έχουν προταθεί πολλές ιδέες μερικές από τις οποίες είναι το χρωμάτισμα των Α/Γ σε αποχρώσεις που δεν προκαλούν ανταναικλάσεις και ταιριάζουν με το χρώμα του ουρανού καθώς και τρόποι εγκατάστασης που παρουσιάζουν έντονο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον [132,133].

### **4.1.4 Μελλοντική σκοπιά**

Η προσπάθεια ενσωμάτωσης μικρών Α/Γ σε κτίρια είναι μια πιθανή ευκαιρία στο μέλλον για την αιολική ενέργεια να αναπτυχθεί σε αστικές περιοχές. Το σημαντικότερο είναι ότι τέτοιες κατασκευές μπορούν να γίνουν το ορόσημο κάθε περιοχής για περισσότερο πράσινο στις πόλεις. Η αξία και η οι δυνατότητες των Α/Γ σε αστικά περιβάλλοντα είναι παρόμοιες με εκείνες που εγκαθίσταται σε ανοιχτούς χώρους, γεγονός που δίνει ελπίδα ότι στο άμεσο μέλλον οι μικρές Α/Γ κυρίως σε κτίρια θα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ευρύτερη ανάπτυξη της εκάστοτε περιοχής.

Το μεγαλύτερο εμπόδιο για την ανάπτυξη της παραπάνω τεχνολογίας είναι λίγες πρωτοβουλίες τόσο από το δημόσιο τομέα όσο και από τον ιδιωτικό για εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων. Ήδη όμως σε κάποιες αναπτυγμένες χώρες προσφέρονται επιδοτήσεις για τέτοιου είδους εφαρμογές με πολλές φορολογικές ελαφρύνσεις, κάτι που αναμένεται να δώσει κίνητρο στους ιδιώτες να αξιολογήσουν με καλύτερο τρόπο την παραπάνω τεχνολογία.

## **4.2 Εφαρμογή μικρών Α/Γ σε αγροτικές περιοχές**

Τα τελευταία χρόνια έχουν υπάρξει σημαντικές πρόοδοι στην ανάπτυξη των μικρών Α/Γ και στους κανονισμούς που αφορούν την παραγωγή και την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα. Η θετική αυτή εξέλιξη δίνει την δυνατότητα εφαρμογής των μικρών Α/Γ σε πολλούς τομείς και ιδιαίτερα στον αγροτικό τομέα, γεγονός που αναμένεται να λύσει το πρόβλημα ηλεκτροδότησης των αγροτικών περιοχών σε πολύ μεγάλο βαθμό.

### **4.2.1 Βασικά συστήματα παραγωγής ενέργειας**

Υπάρχουν δυο βασικά συστήματα για την χρησιμοποίηση των Α/Γ για παραγωγή ενέργειας. Εκείνα που συνδέονται με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο (grid-connected systems) και εκείνα που λειτουργούν ως αυτόνομες μονάδες παραγωγής ενέργειας (stand-alone systems).

#### **Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο (grid-connected systems)**

Σε αυτά τα συστήματα η έξοδος της μικρής Α/Γ συνδέεται άμεσα με το ηλεκτρικό δίκτυο. (Εικόνα 35) Αυτός ο τύπος συστημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μεμονωμένες Α/Γ ή αιολικά πάρκα για πώληση της παραγόμενης ενέργειας. Για έναν αγρότη η χρήση Α/Γ θα μπορούσε να έχει και οικονομικό όφελος πουλώντας την επιπλέον ενέργεια στην ηλεκτρική εταιρία.

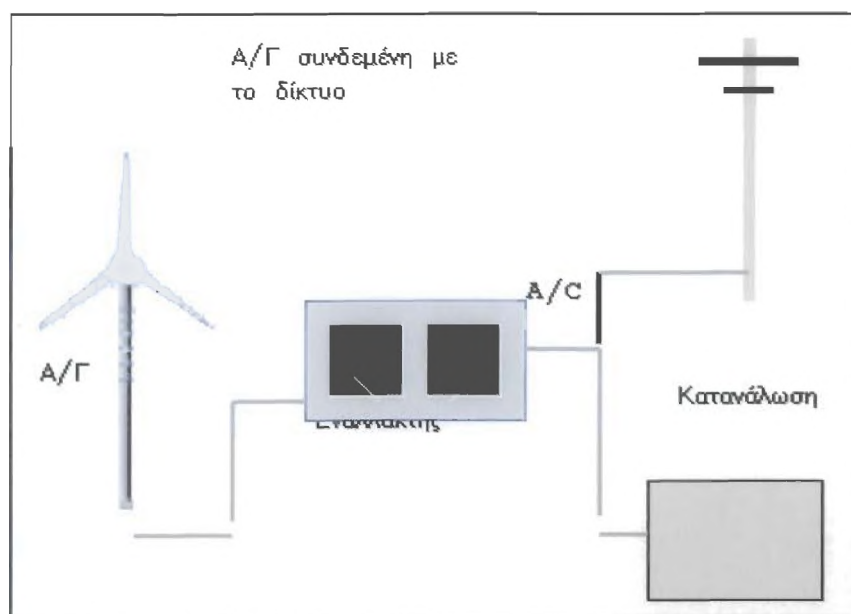
Μια μικρή Α/Γ συνδεδεμένη με το δίκτυο αποτελεί μια καλή πρόταση σε περίπτωση που οι ενεργειακές ανάγκες είναι πολύ μεγάλες. Η εγκατάσταση μια τέτοιας εγκατάστασης θα πρέπει να εγκριθεί από τον αρμόδιο φορέα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς θα πρέπει να τηρεί ορισμένα τεχνικά πρότυπα τα οποία είναι αναγκαία για την πλήρη συμβατότητα του συστήματος με το δίκτυο.



Επιπλέον ο αρμόδιος φορέας θα είναι εκείνος που καθορίσει το ακριβές μέγεθος της Α/Γ λόγω της ιδιαιτερότητας κάθε περιοχής. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι μικρές Α/Γ ισχύος περίπου 60 kW αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή για τέτοιες εγκαταστάσεις βάσει της αναλογία κόστους- απόδοσης [48].

### Αυτόνομα συστήματα

Τα αυτόνομα συστήματα με μικρές Α/Γ είναι διαθέσιμα και γενικά χρησιμοποιούνται για την φόρτιση μπαταριών για μικρές ηλεκτρικές εφαρμογές σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές, όπου το η εγκατάσταση ηλεκτρικού δικτύου κρίνεται μη κερδοφόρα. Οι πιο κοινές εφαρμογές για τέτοια συστήματα είναι οι ηλεκτρικές αντλίες, ο φωτισμός της περιοχής και γενικά κάθε είδους μικρό ηλεκτρικό σύστημα, το οποίο είναι αναγκαίο για την ασφάλεια και τον έλεγχο της περιοχής. Τα πιο κοινά μεγέθη για αυτού του τύπου εφαρμογών είναι από 1 kW έως 20 kW για ταχύτητες ανέμου περίπου 9 m/s. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης και μεγαλύτερων Α/Γ με το κόστος του συστήματος όμως να είναι ιδιαίτερα μεγάλο [134,135].



Εικόνα 36

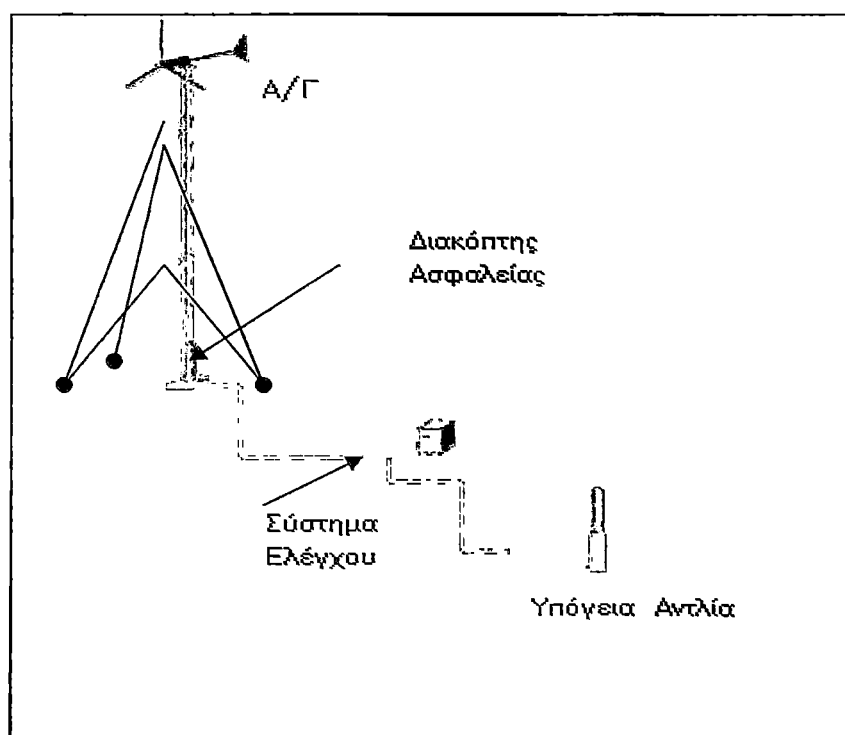
Μικρή Α/Γ συνδεδεμένη με το δίκτυο

## 4.2.2 Πιθανές χρήσεις μικρών Α/Γ σε αγροτικές περιοχές

### Αντληση Νερού

Η άντληση νερού ίσως αποτελεί την πιο κοινή εφαρμογή σε αγροτικές περιοχές.(Εικόνα 37) Στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου το 40% με 50% του Α.Ε.Π (Ακαθάριστο Εθνικό προϊόν) προέρχεται από τον αγροτικό τομέα, απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την άντληση νερού για άρδευση. Στις αγροτικές περιοχές οι προσπάθειες παροχής ηλεκτρισμού με ένα κεντρικό σύστημα ηλεκτροδότησης είναι δύσκολες και δαπανηρές. Συνεπώς η χρήση μικρών Α/Γ για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αποδεικνύεται η πιο κατάλληλη πρόταση.

Οι αντλίες νερού που χρησιμοποιούν Α/Γ αποτελούν ένα σχετικά νέο τύπο συστημάτων άντλησης. Αυτά τα μηχανικά συστήματα χρησιμοποιούν ένα ειδικά κατασκευασμένο εξάρτημα με λεπίδες, το οποίο οδηγεί μια εμβολοφόρα αντλία στο σημείο όπου βρίσκεται το νερό. Σήμερα υπάρχουν δυο τύποι αντλιών νερού/ ανέμου οι οποίες κατασκευάζονται στο Ην. Βασίλειο και προορίζονται αποκλειστικά για αγροτικές εφαρμογές. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αντλίες /νερού ανέμου απαιτούν μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού με παράλληλη δυνατότητα ανεφοδιασμού κάθε τριών ημερών περίπου [136].



Εικόνα 37: Συστήματα άντλησης νερού/ ανέμου

## **Θερμοκήπια**

Τα θερμοκήπια είναι κατασκευές με σκοπό την προστασία των καλλιεργειών έναντι δυσμενών συνθηκών και να δημιουργούν ταυτόχρονα ικανοποιητικές συνθήκες για την ανάπτυξη και παραγωγή διαφόρων προϊόντων σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Ένα σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο θερμοκήπιο πρέπει να εξασφαλίζει και να διατηρεί τους κλιματολογικούς παράγοντες όσο το δυνατόν πιο κοντά στις βέλτιστες τιμές. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την σωστή λειτουργία του θερμοκηπίου είναι δυνατόν να παραχθεί από μια μικρή Α/Γ εγκαταστημένη σε σημείο κοντά στο θερμοκήπιο.

Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να αποτελέσει μια οικονομική και φιλική για το φυσικό περιβάλλον πρόταση βοηθώντας την αποδοτική ανάπτυξη των καλλιεργειών. Επίσης, για την παροχή ενέργειας σε περίπτωση που η ένταση του ανέμου είναι μικρή, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να γίνει με ένα υβριδικό σύστημα άνεμου/ PV [137,138].

## **Απομονωμένα αγροκτήματα**

Τα απομονωμένα αγροκτήματα που δεν συνδέονται με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιήσουν την αιολική ενέργεια για πολλούς σκοπούς συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής ηλεκτρικής ενέργειας και σε μερικές περιπτώσεις την θέρμανση. Η σωστή επιλογή της κατάλληλης Α/Γ σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σε πολλές περιπτώσεις οι μικρές Α/Γ μπορούν να προσφέρουν μια πιο οικονομική και αποδοτική λύση, ενώ σε άλλες ένα υβριδικό σύστημα άνεμου/ντίζελ ίσως αποτελεί καλύτερη επιλογή [139].

## **Μικρές Α/Γ συνδεδεμένες με το δίκτυο: εγκατάσταση αιολικού πάρκου**

Ανάλογα με τις περιστάσεις, η ελκυστικότερη επιλογή μπορεί να είναι η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου με μικρές Α/Γ. Τέτοιας κλίμακας εγκαταστάσεις αναλαμβάνονται αποκλειστικά από την εταιρία κατασκευής των Α/Γ λόγω της μελέτης που απαιτείται για την άρτια λειτουργία του αιολικού πάρκου. Το κομμάτι της υπαίθρου που είναι απαραίτητο για την κατασκευή του αιολικού πάρκου δεν ξεπερνά το 1% της εκάστοτε περιοχής λαμβάνοντας υπόψη τις Α/Γ και τους σχετικούς δρόμους πρόσβασης.

## **Φωτισμός- Τηλεπικοινωνίες**

Σε αγροτικές φόρμες ακόμα και αν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο, η χρήση μικρών Α/Γ για τη φόρτιση μπαταριών με σκοπό τον εξωτερικό φωτισμό του χώρου ίσως είναι μια οικονομική επιλογή. Σε αυτό συμβάλει το γεγονός ότι το κόστος εγκατάστασης ηλεκτρικού δικτύου για τέτοιες εφαρμογές έχει αποδειχτεί ότι είναι πολύ μεγάλο και συνεπώς ασύμφορο.

Παράλληλα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μικρές Α/Γ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς σε αγροκτήματα τα οποία βρίσκονται σε εξαιρετικά δύσβατες περιοχές [140,141].

### **4.3 Εφαρμογή μικρών Α/Γ για αφαλάτωση θαλασσινού νερού**

Το νερό είναι ένας από τους σημαντικότερους γήινους πόρους και αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία ανάπτυξης κάθε χώρας. Η δραματική αύξηση του πληθυσμού της γης οδηγεί στην έρευνα για ανακάλυψη νέων υδροφόρων κοιτασμάτων για την κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης καθαρού νερού. Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του ΟΗΕ για τα παγκόσμια αποθέματα νερού περίπου 1.5 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν επαρκή παροχή πόσιμου νερού. Ωστόσο μόνο το 3% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού είναι καθαρό γεγονός που στρέφει την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα στην προσπάθεια εύρεσης τρόπων αφαλάτωσης του νερού της θάλασσας που αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή νερού στον πλανήτη.

Η ανάπτυξη μικρής κλίμακας συστημάτων αφαλάτωσης είναι σημαντική για κοινωνίες σε νησιά και απομονωμένες περιοχές. Σε αυτές τις περιοχές όπου συχνά δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο και παράλληλα το αιολικό δυναμικό είναι σημαντικό, η χρήση μικρών Α/Γ για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του συστήματος αφαλάτωσης αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πρόταση [142].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

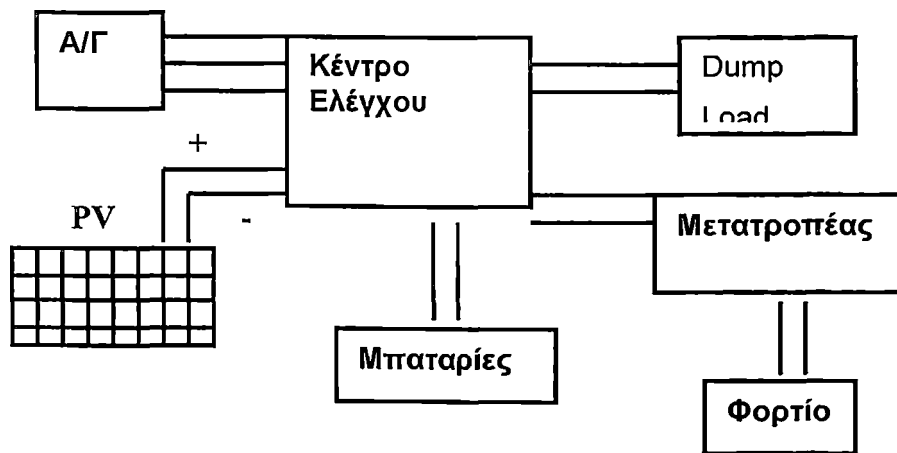
### 5. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΥ / ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (PV)

#### 5.1 Εισαγωγή

Κατά την διάρκεια εναλλαγής της ημέρας με τη νύχτα καθώς επίσης και με την αλλαγή του καιρού, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή όταν χρησιμοποιούμε φωτοβολταϊκά στοιχεία ή Α/Γ σαν αυτόνομες μονάδες. Αυτό δεν έχει μόνο επίπτωση στη ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας αλλά επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και το αποθηκευτικό μέσο που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε εφαρμογή. Η σκέψη για χρήση συνδυασμένων συστημάτων αιολικής ενέργειας και φωτοβολταϊκών στοιχείων οδήγησε στη λύση των παραπάνω προβλημάτων και παράλληλα είχαμε μια σημαντική αύξηση της απόδοσης σε σχέση με αυτή που θα είχαμε αν χρησιμοποιούσαμε τις διάφορες πηγές ενέργειας ξεχωριστά. Έτσι σε εκτεταμένα πειράματα που έγιναν παρουσιάστηκε μια αύξηση του χρόνου ζωής των μπαταριών και η διάρκεια της παραγωγής ενεργειας μεγάλωσε σημαντικά, καθιστώντας αυτά τα υβριδικά συστήματα πολύ ελκυστικά.

##### 5.1.1 Τα επιμέρους τμήματα ενός συστήματος Ανέμου/ PV

Αυτό το σύστημα αποτελείται από μια Α/Γ, μια σειρά από φωτοβολταϊκά στοιχεία, ένα κέντρο ελέγχου, μπαταρίες για αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας και το φορτίο κατανάλωσης.



Εικόνα 27: Υβριδικό σύστημα Ανέμου/ PV

Επειδή οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα, χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας πριν από το φορτίο κατανάλωσης. Επιπλέον υπάρχει και ένα ακόμη φορτίο κατανάλωσης (Dump Load) σε περίπτωση που έχουμε υπερφόρτιση της μπαταρίας [107].

### 5.1.2 Σχεδιασμός υβριδικών συστημάτων Ανέμου/ PV

Ο ακριβής σχεδιασμός τέτοιων υβριδικών συστημάτων είναι πολύ σημαντικός για την άρτια λειτουργία του συστήματος και περιλαμβάνει εκτός από τα επιμέρους τμήματα του συστήματος και προσεκτική μελέτη του τόπου εγκατάστασης και των καιρικών συνθηκών που επικρατούν.

Συγκεκριμένα η τοποθεσία εγκατάστασης θα πρέπει να έχει μια μέση ταχύτητα ανέμου της τάξης των 5m/s – 10m/s και η ηλιοφάνεια να έχει μεγάλη διάρκεια τόσο την ημέρα όσο και κατά την διάρκεια του χρόνου. Παράλληλα είναι πολύ σημαντικά για την λειτουργία του συστήματος και ιδιαίτερα των φωτοβολταϊκών στοιχείων τόσο η κλίση του εδάφους όσο και τυχόν φαινόμενα σκίασης των φωτοβολταϊκών στοιχείων από δέντρα, κτίρια, κολόνες κ.τ.λ. Είναι γνωστό ότι τα φαινόμενα σκίασης επιδρούν πολύ αρνητικά στην απόδοση των PV και σε ορισμένες περιπτώσεις πλήρους ή μερικής σκίασης προκύπτει ακόμα και μηδενική παραγωγή ενέργειας. Επίσης μεγάλες κλίσεις στο έδαφος είναι ικανές να αυξήσουν το κόστος κατασκευής λόγω της επιπλέον ανάγκης για κατασκευή πολύπλοκων στηριγμάτων για τα PV έτσι ώστε να μπορούν να δέχονται μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας [108].

### 5.1.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά/ θερμικά συστήματα (hybrid PV/T systems)

Η περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια των ηλιακών κυττάρων δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την θερμοκρασία τους, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την απόδοσή τους. Η θερμοκρασία των κυττάρων μπορεί να μειωθεί απομακρύνοντας την θερμότητα από το σύστημα χρησιμοποιώντας κυκλώματα αέρα ή νερού. Η εφαρμογή των παραπάνω σε υβριδικά συστήματα PV/T είναι μια ενδιαφέρουσα πρόταση για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η ολική παραγόμενη ενέργεια ενός συστήματος PV/T εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του ανέμου, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσκευών κ.α. Ο συνδυασμός του υβριδικού συστήματος PV/T και A/T είναι ικανός να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη λύση για την κάλυψη ενός πολύ μεγάλου μέρους των ενεργειακών αναγκών μιας εγκατάστασης σε διάφορες τοποθεσίες.

#### **Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά υβριδικών συστημάτων PV/T**

Το κύκλωμα αέρα αποτελεί μια απλή και οικονομική μέθοδο για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και παράλληλα την σταθεροποίηση της ηλεκτρικής απόδοσης σε αποδεκτά επίπεδα. Το κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιεί αέρα με πίεση είναι μια πιο αποδοτική μέθοδος, αλλά η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται για να λειτουργήσει έχει αρνητική επίπτωση στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η απ' ευθείας εξαγωγή της θερμότητας από την επιφάνεια των PV με την χρήση κυκλώματος νερού μπορεί να αποτελέσει μια επίσης αποδοτική μέθοδο για την ψύξη των PV. Για να αποφευχθούν προβλήματα που έχουν να κάνουν με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού, η θερμική μόνωση στην πίσω επιφάνεια του PV κρίνεται απαραίτητη.

Για εφαρμογές PV σε περιοχές με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, η θέρμανση χώρου είναι πολύ σημαντική. Σε αυτή την περίπτωση η χρήση κυκλώματος αέρα για την ψύξη των PV μπορεί να είναι πιο χρήσιμη και οικονομική σε σχέση με αυτή του κυκλώματος νερού. Σε περιοχές όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος κινείται σε λογικά πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα δυο είδη ψύξης ανάλογα με τις θερμές ανάγκες και το κόστος των εκάστοτε εφαρμογών. Σε εγκαταστάσεις PV σε κτίρια με την θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι πολύ υψηλή, το κύκλωμα νερού σαν μέθοδος ψύξης μπορεί να αποδειχτεί αποδοτικότερο καθώς οι θερμικές ανάγκες είναι περιορισμένες [114,115].

Σε σταθμούς εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, τα PV τοποθετούνται συνήθως σε παράλληλη διάταξη με μια απόσταση μεταξύ τους για να αποφευχθεί η σκίαση. Κατά την περίοδο μεταξύ της Άνοιξης και του Φθινοπώρου τα PV δεν αξιοποιούν όλη την ηλιακή ακτινοβολία λόγω του ύψους του ήλιου την συγκεκριμένη περίοδο. Για την αξιοποίηση όλης της ακτινοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτοπτρα αυξάνοντας την θερμική και ηλεκτρική έξοδο των PV, οι οποίοι όμως για να είναι αποδοτικοί πρέπει να είναι διάχυτοι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάχυτοι ανακλαστήρες επιτυγχάνουν μια πιο ομοιόμορφη κατανομή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω στην επιφάνεια των PV (Εικόνα 28) [114].



Εικόνα 28 Σύστημα PV/T με διάχυτους ανακλαστήρες

Η επιπλέον ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια των PV είναι μικρότερη σε σχέση με αυτήν της περίπτωσης των κατοπτρικών ανακλαστήρων, αλλά οι διάχυτοι ανακλαστήρες είναι πιο οικονομικοί και μπορούν να συνδυαστούν με όλα τα είδη PV.

Σε όλα τα υβριδικά συστήματα PV/T η επιπλέον θερμική μονάδα πρέπει να είναι κατάλληλη ώστε να δίνει στα PV όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρόνο ζωής αναλογικά με τις αυτόνομες μονάδες PV. Το κόστος της επιπλέον θερμικής μονάδας μπορεί να είναι το ίδιο για όλα τα είδη φωτοβολταϊκών σε ένα υβριδικό σύστημα, για το ίδιο πόσο θερμότητας και ίδια επιφάνεια εγκατάστασης. Η θερμική απόδοση όμως διαφέρει ανάλογα με το τύπο του PV που χρησιμοποιείται. Σύμφωνα με πειράματα που έχουν γίνει τα a-Si PV παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποδόσεις λόγω της χαμηλής ηλεκτρικής τους απόδοσης και τις μικρότερες οπτικές απώλειες.



Και τώρα στο τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους όσους μας βοήθησαν και μας καθοδήγησαν να συγκεντρώσουμε τα στοιχεία που χρειάστηκαν για να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη εργασία. Έτσι ευχαριστούμε: την κυρία Καυγά Αγγελική που μας κατηύθυνε να βρούμε τα στοιχεία για την παρούσα εργασία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### A. ΒΙΒΛΙΑ

1. Desire Le Gourieres Wind Power Plants France 1982
2. Καλέλης Κλεάνθη Ιωάννης. *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας* ΑΘΗΝΑ 1999
3. World Energy Council. *Survey of energy resources* 1998
4. Godfrey Boyle. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future* UK 1996

### B. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

1. Energy and Buildings
2. Energy Conversion and Management
3. Energy Police
4. Refocus Energy Magazine
5. Solar Energy
6. Wind Energy

### Γ. ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

1. Persaud S, Flynn D, Fox B. Potential for wind generation on the Guyana coastlands. *Renewable Energy* 1999

2. Habib Z. Objective analysis with point cumulative semivariogram in meteorology. Ph.D. thesis, Istanbul Technical University, Meteorology Department; 1993.
3. E. Kavak Akpınar, S. Akpınar b. An assessment on seasonal analysis of wind energy characteristics and wind turbine characteristics August 2004
4. Fung K, Scheder R, Stolpe J. Wind energy--a utility perspective. *IEEE Transition Power Apparatus Systems* 1981
5. Gasch Robert. Windkraftanlagen. 3rd ed. Stuttgart, Germany: B.G. Teubner, 1996 (German version of Wind Turbine Generators)
6. Frank B. Eldridge. Wind machines. *National Science Foundation Research*, Washington, 1985
7. Desire Le Gourieres Wind Power Plants France 1982
8. Hojstrup Jorgen, Tammelin Bengt. Wind resources in complex terrain. *Conference in Goeteborg EUWEC* 1996
9. Καλδέλης Κλεάνθη Ιωάννης. Διαχείριση της αιολικής ενέργειας ΑΘΗΝΑ 1999
10. Desire Le Gourieres Wind Power Plants France 1982
11. Celik An, School of Engineering and Architecture. Weibull representative compressed wind speed data for energy and performance calculations of wind energy systems. *Energy Conversion Management* 2003
12. EWTS bulletin. A sixmonthly newsletter of the European Wind WTurbine Standards (ETWS) project. Petten, the Netherlands, *Renewable Energy*
13. Thomas Ackermann, Lennart Soder. Wind energy technology and current status: a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, April 2000
14. Celik AN. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. *Renewable Energy* 2004
15. Quarton DC. The evolution of wind turbine design analysis—a twenty years progress review. *Int J Wind Energy* 1998
16. Renewable Energy. The official journal of WREN—*The World Renewable Energy Network*, published since 1985, Elsevier Science
17. Durak M, Caldag B, S\_aylan L. Using wind energy in agriculture. In: *3rd National Renewable Energy Symposium*, 15–17 November 2000, Istanbul, Turkey. 2000

18. Sen Z, Sahin A, Spatial interpolation of solar irradiation by cumulative seminariograms. *Solar Energy* 2001
19. Gasch Robert. Wind turbine generators. USA: *MIT Press*, 1982
20. Snel H. Review of the present status of rotor aerodynamics. *Wind Energy*, UK 1998
21. Culp AW. Principles of Energy Conversion. 2nd ed. New York: Mc-Graw Hill. 1991
22. Gasch Robert. Windkraftanlagen. 3rd ed. Stuttgart, Germany: B.G. Teubner, 1996 (German version of Wind Turbine Generators)
23. Bellarmine GT, Urquhart J. Wind energy for the 1990s and beyond. *Energy Conversion and Management* 1996
24. Bergeles G, Glekas I, Prospathopoulos I, Voutsinas S. Statistical and physical modelling of wind resources in complex terrain: assesment of the applicability of a 3D Navier-Stokes. *European Wind Conference*, 1996, Goeteborg, Sweden
25. Thomas Ackermann, Garner Karen, Gardiner Alister. Wind power generation in weak grids-economic optimisation and power quality simulation. *Renawable Enargy*, Vol 18 1999
26. Wind Energy. *Technical journal*, published twice a year since 1998, Baffins Lane, Chichester UK
27. Walker John F, Jenkins Nicholas. Wind energy technology. Chichester, UK: Wiley, 1997
28. Hojstrup Jorgen, Tammelin Bengt. Wind resources in complex terrain. *Conference in Goeteborg EUWEC* 1996
29. «Riso National Laboratory, Denmark – Wind Energy and Atmospheric Physics Department» <http://www.windatlas.dk>
30. The current of the wind instustry. *The European Wind Energy Association*, Μαιος 2004 – [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
31. WIND FORCE 12. *Global Wind Energy Counsil*. Greenpeace Ιούνιος 2005
32. Αναεώσιμες Πηγές Ενέργειας 2003. Έκθεση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (PAE) – [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
33. «Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EREN) – US Department of Energy»
34. Αναφορά της *Artion Securities S.A.* για την Ελληνική Επιτροπή Εμπορίου
35. Abed K. A. 1994. Variable speed operation of a small scale wind turbines.

*Renewable Energy*, Vol 5, Part III

36. Ebert P. R., Wood D. 1996. Observation of the starting behaviour of a small horizontal-axis wind tyrbine. *Renewable Energy* Vol. 12
37. Habali S. M. 1994. Design and testing of snall mixed aerofoil wind turbine blades. *Renewable Energy* Vol. 6, No 2
38. Arens E., Williams P. B. 1997. The effects of wind on energy consupition in buildings. *Energy and Buildings* Vol. 1
39. Kaldelis J. K. 2002. Optimum autonomus wind-power system sizing for remote consumers, using long term wind speed data. *Applied Energy*, Vol. 71
40. Mays I. D. 1994. Wind energy prospects for the future. *Renewable Energy* Vol. 5, Part 1.
41. Hunter L. J., Watson I. D., Johnson G. T. 1990. Modelling air flow regimes in urban canyons. *Energy and Buildings* Vol. 15-16
42. Mayer C. Bechly M. E., Wood D. 2001. The starting behaviour of a small horintal-axis wind turbine. *Renewable Energy* Vol. 22
43. Som K., Khourt V. 1990. A laboratory investigation into the efficiensy of a small wind turbine. *Proc. Of WREC 1990*
44. Bechly E., Clausen P. D., Ebert P. R., Wood D. H. 1996. Field testing of a prototype 5kw wind turbine. *Proc. Of 18<sup>th</sup> British Wind Energy Association Conference*, Exeter University, UK.
45. Mejia E. R., Filipek J. W., Salazar J. T. 2003. A cheap, reliable and efficient regulator for small horizontal-axis wind turbines. *Applied Energy* Vol. 70
46. Forsyth T. An introdustion to the small wind turbine project. *Proc. Of Windpower '97* Austin, Texas
47. Tripanagnostopoulos Y., Christodoulou A., Tselepis S., Souliotis M., Tonui J.K. 2005. Practical aspects for small wind turbine applications.
48. Reason L., Coates S. 1994. Stimulating the market for wind energy. *Renwable Energy* Vol. 5, Part 1
49. Khennas S., Senerath R., Tedd L. 2002. Micro wind energy systems for battery charging: the technical aspects. *Proc. Of WREC VII 2002*
50. Hopkins W. 1999. Small to medium size wind turbines: local use of resource. *Renewable Energy* Vol. 16

51. Forsyth T., Gilbert J., 1999. Economics of grid-connected small wind turbine in the domestic market. *Proc. AWEA Windpower '99*, Burlington, Vermont, June 20-23
52. Clausen P. D., Wood D, 1999. Research and development issues for small wind turbines. *Renawable Energy* Vol. 16
53. Fragoulis A. N. 1994. Wind energy in Greece development & future perspectives. *Renewable Energy* Vol. 5, Part I
54. Kaldelis J. K. 2002. An intergrated time spending feasibility analysis model of wind energy applications in Greece. *Energy and Policy* Vol. 30
55. Kaldelis J.K., Tsesmelis M. 2002. Intergrated energy balance analysis of a stand-alone wind power system for various typical aegean sea regions. *Wind Power* Vol. 5
56. World Energy Council. *Survey of energy resources* 1998
57. International Energy Agency (IEA) 1997
58. Bogdanovic B, Brand RA, Marjanovic A, Schwikardi M, Tolle J. 200. Metal doped sodium aluminum hydrides as potential new hydrogen storage materials. *Joyrnal Alloys Company*.
59. Dunbar WR, Lior N, Gaggioli RA. 1995. The exergetic advantages of fuel cell systems. *Second Law Analysis of Fuel Cell Systems: Towards the 21st Century*, University of Roma, Italy.
60. Dunn Seth 2002. Hydrogen futures: toward a sustainable system. *International journal of Hydrogen Energy* Vol. 27
61. CHen L., Tong M., Chen DM 2000. Hydrogen Energy Progress XIII, *Procceding of the 13<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference*, China
62. Pop G, Momirlan M. Proceedings 1997. Hypothesis II. *Hydrogen Power Technical and Engineering Solutions*
63. Badescu V, Momirlan M. *Journal of Crystal Growth* 1997
64. Momirlan M, Pop G. 1998. Renewable Energy-Energy Efficiency. *Policy and the Environment*, Part.IV.
65. Momirlan M, Veziroglu TN. Proceedings Flowers '97, Italy, Florence *World Energy Research Symposium "Clean Energy for the New Century"*
66. Linkous CA. 1992. Hydrogen energy progress IX. *Proceedings of the Ninth World Hydrogen Energy Conference*. Paris (France)

67. Vijh AK, Belanger G, Jacques R. 1992. Hydrogen energy progress IX. *Proceedings of the Ninth World Hydrogen Energy Conference*. Paris (France)
68. Pushpavanam S, Pushpavanam M, Natarajan SR, Narasimhan KC 1994. *International Journal of Hydrogen Energy*. China
69. Anpo M, Tomonari M, Fox MA. 1989. *Journal of Physical Chemistry Compendex Beilstein Abstracts*.
70. Gratzel MA. 1993. Energy resources through photochemistry and catalysis. New York: *Academic Press Inc*.
71. Singh SP, Srivastava SC, Pandey KD. 1992. *Proceedings of the Ninth World Hydrogen Energy Conference*. Paris (France).
72. Venkataraman C, Vatsala IM. 1990 Hydrogen energy progress VIII. *Proceedings of the Eighth World Hydrogen Energy Conference*. Honolulu (Hawaii).
73. Kajiura H, Tsutsui S, Kadono K, Ata M, Murakami Y. 2003. Hydrogen storage capacity of commercially available carbon materials at room temperature. *Applied Physics Letter*.
74. Karakitsou KE, Verykios XE. 1993. *Journal of Physical Chemistry*. Beilstein Abstracts.
75. Lindberg G, Olivry M, Sparr M. Olivry M. 1999. Carbonate Fuel Cell Technology
76. Zhou L, Zhou YP, Sun Y. 2004. Enhanced storage of hydrogen at the temperature of liquid nitrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*.
77. Olsommer B, von Spakovsky MR, Favrat D. 1999. An approach for the time-dependent thermoeconomic modeling and optimization of energy system synthesis, design and operation. *International Journal of Applied Thermodynamics*, Part II: reliability and availability.
78. Monanteras NC, Frangopoulos CA. 1998. Towards synthesis optimization of a fuel-cell based plant. Proceedings of the International Symposium on Sciency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Aspects of Energy Systems and Processes
79. McNeill JR 2000. Something new under the Sun: an environmental history of the twentieth-century world. *International Energy Agency (IEA) Vol.1 New York-h2*

80. Fuel Cell Handbook. 5th ed. EG&G Services Parsons, Inc. *Science Applications International Corporation*.
81. Gabis IE, Evard EA, Gordeev SK, Ekstrom T. 2002. Carbon nanomaterial for hydrogen uptake and storage. Hydrogen materials science and chemistry of metal hydrides. NATO Science Series, Part II mathematics, physics and chemistry, Vol. 71
82. Galdo J. 2001. United States Department of Energy Headquarters, Bologna *Conference on Fuel Cells*. Italy.
83. Kainthla RC, Khan SUM, Bockris JO 1997. *International Journal of Hydrogen Energy*
84. Holroyd RA., Bielschi BH. 1978. *Journal of the American Chemical Society*.
85. Olsommer B, von Spakovsky MR, Ellis MW, Nelson DJ. 1999. Proton exchange membrane fuel cell: the need for a realistic simulation model. *Mechanical Engineering Department Internal Report*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg
86. Singh SP. Srivastava SC, Pandey KD. 1990. *International Journal of Hydrogen Energy*
87. Turner J. A. 1999. A realizable renewable energy future. *Science Magazine* 1999, note 5
88. Wang QK, Zhu CC, Liu WH, Wu T. 2002. Hydrogen storage by carbon nanotube and their films under ambient pressure. *International Journal Hydrogen Energy*.
89. Zuttel A, Wenger P, Rensch S, Sudan P, Mauron P, Emmenegger C. 2003. LiBH<sub>4</sub> a new hydrogen storage material. *Journal Power Sources*.
90. Wagner F. 1999. Multi-criteria analysis approach for systems based on fuel cell technologies: cogeneration applications. *Projet de Diplome*. Virginia Polytechnic Institute and State University and the Ecole Polytechnique Lausanne
91. Momirlan M, Sayigh AM 1994. *Renewable Energy* Vol. 5 Part III
92. Moza A. M. 2001. Solid oxide fuel cell for combined heat and power applications. *Netherlands Energy Research Foundation ECN* Petten, Netherlands.
93. Miyake J, Kawamura S. 1987. *International Journal of Hydrogen Energy* Compendex

94. Bialasiewicz J. T., Muljadi E., Drouihlet, Nix D. 1998. Modular simulation of a hybrid power system with diesel and wind turbine generation. *Windpower '98*, Bakersfield, NREL.
95. Elhadidy M. A., Shaadid S. M. 2000. Parametric study of hybrid (wind+diesel+solar) power generating systems. *Renewable Energy* Vol. 21
96. McGovan J. G., Manwell J. F., Avelar C. 1996. Hybrid wind/PV/diesel power systems modeling and south American applications. *Proc. Of WREC* 1996.
97. Shalaby M., Badr A. 1994. A response surface optimization methodology for a wind-diesel energy system. *Renewable Energy* Vol.5, part III.
98. Infield D. G. 1994. Wind diesel design and the role of short term flywheel energy storage. *Renewable Energy* Vol.5, part I.
99. Lipman N. H. 1994. Overview of wind diesel systems. *Renewable Energy* Vol. 5, part I.
100. Lipman N. H. 1990. Overview of wind/diesel systems. *Proc Of WREC*
101. Elhadidy M. A. 2001. Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems. *Renewable Energy* Vol. 5, part III.
102. Binder H., Uhlen K., Lundsager P. 1992. Power quality and grid stability of simple wind-diesel systems: results from Riso's experimental system. *Proc. Of 14<sup>th</sup> BWEA wind Energy Conference*.
103. Elhadidy M. A., Shaadid S. M. 1998. Optimal sizing of battery storage for hybrid (wind+diesel) power systems. *Renewable Energy* Vol. 18.
104. Lunsager P., Bindner H. 1994. A simple, robust & reliable wind diesel concept for remote power supply. *Renewable Energy* Vol. 5, part I.
105. McGowan J. D., Manwell J. F. 1988. Wind/ Diesel energy systems: Review of design options and recent developments. *Solar Energy* Vol. 41 No 6.
106. Bacos G. C., Tsagas N. F. 2003. Technoeconomic assessment of a hybrid solar/wind installation for electrical energy saving. *Energy and Buildings* Vol. 35 (2003)
107. Celik A. N. 2001. The system performance of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems using synthetically generated weather data. *Renewable Energy* Vol. 27 (2002)
108. Celik A. N. 2002. Optimisation and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems. *Energy and Conversion & Management* Vol. 43



109. Shaadid S. M., Elhadidy A. 2003. Prospects of autonomous/stand-alone hybrid (photovoltaic+diesel+ battery) power system on commercial applications in hot regions. *Renewable Energy* Vol. 29 (2004)
110. Gomaa S., A. K. Aboul Seoud, H. N. Kheiralla 1995. Design and analysis of photovoltaic and wind energy hybrid systems in Alexandria, Egypt. *Renewable Energy* Vol. 6 No. 5-6
111. Garg H. P., Adhikari R. S. 1999. Performance analysis of a hybrid photovoltaic/thermal collector with integrated CPC troughs. *International Journal of Energy Res.* 23
112. B. Ai, H. Yang, H. Shen 2003. Computer-aided design of PV/ wind hybrid system. *Renewable Energy* Vol. 28
113. Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M., Yianoulis P. 2002. Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy* Vol. 72, No.3
114. Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M. 2000. Low cost improvements to building integrated air cooled hybrid PV-Thermal systems. *In Proc. 16<sup>th</sup> European PV Solar Energy Conf.* Glasgow, UK Vol. 11
115. Urli N.B., Kamenski M. 1998. Hybrid photovoltaic/wind grid-connected power plants in Croatian renewable energy program. *Renewable Energy* Vol. 15
116. Amarante Odilon AC, Schultz DJ, Bittencourt RM, Rocha NA. 2001. Wind-hydro Complementary Seasonal. Regimes in Brazil. *DEWI Magazine*
117. Cadenas R, Mota R, Gallegos I, Lopez S. 2001. Wind and hydro power plants as a hybrid system. *Proceedings of Windpower*, Washington DC
118. Kaldelis J. K., Kavadias K. A. 2001. Optimal wind-hydro solution for Aegean Sea Islands electricity demand fulfillment. *Applied Energy* Vol.70
119. O.A. Jaramillo, M.A. Borja, J.M. Huacuz 2004. Using hydropower to complement wind energy:a hybrid system to provide firm power. *Renewable Energy* Vol. 29
120. Kaldelis J. K., Kavadias K., Christinakis E. 2001. Evaluation of the wind-hydro energy solution for remote islands. *Energy Conversion and Management* Vol. 42
121. Thorban K., Leijon M. 2004. Case study of upgrading for a small hydro power station. *Renewable Energy* Vol. 30
122. Melbourne Docklands Ecologically Sustainable Development (ESD) Guide, November 2003. See [www.docklands.com](http://www.docklands.com)

123. Outside The Square. *Refocus Magazine*. May/June 2004.
124. Dr. Neil Campbell, Mr. Sinisa Stankovic 2001. Wind energy for the built environment. *Procs. European Wind Energy Conference & Exhibition*, Copenhagen, 2-6 July 2001.
125. R. Zmeureanu, C. Peragine 1999. Evaluation of interactions between lighting HVAC systems in a large commercial building. *Energy & Conversion Management* Vol. 40.
126. Wind Energy in Urban Areas. *Refocus Magazine*. March./April. 2002
127. The Wind Energy Frontier. *Refocus Magazine* July/August 2004.
128. Zmeureanu R, Fazio P 1991. Analysis of energy performance of office buildings in Montreal in 1988. *Energy and Buildings*.
129. Mertens, S 1998. Wind description for roof locating of wind turbines, internal report TU Delft, section wind energy. [www.awea.org](http://www.awea.org)
130. G.J.W. van Bussel 1999. An Assessment of the Performance of Diffuser Augmented Wind Turbines (DAWT's). *Procs. 3rd ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference*
131. J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. Rogers, A. Ellis, S. Wright 2000. Wind turbine siting in an urban environment: The Hull, 660 kW turbine. [www.awea.org](http://www.awea.org)
132. Vries, O. de 1979. Fluid dynamic aspects of wind energy conversion. *Agard-AG*
133. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας 2003. Έκθεση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) – [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
134. E. Kavak Akpınar, S. Akpınar b. An assessment on seasonal analysis of wind energy characteristics and wind turbine characteristics August 2004
135. Simiu, Emil and Scanlan, Robert 1998. Wind Effects on Structures. *John Wiley & Sons, inc.*
136. Drwiega A. 2003. Economic and technical issues affecting the development of the wind-power industry in Poland. *Applied Energy* Vol. 74
137. Paul Allen, Dr Bob Todd 1995. Off the Grid: managing independent renewable electricity systems. *CAT publications New Futures*, October.
138. Frank B. Eldridge. Wind machines. *National Science Foundation Research*, Washington, 1985
139. Milligan M. R. 1999. Modelling utility-scale wind power plants. Part II: Design. *Wind Energy*. Vol.2

140. The Guide to Small Wind Energy Conversion Systems 1987. *BWEA's Small Wind Turbine Committee*. (Edited by J W Twidell, and published by Cambridge University Press, ISBN 0-521-26898-2)
141. Marcos S. Miranda, David Infield 2002. A wind-power seawater reverse osmosis system without batteries. *Center for Renewable Energy Systems Technology CREST, Loughborough University*.
142. A. Hanafi, 1994. Desalination using renewable energy sources. *Desalination* Vol.97
143. C. T. Kiranoudis, N. G. Voros, Z. B. Maroulis 1997. Wind energy exploitation for reverse osmosis desalination plants. *Desalination* Vol. 109
144. Z. Rahal, D. G. Infield 1997. Wind powered stand alone desalination. *EWEC* October 1997
145. CRES, Greece, Desalination Guide Using Renewable Energies. *THERMIE-DG XVII*, European Commission Report 1998
146. Michelle Miilu 2003. Desalination and its potential for Harnessing Brine and solar energy in the US Virgin Islands. *B.S., Natural Resources and Environmental Science*
147. Renewable Energy Driven Desalination Systems-REDDES. *Commission of the European Communities Directorate-General for Energy and Transport* 2001
148. Cordis database of the European Commission [www.cordis.lu](http://www.cordis.lu)
149. I. Cruz 1996. Seawater desalination plants connected to an autonomous wind energy system. *Proc. of the European Union Wind Energy Conference*. Goteborg, Sweden

#### *Δ. Web-sites*

1. [www.awea.com](http://www.awea.com)
2. [www.wind-power.org](http://www.wind-power.org)
3. [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
4. [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)
5. [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
6. [www.windustry.com](http://www.windustry.com)
7. [www.btm.dk](http://www.btm.dk)