

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΙΚΡΩΝ  
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥΣ**



**ΜΑΚΡΗ Δ. ΜΑΡΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ. ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2014**

# **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

## **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥΣ**



**ΜΑΚΡΗ Δ. ΜΑΡΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ. ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

<b>Γ. ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ,</b>	<b>Καθηγητής</b>
<b>Ν. ΣΥΓΡΙΜΗΣ,</b>	<b>Καθηγητής</b>
<b>Κ. ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ,</b>	<b>Αναπληρωτής Καθηγητής</b>

**ΑΘΗΝΑ 2014**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις πιο σημαντικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με τις ανεμογεννήτριες. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με τις τεχνολογίες των μικρών ανεμογεννητριών και τις εφαρμογές τους.

Αρχικά γίνεται αναφορά στο θεσμικό πλαίσιο τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Διατυπώνεται η ισχύουσα νομοθεσία, η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί ώστε να γίνει διασύνδεση με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι τιμές που κοστίζει η kWh.

Στη συνέχεια, τονίζονται οι δυνατότητες αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού σε αστικές, περιαστικές και αγροτικές περιοχές και οι προϋποθέσεις που χρειάζονται για την εγκατάστασή τους. Αναφέρονται οι παράμετροι που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να έχουμε το μέγιστο βαθμό απόδοσης ανάλογα την περιοχή και την ανεμογεννήτρια.

Συνεχίζοντας συγκρίνεται με την βοήθεια του λογισμικού Homer μια συμπεριφορά ενός συστήματος μικρών ανεμογεννητριών σε διαφορετικές περιοχές. Ακόμα αναφέρεται η οικονομική ανάλυση της επένδυσης ενός τέτοιου συστήματος.

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο της εργασίας, παραθέτονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για βελτίωση τέτοιων συστημάτων.

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ**

Αιολική ενέργεια, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μικρές ανεμογεννήτριες, συντελεστής ισχύος, πτερύγια ανεμογεννητριών

## **ABSTRACT**

Wind energy technology is one the most important Renewable Energy Source. Its transformation in electric energy is achieved with the wind generators. This study reports the small wind turbine technologies and their applications.

Initially it is mentioned the national and European institutional frame. It is also pointed out the current legislation, the process that should be followed in order to be connected with the electric energy distribution network, and the cost per kWh.

Afterwards, the possibilities of exploitation in urban, suburban and rural regions, and the conditions that are needed for their installation, are stated, as well as the parameters that should be taken into account in order to succeed the biggest efficiency.

Then, using the Homer software it is compared the behavior of a system with small wind generators in different regions. It is also explained the financial analysis of the investment in such a system.

Finally, by taking into account the whole study, conclusions and proposals for the improvement of small wind generator systems are reported.

## **KEY WORDS**

wind energy, renewable energy source, small wind turbines, power coefficient, wind turbine blades

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	9
1.1. Η αιολική ενέργεια.....	9
1.2. Οι μικρές ανεμογεννήτριες.....	9
1.3. Τύποι ανεμογεννητριών.....	10
1.4. Α/Γ οριζόντιου άξονα.....	12
1.5. Α/Γ κατακόρυφου άξονα.....	16
1.6. Βασικά μέρη Α/Γ.....	17
1.7. Χώρος εγκατάστασης μικρών Α/Γ.....	19
2. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ Α/Γ.....	20
2.1. Όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση μικρών α/γ.....	20
2.2. Αδειοδότηση (ενεργειακή και περιβαλλοντική).....	21
2.3. Πολεοδομικά θέματα και χώρος εγκατάστασης.....	25
2.4. Σύναψη Σύμβασης πώλησης και αγοράς της ενέργειας.....	29
2.5. Πιστοποίηση σε άλλες χώρες.....	31
3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ, ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ.....	34
3.1. Εκτίμηση αιολικού δυναμικού.....	35
3.2. Κατηγοριοποίηση του Αιολικού Δυναμικού μέσης ετήσιας τιμής ανέμου ..	35
3.3. Προϋποθέσεις για την εγκατάσταση συστήματος και παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη.....	37
3.4. Απόδοση συστήματος.....	39
4. ΝΕΕΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΚΡΩΝ Α/Γ.....	41
4.1. Εφαρμογές των μικρών α/γ.....	41
4.2. Εξέλιξη της τεχνολογίας των μικρών α/γ.....	43
4.3. Ανάπτυξη της αγοράς.....	46
4.4. Θόρυβος μικρών α/γ και περιβαλλοντικά θέματα.....	47
4.5. Μελέτη πειραματικής πολύ μικρής και φορητής Α/Γ.....	50
4.6. Η ανεμογεννήτρια Windlens.....	56
4.7. Η ανεμογεννήτρια Vortex Wind Funnel.....	59
4.8. Η λογαριθμική σπειροειδής ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.....	61
5. Η ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ Α/Γ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	65
5.1. Βασικές άδειες.....	65

5.2. Δάνεια για μικρές α/γ.....	66
6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ Α/Γ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER....	68
6.1. Χαρακτηριστικά στοιχεία συστήματος.....	68
6.2. Αποτελέσματα.....	70
7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	75
7.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την επένδυση ενός συστήματος μικρών α/γ ..	75
7.2. Τιμολόγηση επένδυσης.....	75
7.3. Απόσβεση επένδυσης.....	77
7.4. Επένδυση συστήματος α/γ συνδεδεμένης στο δίκτυο.....	78
8. Συμπεράσματα.....	81
9. Βιβλιογραφία.....	83
10. Παράρτημα.....	85

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση μικρών ανεμογεννητριών.....	11
Πίνακας 2. Υποχρέωση και αρμόδιες υπηρεσίες για περιβαλλοντική αδειοδότηση μικρών α/γ.....	25
Πίνακας 3. Βαθμοί όχλησης μικρών ανεμογεννητριών.....	26
Πίνακας 4. Απαιτούμενες αποστάσεις μικρών ανεμογεννητριών από οικισμούς.....	27
Πίνακας 5. Εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών.....	42
Πίνακας 6. Ενδεικτικές τιμές στάθμης ήχου σε συνάρτηση με την απόσταση.....	49
Πίνακας 7. Επίπεδο θορύβου μερικών δραστηριοτήτων.....	49
Πίνακας 8. Μερικές μικρές ανεμογεννήτριες.....	52
Πίνακας 9. Τα βασικά χαρακτηριστικά της SWEPT.....	55
Πίνακας 10. Αναλυτικός πίνακας κόστους συστήματος ανεμογεννήτριας στην Νάξο.....	72
Πίνακας 11. Αναλυτικός πίνακας κόστους συστήματος ανεμογεννήτριας στην Αθήνα.....	72
Πίνακας 12. Κόστος εγκατεστημένης ισχύος.....	76
Πίνακας 13. Πίνακας αρχικού κόστους επένδυσης και λειτουργικών εξόδων ανά κατηγορία μικρών ανεμογεννητριών.....	78
Πίνακας 14. Αναλυτικός πίνακας κόστους συστήματος ανεμογεννήτριας, συνδεδεμένης με το δίκτυο, στην περιοχή της Νάξου.....	80

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1. Τυπικά διαγράμματα cp - λ για διάφορες διατάξεις πτερυγίων ανεμογεννητριών.....	13
Γράφημα 2. Διάγραμμα ταχύτητας λειτουργίας – απόδοσης. Σύγκριση της SWEPT με άλλες μικρές α/γ.....	53
Γράφημα 3. Διάγραμμα γωνίας κλίσης πτερυγίου – ακτίνας.....	54
Γράφημα 4. Σύγκριση της ανεμογεννήτριας Windlens με τις συμβατικές.....	58
Γράφημα 5. Η ταχύτητα του ρευστού στα διάφορα σημεία της σπειροειδούς α/γ.....	63
Γράφημα 6. Ταχύτητα σπειροειδούς α/γ για διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.....	64
Γράφημα 7. Διάγραμμα καμπύλης ισχύος της α/γ BWC Excel-R.....	69
Γράφημα 8. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για την περιοχή της Νάξου.....	69

Γράφημα 9. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για την περιοχή της Αθήνας.....	70
Γράφημα 10. Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος της Νάξου.....	71
Γράφημα 11. Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος της Αθήνας.....	71
Γράφημα 12. Κόστος εξαρτημάτων συστήματος μικρής ανεμογεννήτριας στη Νάξο.....	71
Γράφημα 13. Κόστος εξαρτημάτων συστήματος μικρής ανεμογεννήτριας στην Αθήνα.....	72
Γράφημα 14. Διαγράμματα κατάστασης φόρτισης μπαταριών στο σύστημα της Νάξου.....	73
Γράφημα 15. Διάγραμμα συχνότητας φόρτισης μπαταριών για το σύστημα της Νάξου.....	73
Γράφημα 16. Διαγράμματα κατάστασης φόρτισης μπαταριών στο σύστημα της Αθήνας.....	74
Γράφημα 17. Διάγραμμα συχνότητας φόρτισης μπαταριών για το σύστημα της Αθήνας.....	74
Γράφημα 18. Διάγραμμα καμπύλης ισχύος α/γ WES50.....	79
Γράφημα 19. Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του διασυνδεδεμένου συστήματος της Νάξου.....	79

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.....	15
Εικόνα 2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.....	17
Εικόνα 3. Διαδικασία για εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας.....	30
Εικόνα 4. Χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.....	35
Εικόνα 5. Η μικρή ανεμογεννήτρια SWEPT.....	50
Εικόνα 6. Τα πτερύγια της SWEPT σε διαφορετικές όψεις.....	55
Εικόνα 7. Οι ανεμογεννήτριες Windlens.....	57
Εικόνα 8. Ροή αέρα σε μια ανεμογεννήτρια Windlens.....	57
Εικόνα 9. Η ανεμογεννήτρια Vortex Wind Funnel.....	59
Εικόνα 10. Ροή αέρα σε μια συμβατική ανεμογεννήτρια και στην Λογαριθμική.....	62



## 1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 1.1 Η Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα. Η ακανόνιστη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί τους ανέμους. Η θερμότητα που απορροφάται από το έδαφος ή το νερό μεταφέρεται στον αέρα, όπου προκαλεί διαφορές στη θερμοκρασία, την πυκνότητα και την πίεση του. Με τη σειρά τους, οι διαφορές αυτές προκαλούν δυνάμεις που ωθούν τον αέρα ολόγυρα. Σύμφωνα με τη μηχανική των ρευστών, ο αέρας κινείται από τις υψηλής πίεσης προς τις χαμηλής πίεσης του πλανήτη.

Σε παγκόσμια κλίμακα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τροπικών και των πόλων προκαλεί τους αληγείς ανέμους, οι οποίοι δρουν ως γιγαντιαίος εναλλάκτης θερμότητας εμποδίζοντας την περαιτέρω θέρμανση του ισημερινού και ψύξη των πόλων. Σε πολύ μικρότερη κλίμακα, οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του εδάφους και της θάλασσας και μεταξύ των βουνών και των κοιλάδων δημιουργούν συχνά ισχυρές αύρες. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζονται επίσης από άλλους παράγοντες, όπως είναι η περιστροφή της γης, τα τοπικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και η τραχύτητα του εδάφους.

Ο άνεμος περιέχει ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με την χρήση των ανεμογεννητριών (α/γ). Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγουν οι α/γ εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας του διερχόμενου μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια της α/γ στη μονάδα του χρόνου ανέμου. Αυτή η ροή ενέργειας ονομάζεται πυκνότητα ισχύος του ανέμου.

### 1.2 Οι μικρές ανεμογεννήτριες

Οι μικρές ανεμογεννήτριες, όπως και οι μεγάλες, εκμεταλλεύονται την ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά ανεμογεννήτριες με διάμετρο μικρότερη από 20 m και ισχύ εξόδου κάτω από 50 kW ανήκουν στην κατηγορία των μικρών.

Τα μεγέθη τους όμως ποικίλουν, ξεκινώντας από οικιακής εγκατάστασης ανεμογεννήτριες με διάμετρο μικρότερης του ενός μέτρου και ισχύος μικρότερης του ενός kW, μέχρι ανεμογεννήτριες διαμέτρου 20 m και ισχύος 50 kW.

Ένας άλλος παράγοντας στον οποίο οι μικρές ανεμογεννήτριες διαφέρουν από τις μεγάλες διασυνδεδεμένες είναι η αποδοτικότητα παραγωγής. Αρχικά, η αποδοτικότητα των μικρών α/γ δεν είναι πολύ γνωστή καθώς δεν υπάρχουν πολλές διαθέσιμες πληροφορίες. Κατά δεύτερον, οι τιμές είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές των μεγάλων α/γ.

Ωστόσο οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες έχουν διάμετρο 7 m, ή και λιγότερο, και παραγόμενη ισχύ μεταξύ 1 kW και 10 kW. Για τις πολύ μικρές εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα σε απομακρυσμένες περιοχές, οι ανεμογεννήτριες έχουν διάμετρο μικρότερη από 2 m και ισχύ λιγότερο από 1 kW.

Στην Ελλάδα μέχρι πρότινος, αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες παρέμεναν άγνωστες κυρίως διότι δεν υπήρχε ένα συγκεκριμένο νομοθετικό πλαίσιο ενώ δεν είχαν θεσπιστεί ούτε οικονομικά κίνητρα για την εγκατάστασή τους. Ωστόσο, η τεχνολογία εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας από τις μικρές ανεμογεννήτριες είναι σε άλλες χώρες πολύ δημοφιλής και διαδεδομένη.

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δύο τύπους, οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Γενικά, οι οριζόντιου άξονα χρησιμοποιούνται συχνότερα και σε σύγκριση με αυτές κάθετου άξονα είναι πιο αποδοτικές και πιο αξιόπιστες λόγω της καλύτερης ισορροπίας του στροφέα.

### **1.3 Τύποι ανεμογεννητριών**

Οι μικρές ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, κάθετου άξονα και οριζόντιου άξονα.

### Κάθετου άξονα

- χαρακτηρίζονται ως ανεμογεννήτριες για αστικό περιβάλλον
- δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις αυξημένες διαταραχές του ανέμου (τύρβη)
- παράγουν σχετικά χαμηλότερο θόρυβο σε σχέση με τις α/γ οριζοντίου άξονα
- περιορισμένη διαθεσιμότητα α/γ με ισχύ άνω των 10kW - χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τις α/γ οριζοντίου άξονα

### Οριζόντιου άξονα

- Μεγάλο μερίδιο στην αγορά των μικρών ανεμογεννητριών
- Προτείνονται για εγκαταστάσεις εκτός και εντός αστικών περιοχών
- Μεγάλο εύρος επιλογής ισχύος α/γ ανάλογα με τις απαιτήσεις

Η κατηγοριοποίηση των μικρών α/γ προκύπτει από το πρότυπο IEC 61400-2 βάσει της επιφάνειας σάρωσης. Οι τιμές που καθορίζουν το εύρος αυτής της κατηγοριοποίησης έχουν επιλεγεί σύμφωνα με τους κανόνες και την νομοθεσία που αναφέρονται στις μικρού τύπου ανεμογεννήτριες. Η τιμή των 40 m<sup>2</sup> ήταν το όριο που εδραιώθηκε στην πρώτη έκδοση του προτύπου IEC 61400-2, και είναι το καθορισμένο εύρος στην παρούσα φάση για την ενσωμάτωση των μικρών ανεμογεννητριών στον κατασκευαστικό χώρο. Το όριο των 200 m<sup>2</sup> εδραιώθηκε στην δεύτερη έκδοση του προτύπου IEC 61400-2 το 2006 και συμπεριλαμβάνει τις περισσότερες εφαρμογές των μικρών ανεμογεννητριών. Τέλος το όριο των 100 kW έχει καθοριστεί σε πολλές χώρες ως η μέγιστη ισχύς που μπορεί να συνδεθεί απευθείας σε δίκτυο χαμηλής τάσης. Παρόλα αυτά στην Ελλάδα προνομιακή τιμή για το ρεύμα που παράγουν λαμβάνουν ανεμογεννήτριες μέχρι 50 kW. Το μικρότερο εύρος ανέμου για τις μικρές ανεμογεννήτριες που είναι κοινά αποδεκτό είναι μικρότερο από 1 kW.

Πιο συγκεκριμένα, ισχύει ο ακόλουθος πίνακας:

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση μικρών ανεμογεννητριών[11]

	Μicro	Πολύ Μικρές	Μικρές
Επιφάνεια Σάρωσης	$A \leq 3.5 \text{ m}^2$	$3.5 \text{ m}^2 < A \leq 40 \text{ m}^2$	$40 \text{ m}^2 < A \leq 200 \text{ m}^2$
Διάμετρος Στροφείου	$D \leq 2.1 \text{ m}$	$2.1 \text{ m} < D \leq 7 \text{ m}$	$7 \text{ m} < D \leq 16 \text{ m}$
Ονομαστική Ισχύς	$P \leq 1 \text{ kW}$	$1 \text{ kW} < P \leq 10 \text{ kW}$	$10 \text{ kW} < P \leq 75 \text{ kW}$

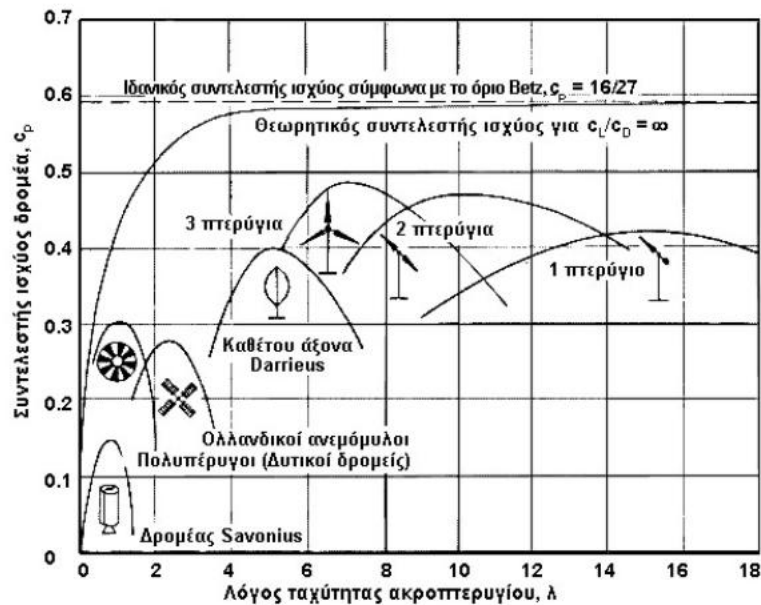
Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι στην κατηγορία των μικρών ανεμογεννητριών μπορούν να ενταχθούν και α/γ μεγαλύτερης ισχύος, ωστόσο, βάσει της νομοθεσίας, εκείνες που είναι μέχρι 50 kW λαμβάνουν την προνομιακή τιμή για το ρεύμα που παράγουν.

#### 1.4 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους είναι τοποθετημένη είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου.

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων “αμερικανικού τύπου”, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

Από την άλλη πλευρά στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζοντίου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα, και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας”. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές του συντελεστή περιστροφής “λ”, με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο.



Γράφημα 1. Τυπικά διαγράμματα  $c_p - \lambda$  για διάφορες διατάξεις πτερυγίων ανεμογεννητριών[4]

Οι πρώτοι δρομείς που κατασκευάστηκαν είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με αρκετά λεπτά πτερύγια. Στις ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας” γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της περωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων (π.χ. “flaps”) στην άκρη των πτερυγίων είτε με τη στροφή της περωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την περωτή μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και σήμερα, ενώ έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW.

Όσον αφορά τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, και κυρίως οι μηχανές τύπου έλικα είναι:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος σχεδιασμός των παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα της ανεμογεννήτριας, δηλαδή του αριθμού πτερυγίων, της διανομής του πλάτους του πτερυγίου, της κατάλληλης αεροτομής

που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση του πτερυγίου, της συστροφής του πτερυγίου, της διανομής βήματος κ.λ.π.

- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα. Ένα κρίσιμο θέμα της κατηγορίας αυτής αποτελεί η ροπή εκκίνησης του δρομέα, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει και η συμπεριφορά της πτερωτής σε χρονικά μεταβαλλόμενο πεδίο ροής παρουσία τύρβης.

- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Η ρύθμιση του βήματος γίνεται είτε σε ολόκληρο το πτερύγιο είτε σε μέρος του, με σκοπό αφενός τον περιορισμό της ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, αφετέρου τη διατήρηση σταθερών στροφών της μηχανής. Επίσης, η μεταβολή του βήματος γίνεται με σκοπό την επίτευξη του μέγιστου βαθμού απόδοσης της πτερωτής για διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και για τη μεγιστοποίηση της ροπής για διευκόλυνση της εκκίνησης της μηχανής. Επιπλέον, τα συστήματα αυτοματισμών πρέπει να επιτρέπουν την εκκίνηση της πτερωτής για ταχύτητα ανέμου ίση με την ταχύτητα ενάρξεως λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και να διακόπτουν την λειτουργία της πτερωτής για πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου ή σε περιπτώσεις που η παραγόμενη αιολική ισχύς δεν γίνεται αποδεκτή από το δίκτυο.

- Ο προσανατολισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.

- Τα προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν ίσως τα βασικότερα προβλήματα κατασκευής ανεμογεννητριών υψηλής αξιοπιστίας, δεδομένου ότι ο άνεμος εξασκεί πάνω στα πτερύγιά τους σημαντικές δυνάμεις, ιδιαίτερα σε μηχανές μεγάλων διαστάσεων.

- Ο καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος. Ο ακριβής καθορισμός του ύψους του δρομέα πρέπει να συνεκτιμά τη μορφή του πεδίου ροής, που προσβάλλει την πτερωτή (τραχύτητα εδάφους, φυσικά ή τεχνητά εμπόδια κ.λ.π.). Εν γένει έχουμε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, με παράλληλη όμως αύξηση και της

δαπάνης κατασκευής της εγκατάστασης. Συνεπώς απαιτείται, μια πλήρης οικονομοτεχνική μελέτη για τον καθορισμό του βέλτιστου ύψους μιας α/γ, αν και οι κατασκευάστριες εταιρίες σήμερα διαθέτουν τις μηχανές τους σε ένα ή δύο προκαθορισμένα ύψη, που ξεκινούν κατά κανόνα από την τιμή της διαμέτρου του δρομέα της μηχανής.

- Η κατασκευή του πύργου στηρίξεως και η θεμελίωσή του. Ο πύργος στηρίξεως πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις. Επιπλέον, πρέπει να μελετηθούν φαινόμενα αλληλεπίδρασης περιστρεφόμενων πτερυγίων και πύργου στηρίξεως καθώς και θεμελίωσης α/γ σε εδάφη περιορισμένης στερεότητας, όπως ο βυθός της θάλασσας. Τα προβλήματα αλληλεπίδρασης είναι πλέον σημαντικά για μηχανές με την πτερωτή τους σε υπήνεμη διάταξη.

- Η μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή. Στόχος της εν λόγω ανάλυσης είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης α/γ σε διάφορες διατάξεις καθώς και ο καθορισμός της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης μεταξύ των μηχανών, με τον περιορισμό της χρήσης του ελάχιστου δυνατού εμβαδού, ώστε να μεγιστοποιείται η αξιοποίηση της γης.



Εικόνα 1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα [7]

## 1.5 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστροφής έχουν, συνήθως, χαμηλότερη απόδοση σχετικά με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, γι' αυτό δεν είναι και ιδιαίτερα διαδεδομένες. Ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον, ενώ είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματικές στο αστικό περιβάλλον, καθώς έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται τους ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κατασκευής ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, η Savonius και η Darrieus. Η Savonius έχει σχήμα S στην κάτοψη, ενώ η Darrieus είναι σαν καλάθι. Ωστόσο, υπάρχουν και ανεμογεννήτριες που είναι συνδυασμός των δύο αυτών τύπων.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστροφής είναι πιο αθόρυβες και επηρεάζονται λιγότερο από τις αναταράξεις και τις δονήσεις, συγκριτικά πάντα με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, επειδή δεν χρειάζονται άνεμο συγκεκριμένης διεύθυνσης για να περιστραφούν. Από την άλλη πλευρά, απαιτούν, σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερη αιολική ενέργεια για να τεθούν σε κίνηση και ελαφρώς υψηλότερες ταχύτητες ανέμου για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά, κάτι το οποίο είναι δυσκολότερο να επιτευχθεί στο αστικό περιβάλλον. Βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι τα μικρά συστήματα εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας, υστερούν σε απόδοση, καθώς η παραγόμενη ισχύς είναι ανάλογη με την επιφάνεια σάρωσης. Για παράδειγμα μια ανεμογεννήτρια Savonius, ύψους 1 m και διαμέτρου 0,3 m είναι σε θέση να παράγει μόλις 50-100 kWh ενέργειας ετησίως. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες ενδιαφέρουσες κατασκευές ελικοειδών ανεμογεννητριών, σε μορφή DNA, όπως η Quiet Revolution και η Turby.

Αυτά τα συστήματα έχουν, συνήθως, ύψος 5 m και διάμετρο 3 m περίπου. Κατά συνέπεια έχουν τη δυνατότητα να παράξουν μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος εγκατάστασής τους ανέρχεται σε σχεδόν 40000 €. Τέλος, η συντήρηση των ανεμογεννητριών της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι περισσότερο περίπλοκη, καθώς θα πρέπει να αποσυναρμολογηθεί ολόκληρο το σύστημα για να υπάρξει πρόσβαση στα έδρανα.





Εικόνα 2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα [7]

## 1.6 Βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Όλες οι ανεμογεννήτριες, χωρίς να παίζει ρόλο το μέγεθος, αποτελούνται από μερικά βασικά χαρακτηριστικά: το δρομέα, τη γεννήτρια, ένα σύστημα ελέγχου ταχύτητας και τον πύργο. Μερικές μηχανές έχουν συστήματα προστασίας, έτσι ώστε αν ένα μέρος χαλάσει το σύστημα προστασίας σταματάει τα πτερύγια ή βάζει τα φρένα.

### Δρομέας

Για τον δρομέα, οι τάσεις της τεχνολογίας στρέφονται στις ανεπτυγμένους μεθόδους κατασκευής των πτερυγίων κυρίως σε εναλλακτικής κατασκευής τεχνικές όπως έγχυση σε φόρμα, συμπίεση σε φόρμα και αντίδραση της έγχυσης σε φόρμα. Τα πλεονεκτήματα είναι λιγότερος χρόνος κατασκευής, χαμηλότερο κόστος των κομματιών και αύξηση στην επαναληψιμότητα και στην ομοιομορφία, αλλά το κόστος σχεδίασης είναι υψηλότερο.

Γενικά οι μικρές ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται για χαμηλές ταχύτητες ανέμου, το οποίο σημαίνει μεγαλύτερο στροφέα, ψηλότερους πύργους.

### Πτερύγια

Οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες λειτουργούν με δύο ή τρία πτερύγια στροφέα. Οι ανεμογεννήτριες με τρία πτερύγια λειτουργούν πιο ομαλά από αυτές με δύο, και αυτό συνήθως σημαίνει ότι θα λειτουργήσουν για περισσότερο καιρό.

Οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν σύνθετα υλικά στα πτερύγια στροφέα, όπως fiberglass, γυαλί ενισχυμένο με πολυεστέρα. Πολύ λίγες ακόμα χρησιμοποιούν ξύλο. Ενώ άλλες χρησιμοποιούν συνθέσεις όπως ίνες άνθρακα αντί για γυαλί. Καμία όμως δεν χρησιμοποιεί αλουμίνιο λόγω της μεταλλικής καταπόνησης.

Η περισσότερη από την ενέργεια που παράγουν οι ανεμογεννήτριες εξαρτάται από τα πτερύγια. Έτσι τα πτερύγια θεωρούνται από το πιο βασικό κομμάτι μιας ανεμογεννήτριας. Λόγω του μεγέθους τους, στις μικρές ανεμογεννήτριες δεν μπορούμε να προσαρμόσουμε τα συστήματα των μεγάλων ανεμογεννητριών όσον αφορά τον προσανατολισμό τους. Σχεδόν όλες είναι ουραίες ώστε να οδηγήσουν τον στροφέα στην κατεύθυνση του ανέμου. Επίσης, όλες οι ανεμογεννήτριες έχουν τυπικά ένα σύστημα που ελέγχει τον στροφέα στους υψηλούς ανέμους.

- Έλεγχος ροπής εξόδου γεννήτριας
- Έλεγχος με παθητικά φορτία
- Έλεγχος ταχύτητας περιστροφής
- Έλεγχος προσανεμισμού

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των σύγχρονων πτερυγίων ανεμογεννητριών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Ξύλο (συμπεριλαμβανομένων των συνθετικών από αντικολλητά φύλλα ξύλου),
2. Συνδυασμοί συνθετικών (συνήθως πολυεστέρας ή εποξική μήτρα ενισχυμένα με ίνες γυαλιού), και
3. Συνθέσεις όπως ίνες άνθρακα αντί για γυαλί

## **Γεννήτρια**

Οι περισσότερες από τις μικρές ανεμογεννήτριες που υπάρχουν αυτή τη στιγμή, χρησιμοποιούν μία σύγχρονη γεννήτρια μόνιμων μαγνητών.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που πετυχαίνουμε με τις γεννήτριες μόνιμων μαγνητών είναι η γεννήτρια μειωμένης ροπής, η οποία ενισχύει το ξεκίνημα της γεννήτριας με χαμηλή ταχύτητα ανέμου.

Μερικοί κατασκευαστές ακόμα συνεχίζουν να χρησιμοποιούν επαγωγικές γεννήτριες. Ωστόσο, το τελευταίο διάστημα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί επαγωγικές γεννήτριες απευθείας συνδεδεμένες με το δίκτυο σε συστήματα μικρότερα από 50 kW.

Κάποιες από αυτές συνδέονται στο δίκτυο με αντιστροφείς γνωστών εταιρειών του χώρου των φωτοβολταϊκών, οπότε και εξασφαλίζουν τις προδιαγραφές που απαιτούνται από τον

διαχειριστή του συστήματος, όσον αφορά τα ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως η γεννήτρια προστατεύεται από τους υψηλούς ανέμους με τη βοήθεια του συστήματος εκτροπής, με άλλα λόγια ο δρομέας τίθεται εκτός λειτουργίας παθητικά, από αεροδυναμικές δυνάμεις.

## 1.7 Χώρος εγκατάστασης μικρών Α/Γ

Οι απαιτήσεις χώρου για τις μικρές ανεμογεννήτριες δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Και βέβαια είναι σαφώς μικρότερες από εκείνες που απαιτούνται για την εγκατάσταση των γνωστών μεγάλων αιολικών πάρκων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και για τις μικρές ανεμογεννήτριες με τις μεγαλύτερες διαστάσεις οι απαιτήσεις για δέσμευση χώρου είναι ελάχιστες, καθώς ο απαραίτητος χώρος είναι μόλις αυτός που χρειάζεται από το συνεργείο για την εγκατάσταση. Αρκεί να αναφέρουμε ότι μια μικρή ανεμογεννήτρια 50 kW, μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα χώρο (χωράφι, οικόπεδο, βουνοκορφή, κ.τ.λ.) που έχει τουλάχιστον 15×15 m διαθέσιμα για την ανέγερσή της.

Όπως, βέβαια, είναι φυσικό, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί αναφορικά με την εγκατάσταση των μικρών ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα, είναι καλύτερα η εγκατάσταση να μη γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 35 m από πολυσύχναστους δρόμους (κυρίως για λόγους ασφαλείας), όπως και σε απόσταση μικρότερη των 150 m από την κοντινότερη κατοικημένη οικία (κυρίως για λόγους οπτικής / ακουστικής όχλησης σε μικρότερες αποστάσεις). Οι παραπάνω αποστάσεις μπορούν να μειωθούν για αγροτικές οδούς και άλλου είδους κτήρια αντίστοιχα.

## 2 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ Α/Γ

### 2.1 Όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση μικρών Α/Γ

Οι βάσεις για την ανάπτυξη των Μικρών Ανεμογεννητριών στην Ελλάδα τέθηκαν με την υιοθέτηση του Νόμου 3851/2010 με τον οποίο

- προσδιορίστηκαν οι απαιτήσεις περιβαλλοντικής αδειοδότησης,
- οι επενδυτές απαλλάχθηκαν από τις αποφάσεις εξαιρέσης,
- διαμορφώθηκε ειδικό τιμολόγιο για ανεμογεννήτριες < των 50 kW
- οι επενδυτές απαλλάχθηκαν από την ανάγκη εκπόνησης αιολικών μετρήσεων σε επίπεδο αδειοδότησης.

Κρίσιμη παράμετρος για την υλοποίηση της επένδυσης παραμένει η γνώση του αιολικού δυναμικού της περιοχής εγκατάστασης.

1. Η εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών που συνδέονται στο δίκτυο γίνεται αποκλειστικά στο πλαίσιο Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης μικρών Ανεμογεννητριών που καταρτίζεται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Το Πρόγραμμα αφορά εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών για σταθμούς συνολικής ισχύος μέχρι 50 kW σε γήπεδα, οικόπεδα και κτιριακές εγκαταστάσεις, που εγγέουν ενέργεια στο δίκτυο διανομής.

2. Κατά την κατάρτιση του προγράμματος, λαμβάνονται ιδίως υπόψη η δυνατότητα απορρόφησης και η ασφάλεια της λειτουργίας των δικτύων καθώς και θέματα ασφαλούς λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

3. Για την απορρόφηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αιολικό σταθμό μικρών ανεμογεννητριών μπορεί να προβλέπεται ο συμψηφισμός παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται στον ίδιο χώρο στον οποίο αναπτύσσεται ο σταθμός. Με την ίδια απόφαση, καθορίζεται, κατά παρέκκλιση των λοιπών διατάξεων που αφορούν στην ανάπτυξη αιολικών σταθμών, η αδειοδοτική διαδικασία, στην οποία περιλαμβάνεται και ο τρόπος της υποβολής των σχετικών αιτήσεων, η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας και η τυχόν διαφοροποίησή της σε σχέση με αυτή που προβλέπεται στις διατάξεις του άρθρου 13 του ν.3468/2006,

λαμβάνοντας υπόψη κυρίως την ισχύ του σταθμού και τη γειτνίασή του με το δίκτυο, το περιεχόμενο των συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και κάθε άλλη αναγκαία λεπτομέρεια για την εφαρμογή του ως άνω Ειδικού Προγράμματος.

4. Ο αρμόδιος Διαχειριστής απορρίπτει αιτήματα για χορήγηση προσφοράς σύνδεσης, εάν διαπιστώσει ότι καταστρατηγούνται οι διατάξεις για την εξαίρεση από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή την υπαγωγή σε διαδικασία Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ή την αντιστοίχιση σε κατηγορία τιμολόγησης της παραγόμενης ενέργειας.

5. Δεν ικανοποιούνται περισσότερα από δύο αιτήματα για προσφορά σύνδεσης ανά φυσικό ή νομικό πρόσωπο ή ανά φορείς στη μετοχική ή εταιρική σύνθεση των οποίων συμμετέχει το ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο με ποσοστό άνω του 50%. Επίσης δεν ικανοποιούνται αιτήματα για σταθμούς σε απομακρυσμένες από τα δίκτυα διανομής θέσεις, για τη σύνδεση των οποίων απαιτείται, σε ευθεία απόσταση, ανάπτυξη νέου δικτύου μέσης τάσης μήκους άνω των 1000 m .

6. Η περίπτωση δ) της παραγράφου 1 του άρθρου 4 του ν. 3468/2006 αντικαθίσταται ως ακολούθως: «δ) αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των 50 kW».

## **2.2 Αδειοδότηση μικρών ανεμογεννητριών**

### **Ενεργειακή Αδειοδότηση**

Ανεμογεννήτριες ή Αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη  $\leq 100$  kW εξαιρούνται

- από την υποχρέωση έκδοσης άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη διαπιστωτικής απόφασης
- από την υποχρέωση έκδοσης άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας

## Περιβαλλοντική αδειοδότηση

Περίπτωση Α: Με βάση το άρθρο 8, παράγραφος 13 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 3, παράγραφος 2 του ν.3851/2010, οι μικρές α/γ απαλλάσσονται από την υποχρέωση περιβαλλοντικής αδειοδότησης (έκδοσης Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων Ε.Π.Ο. ή λήψης Πρότυπων Περιβαλλοντικών Δεσμεύσεων Π.Π.Δ.) όταν εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η συνολική τους ισχύς δεν υπερβαίνει τα 20 kW.

Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από Ε.Π.Ο. εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας αιρετής Περιφέρειας (Εγκύκλιος 17 ΥΠΕΚΑ, 18.11.2011).

Επιπλέον, ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε κτίρια ή εντός οργανωμένων βιομηχανικών υποδοχέων, ανεξαρτήτως ισχύος, απαλλάσσονται τόσο από την υποχρέωση έκδοσης Απόφασης Ε.Π.Ο. όσο και βεβαίωσης απαλλαγής από Ε.Π.Ο.

Περίπτωση Β: Ωστόσο, σε διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης υπόκεινται οι μικρές α/γ με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση με το ως άνω όριο των 20 kW εφόσον εγκαθίστανται:

- σε γήπεδα που βρίσκονται σε οριοθετημένες περιοχές του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτιες ζώνες που απέχουν λιγότερο από 100 m από την οριογραμμή του αιγιαλού (εκτός βραχονησίδων),
- σε απόσταση μικρότερη των 150 m από γήπεδο εγκατάστασης (ως γήπεδο εγκατάστασης νοούνται οι κορυφές του πολυγώνου του γηπέδου) όπου χωροθετείται άλλος αιολικός σταθμός για τον οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση Ε.Π.Ο. ή προσφορά σύνδεσης και εφόσον η ισχύς του συνόλου των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών υπερβαίνει (αθροιστικά) το προαναφερθέν καθοριζόμενο όριο των 20 kW, με βάση δημοσιοποιημένα στοιχεία ή ίδια προφανή γνώση του επενδυτή.

Η διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης και οι απαιτούμενες μελέτες καθορίζονται από τις Υ.Α. 104247/2006 και 104248/2006 (ΦΕΚ Β' 663). Ωστόσο, ο νόμος 3851/2010

και ο νόμος 4014/2011 έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης (ενδεικτικά έχει καταργηθεί το στάδιο της προκαταρκτικής περιβαλλοντικής επίπτωσης και αξιολόγησης) αλλά οι ανωτέρω υπουργικές αποφάσεις δεν έχουν ακόμα τροποποιηθεί.

Σύμφωνα με την απόφαση του ΥΠΕΚΑ 1958/13.1.2012 (ΑΔΑ: ΒΟΝΝ0-ΜΒ0) για την κατάταξη των έργων σε κατηγορίες περιβαλλοντικής αδειοδότησης, οι μικρές α/γ κατατάσσονται στην κατηγορία Β (όπως ισχύει πλέον μετά την ισχύ του νέου περιβαλλοντικού νόμου 4014/2011). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι μικρές α/γ δεν υπόκεινται σε διαδικασία Ε.Π.Ο., αλλά θα λαμβάνουν τις λεγόμενες Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (Π.Π.Δ.) με απλή αίτησή τους στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος της οικείας Περιφέρειας. Για την πλήρη εφαρμογή αυτής της διαδικασίας θα πρέπει να εκδοθεί η υπουργική απόφαση που θα καθορίζει το περιεχόμενο των Π.Π.Δ. Μέχρι τότε, οι μικρές α/γ αδειοδοτούνται περιβαλλοντικά σύμφωνα με την παλιά κατηγορία Β4 και λαμβάνουν Ε.Π.Ο. από την αιρετή Περιφέρεια κατ' εφαρμογή της παρ. 3 του αρ. 30 του ν.4014/2011.

Μετά την έκδοση της απόφασης για το περιεχόμενο των Π.Π.Δ., οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να απευθύνονται στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών ώστε να λάβουν Π.Π.Δ.

Μέχρι τότε όμως, οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να απευθύνονται κατά περίπτωση ως ακολούθως:

- Προκειμένου για μικρές α/γ που απαλλάσσονται από Ε.Π.Ο. (δηλ. για μικρές α/γ σε κτίρια ή εντός οργανωμένων βιομηχανικών υποδοχέων ή ισχύος μικρότερης των 20 kW πλην της περίπτωσης Β) στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών, προκειμένου να λάβουν βεβαίωση απαλλαγής από Ε.Π.Ο.. Ειδικά σε αυτήν την αίτηση θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα από τον αιτούντα για παραλαβή του αριθμού πρωτοκόλλου της υπηρεσίας, αν είναι δυνατό πάνω σε αντίγραφο της αίτησης, ώστε να τεκμαίρεται με ασφάλεια η παρέλευση των 20 ημερών που προβλέπεται στο άρθρο 8 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, και μετά την παρέλευση του οποίου η εν λόγω βεβαίωση θεωρείται χορηγηθείσα. Παρά την ύπαρξη της αποκλειστικής αυτής προθεσμίας, οι ενδιαφερόμενοι παροτρύνονται να επιδιώκουν με υπομονή τη χορήγηση της βεβαίωσης

από την Περιφέρεια δεδομένου ότι ένας πλήρης φάκελος διευκολύνει σημαντικά την συνέχιση της αδειοδοτικής διαδικασίας και να επικαλούνται το αποκλειστικό της προθεσμίας μόνο σε έσχατη ανάγκη.

- Προκειμένου για μικρές α/γ που υποχρεούνται να λάβουν Ε.Π.Ο. (δηλ. για μικρές α/γ ισχύος μεγαλύτερης των 20 kW ή ισχύος μικρότερης των 20 kW που εμπίπτουν στην περίπτωση Β), οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει και πάλι να απευθύνονται στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών προκειμένου να λάβουν Ε.Π.Ο. ως έργα κατηγορίας Β4, σύμφωνα με την παρ. 3 του αρ. 30 του ν.4014/2011. Η αίτηση θα συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Αν και δεν υπάρχει κάποια ειδική υπουργική απόφαση ή εγκύκλιος που να ρυθμίζει το περιεχόμενο της αίτησης για τις μικρές α/γ, με βάση την εμπειρία άλλων τεχνολογιών και τις διατάξεις του νόμου, εκτιμάται ότι η αίτηση θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστο τα ακόλουθα:

- Τοπογραφικό διάγραμμα του γηπέδου με σημειωμένο το κτίριο ή τη θέση, όπου πρόκειται να εγκατασταθεί η μικρή α/γ σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ87.
- Απόσπασμα χάρτη ΓΥΣ κλίμακας 1:50000.
- Φωτογραφίες του χώρου εγκατάστασης.
- Τομή της α/γ και διαστάσεις.
- Στοιχεία του φορέα εγκατάστασης.
- Στοιχεία του εξοπλισμού με βασικές πληροφορίες από τα τεχνικά φυλλάδια (π.χ. φωτογραφία του εξοπλισμού, ταχύτητα περιστροφής κ.λπ.) που επιτρέπουν σε μη τεχνικούς να αποκτήσουν άποψη της σκοπούμενης εγκατάστασης. Αν και οι μικρές α/γ, όπως και όλες οι α/γ, δεν δημιουργούν ηχητική όχληση σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 200 - 300 m, θα πρέπει να επιδιώκεται να προσκομίζονται στοιχεία για την προκαλούμενη στάθμη θορύβου, ώστε να προληφθούν σχετικά ερωτήματα από τις αδειοδοτούσες υπηρεσίες.
- Στοιχεία των απαιτούμενων εγκαταστάσεων υποδομής (τρόπος στήριξης/θεμελίωσης, τρόπος ανέγερσης κ.λπ.).



Τέλος, προκειμένου μετά το πέρας της αδειοδοτικής διαδικασίας να αποφευχθούν προβλήματα με άλλες υπηρεσίες, η αρμοδιότητα των οποίων υφίσταται πιθανά ανάλογα με το είδος και τον χαρακτήρα του χώρου εγκατάστασης με βάση άλλες νομοθεσίες (δασική, αρχαιολογική κ.λπ.), συνιστάται οι ενδιαφερόμενοι να απευθύνονται εγκαίρως με σχετικό αίτημά τους και στις ακόλουθες αρχές: Εφορεία Προϊστορικών και Κλασσικών Αρχαιοτήτων, Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, Εφορεία Νεωτέρων Μνημείων, Δασαρχείο, Δ/ση Αγροτικής Ανάπτυξης, Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, ΓΕΕΘΑ, ΓΕΑ.

Πίνακας 2. Υποχρέωση και αρμόδιες υπηρεσίες για περιβαλλοντική αδειοδότηση μικρών ανεμογεννητριών [7]

	Σε κτίρια ή ΒΠΠΕ	Σε γήπεδα		
		≤20 Kw		>20 kW
		Εκτός περιοχής Natura κ.λπ.	Εντός περιοχής Natura κ.λπ. (παρ.4.2)	
Ισχύοντα σήμερα (Ιαν. 2012)	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Υποχρέωση για Ε.Π.Ο. ως Β4	Υποχρέωση για Ε.Π.Ο. ως Β4
	-	Περιφέρεια	Περιφέρεια	Περιφέρεια
Μετά την απόφαση για τις Π.Π.Δ.	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Υποχρέωση για Π.Π.Δ.	Υποχρέωση για Π.Π.Δ.
	-	Περιφέρεια	Περιφέρεια	Περιφέρεια

### 2.3 Πολεοδομικά θέματα και θέματα χρήσεων γης

Ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση για τη μικρή ανεμογεννήτρια, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλει αίτηση στην αρμόδια πολεοδομική αρχή. Δυστυχώς για τις μικρές α/γ δεν έχουν θεσπιστεί ειδικές διατάξεις σχετικά με τους όρους δόμησης στον χώρο, σε κτίρια ή άλλες δομικές κατασκευές.

Με βάση το γενικό πλαίσιο και τις ειδικές αναφορές που αυτό περιλαμβάνει σε μερικές περιπτώσεις, ισχύουν τα ακόλουθα:

#### 1. Βαθμοί όχλησης και αποστάσεις από οικισμούς

Με βάση την υπουργική απόφαση 13727/724/24.7.2003 (ΦΕΚ Β' 1087/5.8.2003), όπως τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε με την Δ6/Φ1/οικ.19500/4.11.2004 (ΦΕΚ Β' 1671/11.11.2004), σχετικά με την αντιστοίχιση δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία, οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες βαθμών όχλησης (άρθρο 1):

Πίνακας 3. Βαθμοί όχλησης μικρών ανεμογεννητριών [11]

Ονομαστική ισχύς	$P \leq 20 \text{ kW}$	$20 \text{ kW} < P \leq 700 \text{ kW}$	$P > 700 \text{ kW}$
Βαθμός όχλησης	Μη οχλούσα	Χαμηλής όχλησης	Μέσης όχλησης

Με βάση την ίδια Υπουργική Απόφαση, ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- δεν επιτρέπεται (άρθρο 2 παρ.1) η χωροθέτηση μικρών α/γ σε παραδοσιακούς οικισμούς, περιοχές ιστορικών τμημάτων πόλεων και περιοχές RAMSAR,
- επιτρέπεται (άρθρο 2 παρ.3) η εγκατάσταση σταθμών μηδενικής όχλησης, δηλαδή μικρών α/γ ισχύος μικρότερης ή ίσης από 20 kW, σε περιοχές:
  - εντός σχεδίου,
  - εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 κατοίκους,
  - εντός ορίων οικισμών προϋφιστάμενων του 1923 και
  - εκτός σχεδίου

Με βάση το από 24.4.1985 προεδρικό διάταγμα (ΦΕΚ Δ' 181), και συγκεκριμένα το άρθρο 7 παρ.3 αυτού, όπως τροποποιήθηκε με το από 16.5.1989 (ΦΕΚ Δ' 293), η ελάχιστη απόσταση από οικισμούς για εγκαταστάσεις μέσης όχλησης ορίζεται σε 500 m. Επομένως, οι απαιτούμενες αποστάσεις από οικισμούς έχουν ως εξής:

Πίνακας 4. Απαιτούμενες αποστάσεις μικρών ανεμογεννητριών από οικισμούς [11]

Ονομαστική ισχύς	$P \leq 20 \text{ kW}$	$20 \text{ kW} < P \leq 700 \text{ kW}$	$P > 700 \text{ kW}$
Απόσταση από οικισμό	Εντός οικισμού	Εκτός οικισμού ασχέτως Απόστασης	> 500 m

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η προκαλούμενη ηχητική όχληση να μην ξεπερνά το όριο των 45 db από κατοικίες.

## 2. Όροι δόμησης

Με βάση το ν.2244/1994 άρθρο 3 παρ.4, εδάφιο τρίτο, όπως προστέθηκε με τον ν.2941/2001 άρθρο 2 παρ.7, αντικαταστάθηκε με τον ν.3734/2009 άρθρο 27Α παρ. 9 και τροποποιήθηκε με τον ν.3851/2010 άρθρο 9 παρ.8:

- Για την εγκατάσταση μικρών α/γ δεν απαιτείται άδεια δόμησης, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας.
- Ειδικά για την τοποθέτηση μικρών α/γ σε κτίρια και στέγαστρα, μπορεί, με απόφαση του Υπουργού Π.Ε.Κ.Α. να προβλέπεται μόνο γνωστοποίηση των εργασιών αυτών στον οριζόμενο, κατά περίπτωση, αρμόδιο φορέα. Τέτοια απόφαση δεν έχει ακόμα εκδοθεί.
- Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας δομικές κατασκευές, όπως τα θεμέλια των πύργων ανεμογεννητριών, οικήματα στέγασης εξοπλισμού ελέγχου και μετασχηματιστών.
- Για την έκδοση οικοδομικής άδειας ανέγερσης δεν απαιτείται έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.), εκτός εάν η εγκατάσταση προβλέπεται να γίνει σε παραδοσιακούς οικισμούς ή περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, που προστατεύονται ως προς την πολεοδομική ανάπτυξη από ειδικά διατάγματα.

- Η εγκατάσταση μικρών α/γ υπάγεται στις περί βιομηχανικών εν γένει εγκαταστάσεων διατάξεις του άρθρου 4 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος (ΦΕΚ Δ' 270) για την εκτός σχεδίων πόλεων δόμηση, καθώς και σε κάθε άλλη ειδική διάταξη του ίδιου προεδρικού διατάγματος, που αφορά σε έργα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε., ανεξάρτητα από το φορέα υλοποίησής τους.

- Σε υπουργική απόφαση μπορεί να καθορίζονται ειδικοί όροι και περιορισμοί δόμησης για την ανέγερση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε. κατά παρέκκλιση των διατάξεων των άρθρων 1, 4 και 7 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος, που δημοσιεύθηκε στις 31.5.1985 (ΦΕΚ Δ' 270), καθώς και ειδικές αποστάσεις από τα όρια οικισμών, κατά παρέκκλιση των διατάξεων του άρθρου 4 του ίδιου προεδρικού διατάγματος και των διατάξεων του άρθρου 7 του από 24.4.1985 προεδρικού διατάγματος που δημοσιεύθηκε στις 3.5.1985 (ΦΕΚ Δ' 181).

Το από 24.5.1985 προεδρικό διάταγμα (ΦΕΚ Δ' 270), καθορίζει τα ακόλουθα:

- άρθρο 1 παρ.1: αρτιότητα, οικοδομησιμότητα, περίφραξη
- άρθρο 4: αποστάσεις εγκαταστάσεων μέσης όχλησης από οικισμούς, αποστάσεις από όρια γηπέδου, ποσοστό κάλυψης, ύψος, συντελεστής δόμησης, παρεκκλίσεις
- άρθρο 7: όροι δόμησης για υποσταθμούς και κτίρια που στεγάζουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις μικρές ανεμογεννήτριες δεν υπάρχει συγκεκριμένο χωροταξικό σχέδιο ακόμα.

Συνοπτικά, οι κανόνες για την επιλογή θέσης αφορούν κυρίως σε τεχνικές παραμέτρους όπως:

- Θέση με ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό  $> 4 - 4.5 \text{ m/s}$
- Καθαρή περιοχή ή εκτίμηση αποστάσεων από πιθανά εμπόδια, αύξηση ύψους πύργου α/γ
- Απόσταση της α/γ από το φορτίο λόγω απωλειών
- Ηχητική όχληση
- Αποστάσεις από γειτονικές κατοικίες

## 2.4 Σύναψη σύμβασης πώλησης και αγοράς ενέργειας

Μετά την έκδοση από τη ΔΕΗ της δεσμευτικής προσφοράς σύνδεσης, την υποβολή του τίτλου κυριότητας και την έγκριση της Πολεοδομίας, ο φορέας υποβάλλει στη ΔΕΗ αίτηση για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης. Με την υπογραφή της Σύμβασης αυτής, ο φορέας καταβάλλει στη ΔΕΗ όλο το κόστος σύνδεσης που έχει καθορισθεί στη δεσμευτική προσφορά.

Ένα σημείο που είναι αδιευκρίνιστο σχετίζεται με την υποχρέωση να έχει εκδοθεί η έγκριση από την Πολεοδομία προκειμένου να υπογραφεί η σύμβαση σύνδεσης. Η ακολουθούμενη πρακτική από τη ΔΕΗ στην περίπτωση των μικρών φωτοβολταϊκών, για τα οποία όμως απαιτείται μόνο έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας όταν δεν συνοδεύονται από κάποια δομική κατασκευή (π.χ. μη προκατασκευασμένος οικίσκος), επιβάλλει την προσκόμιση της έγκρισης αυτής.

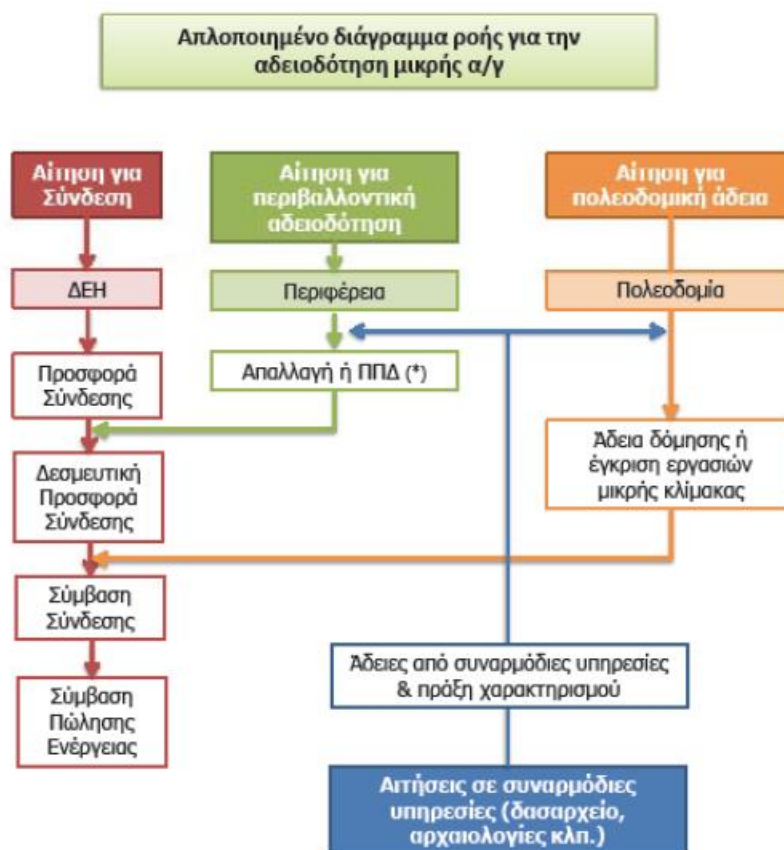
Στην περίπτωση των μεγάλων α/γ για τις οποίες απαιτείται άδεια δόμησης για το θεμέλιο (διαδικασία σαφώς πιο χρονοβόρα από αυτή της έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας) αυτή δεν απαιτείται για την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης. Είναι ασαφές πώς θα αντιμετωπισθούν οι μικρές α/γ που απαλλάσσονται από την άδεια εγκατάστασης και θεμελιώνονται σε γήπεδο.

Ένα επίσης βασικό σημείο στη διαδικασία, που θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστό, είναι η υποχρέωση παροχής εγγυήσεων. Στις συμβάσεις σύνδεσης που συνάπτει ο Διαχειριστής με τους φορείς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. οι οποίοι εξαιρούνται από την υποχρέωση για λήψη άδειας παραγωγής (εν προκειμένω για μικρές α/γ έως 100 kW), καθορίζεται (σύμφωνα με το άρθρο 8, παρ. 15 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 3 παρ.2 ν.3851/2010), προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή το Δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα (150 € / kW εγκατεστημένης ισχύος), που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας.

Από την παροχή εγγυήσεων, σύμφωνα με την ίδια παράγραφο και το άρθρο του ν.3851/2010 εξαιρούνται:

- α/γ που εγκαθίστανται σε κτίρια,
- α/γ για τις οποίες έχει υπογραφεί σύμβαση σύνδεσης πριν τη θέση σε ισχύ του ν.3851/2010.

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα για την επένδυσή σας στις μικρές ανεμογεννήτριες - και το τελευταίο - είναι η υπογραφή της σύμβασης με το ΔΕΣΜΗΕ αναφορικά με την πώληση της παραγόμενης ενέργειας. Μετά την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης με τη ΔΕΗ θα πρέπει να υπογραφεί η σύμβαση πώλησης ενέργειας με τον αρμόδιο Διαχειριστή που είναι ο ΔΕΣΜΗΕ (Κάστορος 72, Τ.Κ. 18 545, Πειραιάς) για το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και η ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Σημειώνεται ότι, μετά την αναδιάρθρωση του Διαχειριστή και τη δημιουργία των ΑΔΜΗΕ και ΛΑΓΗΕ, όπως προβλέπεται από τον ν.4001/2011, ο αντισυμβαλλόμενος θα αλλάξει.



Εικόνα 3. Διαδικασία για εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας [7]

Παραπάνω παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διαδικασίας που θα πρέπει να ακολουθηθεί προκειμένου ο ενδιαφερόμενος επενδυτής να ολοκληρώσει επιτυχώς το στάδιο εγκατάστασης μιας (ή περισσότερων βεβαίως) μικρής ανεμογεννήτριας.

## **2.5 Πιστοποίηση σε άλλες χώρες**

Πολύ συχνά, εκπρόσωποι εταιριών και ειδικοί επί της αιολικής ενέργειας τονίζουν την ανάγκη ύπαρξης ενός επαρκούς πλαισίου πιστοποίησης για τις μικρές ανεμογεννήτριες. Για να δούμε σχετικά επιγραμματικά τι συμβαίνει σε χώρες όπου η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται σε πιο προχωρημένο στάδιο συγκριτικά με την Ελλάδα.

### **Πιστοποίηση μικρών ανεμογεννητριών στη Γερμανία**

Η Γερμανία δεν έχει εκδώσει κάποιο πρότυπο για την πιστοποίηση μικρών α/γ, αλλά έχει υιοθετήσει τα ακόλουθα δύο, το AWEA Standard 9.1 -2009 και το BWEA.

### **Πιστοποίηση μικρών ανεμογεννητριών στην Ισπανία**

Ομοίως, η Ισπανία δεν διαθέτει κάποιο ειδικό πρότυπο αλλά έχει υιοθετήσει τα αντίστοιχα πρότυπα της AWEA & BWEA, χαρακτηρίζει τις μικρές α/γ με βάση την καμπύλη ισχύος, τις μετρήσεις θορύβου και τα αποτελέσματα των δοκιμών αντοχής αυτών, αφήνει ανοικτή την υιοθέτηση του προτύπου IEC 61400 -2 σε μεταγενέστερο χρόνο, όταν η αγορά θα έχει ωριμάσει, δεδομένου ότι τώρα χαρακτηρίζεται ως πολύ σοβαρό και οικονομικά δυσβάσταχτο για τις ανάγκες της σημερινής αγοράς μικρών α/γ.

### **Πιστοποίηση μικρών ανεμογεννητριών στο Ηνωμένο Βασίλειο**

Στο Ηνωμένο Βασίλειο υφίσταται το Microgeneration Certification Scheme (MSC), στο οποίο εντάσσονται και οι μικρές α/γ. Η πρόσβαση των μικρών α/γ σε μηχανισμούς στήριξης συνδέεται άρρηκτα με τη συμμόρφωσή τους με το MSC.

## Πιστοποίηση μικρών ανεμογεννητριών στις ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ υφίσταται το Small Wind Certification Council.

Σε διεθνές επίπεδο, οι σχεδιαστικές απαιτήσεις στην αγορά της αιολικής ενέργειας προκύπτουν από τον οργανισμό IEC (International Electrotechnical Commission), σύμφωνα προς το πρότυπο 61400 το οποίο περιέχει δέσμη επιμέρους κριτηρίων και ελέγχων που περιγράφονται στη συνέχεια, επιγραμματικά:

- IEC 61400-1 Design requirements
- **IEC 61400-2 Design requirements for small wind turbines**
- IEC 61400-3 Design requirements for offshore wind turbines
- IEC 61400-4 Gears
- IEC 61400-5 Wind turbine rotor blades
- IEC 61400-11 Acoustic noise measurement techniques
- IEC 61400-12 Wind turbine power performance testing
- IEC 61400-13 Measurement of mechanical loads
- IEC 61400-14 Declaration of apparent sound power level and tonality values
- IEC 61400-21 Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines
- IEC 61400-22 Conformity testing and certification
- IEC 61400-23 Full-scale structural testing of rotor blades
- IEC 61400-24 Lightning protection
- IEC 61400-25 Communication protocol

Οι κατασκευαστές μεγάλων α/γ συμμορφώνονται πλήρως με τα αντίστοιχα πρότυπα IEC 61400. Για τις προδιαγραφές σχεδίασης μικρών α/γ ισχύει το πρότυπο IEC 61400-2 και η κατηγοριοποίηση βάσει διαστάσεων. Για επιφάνεια σάρωσης του στροφείου μεγαλύτερη των 200m<sup>2</sup>, η ανεμογεννήτρια εντάσσεται στο πρότυπο σχεδιασμού των μεγάλων α/γ. Στις ανεμογεννήτριες των 50 kW πολλές ξεπερνούν την κρίσιμη διάμετρο στροφείου των 16 m, οπότε εντάσσονται στο πρότυπο 61400-1.

Γενικά και τα δύο αυτά πρότυπα είναι αρκετά αναλυτικά και άρα απαιτητικά, όσον αφορά σε δοκιμές αντοχών των διαφόρων μηχανολογικών υποσυστημάτων της ανεμογεννήτριας.



Αυτό προτρέπει τις εταιρίες κατασκευής μικρών α/γ να συμμορφώνονται προς αυτά. Η μη τυποποιημένη διάσταση των μικρών α/γ ισχύος 50 kW και η ένταξή τους σε διαφορετικά πρότυπα δημιουργεί σύγχυση στον επενδυτή και τις καθιστά δύσκολα συγκρίσιμες.

Το ζητούμενο σε αυτήν την αγορά είναι να υπάρχει ένα ενιαίο πρότυπο στο οποίο να εντάσσονται όλες οι μικρές α/γ, το οποίο θα εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία της κατασκευής αλλά και τις απαραίτητες προδιαγραφές με τις οποίες θα πρέπει να συμμορφώνονται. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας έχει εκδώσει το IEC Small Wind Turbine Recommended Practice με σκοπό τον ορισμό ενός ενιαίου προτύπου σε παγκόσμιο επίπεδο και τον καθορισμό των ελάχιστων απαιτούμενων δοκιμών για την σήμανση μικρών α/γ.

### 3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ, ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

#### 3.1 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού

Η μέτρηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής και τον υπολογισμό των εισροών από τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Επιπλέον η στατιστική αλλαγή των ακραίων καιρικών φαινομένων (ακραίες τιμές έντασης ανέμου και συχνότητα εμφάνισης), αποτελεί λόγο που καθιστά τη μέτρηση του αιολικού δυναμικού σημαντικό εργαλείο για το σωστό σχεδιασμό και ασφάλεια της επένδυσης.

Ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει με τη συνεργασία του εξειδικευμένου προμηθευτή να εκτιμήσει τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων ή γενικά πληροφοριών από άλλες πηγές για το αιολικό δυναμικό στην περιοχή ενδιαφέροντος και να αποφασίσει αν θα προβεί ή όχι σε μετρήσεις στη θέση εγκατάστασης της μικρής ανεμογεννήτριας.

Οι μετρήσεις συνίσταται να ακολουθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές που αρμόζουν στην εφαρμογή των μικρών ανεμογεννητριών ώστε να μπορούν να είναι αξιοποιήσιμες αλλά και συγκρίσιμες με άλλες μετρήσεις από άλλο επενδυτή σε άλλη περιοχή. Ωστόσο συστήνεται να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες:

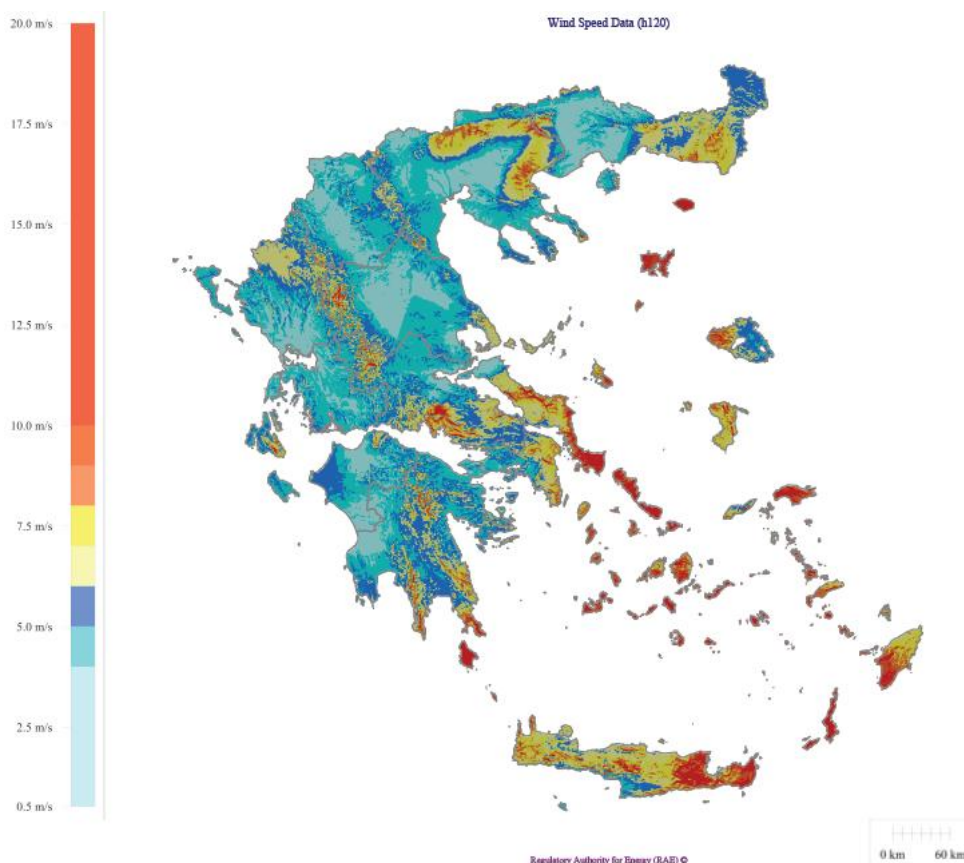
- Μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου σε ύψος κατ' ελάχιστον 10 m από το έδαφος στην θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας.
- Δειγματοληψία της στιγμιαίας τιμής των μετρούμενων μεγεθών ανά δευτερόλεπτο και καταγραφή των ακραίων τιμών, της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης δεκαλέπτου.
- Χρήση βαθμονομημένων κυπελλοφόρων ανεμόμετρων.
- Ελάχιστη διάρκεια μετρήσεων 6 μηνών με 95% διαθεσιμότητα. Ενδεικνύομενη διάρκεια μετρήσεων 1 έτος με 85% διαθεσιμότητα.

- Οι διαστάσεις των βραχιόνων και η τοποθέτηση των οργάνων να συμφωνούν με το πρότυπο IEC 61400-12-1 και ακόμη καλύτερα οι μετρήσεις να γίνονται από διαπιστευμένο κατά ISO 17025 εργαστήριο ώστε να είναι αποδεκτές από τράπεζες και χρηματοδοτικούς φορείς.

### 3.2 Κατηγοριοποίηση του Αιολικού Δυναμικού μέσης ετήσιας τιμής ανέμου

Η πληροφόρηση για το αιολικό δυναμικό της ευρύτερης περιοχής όπου θα εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια μπορούν να προέλθουν κυρίως από:

- Χάρτες Αιολικού δυναμικού – ΚΑΠΕ – ΡΑΕ
- ΕΜΥ
- Μετρήσεις αιολικού δυναμικού
- Μακροσκοπικά μοντέλα μετεωρολογικών προβλέψεων



Εικόνα 4. Χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδας [18]

Με τις παραπάνω πηγές πληροφόρησης υπάρχει μια πρώτη εκτίμηση της κατηγορίας του αιολικού δυναμικού της ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης. Η κατηγοριοποίηση φαίνεται παρακάτω.

- Ανεπαρκές  $< 4$  m/s
- Χαμηλό  $4 - 5,5$  m/s
- Μέσο  $5,5 - 7$  m/s
- Υψηλό  $7 - 9$  m/s
- Πολύ υψηλό  $> 9$  m/s

Το αιολικό δυναμικό εξαρτάται όμως και από άλλους παράγοντες που έχουν να κάνουν με:

- Την τοπογραφία της θέσης
- Την κατηγορία αιολικού δυναμικού της θέσης
- Τυχόν εμπόδια
- Ιστορικά δεδομένα περιοχής

Γενικά θεωρείται ότι σε περιοχές με μέσο ή υψηλό αιολικό δυναμικό αισθανόμαστε μεγαλύτερη σιγουριά να επενδύσουμε και άρα μπορεί να προχωρήσουμε και χωρίς μετρήσεις βασιζόμενοι στη διαίσθησή μας, στην πληροφόρησή μας αλλά και στη ιστορικότητα των δεδομένων της περιοχής.

Στις άλλες κατηγορίες αιολικού δυναμικού θα πρέπει να είμαστε πιο προσεχτικοί γιατί:

- i. Στο χαμηλό αιολικό δυναμικό αδυνατούμε να γνωρίζουμε την περίοδο αποπληρωμής της επένδυσης
- ii. Στο υψηλό ή πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό αδυνατούμε να γνωρίζουμε αν η Ανεμογεννήτρια προσαρμοστεί σωστά και αντέξει στις συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης.
- iii. Είναι οικονομοτεχνικά χρήσιμο να επιλέξουμε το ύψος πύργου που είναι βέλτιστο στην σχέση τιμής απόδοσης.

Έτσι, όπως αναφέραμε και στην αρχή, είναι απαραίτητη η λήψη μετρήσεων στη συγκεκριμένη θέση της εγκατάστασης. Κάτι τέτοιο θα εξαλείψει τον παράγοντα της αβεβαιότητας και θα δημιουργήσει προστιθέμενη αξία στην επένδυση.

### 3.3 Προϋποθέσεις για την εγκατάσταση συστήματος και παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη

Το αιολικό δυναμικό στην περιοχή όπου θα εγκατασταθεί η μικρή ανεμογεννήτρια παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην απόδοση που θα έχει η επένδυσή μας. Γι αυτό και είναι απαραίτητο, πριν προχωρήσουμε στο οποιοδήποτε βήμα, να υπάρξουν μετρήσεις του αιολικού πεδίου για τουλάχιστον ένα εξάμηνο, ακριβώς στο σημείο αλλά και στο ύψος, όπου θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια.

Γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι προκειμένου να είναι συμφέρουσα η επένδυσή μας απαιτείται ένα μέσο επίπεδο ανέμου της τάξης των  $5 \text{ m/s} - 5,5 \text{ m/s}$ . Για να επιτύχουμε τέτοιες τιμές θα πρέπει είτε η ανεμογεννήτρια να τοποθετηθεί εκτός αστικού ιστού, ή σε περίπτωση που τοποθετηθεί εντός αστικού ιστού, η τοποθέτηση πρέπει να γίνει σε αρκετά ψηλό σημείο.

Ιδανικά, πριν προχωρήσει κάποιος στην εγκατάσταση θα πρέπει να ζητήσει ανεμολογικά δεδομένα για ένα χρόνο για τη συγκεκριμένη τοποθεσία από ειδική υπηρεσία. Στην πράξη, αυτό μπορεί να είναι δύσκολο, ακριβό και χρονοβόρο.

Ένας υποψήφιος οικιακός χρήστης μικρού αιολικού συστήματος για παραγωγή ηλεκτρισμού, θα πρέπει να μελετήσει τα παρακάτω:

1. Να καταγράψει τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού φορτίου (kWh/ημέρα; kWh/εβδομάδα; kWh/χρόνο και το φορτίο το χειμώνα, την άνοιξη, το καλοκαίρι και τις φθινοπωρινές μέρες).
2. Να εξετάσει /επιλέξει αν η τοποθεσία είναι απομονωμένη οπότε χρειάζονται μπαταρίες ή αν το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο.
3. Να εξετάσει τα δεδομένα ( $m^2$  και προσανατολισμός) για τη χρήση μικρής ανεμογεννήτριας

Τα παρακάτω θέματα θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη όταν πρόκειται για την εγκατάσταση μιας μικρής ανεμογεννήτριας:

- Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος οπότε είναι καλύτερα η ανεμογεννήτρια να τοποθετείται ψηλά στον ιστό ή στην στέγη.
- Γενικά, η ιδανική τοποθεσία είναι μια επίπεδη κορυφή λόφου με καθαρό προσανατολισμό, χωρίς υπερβολικούς στροβιλισμούς και εμπόδια όπως μεγάλα δέντρα, σπίτια ή άλλα κτίρια.
- Οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι ειδικές για απομονωμένες περιοχές εκτός δικτύου όπου οι συμβατικές μέθοδοι ηλεκτροδότησης δεν είναι οικονομικά ή τεχνικά αποδεκτές .

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ενέργεια που παράγεται κάθε στιγμή από την ανεμογεννήτρια εξαρτάται από την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Η ταχύτητα απ' την άλλη, εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως η τοποθεσία, την απόσταση της ανεμογεννήτριας από την έδαφος, και τα κοντινά εμπόδια. Ιδανικά, πριν προχωρήσει κάποιος στην εγκατάσταση θα πρέπει να ζητήσει ανεμολογικά δεδομένα για ένα χρόνο για τη συγκεκριμένη τοποθεσία από ειδική υπηρεσία. Στην πράξη, αυτό μπορεί να είναι δύσκολο, ακριβό και χρονοβόρο.

Γι' αυτό, αν κάποιος εξετάζει την εγκατάσταση μιας οικιακής ανεμογεννήτριας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού, συνιστάται να προχωρήσει αν υπάρχουν οι παρακάτω συνθήκες:

- Ο τοπικός ετήσιος μέσος όρος της ταχύτητας του ανέμου είναι 6 m/s ή περισσότερο.
- Δεν υπάρχουν σημαντικά γειτονικά εμπόδια όπως κτίρια, δέντρα ή λόφοι που πιθανόν να μειώσουν την ταχύτητα του ανέμου ή να δημιουργήσουν στροβιλισμούς .

Πρέπει επίσης να εξετασθούν θέματα οπτικής όχλησης, θορύβου και συντήρησης. Η εγκατάσταση του συστήματος συνήθως απαιτεί άδεια από τις τοπικές αρχές, έτσι τα παραπάνω θέματα θα πρέπει να έχουν λυθεί πριν την αίτηση για την άδεια εγκατάστασης.

Πάντως, ενίοτε μπορεί να παρατηρηθούν ισχυροί άνεμοι σε μη προφανείς θέσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι ιδανικές για αιολικές μονάδες οι φαρδιές διαβάσεις αφού διοχετεύουν τους ανέμους που περνούν επάνω από μια οροσειρά, και καθώς μπορεί να δημιουργούνται αύρες από τον ψυχρό αέρα που καταβυθίζεται από τις κορυφές των

βουνών στις κοιλάδες. Για την πρόβλεψη των ταχυτήτων του ανέμου σε σύνθετα εδάφη, επάνω από κτήρια και άλλα εμπόδια, και την ορογραφία της θέσης έχει αναπτυχθεί πληθώρα εργαλείων, μεταξύ των οποίων και περίπλοκα υπολογιστικά μοντέλα. Πάντως δεν υπάρχει υποκατάστατο των άμεσων μετρήσεων.

### 3.4 Απόδοση μικρών ανεμογεννητριών

Βασικό στοιχείο για να κρίνουμε εάν η επένδυση σε μια μικρή ανεμογεννήτρια είναι οικονομικά συμφέρουσα είναι να υπολογίσουμε πόση περίπου ισχύ θα παράγει, και κατ' επέκταση πόσα έσοδα θα μας αποφέρει.

Οι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή παραγωγή:

- Η γνώση του Αιολικού δυναμικού της περιοχής.
- Η επιλογή της Ανεμογεννήτριας
- Η ύπαρξη αξιόπιστης καμπύλης ισχύος του κατασκευαστή
- Το ύψος του πύργου
- Το απόλυτο υψόμετρο της θέσης εγκατάστασης και κατά συνέπεια η πυκνότητα του αέρα

#### Τύπος υπολογισμού

Κι επειδή τα πάντα είναι μαθηματικά, οι παραπάνω παράγοντες καθορίζουν την παραγωγή της ανεμογεννήτριας διότι η θεωρητική παραγόμενη ισχύς υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = C_p \cdot \eta \cdot \frac{\rho}{2} v_1^3 \cdot A$$

Όπου:

- $\rho$  η πυκνότητα του αέρα ( $\rho$ )
- $A$  η επιφάνεια επιφάνεια σύρωσης ( $A = \pi \cdot D^2/4$ )
- $v_1$  η ταχύτητα του ανέμου
- $C_p$  η απόδοση της ανεμογεννήτριας

Για παράδειγμα, α/γ ονομαστικής ισχύος 1000 W, με διάμετρο δρομέα 3 m μέση τιμή ταχύτητας ανέμου στα 5.2 m/s, και απόδοση  $C_p = 40\%$  εκτιμάται ότι θα αποδώσει 232 W. Η μηνιαία παραγόμενη ενέργεια εκτιμάται στις 167 kWh.

Επομένως, μπορούμε να υπολογίσουμε και τα έσοδα που θα έχουμε εάν πουληθεί στη ΔΕΗ η παραγόμενη αυτή ενέργεια. Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής καθορίζει και τον τύπο της ανεμογεννήτριας που θα εγκατασταθεί. Για την επιλογή της σωστής ανεμογεννήτριας δεν είναι μόνο κριτήριο η ισχύ αλλά και η παραγόμενη ενέργεια σε σχέση με το αιολικό δυναμικό.

Για παράδειγμα σε εγκατεστημένη ανεμογεννήτρια ισχύος 1.5 kW στα Μεσόγεια, με μέση ταχύτητα ανέμου 4.7 m/s αποδίδει 2.9 MWh τον χρόνο ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως στην Αμοργό, όπου ο μέσος άνεμος φτάνει τα 9 m/s, μια μικρή α/γ 0.9 kW μπορεί να αποδώσει 7 MWh ετησίως.

Συχνά οι μικρές ανεμογεννήτριες αλλά και η αιολική ενέργεια γενικότερα κατηγορούνται για το ότι δεν μπορούν να προσφέρουν συνεχή τροφοδοσία με ρεύμα, καθώς βασίζονται στον άνεμο, ο οποίος είναι μια στοχαστική πηγή ενέργειας. Η αλήθεια είναι ότι οι ανεμογεννήτριες αξιοποιούν το 97% της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον αέρα. Αντίστοιχα, οι παραδοσιακές εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα/αερίου αποδίδουν 30-40%.

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν γενικά με το περίπου 30-35% της μέγιστης ικανότητάς τους ανά έτος ποσοστό αντίστοιχο με αυτών των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα κι αν ο αέρας είναι μια διαλείπουσα (δηλαδή λειτουργεί κατά διαστήματα) πηγή ενέργειας, ένα σύγχρονο αιολικό πάρκο παράγει ηλεκτρική ενέργεια για το 90 - 95% του χρόνου.

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



## 4 ΝΕΕΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΙΚΡΩΝ Α/Γ

### 4.1 Εφαρμογές των μικρών Α/Γ

Οι διάφορες εφαρμογές για τις οποίες ειδικά οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι κατάλληλες, αναφέρονται παρακάτω, για τις βασικές δύο εξουσιοδοτημένες αγορές, αυτές που είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο και αυτές που δεν είναι.

Ο παρακάτω πίνακας προσπαθεί να απεικονίσει τους πιθανούς συνδυασμούς, σύμφωνα με την αγορά, την εφαρμογή και το μέγεθος της ανεμογεννήτριας.

Στα αυτόνομα συστήματα μικρών ανεμογεννητριών η ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του χώρου όπου εγκαθίστανται.

Ο πίνακας δείχνει πως τα απομονωμένα συστήματα με μικρές ανεμογεννήτριες προσφέρουν λύσεις για σχεδόν οποιαδήποτε εφαρμογή οπουδήποτε υπάρχει αρκετός άνεμος στην περιοχή.

Οι αυτόνομες μικρές ανεμογεννήτριες, λοιπόν, μπορούν να εγκατασταθούν:

- Σε απομονωμένα σπίτια όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο
- Σε μικρές βιομηχανίες
- Σε αγροκτήματα
- Για άντληση νερού
- Για αφαλάτωση νερού
- Για κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε περιοχές με μικρό αριθμό κατοίκων
- Σε τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις

Ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος, οι τρεις τεχνολογικές λύσεις για τα απομονωμένα συστήματα είναι:

- Οικιακά συστήματα
- Υβριδικά συστήματα και
- Συστήματα με ντιζελογεννήτριες

Στην περίπτωση των συνδεδεμένων με το δίκτυο, οι πιθανότητες είναι επίσης πολυάριθμες, εξαρτώνται από τον διαθέσιμο χώρο για την εγκατάσταση και από τους νομικούς και οικονομικούς περιορισμούς.

Πίνακας 5. Εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών [5]

Rated power/system	Wind-diesel								Wind mini-farm								
	Wind hybrid				Single wind turbine				Single wind turbine				Single wind turbine				
	Wind home system				Build integrated				Build integrated				Build integrated				
P < 1 kW	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X					
1 kW < P < 7 kW	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	
7 kW < P < 50 kW					X	X	X	X	X				X	X	X	X	
50 kW < P < 100 kW								X	X						X	X	
Small wind systems applications	Sailboats	Signalling	Street lamp	Remote houses/dwellings	Farms	Water pumping	Seawater desalination	Village power	Mini-grid	Street lamp	Buildings rooftop	Dwellings	Public centres	Car parking	Industrial	Industrial	Farms
	Off-grid applications								On-grid applications								

Οι ανεμογεννήτριες για οικιακή χρήση τυπικά κυμαίνονται από 500 W μέχρι 10 kW. Οι μικρές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για να παράγουν ηλεκτρισμό για τη φόρτιση μπαταριών οι οποίες τροφοδοτούν μικρές ηλεκτρικές εφαρμογές. Τέτοιες ανάγκες υπάρχουν για παράδειγμα σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν είναι τεχνικά ή οικονομικά λογική η σύνδεση με το δίκτυο, όπως σε αγροκτήματα. Οι ηλεκτρικοί φράχτες, μικρές αντλίες, φωτισμός, συστήματα ασφαλείας είναι τυπικές εφαρμογές.

Υπάρχουν δύο είδη οικιακών ανεμογεννητριών:

- Αυτές που βρίσκονται σε ιστό – που τοποθετούνται κοντά στο κτίριο που θα χρησιμοποιεί την παραγόμενη ενέργεια.
- Αυτές που βρίσκονται στην στέγη – που τοποθετούνται στην στέγη του σπιτιού ή άλλων σπιτιών.

Γενικά οι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες ποικίλουν στο μέγεθος και την ισχύ από μερικές εκατοντάδες W έως 2 ή 3 MW. Ενδεικτικά μια τυπική οικιακή ανεμογεννήτρια είναι 1 - 6 kW.

Τα μεγαλύτερα συστήματα συνήθως τοποθετούνται σε ιστό.

Οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες παράγουν συνεχές ρεύμα (DC). Τα συστήματα που δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο απαιτούν την εγκατάσταση μπαταρίας και μετατροπέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο.

Τα αιολικά συστήματα μπορούν επίσης να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ένας ειδικός ελεγκτής και μετατροπέας, μετατρέπει το ρεύμα σε εναλλασσόμενο με τις απαραίτητες προδιαγραφές του δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτείται μπαταρία. Το ποσό της ενέργειας που δεν χρησιμοποιείται εξάγεται στο δίκτυο και πωλείται στη ΔΕΗ. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα με το δίκτυο της ΔΕΗ παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς λαμβάνουν εγγυημένη επιδότηση από το διαχειριστή του ηλεκτρικού συστήματος και αποτελούν μια σίγουρη επιλογή για επενδύσεις.

## 4.2 Εξέλιξη της τεχνολογίας των εμπορικών μικρών Α/Γ

Παρά το μεγάλο βάρος που έχει δοθεί στα αιολικά πάρκα πολλών MW, τα τελευταία χρόνια κερδίζει έδαφος η αγορά αυτόνομων και διασυνδεδεμένων συστημάτων με μικρές ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, παρά την πρόοδο στην ανάπτυξη των τεχνολογιών αιολικών πάρκων με μεγάλο και μεσαίου μεγέθους ανεμογεννήτριες, η κατάσταση προόδου για τις μικρές ανεμογεννήτριες απέχει αρκετά από την τεχνολογική ωρίμανση και την οικονομική ανταγωνιστικότητα.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά για απομονωμένες εφαρμογές και αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι της αγοράς τόσο στον ανεπτυγμένο όσο και στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Μόλις τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει αυτή η τάση χάρη στην ανάπτυξη των διασυνδεδεμένων με το δίκτυο συστημάτων με μικρές ανεμογεννήτριες. Η αγορά αυτών των συστημάτων επιταχύνει την ανάπτυξη των τεχνολογιών των μικρών ανεμογεννητριών καθώς η προσδοκώμενη μεγάλης κλίμακας παραγωγή δικαιολογεί τις υψηλότερες οικονομικές επενδύσεις που απαιτούνται για την ανάπτυξη της τεχνολογίας τους.

### Απομονωμένες εφαρμογές

Όπως προαναφέρθηκε, τα περισσότερα από τα ήδη υπάρχοντα συστήματα που περιλαμβάνουν μικρές ανεμογεννήτριες είναι τα απομονωμένα.

Από τεχνολογικής απόψεως τρεις ομάδες απομονωμένων συστημάτων που χρησιμοποιούν μικρές ανεμογεννήτριες μπορούν να διακριθούν σε:

- Πολύ μικρά συστήματα
- Υβριδικά Συστήματα
- Συστήματα «ντιζελογεννήτριας»

Τα πολύ μικρά συστήματα συνήθως αποδίδουν ενεργειακά λιγότερο από 1 kW.

Οι περισσότεροι γνωστές εφαρμογές αυτής της κατηγορίας είναι κινούμενες εφαρμογές όπως βάρκες και τροχόσπιτα, και οικιακά αιολικά συστήματα. Αυτή η διαμόρφωση βασίζεται σε σύνδεση συνεχούς ρεύματος, όπου η μπαταρία είναι η κύρια αποθήκευση και το τμήμα ελέγχου.

Συνήθως το σύστημα παρέχει φορτία συνεχούς ρεύματος, καθώς η ενέργεια που καταναλώνεται είναι πολύ χαμηλή. Όσο για τον αριθμό συστημάτων, αυτά είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα. Στους κατασκευαστές αυτών των συστημάτων περιλαμβάνονται οι Marlec, Ampair και Southwest.

Στα υβριδικά συστήματα, γενικά ο όρος «υβριδικός» έχει διαφορετικές έννοιες όταν αναφερόμαστε σε μη διασυνδεδεμένα συστήματα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών εννοούμε συστήματα που περιέχουν και άλλη πηγή ενέργειας, συνήθως κάποιο φωτοβολταϊκό σύστημα. Η ισχύς που παράγεται σε ένα τέτοιο σύστημα είναι στις περισσότερες περιπτώσεις λιγότερο από 50 kW.

Μία γεννήτρια diesel χρησιμοποιείται σε πολλά συστήματα ώστε να δίνει εφεδρική δύναμη. Παραδοσιακά, αυτά τα συστήματα βασίζονται στην σύνδεση με συνεχές ρεύμα, με μια μπαταρία παίζουν επίσης το ρόλο αποθήκης και ελέγχου και μία συσκευή inverter για να μετατρέψει το ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί μερικές λύσεις χρησιμοποιώντας σύνδεση εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτή η λύση έχει προέλθει μέσω των μετατροπέων ρεύματος που επιτρέπουν την ροή ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο και το αντίθετο.

Οι ερευνητές χρησιμοποιώντας αυτή τη δεύτερη περίπτωση πρότειναν την χρήση μικρών ανεμογεννητριών με ασύγχρονες γεννήτριες απευθείας συνδεδεμένες στην γραμμή εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία ήταν μια ιδέα που σπάνια χρησιμοποιήθηκε για αυτά τα συστήματα (εκτός από την Vergnet). Η τάση της τεχνολογίας για αυτά τα συστήματα βασίζεται κυρίως στον σχεδιασμό και την ευελιξία των ηλεκτρονικών ισχύος, ώστε να είναι ικανά να παρέχουν και ποιοτική ισχύ και τον εποπτικό έλεγχο του συστήματος.

Αν και τα υβριδικά συστήματα συμπεριλαμβάνουν μόνο την ενέργεια από τον άνεμο και τις γεννήτριες πετρελαίου, η κατηγορία «ντιζελογεννήτριας» αναφέρεται σε εκείνα τα συστήματα στα οποία η γεννήτρια παίζει το ρόλο όχι μόνο μιας εφεδρικής πηγής αλλά είναι ένα βασικό εργαλείο για τον σωστό έλεγχο και την λειτουργία του συστήματος. Αυτό είναι ένα τυπικό σύστημα που χρησιμοποιείται για μεγαλύτερες απομονωμένες εφαρμογές (>50 kW), επίσης έχουν παρατηρηθεί και σε συστήματα μερικών MW.

Το σύστημα αποθήκευσης που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση, είναι μία μικρής διάρκειας αποθήκευση, συνήθως μπαταρίες ή σφόνδυλοι, που χρησιμοποιείται μόνο για σκοπούς ποιότητας ισχύος και ελέγχου, όχι για μεγάλης διάρκειας ενεργειακή ισορροπία.

#### Διασυνδεδεμένες εφαρμογές

Ένα άλλο κομμάτι της αγοράς για τις μικρές ανεμογεννήτριες είναι οι διασυνδεδεμένες με το δίκτυο εφαρμογές σε περιβάλλον αστικό αλλά και βιομηχανικό. Οι αποκαλούμενες διανεμημένες αιολικές εφαρμογές εξισορροπούνται με την γρήγορη ανάπτυξη της αγοράς ως απάντηση στην συνεχόμενη αύξηση της τιμής της ενέργειας και στην αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, για να φτάσουν τα αιολικά συστήματα να καλύψουν τις απαιτήσεις της αγοράς θα πρέπει να ξεπεραστούν κάποια εμπόδια, κυρίως στο κόστος του συστήματος, στην ποιότητα του σχεδιασμού, στην διασύνδεση με το δίκτυο και στους περιορισμούς των εγκαταστάσεων.

Προς το παρόν η βασική ανάπτυξη αυτής της αγοράς παρατηρείται στις ΗΠΑ, στον Καναδά και στην Αυστραλία, παράλληλα με τις νέες τάσεις στην ανάπτυξη των διασυνδεδεμένων συστημάτων. Η αιολική ενέργεια μπορεί επίσης να παράγει ηλεκτρισμό σε ένα αστικό περιβάλλον. Αυτή η τάση έχει κυρίως παρατηρηθεί στην Ευρώπη, όπου η ενσωμάτωση μικρών ανεμογεννητριών σε ένα κατοικημένο περιβάλλον έχει συζητηθεί εντατικά.

Οι καινούριες ανεμογεννήτριες αναπτύσσονται σύμφωνα με αυτή την εφαρμογή, που στοχεύει κυρίως σε αθόρυβες και αποδοτικές συσκευές κάτω από στροβιλισμούς και αλλαγή στην ροή του αέρα. Παρόλο που εγκαθίστανται πάνω ή γύρω από κτίρια, μεγάλο ενδιαφέρον παρατηρείται στην ενσωμάτωσή τους με τα κτίρια, όπου η γεννήτρια είναι μέρος της δομής ή της πρόσοψης του σπιτιού.

### 4.3 Ανάπτυξη της αγοράς

Οι μικρές ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν μια ποικιλία στον σχεδιασμό και στο μέγεθος τους. Κάποια στιγμή η κατάσταση ήταν ακόμα χειρότερη όταν πρακτικά κάθε σχεδιασμός έβγαινε στην αγορά. Ευτυχώς, η τεχνολογία συμπεριέλαβε ένα κοινό σχεδιασμό και παρόλο που φαίνονται διαφορετικές, οι περισσότερες είναι στην πραγματικότητα σχεδόν παρόμοιες. Οι διαφορές τους σήμερα είναι στο πως παράγουν την ενέργεια και στο πως ελέγχονται.

Η αγορά των μικρών ανεμογεννητριών στις ανεπτυγμένες χώρες είναι ελπιδοφόρα, τόσο για τα διασυνδεδεμένα όσο και για τα απομονωμένα συστήματα, και ακόμα περισσότερο για τις αναπτυσσόμενες χώρες, λόγω της συνεχής μείωσης σε συγκεκριμένα κόστοι και της αύξησης στην ανάγκη για ενέργεια.

Οι περισσότερες από τις μικρού τύπου ανεμογεννήτριες που υπάρχουν αυτή την στιγμή έχουν τρία πτερύγια, αλλά υπάρχουν επίσης μοντέλα με δύο, τέσσερα ή και περισσότερα. Η διάμετρος του τροφέα είναι λιγότερη από 20 m, και στις περισσότερες από τις μικρές ανεμογεννήτριες του εμπορίου είναι κάτω από 10 m. Αυτές οι γεννήτριες εφαρμόζονται συνήθως σε πύργους από 12 m μέχρι 24 m.

Νέο πρότυπο για τον σχεδιασμό μικρών ανεμογεννητριών (IEC 61400-02, δεύτερη έκδοση) δημοσιεύθηκε το 2006 για γεννήτριες με εμβαδό τροφέα  $<200 \text{ m}^2$  (~16 m διάμετρο ρότορα). Έχει παρατηρηθεί μικρή αύξηση αυτών των προτύπων από τις βιομηχανίες. Πάνω από 300 διαφορετικά μοντέλα, σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, υπάρχουν παγκοσμίως, από αυτά τα 100 είναι κατασκευασμένα από Αμερικανούς κατασκευαστές.

Μικρές ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται σε πολλούς διαφορετικούς σχηματισμούς. Ωστόσο, σήμερα οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες λειτουργούν αντίθετα στον άνεμο, είναι οριζόντιου άξονα και ο στροφέας περιστρέφεται μπροστά από τον πύργο, σχεδόν παράλληλα με τον άξονα.

Η τεχνολογία των μικρών ανεμογεννητριών είναι προφανώς διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιείται στις μεγάλες. Αυτές οι διαφορές έχουν επιπτώσεις σε όλα τα επιμέρους συστήματα, κυρίως στο ηλεκτρικό σύστημα και στο σύστημα ελέγχου αλλά επίσης και στο σχεδιασμό του στροφέα. Ήδη υπάρχουν κάποια πρότυπα για τις μικρές ανεμογεννήτριες, όπως το πρότυπο IEC 61400-2 Σχεδιαστικές απαιτήσεις για μικρές ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει κάτι παραπάνω ώστε να αναπτυχθούν περισσότερα κατάλληλα πρότυπα και πιο απλοί τρόποι ώστε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα στους τελικούς χρήστες.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής περίπου 20 χρόνια αλλά θα πρέπει να ελέγχονται ανά μερικά έτη ώστε να λειτουργούν αποδοτικά. Οι μπαταρίες έχουν τυπικά διάρκεια ζωής 6-10 χρόνια περίπου, ανάλογα με τον τύπο τους. Έτσι, υπάρχει περίπτωση να πρέπει να αλλαχθούν σε κάποια στιγμή της διάρκειας ζωής του συστήματος.

#### **4.4 Θόρυβος μικρών Α/Γ και περιβαλλοντικά θέματα**

Η αιολική ενέργεια είναι ίσως εκείνη η ΑΠΕ η οποία δέχεται τις περισσότερες επικρίσεις, κυρίως όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών αλλά και αναφορικά με επιμέρους σημεία, όπως είναι για παράδειγμα ο θόρυβος που παράγουν.

Στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών η απάντηση στο ερώτημα εάν οι ανεμογεννήτριες είναι βλαβερές για το περιβάλλον ή την υγεία είναι ένα κατηγορηματικό όχι. Οι ανεμογεννήτριες εν γένει δεν εκπέμπουν κανενός είδους ακτινοβολία ή ρύπους που θα μπορούσαν να βλάψουν την υγεία. Αντιθέτως, με τη λειτουργία τους παράγεται πράσινη, καθαρή δηλαδή, ενέργεια, εξοικονομώντας έτσι τη χρήση άλλων ρυπογόνων μορφών ενέργειας, όπως είναι για παράδειγμα ο συμβατικός άνθρακας.

Με την παραγωγή ενέργειας μέσω ανεμογεννητριών αποφεύγεται η έκλυση ρύπων όπως CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, επομένως, κάθε επιχείρημα που θέλει τις α/γ, μικρές ή μεγάλες, επικίνδυνες για την υγεία ή το περιβάλλον δεν έχουν καμία βάση.

Στο κομμάτι του θορύβου, τώρα, θα πρέπει να σημειώσουμε καταρχήν ότι ο όποιος θόρυβος προέρχεται αφενός από τα μηχανικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας και αφετέρου από τον αεροδυναμικό θόρυβο που δημιουργείται από την κίνηση των φτερών της.

Είναι γεγονός ότι κάποια μοντέλα μικρών ανεμογεννητριών παράγουν αρκετό αεροδυναμικό θόρυβο και κραδασμούς, κάτι το οποίο τις καθιστά «ενοχλητικές» τόσο για τον κάτοχό τους όσο και για τους γείτονες, στην περίπτωση που μιλάμε για τις οικιακές ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, αυτός δεν είναι ο κανόνας, καθώς υπάρχουν μικρές ανεμογεννήτριες οι οποίες είναι ουσιαστικά αθόρυβες και αποτελούν την ιδανική επιλογή ακόμη και για πυκνοκατοικημένους οικισμούς.

Γι' αυτό και θα πρέπει να γίνεται ο σωστός έλεγχος αγοράς προκειμένου να εξασφαλίσουμε την απουσία κραδασμών από τον εναλλάκτη, η οποία θα μας εξασφαλίσει μια αθόρυβη λειτουργία της Α/Γ, προκειμένου να είναι χωρίς προβλήματα η εγκατάστασή της ακόμη και πάνω σε ένα κτίριο, προκειμένου να εκμεταλλευτούμε το μεγάλο ύψος, το οποίο θα μας δώσει υψηλές αποδόσεις.

Ο θόρυβος μετρείται σε dB(A). Το decibel (db) είναι η μονάδα μέτρησης της στάθμης ηχητικής πίεσης. Για μετρήσεις του θορύβου του περιβάλλοντος χρησιμοποιούμε ως μονάδα το dB(A) το οποίο περιέχει μια προσαρμογή για την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού και αναφέρεται σε χαμηλό θόρυβο. Η κλίμακα των dB είναι λογαριθμική ή σχετική κλίμακα. Αυτό σημαίνει ότι διπλασιάζοντας την στάθμη ηχητικής πίεσης ή την ενέργεια του, τα dB(A) αυξάνονται περίπου κατά 3 φορές. Αν αυξήσουμε την στάθμη ηχητικής πίεσης κατά 10 dB(A), θα διπλασιαστεί η υποκειμενική ηχητικότητα.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται μερικές ενδεικτικές τιμές έντασης ήχου από ανεμογεννήτρια, σε συνάρτηση με την απόσταση που βρίσκεται. Η διάδοση του ήχου είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης.



Πίνακας 6. Ενδεικτικές τιμές στάθμης ήχου σε συνάρτηση με την απόσταση [17]

<b>Μέτρα από την βάση στήριξης της Α/Γ</b>	50	100	120	150	160	180	200	250	300	350	400	450	500
<b>Db (A)</b>	51.8	48.3	47.1	45.5	45	44	43.2	41.2	38.8	36.8	35.2	33.7	32.4

Παρατηρούμε ότι καθώς απομακρυνόμαστε συνεχώς μειώνεται η ένταση του θορύβου. Αν συγκρίνουμε τις τιμές αυτές με τις ενδεικτικές τιμές του παρακάτω πίνακα αντιλαμβανόμαστε ότι ακόμη και αν η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί, είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε την αύξηση του θορύβου από την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, πέρα από την αύξηση που θα προέλθει από την αύξηση του εξωτερικού ηχητικού υπόβαθρου.

Πίνακας 7. Επίπεδο θορύβου μερικών δραστηριοτήτων [17]

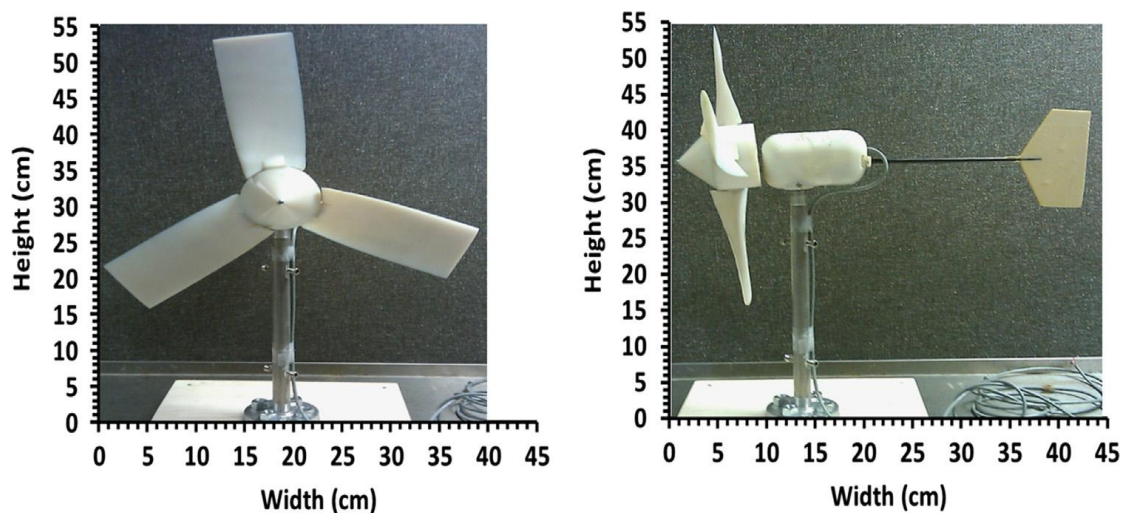
<b>Πηγή / Δραστηριότητα</b>	<b>Ενδεικτικό επίπεδο θορύβου dB (A)</b>
Κατώτατο όριο ανθρώπινης ακοής	0
Ηχητικό υπόβαθρο υπαίθρου τη νύχτα	20 - 40
Ήσυχο υπνοδωμάτιο	35
Εργασίες σε αγρόκτημα από απόσταση 100 m	35 - 45
Αυτοκίνητο κινούμενο με 65 km/h από 100 m	55
Γραφείο με κόσμο	60
Τρυπάνι σε απόσταση 7 m	95
Αεροσκάφος Jet σε 250m	105
Ανθρώπινο όριο πόνου	140

Αν εξαιρέσουμε τώρα τις οικιακές ανεμογεννήτριες, στις οποίες όπως είναι φυσικό μας απασχολεί εντονότερα το θέμα του θορύβου, στις μικρές ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος οι οποίες είναι εγκατεστημένες όχι σε κάποιο κτίριο, αλλά σε ένα χώρο αρκετά απομακρυσμένο, τότε και πάλι το πρόβλημα του θορύβου είναι ανύπαρκτο. Οι μικρές ανεμογεννήτριες λόγω σχεδιασμού αλλά και λόγω της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής τους, καταφέρνουν μέσα σε λίγα μόλις μέτρα απόστασης να είναι πρακτικά αθόρυβες. Είναι χαρακτηριστικό ότι πλήθος μοντέλων, από απόσταση 70 m παράγουν ήχο φυσικό, δηλαδή όπως ακούγεται ο άνεμος, ενώ από τα 150 m και πλέον, πρακτικά δεν ακούγονται.

Για να έχουμε μια καλύτερη εικόνα όμως αρκεί να αναφέρουμε ότι μια ανεμογεννήτρια των 50 kW μπορεί να παράγει έως 300 MWh ετησίως, ποσό ενέργειας ικανό να καλύψει την ενέργεια που καταναλώνουν περισσότερα από 70 νοικοκυριά. Παράλληλα, βοηθά στις εξοικονόμηση 290 τόνων CO<sub>2</sub> που θα εκπέμπονταν από συμβατικές μορφές παραγωγής ενέργειας.

#### 4.5 Μελέτη πειραματικής πολύ μικρής και φορητής Α/Γ

Αυτή η μελέτη προβάλλει τα θεωρητικά και πειραματικά αποτελέσματα για μία φορητή μικρή ανεμογεννήτρια διαμέτρου 40 cm και ονομαστικής ταχύτητας ανέμου 4 m/s.



Εικόνα 5. Η μικρή ανεμογεννήτρια SWEPT [1]

Τα πειράματα για την συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια έδειξαν ότι έχει ονομαστική ισχύ εξόδου 1 W και είναι ικανή να παράγει ισχύ εξόδου μέχρι 2.2 W σε ταχύτητα ανέμου 5.5 m/s. Σε σύγκριση με την δημοσιευμένη βιβλιογραφία είναι μία από τις πιο αποδοτικές ανεμογεννήτριες τόσο χαμηλής κλίμακας. Η ανεμογεννήτρια είναι οριζόντιου άξονα και έχει ως στόχο να λειτουργεί σε πολύ χαμηλές ταχύτητες <5 m/s. Ο συντελεστής ισχύος της φτάνει το 32% και η συνολική της απόδοση το 21% για την ονομαστική ταχύτητα αέρα.

Γενικά, σύμφωνα με την βιβλιογραφία οι μικρές  $a/\gamma$ , απαιτούν ταχύτητα ανέμου πάνω από 10 m/s πράγμα που μας αποτρέπει από το να τις χρησιμοποιήσουμε στο επίπεδο του εδάφους. Μερικές μπορούν να λειτουργήσουν και σε χαμηλότερες ταχύτητες αλλά έχουν μικρή απόδοση, πράγμα που τις κάνει αυτομάτως μη εφαρμόσιμες. Ο σχεδιασμός αυτής της  $a/\gamma$  συσχετίζει σχεδιαστικούς παράγοντες όπως η διαμόρφωση, η μεταφορά και η αποδοτικότητα.

Υπάρχουν τρεις παράμετροι που χρησιμοποιούμε συχνά για να χαρακτηρίσουμε την απόδοση μιας  $a/\gamma$ . Αυτοί οι παράμετροι είναι ο συντελεστής ισχύος, ο συντελεστής ροπής και η συνολική απόδοση. Ο συντελεστής ισχύος προκύπτει από τον λόγο της μηχανικής ενέργειας που παράγεται από την  $a/\gamma$  προς την συνολική διαθέσιμη ισχύ του ανέμου. Η δεύτερη παράμετρος, ο συντελεστής ροπής χρησιμοποιείται για να αξιολογήσουμε την ροπή του άξονα που αναπτύσσεται από τον δρομέα της γεννήτριας. Η μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή ροπής επιτρέπει στην γεννήτρια να ξεκινάει και να λειτουργεί σε χαμηλότερη ταχύτητα ανέμου. Σύμφωνα με τα μαθηματικά ο συντελεστής ροπής προκύπτει από τον λόγο του συντελεστή ισχύος προς τον συντελεστή  $\lambda$ , ο οποίος είναι το ποσοστό της ταχύτητας των πτερυγίων προς την ταχύτητα του ανέμου. Η τρίτη παράμετρος, η συνολική απόδοση ορίζεται ως η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται προς την συνολική διαθέσιμη ενέργεια ανέμου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές μικρές ανεμογεννήτριες. Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες είναι μεσαίας κλίμακας. Η σχετική ταχύτητα του ανέμου είναι τυπικά πάνω από 10 m/s. Καμία δεν μπορεί να λειτουργήσει σε ταχύτητα κάτω από 5 m/s, εκτός από την πολύ μικρή ανεμογεννήτρια η οποία έχει διάμετρο δρομέα μόλις 23.4 cm και λειτουργεί σε ταχύτητες ανέμου 2-7 m/s. Ο βέλτιστος συντελεστής ισχύος της όμως είναι 18%, ο οποίος θεωρείται αρκετά χαμηλός.

Πίνακας 8. Μερικές μικρές ανεμογεννήτριες [1]

Sr. no.	Description	Rotor diameter (cm)	Rated wind speed (m/s)	Overall efficiency <sup>a</sup>
1	NE-100 S ( <a href="http://www.wxnaier.com/ProductShow.asp?ID=790">www.wxnaier.com/ProductShow.asp?ID=790</a> )	120	10	14%
2	NE-200 S ( <a href="http://www.wxnaier.com/ProductShow.asp?ID=790">www.wxnaier.com/ProductShow.asp?ID=790</a> )	130	11	18%
3	NE-300 S ( <a href="http://www.wxnaier.com/ProductShow.asp?ID=790">www.wxnaier.com/ProductShow.asp?ID=790</a> )	130	13	17%
4	Energy Ball V100 ( <a href="http://www.home-energy.com/int/ebv100technical.htm">www.home-energy.com/int/ebv100technical.htm</a> )	110	10	17%
5	Micro Wind Turbine (Leung et al., 2010)	23.4	2-7 <sup>b</sup>	18% <sup>c</sup>
6	TAOS 600 ( <a href="http://www.taoswind.com/TAOS600SPEC.pdf">www.taoswind.com/TAOS600SPEC.pdf</a> )	180	12.5	20%
7	Chinook 200 ( <a href="http://www.chinookturbines.com/Products.html">http://www.chinookturbines.com/Products.html</a> )	100	12.5	21%
8	EP-220 ( <a href="http://www.electricpinwheels.com/Wind_Turbine.html">www.electricpinwheels.com/Wind_Turbine.html</a> )	137	12.5	12%
9	Bornay 600 ( <a href="http://www.bornay.com/eolica/en/wind-turbines/4/models/17/bornay-600/1/specs">www.bornay.com/eolica/en/wind-turbines/4/models/17/bornay-600/1/specs</a> )	200	11	23%
10	AC 120 ( <a href="http://www.aerocraft.de/downloads/AeroCraft-Systems_gb.pdf">www.aerocraft.de/downloads/AeroCraft-Systems_gb.pdf</a> )	120	9	24%
11	AC 240 ( <a href="http://www.aerocraft.de/downloads/AeroCraft-Systems_gb.pdf">www.aerocraft.de/downloads/AeroCraft-Systems_gb.pdf</a> )	165	9	25%
12	μF500 (Hirahara et al., 2005)	50	12	25%
13	Alladin 400 ( <a href="http://www.taoswind.com/Alladin400SPEC.pdf">www.taoswind.com/Alladin400SPEC.pdf</a> )	130	12.5	25%
14	Superwind 350 ( <a href="http://www.superwind.com/swe/index.htm">www.superwind.com/swe/index.htm</a> )	120	12.5	26%

<sup>a</sup> Overall efficiency was calculated from manufacturer's published data.

<sup>b</sup> Not specified.

<sup>c</sup> Power coefficient.

Από τον συγκεκριμένο πίνακα διαπιστώνουμε την έλλειψη σχεδίασης κατάλληλου μοντέλου που να μπορεί να λειτουργήσει κοντά στο επίπεδο του εδάφους σε ταχύτητες μόλις λίγα m/s. Μία από τις βασικές διαφορές των μικρών από τις πολύ μικρές α/γ είναι οι συνθήκες λειτουργίας καθώς οι μεγαλύτερες μπορούν να λειτουργήσουν και σε περιοχές με υψηλές ταχύτητες ανέμου, περίπου 12-14 m/s.

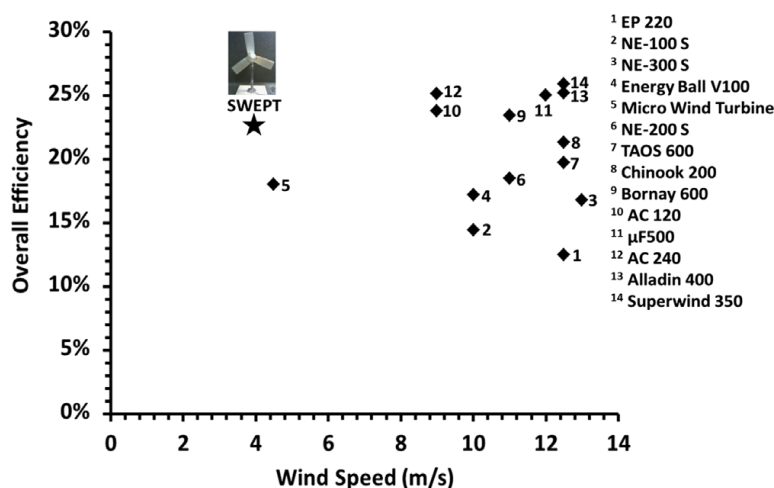
Γενικά οι μεγαλύτερες συναντώνται εκτός πόλης όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι μεγαλύτερες και δεν υπάρχουν φυσικά εμπόδια στην ροή του ανέμου. Από την άλλη μεριά, οι πολύ μικρές α/γ εγκαθίστανται σε κατοικημένες περιοχές όπου τα εμπόδια όπως κτίρια και δέντρα μειώνουν την ροή του ανέμου. Έτσι οι διαφορές στις συνθήκες λειτουργίας των α/γ επηρεάζουν την αεροδυναμική τους συμπεριφορά. Βασικός συντελεστής που καθορίζει την αεροδυναμική συμπεριφορά μιας α/γ είναι ο αριθμός Reynolds (Re). Όσο μειώνεται το μέγεθος της α/γ, η ταχύτητα περιστροφής και η ταχύτητα του ανέμου στην οποία λειτουργεί, μειώνεται και ο αριθμός Reynolds. Η μείωση του Re επιδεινώνει τις αεροδυναμικές ιδιότητες των πτερυγίων ειδικά σε χαμηλές ταχύτητες.

Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που οι πολύ μικρές α/γ που σχεδιάζονται για μικρούς ανέμους δεν έχουν καλή απόδοση. Αυτή η επίδραση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αν διαλέξουμε ένα πτερύγιο το οποίο να είναι κατάλληλο για εφαρμογές με μικρό αριθμό Re. Υπάρχουν μερικά πτερύγια, όπως NACA 0012, NACA 4412, NACA 4415, που παρά το χαμηλό αριθμό Re αυτά δίνουν λογικές αποδόσεις.

Η ισχύς εξόδου μιας *α/γ* εξαρτάται από το τετράγωνο της ακτίνας του στροφέα, τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου και την αποδοτικότητα. Καθώς μειώνουμε τις διαστάσεις όλοι αυτοί οι παράγοντες μειώνονται και οδηγούν το σύστημα σε πολύ μικρή ισχύ εξόδου. Είναι τόσο χαμηλή που δεν μπορεί να δικαιολογήσει το κόστος κατασκευής και λειτουργίας μιας μικρής *α/γ*. Γι' αυτό και το να πετύχουμε καλύτερη απόδοση δεν είναι ο μόνος σκοπός. Θα πρέπει να ελέγξουμε και τους κατασκευαστικούς παράγοντες, διαμόρφωση, μεταφορά και αξιοπιστία, ώστε να δικαιολογήσουμε και την οικονομική αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας.

Η μελέτη αυτή ασχολείται με τον σχεδιασμό και την απόδοση μιας πολύ μικρής κινητής ανεμογεννήτριας διαμέτρου 40 cm που μπορεί να λειτουργήσει κοντά στο επίπεδο του εδάφους σε πολύ μικρή ταχύτητα αέρα. Στον τελικό σχεδιασμό της *α/γ* παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία ξεκινάει να λειτουργεί είναι μόλις 3.0 m/s. Είναι μια πολύ αποδοτική *α/γ*, ο συντελεστής ισχύος της κυμαίνεται από 31% έως 34%. Η μέγιστη συνολική απόδοση της συσκευής υπολογίστηκε στο 21% σε ταχύτητα ανέμου 4.0 m/s.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια 1 W σε ταχύτητα ανέμου 4.0 m/s η οποία μπορεί να αυξηθεί στα 2.2 W σε ταχύτητα ανέμου 5.5 m/s. Στο παρακάτω διάγραμμα συγκρίνεται η συγκεκριμένη *α/γ* με άλλες υφιστάμενες. Η SWEPT είναι από τις λίγες *α/γ* που λειτουργεί σε ταχύτητες ανέμου μικρότερες από 10 m/s. Το εύρος εφαρμογής της δεν θα πρέπει να υποτιμηθεί λόγω της χαμηλής ισχύος που παράγει.

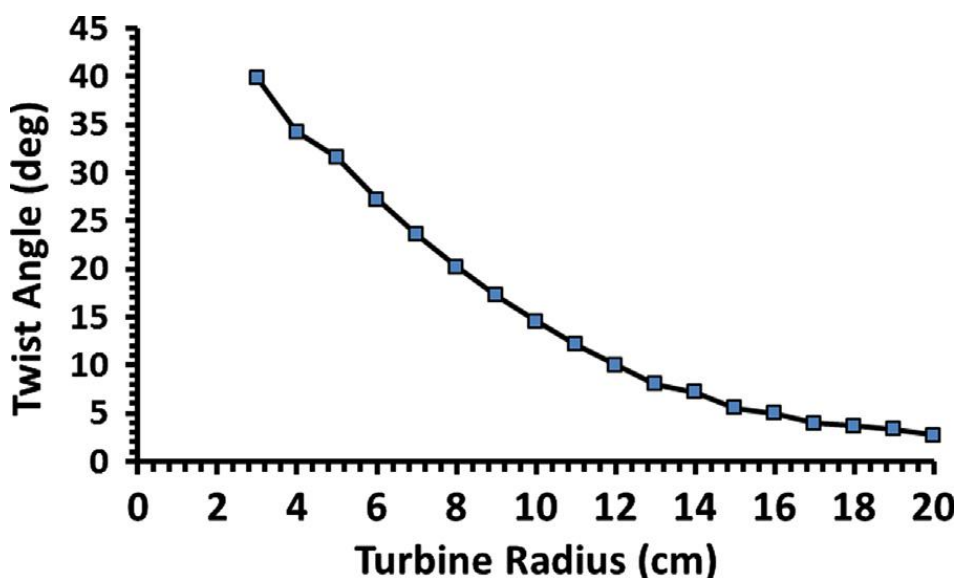


Γράφημα 2. Διάγραμμα ταχύτητας λειτουργίας – απόδοσης. Σύγκριση της SWEPT με άλλες μικρές ανεμογεννήτριες [1]

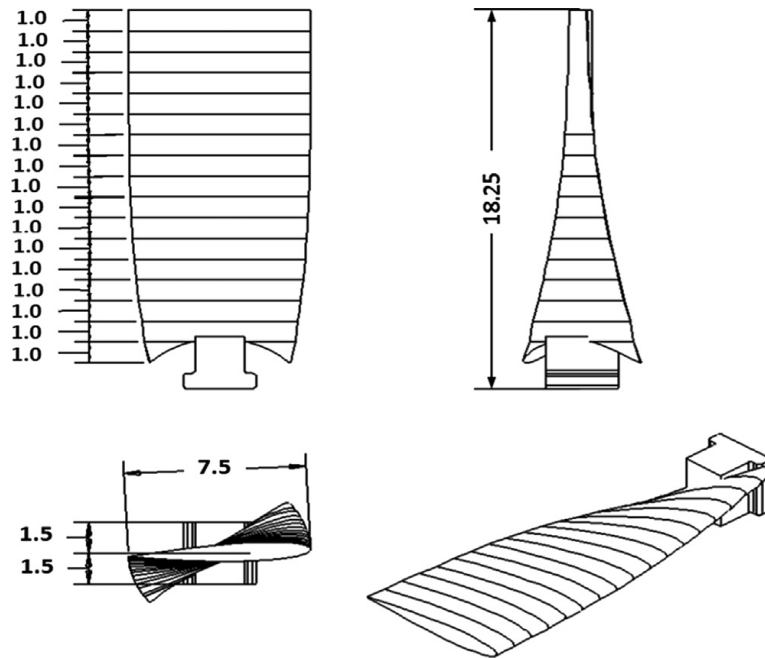
Είναι φορητή και ελαφριά στο βάρος. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να φορτίζει φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως κινητό τηλέφωνο, ραδιόφωνο τσέπης, GPS κ.τ.λ. Επίσης σε διάφορες ηλεκτρικές συσκευές στο σπίτι, ακόμα και για το σύστημα συναγερμού.

Στη συγκεκριμένη μελέτη έχει αναπτυχθεί ένα καινοτόμο σχεδιαστικό εργαλείο που βασίζεται στην θεωρία Blade Element Momentum (BEM) ιδιαίτερα στο σχεδιασμό μικρών α/γ σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Η SWEPT είναι μία α/γ οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια. Ο αριθμός Reynolds βρέθηκε 40000.

Τα πτερύγια είναι NACA 0012 τα οποία είναι κατάλληλα για χαμηλές τιμές του αριθμού Re. Είναι συμμετρική κατά μήκος της γραμμής καμπυλότητας και έτσι παρουσιάζει απλότητα από άποψη κατασκευής και ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες που σχετίζονται με κατασκευαστικές ατέλειες. Κάθε πτερύγιο έχει σταθερό μήκος 7.5 cm. Οι ακτίνες τους στο κέντρο και στην άκρη είναι 3 cm και 20 cm αντίστοιχα. Τα πτερύγια δεν είναι γραμμική κλίση κατά 37° από το κέντρο στην κορυφή. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την γωνία κλίσης των πτερυγίων κατά μήκος της ακτίνας της α/γ.



Γράφημα 3. Διάγραμμα γωνίας κλίσης πτερυγίου – ακτίνας [1]



Εικόνα 6. Τα περύγια της SWEPT σε διαφορετικές όψεις [1]

Πίνακας 9. Τα βασικά χαρακτηριστικά της SWEPT [1]

Design specifications.	
Tip diameter	40 cm
Hub diameter	6 cm
Airfoil	NACA 0012
Number of blades	3
Axis of rotation	Horizontal
Twist angle	37°
Local twist angle at hub	40°
Local twist angle at tip	3°
Tapering angle	0° (Constant chord length)
Chord length	7.5 cm
Solidity	30%
Gear ratio	80:10
Generator	24 V permanent magnet DC motor
Cut-in wind speed	3.0 m/s
Rated wind speed	4.0 m/s

Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη γωνία παρουσιάζεται κοντά στο κέντρο παρά στην άκρη. Η μεγάλη αυτή κλίση κοντά στην πλήμνη ή καλύτερα στο κέντρο ουσιαστικά παρέχει μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης κι έτσι βοηθάει την  $\alpha/\gamma$  να ξεκινάει σε χαμηλή ταχύτητα ανέμου. Εκτός από την γωνία κλίσης, η σταθερότητα είναι μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τον συντελεστή ισχύος της  $\alpha/\gamma$ . Στις συμβατικές μικρές  $\alpha/\gamma$  η σταθερότητα τους κυμαίνεται σε ένα ποσοστό της τάξεως του 5-7%. Ωστόσο στις πολύ μικρές το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι και 50% ανάλογα με το μέγεθος τους.

Στην SWEPT α/γ η σταθερότητα της φτάνει το 30%, το οποίο είναι σύμφωνο με την βιβλιογραφία. Τα πτερύγια είναι ενωμένα στην πλήμνη χρησιμοποιώντας ένωση χελιδνοουράς. Αυτή η μέθοδος όχι μόνο παρέχει την απαραίτητη ακαμψία στον στροφέα αλλά επίσης δίνει την ευελιξία να αποσυντίθενται τα πτερύγια από την πλήμνη όταν η α/γ δεν χρησιμοποιείται. Στην παραπάνω εικόνα υπάρχει ένα σχέδιο των πτερυγίων με όλες τις διαστάσεις τους.

Το κουτί της νασέλας της SWEPT αποτελείται από δύο συνδετικούς άξονες, τέσσερα έδρανα, ένα μηχανισμό γραναζιών και μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Ο άξονας του δρομέα είναι 3.18 mm σε διάμετρο ενώ ο άξονας της γεννήτριας 6.35 mm. Τα έδρανα που χρησιμοποιούνται είναι χαλύβδινα και λιπαίνονται ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες λόγω τριβής. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης έχει αναλογία γραναζιών 80:10, το οποίο και χρειάζεται ώστε να ενισχυθεί η περιστροφική ταχύτητα της γεννήτριας.

Το να βρεθεί μια κατάλληλη γεννήτρια για πολύ μικρές α/γ είναι από μόνο του μια πρόκληση. Η γεννήτρια δεν θα πρέπει μόνο να είναι μικρή στο μέγεθος αλλά επίσης χρειάζεται να έχει μικρή ροπή εκκίνησης και υψηλή τάση στη αναλογία των στροφών.

Στην SWEPT χρησιμοποιείται ένας κινητήρας μονίμων μαγνητών συνεχούς ρεύματος 24V ως γεννήτρια επειδή δεν υπήρχε κατάλληλη γεννήτρια άμεσα διαθέσιμη με τις επιθυμητές ιδιότητες. Στον παραπάνω πίνακα συνοψίζονται όλες οι σχεδιαστικές προδιαγραφές της SWEPT. Μερικά άλλα χαρακτηριστικά που την κάνουν μοναδική είναι η συναρμολόγηση και η δυνατότητα μεταφοράς. Τα περισσότερα κομμάτια της α/γ έχουν κατασκευαστεί από τυποποιημένα υλικά και μπορούν εύκολα να αποσυνδεθούν όταν δεν χρησιμοποιείται.

#### **4.6 Η ανεμογεννήτρια Windlens**

Ερευνητές από το τμήμα δυναμικής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του πανεπιστήμιου του Kyushu αναπτύσσουν ένα νέο είδος ανεμογεννήτριας με σημαντικά βελτιωμένη απόδοση. Η εφεύρεση τους ονομάζεται Windlens («φακός ανέμου») και εμπερικλείει τον ανεμιστήρα της ανεμογεννήτριας μέσα σε ένα δαχτυλίδι.

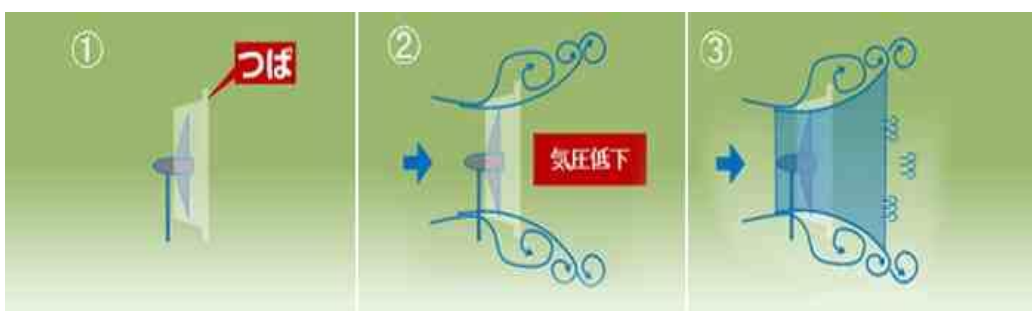




Εικόνα 7. Οι ανεμογεννήτριες Windlens [15]

Η βασική αρχή λειτουργίας φαίνεται στην εικόνα. Το δαχτυλίδι είναι ένας κυλινδρικός διαχύτης με ένα εξωτερικό χείλος στην απόληξή του. Η κατασκευή αυτή μεταβάλει το πεδίο ροής γύρω από την ανεμογεννήτρια. Ο αγωγός αυτός έχει αυξανόμενη διάμετρο κατά την διεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου. Η πτώση πίεσης που προκαλεί η μεταβολή αυτή της διαμέτρου έχει σαν συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας (ακολουθώντας τον νόμο του Bernoulli για την διατήρηση ενέργειας).

Η παραγόμενη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας οπότε τα οφέλη για δεδομένη διάμετρο πτερυγίων είναι προφανή. Η επίδραση του αγωγού αυτού ενισχύεται σημαντικά από το εξωτερικό χείλος στην απόληξή του που δημιουργεί έναν κυκλικό προσδεμένο στρόβιλο. Το αποτέλεσμα είναι η ροή να κινείται γύρω από τον στρόβιλο αυτό σαν να υπήρχε ένας πολύ μεγαλύτερος αποκλίνων αγωγός χωρίς όμως να επιβαρύνεται η κατασκευή από το βάρος του.

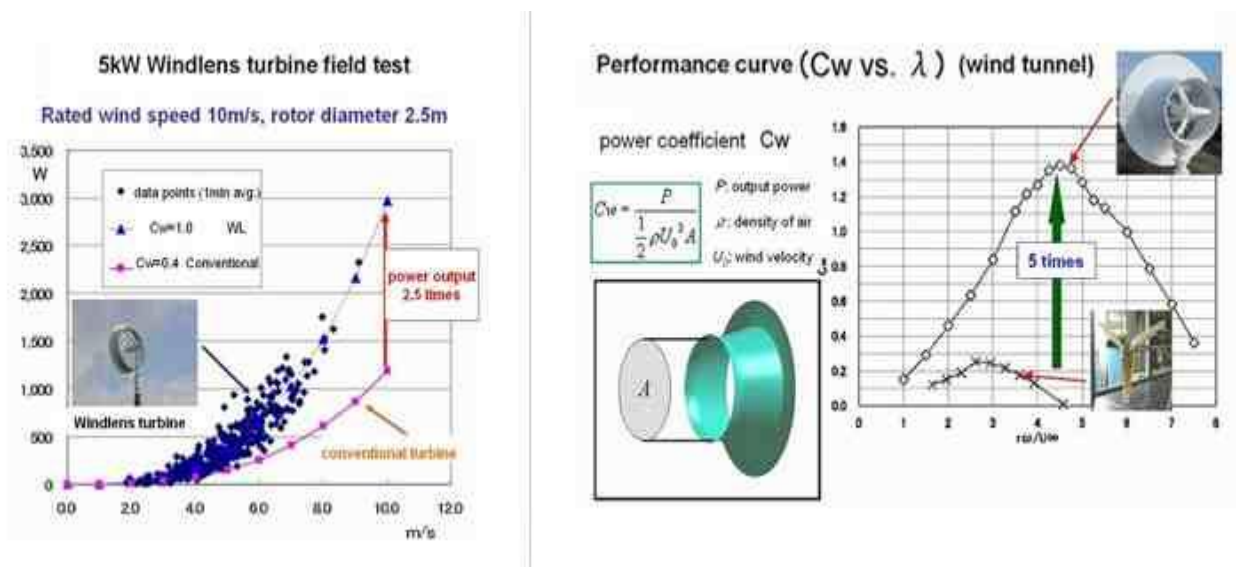


Εικόνα 8. Ροή αέρα σε μια ανεμογεννήτρια Windlens [15]

Τα δεδομένα είναι πολύ εντυπωσιακά. Για δεδομένη διάμετρο πτερυγίων, η παραγόμενη ισχύς με την προσθήκη του Windlens είναι έως και δύομισι φορές μεγαλύτερη ενώ ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται έως και 5 φορές. Η βασική θεωρία είναι αρκετά απλή, ουσιαστικά το Windlens δίνει στην τουρμπίνα την δυνατότητα να απομαστεύσει πολύ περισσότερη κινητική ενέργεια από τον άνεμο και να την μετατρέψει σε ροπή. Όμως τα νούμερα αυτά αναφέρονται σε σύγκριση με συμβατική ανεμογεννήτρια ίδιας διαμέτρου.

Στην πραγματικότητα ο περιορισμός δεν επιβάλλεται από την μέγιστη διάμετρο αλλά από το κόστος και με βάση το επιπλέον κόστος της κατασκευής αυτής η σύγκριση θα πρέπει να γίνει με συμβατική τουρμπίνα μεγαλύτερης διαμέτρου (και ίδιου κόστους). Επιπρόσθετα το Windlens αναγκάζει τα πτερύγια να λειτουργούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες αυξάνοντας τις δομικές και αεροδυναμικές απαιτήσεις από αυτά (άρα και το κόστος τους).

Το συμπέρασμα είναι πως η ανεμογεννήτρια Windlens κοστίζει όσο μία συμβατική αρκετά μεγαλύτερης διαμέτρου, η οποία όμως και πάλι λογικά θα έχει αρκετά μικρότερη απόδοση.



Γράφημα 4. Σύγκριση της ανεμογεννήτριας Windlens με τις συμβατικές [15]

Σήμερα υπάρχουν ήδη εγκατεστημένες αρκετές πειραματικές ανεμογεννήτριες Windlens και στο άμεσο μέλλον υπάρχουν σχέδια για εγκατάσταση πολλών ακόμα είτε μικρών για οικιακή χρήση είτε πολύ μεγαλύτερων για μαζική παραγωγή ή για μεγάλες παράκτιες φάρμες .

#### 4.7 Η ανεμογεννήτρια Vortex Wind Funnel

Η Vortex Wind Funnel είναι μια επαναστατική μικρή ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιεί πολλαπλά πτερύγια για να μετατρέπει την φυσική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα πολλαπλά πτερύγια και το σχήμα χωνιού που διαθέτει της επιτρέπουν να παράγει ενέργεια ακόμα και σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Το σχήμα αυτό έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας, η σταθερότητα της α/γ και η αντοχή της α/γ. Επίσης αυτό το σχήμα έχει την ικανότητα να προστατεύει την ανεμογεννήτρια σε υψηλές ταχύτητες. Αυτή η προστασία περιορίζει την μέγιστη ταχύτητα της α/γ μειώνοντας την πιθανότητα μιας ανεξέλεγκτης α/γ ακόμα και σε καταιγίδα.



Εικόνα 9. Η ανεμογεννήτρια Vortex Wind Funnel [12]

Σε τεστ αντοχής που έγινε στην α/γ, φορτίο μεταφέρθηκε από την α/γ σε ταχύτητα ανέμου 36 m/s επιτυχώς. Αυτό θα είχε καταστρέψει τις περισσότερες κοινές α/γ. Η Vortex Wind Funnel είναι το μέλλον. Η πρωτότυπη α/γ ελέγχθηκε ως προς την ταχύτητα εκκίνησης που θα μπορούσε να επιτύχει. Η ταχύτητα ανέμου στην οποία ξεκίνησε να λειτουργεί ήταν στα 0.9 m/s.

Σε μια κανονική εφαρμογή συνδεδεμένη με το δίκτυο, π.χ. σπίτι ή επιχείρηση, η ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να προσφερθεί ταυτόχρονα και από την α/γ και από το τοπικό δίκτυο. Εάν οι ταχύτητες ανέμου είναι κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης (2-5.5 m/s) της α/γ που συμβαίνει τακτικά σε πολλές περιοχές, το τοπικό δίκτυο παρέχει όλη την απαιτούμενη ενέργεια. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές οι περισσότερες συμβατικές α/γ λειτουργούν στο 25% στην καλύτερη περίπτωση.

Γενικά, οι στρόβιλοι τριών πτερυγίων πρέπει να είναι υψηλότερα για να εξασφαλίσουν ότι μπορούν να λειτουργήσουν επάνω από την ταχύτητα εκκίνησης. Η ταχύτητα αυτή για την α/γ Vortex Wind Funnel είναι ακριβώς κάτω από 2.7m/s. Αυτό της δίνει δύο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα. Η Vortex Wind Funnel μπορεί είτε να εγκατασταθεί σε ένα χαμηλότερο ύψος για να μειώσει τα έξοδα από το κόστος εγκατάστασης είτε μπορεί να εγκατασταθεί στο ίδιο ύψος και να παράγει ενέργεια για περισσότερο χρόνο.

Φυσικά, αυτό επίσης σημαίνει ότι η Vortex θα παράγει περισσότερη δύναμη πιο τακτικά, και ο συντελεστής ικανότητάς θα είναι υψηλότερος.

Άλλα πλεονεκτήματα της Vortex περιλαμβάνουν:

1. Χαμηλότερα επίπεδα θορύβου.
2. Απλούστερος σχεδιασμός, δεν απαιτεί σύστημα φρεναρίσματος ή προσανεμισμού ή εκκίνησης.
3. Χαμηλότερη πιθανότητα πρόσκρουσης πουλιών, δεδομένου ότι η α/γ φαίνεται συμπαγής.

Ο σχεδιασμός αυτός παρέχει μία από τις περιβαλλοντικά φιλικές, επικερδής λύσεις για παραγωγή ενέργειας. Τέτοιου τύπου α/γ είναι οι Mini Vortex οι οποίες χρησιμοποιούνται σε σύνδεση με το δίκτυο. Με ονομαστική ισχύ στο 1.2 kW και πολύ χαμηλή ταχύτητα εκκίνησης η Mini Vortex Wind Funnel μπορεί να καλύψει της ενεργειακές ανάγκες ενός σπιτιού ή μιας μικρής επιχείρησης σε μια πιο σταθερή βάση. Είναι σχεδόν εντελώς αθόρυβη και μπορεί να εγκατασταθεί και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές χωρίς να παραπονιούνται οι γείτονες.

Ο σχεδιασμός της Vortex είναι τέτοιος ώστε να λειτουργεί σε περιοχές με ελάχιστη μέσο όρο ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 4.5 m/s, έτσι λειτουργεί καλά και σε περιοχές όπου οι ταχύτητες του ανέμου ποικίλουν και σε περιοχές με υψηλές και σε περιοχές με χαμηλές ταχύτητες ανέμου.

Η 18 cm Mini Vortex για απομονωμένες εφαρμογές είναι κατασκευασμένη με τα ίδια μηχανικά μέρη όπως η Mini Vortex για σύνδεση με το δίκτυο, μόνο που απευθύνεται σε εφαρμογές εκτός δικτύου. Με την ικανότητα που διαθέτει να παράγει περισσότερη ενέργεια πιο συχνά, μεγιστοποιεί τον χρόνο ζωής των μπαταριών που χρησιμοποιεί.

Τέλος, Η 20 kW α/γ έχει σχεδιαστεί για να μεγιστοποιήσει την επιστροφή των επενδύσεων για τους επιχειρηματίες μικρών α/γ.

#### 4.8 Η λογαριθμική σπειροειδής ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα

Μια νέα σημαντική ανακάλυψη στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας είναι αυτό το επαναστατικό σχέδιο α/γ το οποίο αντιγράφει το νόμο της φύσης που βρίσκεται στον αέρα και στο νερό όπως στους τυφώνες και τους ανεμοστρόβιλους. Όλα τα ρευστά φαίνεται να ακολουθούν το ίδιο σπειροειδές σχέδιο. Έχοντας δοκιμάσει πολλά σχέδια και σχήματα για την αναζήτηση του τέλειου στροβίλου, ο Omar N Abass σχεδιάζει την λογαριθμική σπείρα, την αποκαλούμενη χρυσή σπείρα, ή συμμετρική σπείρα η οποία βρίσκεται σε ζωντανά όντα και σχεδόν παντού γύρω μας.

Είναι τόσο προφανές και απλό αλλά και όμορφο. Όχι μόνο παράγει καθαρή ενέργεια αλλά είναι και οπτικά αρκετά ευχάριστο. Η πραγματική ομορφιά αυτής της α/γ βρίσκεται στην αποδοτικότητά της. Λόγω του αεροδυναμικού προφίλ της, προσανατολίζεται μόνη της σε ένα οριζόντιο σημείο του άξονα.

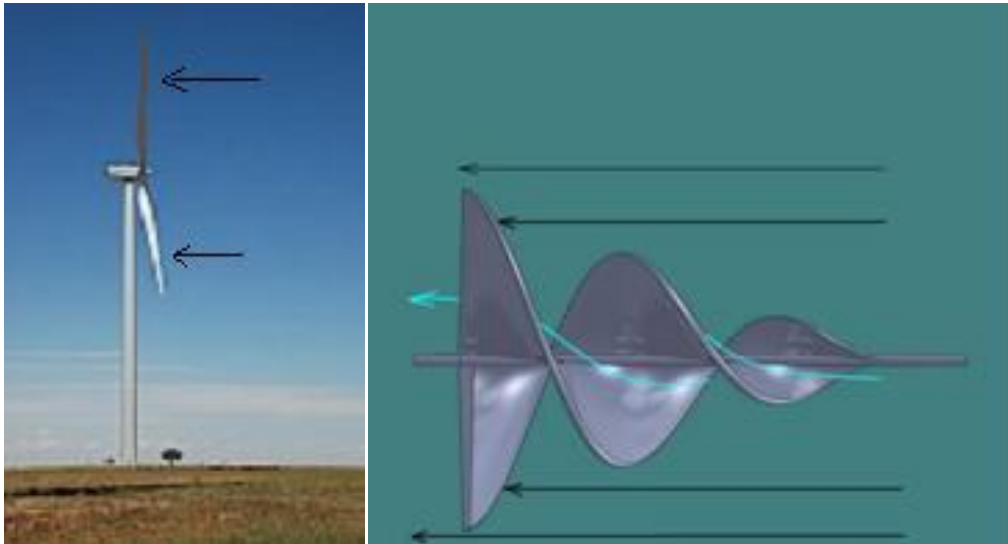
Η μορφή των λεπίδων και η μικρότερη ακτίνα που διαθέτει συλλέγουν αποτελεσματικά την κινητική ενέργεια. Λόγω της μικρής ακτίνας της μπορεί να κατασκευαστεί από φτηνό ανακυκλωμένο πλαστικό PVC ή κάτι παρόμοιο. Είναι ένα σχέδιο που λειτουργεί και για τον αέρα και για το νερό. Είναι πολύ απλή σε σύγκριση με τις κλασικές α/γ, από την άποψη του κόστους, της κατασκευής, τον αριθμό των εξαρτημάτων και την συντήρηση.

Η Golden Spiral Turbine αποτελείται από παρόμοια πτερύγια ενωμένα σε ένα, του οποίου μειώνεται σταδιακά η ακτίνα. Δεν έχει ευθείες γραμμές ή επιφάνειες. Όταν ένα ρευστό ρεύμα προσκρούει το πτερύγιο της, ποτέ δεν χτυπά πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια ή σε μια ευθεία γραμμή και στις τρεις διαστάσεις.

Η επιφάνεια του πτερυγίου είναι καμπύλη από μπροστά μέχρι πίσω, μέσα έξω και γύρω από τον άξονα. Αυτός ο σχεδιασμός βοηθάει να μειωθούν οι στροβιλισμοί στην επιφάνειά του. Σε σύγκριση με μια α/γ τριών πτερυγίων, κοιτώντας τες από μπροστά, παρατηρούμε ότι η επιφάνεια σάρωσης και για τις δύο είναι η ίδια.

Η επιφάνεια σάρωσης μιας συμβατικής α/γ είναι συνήθως αυτή ενός δίσκου μείον την περιοχή στο κέντρο όπου ενώνονται τα πτερύγια με τον άξονα της γεννήτριας.

Αυτή την περιοχή εκμεταλλεύεται πιο αποδοτικά η σπειροειδής α/γ εξασφαλίζοντας μια μεγαλύτερη επιφάνεια σάρωσης.



Εικόνα 10. Ροή αέρα σε μια συμβατική ανεμογεννήτρια και στην Λογαριθμική [13]

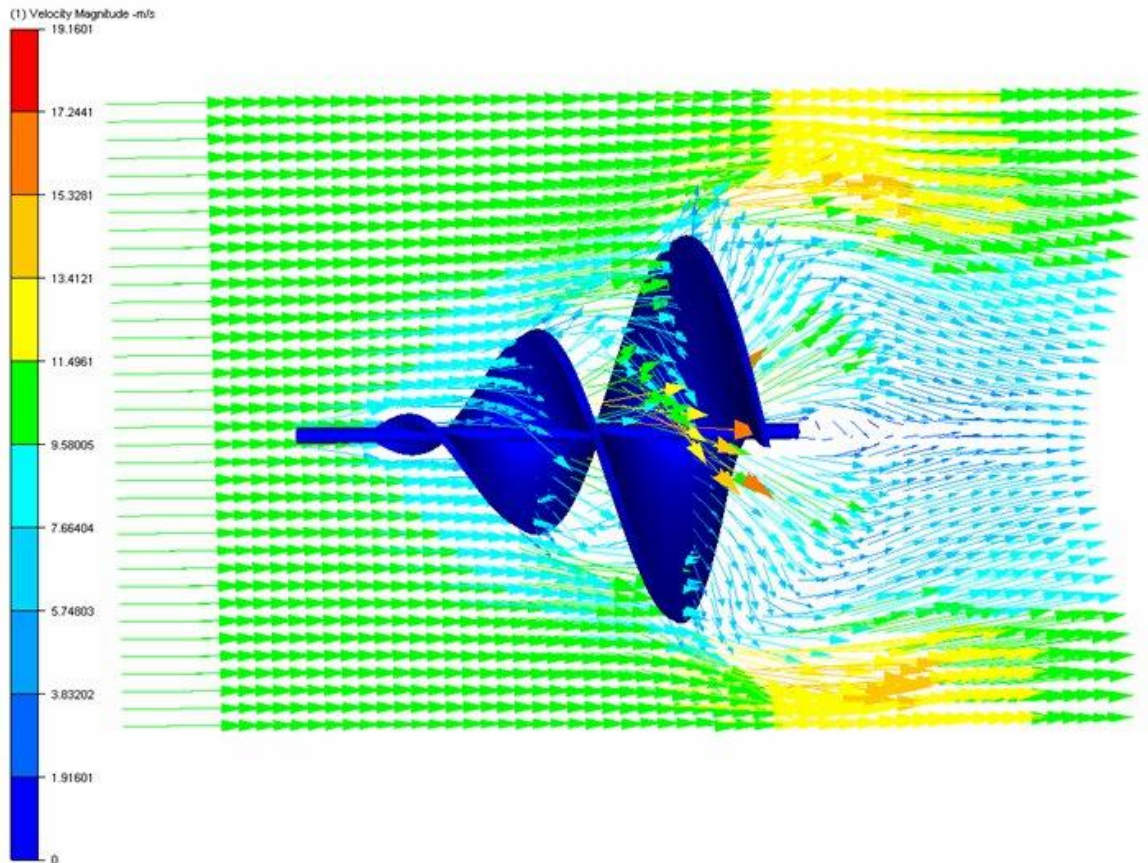
Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της σπειροειδής α/γ είναι ο σχετικά επιμήκης άξονας σε σχέση με μια συμβατική α/γ. Το τρέχον ρευστό οδηγείται μέσα σε ένα σπειροειδές κανάλι γύρω από τον άξονα περιστροφής.

Έτσι θα χρειαστεί να κάνει μεγαλύτερη διαδρομή σε σχέση με ένα περιρρέον ρευστό που διανείμει μια ευθεία γραμμή. Αυτή η ανισορροπία προκαλεί την αύξηση της ταχύτητας του ρευστού μέσα στο σπειροειδές κανάλι με σκοπό να συναντηθεί με το περιρρέον ρευστό ταυτόχρονα

Εάν κόψουμε ένα κομμάτι της σπειροειδής α/γ κάθετα, οπουδήποτε κατά μήκος του άξονά της θα προκύψει μια συμβατική α/γ. Με άλλα λόγια η σπειροειδής α/γ είναι μια α/γ τριών διαστάσεων ενώ οι συμβατικές είναι δύο διαστάσεων.

Μια προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή έδειξε την ροή του ρευστού ανάμεσα και γύρω από τα πτερύγια.

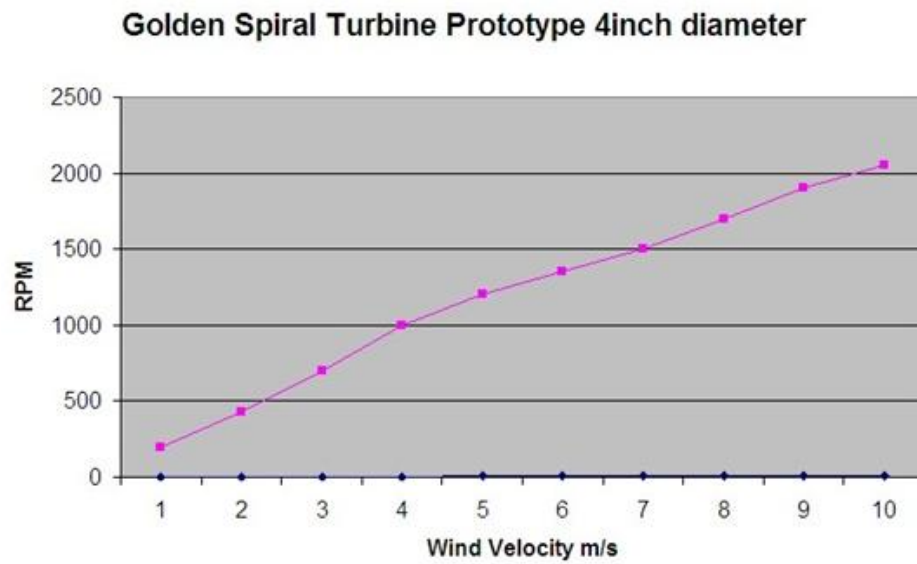
Τα αποτελέσματα του τεστ προσομοίωσης δείχνουν ότι σε ρεύμα αέρα 10 m/s η ταχύτητα αυξάνεται μέχρι και 50% περνώντας μέσα από το κανάλι δημιουργώντας μια δίνη γύρω από τον άξονα περιστροφής.



Γράφημα 5. Η ταχύτητα του ρευστού στα διάφορα σημεία της σπειροειδούς α/γ [13]

Η ταχύτητα του υγρού, και κατ' επέκταση και η πίεση, είναι μεγαλύτερη στην επιφάνεια που προσκρούει το ρεύμα αέρα, δηλαδή μπροστά από τα πτερύγια και μειώνεται στην επιφάνεια πίσω από τα πτερύγια.

Αυτή η διαφορά στην πίεση μπορεί να φτάσει μεταξύ -5 m/s και +15 m/s. Η λογαριθμική σπειροειδής α/γ έχει σχήμα κωνικό όταν φτάνει στην μέγιστη ταχύτητα, δίνοντας έτσι στον όλο σχεδιασμό της μια αεροδυναμική αίσθηση σε αντίθεση με τις συμβατικές α/γ που παρουσιάζουν ένα κυκλικό προφίλ.



Γράφημα 6. Ταχύτητα σπειροειδούς α/γ για διαφορετικές ταχύτητες ανέμου [13]

Ελέγχοντας την πρωτότυπη α/γ για διάφορες τιμές ταχύτητας ανέμου προέκυψε το παραπάνω διάγραμμα. Όπως παρατηρούμε η ταχύτητα εκκίνησης της σπειροειδούς α/γ αρχίζει από μόλις 1 m/s, γεγονός που μας επιτρέπει την χρήση της σε περιοχές με χαμηλό αιολικό δυναμικό.



## 5 Η ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

### 5.1 Βασικές Άδειες

Όσον αφορά τις βασικές άδειες ενεργειακής νομοθεσίας, τα πράγματα είναι σχετικά απλά για τις μικρές ανεμογεννήτριες. Και αυτό διότι οι α/γ ισχύος έως 100 kW (και γενικά αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100 kW) απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης:

- άδειας παραγωγής (άρθρο 4, παράγραφος 4δ του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 2, παράγραφος 12 του ν.3851/2010), και
- αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας (άρθρο 8, παράγραφος 8 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 8, παράγραφος 13 του ν.3851/2010).

Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η πλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης για τη χορήγηση άδειας παραγωγής (π.χ. δεν απαιτείται η προσκόμιση ανεμολογικών μετρήσεων από διαπιστευμένο κατά IEC-17025 φορέα).

Σημειώνεται ότι στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν εκδίδεται καμία διοικητική πράξη, όπως για παράδειγμα ήταν κατά το παρελθόν η Απόφαση Εξαίρεσης από τη Ρ.Α.Ε., δεδομένου ότι αυτό ρητά καθορίζεται στη νέα διατύπωση που εισήγαγε ο ν.3851/2010.

Σήμερα υπάρχουν περίπου 250 εταιρείες σε 26 χώρες, που κατασκευάζουν μικρές ανεμογεννήτριες. Περίπου το ένα τρίτο αυτών, και οι μεγαλύτερες από αυτές εδρεύουν στην Αμερική, αλλά υπάρχουν επίσης πολλοί κατασκευαστές στην Μεγάλη Βρετανία, την Κίνα και στην Ολλανδία. Γενικά θεωρείται ότι η εγκατεστημένη ισχύς από μικρές ανεμογεννήτριες θα αυξηθεί τα επόμενα χρόνια.

Το 75% της παραγωγής των μικρών ανεμογεννητριών προορίζεται για αυτόνομα υβριδικά συστήματα, σε συνδυασμό με έξυπνα μίνι δίκτυα. Σήμερα λόγω της θέσπισης συστημάτων εγγυημένης τιμής kWh (feed in tariffs) που αφορούν ειδικά μικρές ανεμογεννήτριες σε χώρες όπως η Ιταλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Πορτογαλία και η Ελλάδα, δημιουργείται μια αυξητική τάση εγκατάστασης διασυνδεδεμένων συστημάτων στην κατηγορία των μικρών και πολύ μικρών ανεμογεννητριών και κατά συνέπεια ξεκινούν οι συνθήκες ωρίμανσης για αυτή την αγορά.

Η συγκέντρωση των παραγωγών μικρών ανεμογεννητριών στις ανεπτυγμένες χώρες, δεδομένου ότι η τεχνολογία παραμένει σχετικά άγνωστη, είναι ένας από τους λόγους για την έλλειψη προσοχής για εφαρμογές εκτός δικτύου (απομονωμένες) σε περιοχές με χαμηλό αιολικό δυναμικό σε αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες αγορές.

- Κόστος αγοράς
- Κόστος εγκατάστασης
- Κόστος συντήρησης
- Γραφειοκρατικά έξοδα
- Κόστος σύνδεσης στο δίκτυο

Ένα δαπανηρό εξάρτημα για τα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα μικρών ανεμογεννητριών είναι το inverter ή ο DC/AC μετατροπέας. Τα περισσότερα inverters που χρησιμοποιούνται προέρχονται από την αγορά των φωτοβολταϊκών και προσαρμόζονται για να χρησιμοποιηθούν με τις ανεμογεννήτριες. Πρόσφατα έχουν αρχίσει να εμφανίζονται inverters για ανεμογεννήτριες τόσο σε μονοφασικό όσο και σε τριφασικό σύστημα.

Καταρχήν θα πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι όταν μιλάμε για την τιμή των μικρών ανεμογεννητριών, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι δεν υπάρχει μόνο το κόστος για την αγορά της ανεμογεννήτριας, αλλά και μια σειρά από άλλα κόστη, όπως για παράδειγμα το κόστος των εργασιών εγκατάστασης. Επίσης, είναι σημαντικό να πούμε ότι υπάρχει, κάποιο κόστος για τη συντήρηση της μικρής ανεμογεννήτριας.

## 5.2 Δάνεια για μικρές Α/Γ

Όπως συμβαίνει με κάθε επενδυτική κίνηση, έτσι και στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών – σε περίπτωση βέβαια που δε μιλάμε για ιδιοκατανάλωση αλλά για τροφοδοσία του δικτύου με ενέργεια – το ζήτημα της χρηματοδότησης έχει πρωταρχικό ρόλο.

Πάμε λοιπόν στο κομμάτι της δανειοδότησης. Αυτή τη στιγμή, δεν υπάρχει κάποιο έτοιμο επενδυτικό προϊόν από την πλευρά των τραπεζών για τη χρηματοδότηση των μικρών ανεμογεννητριών, όπως για παράδειγμα για τα φωτοβολταϊκά στις στέγες.

Υπάρχουν, βέβαια, κάποια «πακέτα», τα οποία αφορούν όμως την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών για ιδιοκατανάλωση του ρεύματος. Στην παρούσα φάση, λοιπόν, εάν κάποιος επενδυτής θελήσει να λάβει δάνειο για μία τέτοια επένδυση σε μικρές α/γ, η τράπεζα παρέχει δάνειο, εξετάζοντας την προσωπική οικονομική φερεγγυότητα του επενδυτή.

Προς το παρόν, δεν έχει αποφασισθεί εάν για την παροχή δανείου θα ζητούνται ανεμολογικά δεδομένα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις ανθρώπων του χώρου, τώρα που πλέον και οι μικρές ανεμογεννήτριες αποκτούν δυναμική, εξαιτίας της προνομιακής εγγυημένης τιμής που έχει θεσπιστεί, η δανειοδότηση αναμένεται να απλουστευθεί και να αυτοματοποιηθεί, όπως ακριβώς συμβαίνει με τα «πακέτα» για τα οικιακά φωτοβολταϊκά έως 10 kW.

## 6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER

### 6.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό με τη βοήθεια του λογισμικού Homer θα συγκρίνουμε την συμπεριφορά μιας μικρής ανεμογεννήτριας σε δύο διαφορετικές περιοχές. Θα προσπαθήσουμε να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες δύο οικιών με τις ίδιες απαιτήσεις.

Θεωρούμε ότι οι ενεργειακές ανάγκες που καλούμαστε να καλύψουμε είναι 10 kWh την ημέρα με μέγιστη απαίτηση 1.6 kW. Το σύστημα που χρησιμοποιούμε και στις δύο περιπτώσεις αποτελείται από μια ανεμογεννήτρια συνεχούς ρεύματος 7.5 kW, έναν μετατροπέα DC/AC, που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγει η ανεμογεννήτρια σε εναλλασσόμενο και συστοιχίες μπαταριών για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούμε είναι οι Horpecke 12OPzS 1500. Κάθε συστοιχία αποτελείται από 12 μπαταρίες ονομαστικής τάσης 2V (σύνολο 24 V) συνδεδεμένες σε σειρά. Η ονομαστική τους ικανότητα είναι 1500Ah.

Η α/γ που χρησιμοποιούμε είναι η BWC Excel-R της εταιρείας Bergley Windpower. Τα χαρακτηριστικά της είναι τα εξής:

Start-up Wind Speed: 3.4 m/s

Cut-in Wind Speed: 3.1 m/s

Rated Wind Speed: 13.8 m/s

Rated Power: 10 kW (grid), 7.5 kW for battery-charging

Cut-Out Wind Speed: None

Furling Wind Speed: 15.6 m/s

Max. Design Wind Speed: 54 m/s

Type: 3 Blade Upwind

Rotor Diameter: 7 m

Blade Pitch Control: POWERFLEX

Overspeed Protection: AUTOFURL

Gearbox: None, Direct Drive

Temperature Range: -40 to +60 °C

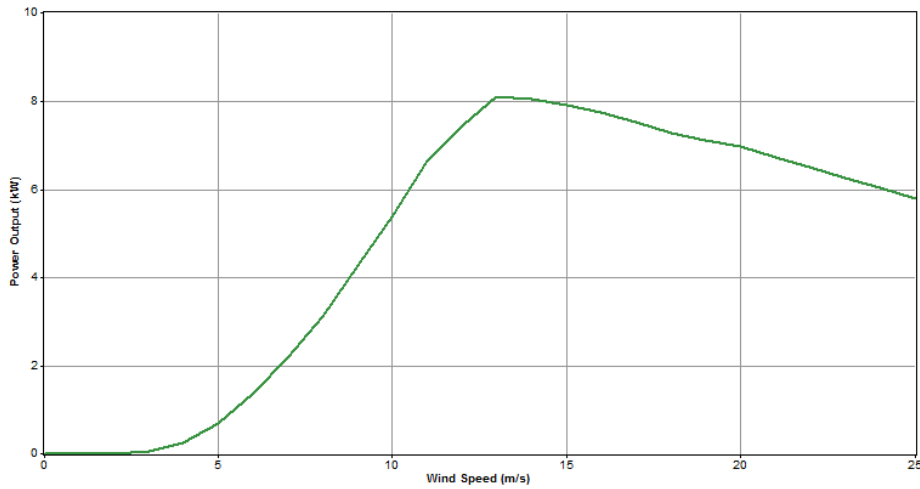
Generator: Permanent Magnet Alternator

Output Form: 3 Phase AC, Variable Frequency (Regulated 48 - 240 VDC after VCS-10 or 240 VAC, 60 Hz with GridTek inverter).

Net Weight: 476 kg

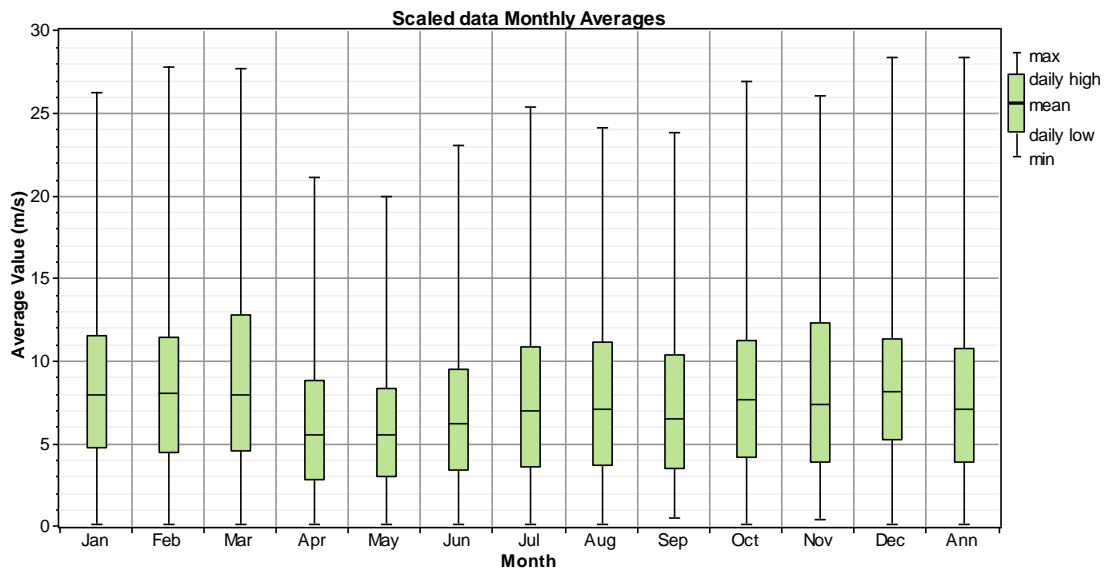
Shipping Weight: 544 kg

Η καμπύλη ισχύος της φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 7. Διάγραμμα καμπύλης ισχύος της α/γ BWC Excel-R.

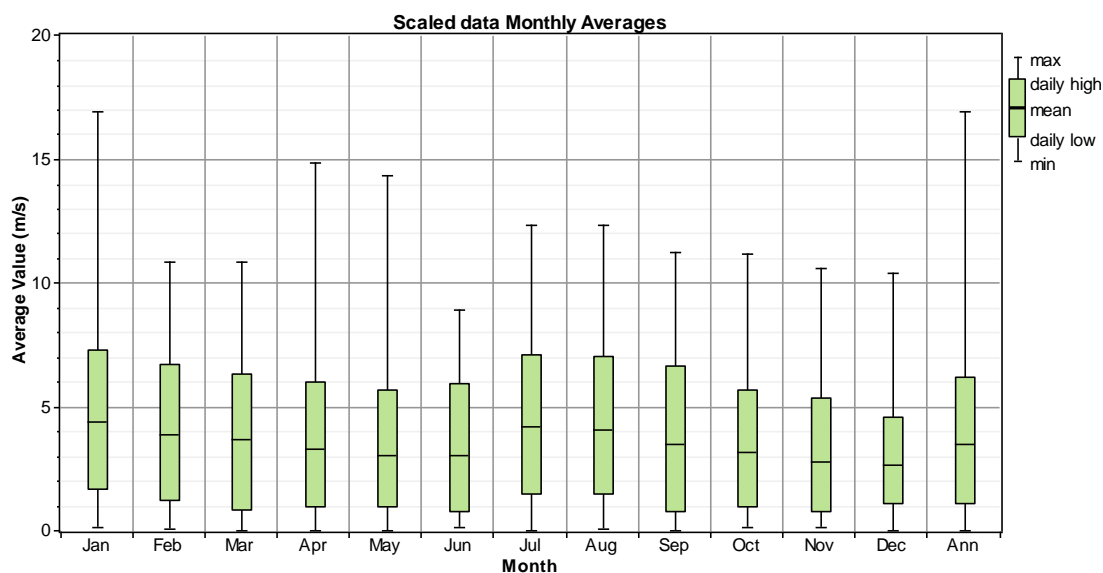
Το πρώτο σύστημα βρίσκεται στην περιοχή της Νάξου. Τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Γράφημα 8. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για την περιοχή της Νάξου.

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η μέση ετήσια ταχύτητα στην περιοχή της Νάξου είναι 7.05 m/s.

Το δεύτερο σύστημα βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Γράφημα 9. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για την περιοχή της Αθήνας.

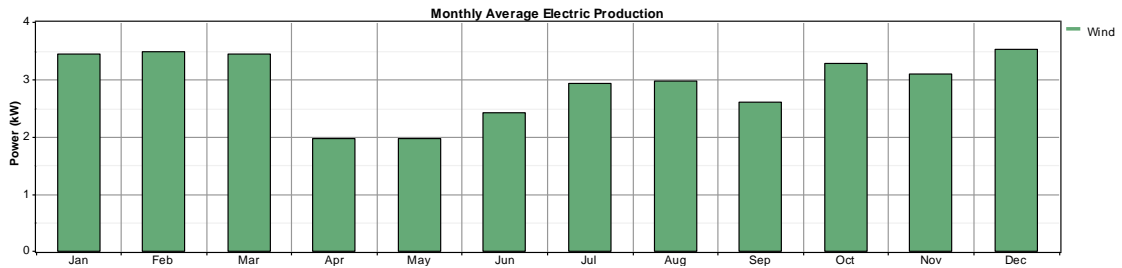
Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Αθήνας είναι 3.47 m/s.

Και στις δύο περιπτώσεις οι εκτιμήσεις της ταχύτητας του ανέμου πραγματοποιήθηκαν σε ύψος 10m από την επιφάνεια του εδάφους. Η περιοχή της Αθήνας παρουσιάζει μικρότερη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, που είναι αναμενόμενο για μια αστική περιοχή.

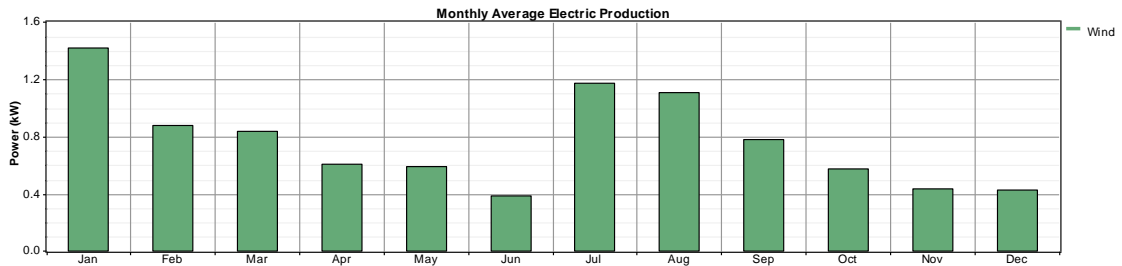
## 6.2 Αποτελέσματα

Σύμφωνα με το πρόγραμμα Homer, η ανεμογεννήτρια ισχύος 7.5 kW στην Νάξο με μέση ταχύτητα ανέμου 7.05 m/s αποδίδει 25676 kWh/yr, ενώ στην Αθήνα όπου η μέση ταχύτητα ανέμου φτάνει τα 3.47m/s αποδίδει μόλις 6746 kWh/yr.

Τα παρακάτω διαγράμματα αναφέρουν αναλυτικά την μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε κάθε περιοχή. Είναι εμφανές ότι το πρώτο σύστημα παράγει περισσότερη ηλεκτρική ισχύς ετησίως.

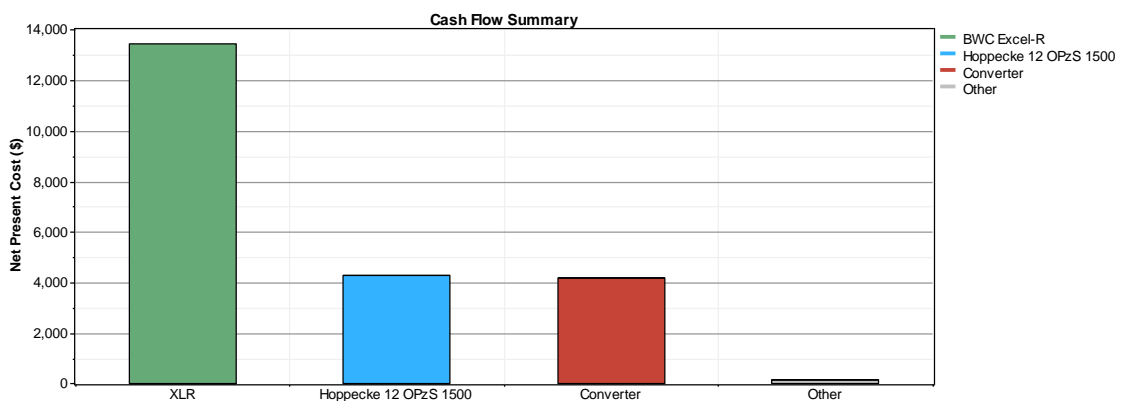


Γράφημα 10. Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος της Νάξου.



Γράφημα 11. Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος της Αθήνας.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται το κόστος κάθε συστήματος. Για το σύστημα της Νάξου χρειαζόμαστε μία συστοιχία μπαταριών, δηλαδή δώδεκα μπαταρίες των 2 V συνδεδεμένες σε σειρά. Το συνολικό κόστος του συστήματος ανέρχεται στα **22065 €**.

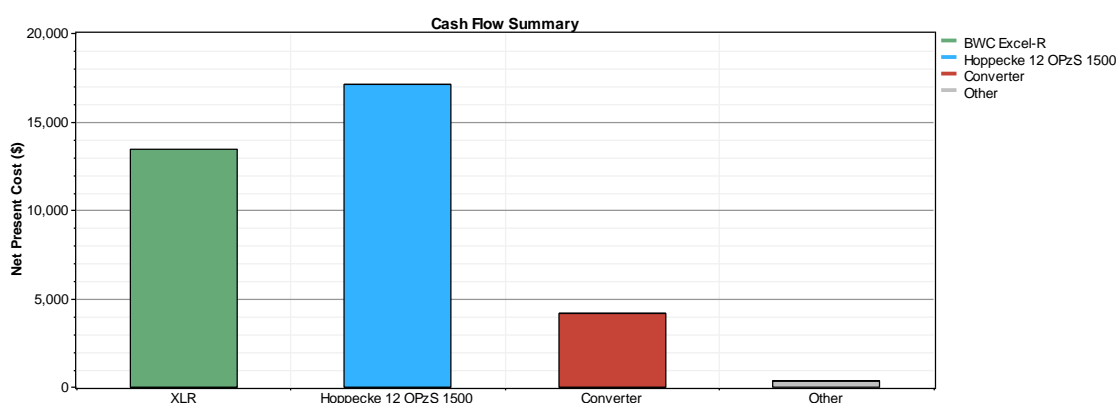


Γράφημα 12. Κόστος εξαρτημάτων συστήματος μικρής ανεμογεννήτριας στη Νάξο.

Πίνακας 10. Αναλυτικός πίνακας κόστους συστήματος ανεμογεννήτριας στην Νάξο.

Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
BWC Excel-R	10000	0	3441	0	0	13441
Hoppecke 12 OPzS 1500	3600	0	688	0	0	4288
Converter	3000	1252	573	0	-624	4202
Other	0	0	135	0	0	135
System	16600	1252	4837	0	-624	<b>22065</b>

Για το σύστημα της Αθήνας χρειαζόμαστε τέσσερις συστοιχίες μπαταριών, δηλαδή τέσσερις σειρές μπαταριών συνδεδεμένες παράλληλα όπου κάθε σειρά αποτελείται από 12 μπαταρίες των 2 V συνδεδεμένες σε σειρά. Το συνολικό κόστος του συστήματος ανέρχεται στα **35134€**.



Γράφημα 13. Κόστος εξαρτημάτων συστήματος μικρής ανεμογεννήτριας στην Αθήνα.

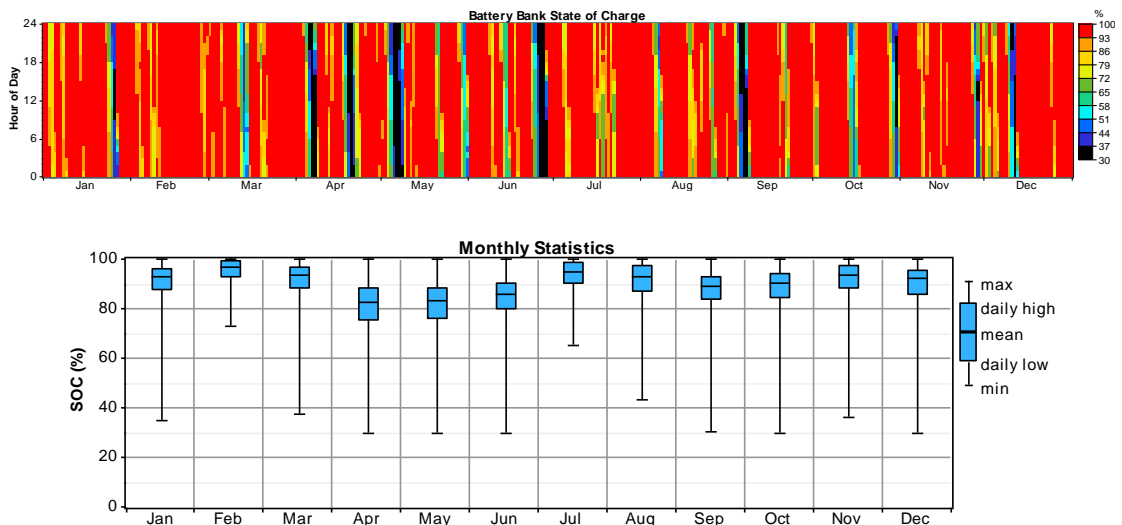
Πίνακας 11. Αναλυτικός πίνακας κόστους συστήματος ανεμογεννήτριας στην Αθήνα.

Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
BWC Excel-R	10000	0	3441	0	0	13441
Hoppecke 12 OPzS 1500	14400	0	2753	0	0	17153
Converter	3000	1252	573	0	-624	4202
Other	0	0	338	0	0	338
System	27400	1252	7106	0	-624	<b>35134</b>

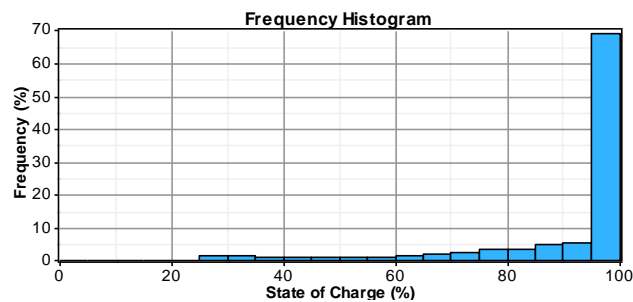


Παρατηρούμε ότι το κόστος του συστήματος της Αθήνας είναι μεγαλύτερο από αυτό της Νάξου. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής είναι χαμηλότερο, οπότε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απαιτείται η χρήση περισσότερων μπαταριών, οι οποίες ανεβάζουν το συνολικό κόστος του συστήματος.

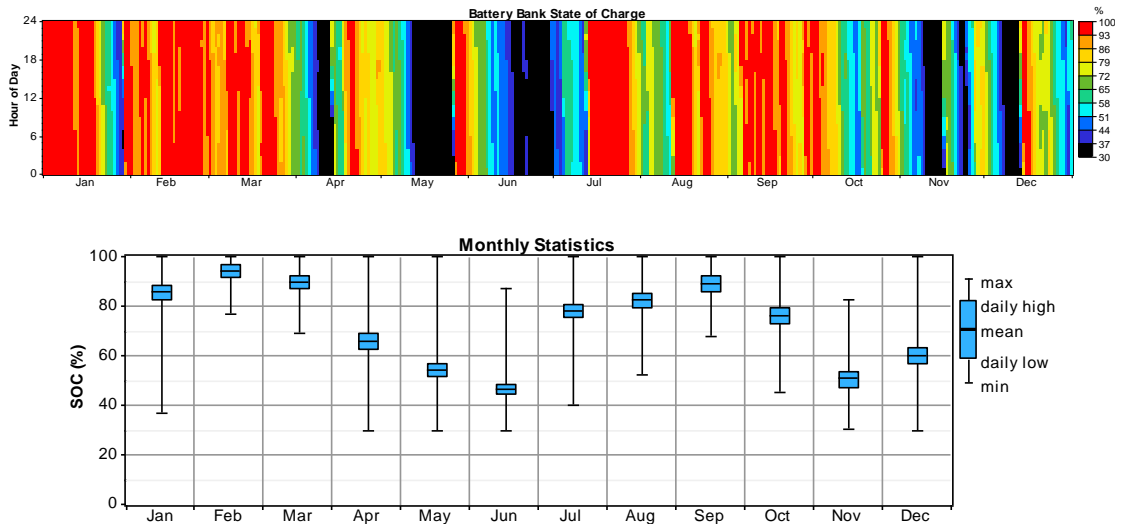
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών σε κάθε σύστημα ξεχωριστά καθώς και η συχνότητα φόρτισής τους. Παρατηρούμε ότι στο σύστημα της Νάξου η κατάσταση φόρτισης είναι πάνω από 80% σε όλη τη διάρκεια του έτους ενώ η συχνότητα φόρτισης των μπαταριών φτάνει το 100% σε ποσοστό 68%. Από την άλλη πλευρά, στο σύστημα της Αθήνας η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών κυμαίνεται από 50% έως 95% ανάλογα τον μήνα ενώ η συχνότητα πλήρους φόρτισης των μπαταριών δεν ξεπερνά το ποσοστό του 24%.



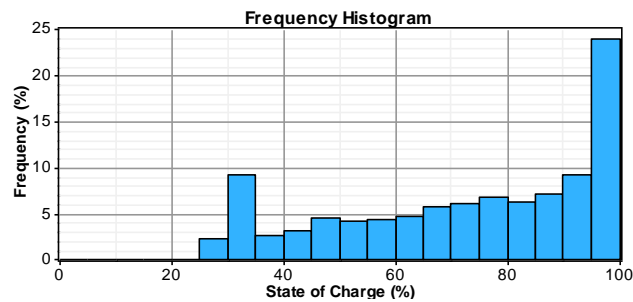
Γράφημα 14. Διαγράμματα κατάστασης φόρτισης συσσωρευτών στο σύστημα της Νάξου.



Γράφημα 15. Διάγραμμα συχνότητας φόρτισης μπαταριών για το σύστημα της Νάξου.



Γράφημα 16. Διαγράμματα κατάστασης φόρτισης συσσωρευτών στο σύστημα της Αθήνας.



Γράφημα 17. Διάγραμμα συχνότητας φόρτισης μπαταριών για το σύστημα της Αθήνας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι κάθε σύστημα συμπεριφέρεται διαφορετικά, ανάλογα με την περιοχή στην οποία θα το τοποθετήσουμε. Γι' αυτό και θα πρέπει να εξετάσουμε και την περιοχή στην οποία θέλουμε να βάλουμε το σύστημα αλλά και το ίδιο το σύστημα που θα επιλέξουμε. Στην παραπάνω περίπτωση το σύστημα μας έχει καλύτερη απόδοση στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στην περιοχή της Νάξου. Στην Αθήνα υπάρχει έλλειψη παραγωγής ενέργειας και αναγκαστήκαμε να καλύψουμε τις ανάγκες με περισσότερη χωρητικότητα αποθήκευσης, δηλαδή περισσότερες μπαταρίες. Ενώ στη Νάξο, η παραγόμενη ενέργεια φτάνει για τις καταναλώσεις και δεν χρειάζεται να αυξήσουμε το μέγεθος των συσσωρευτών.

## **7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

### **7.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της επένδυσης στις μικρές ανεμογεννήτριες**

Όπως σε κάθε επένδυση, έτσι και στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών υπάρχει μια σειρά παραγόντων οι οποίοι καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση μιας τέτοιας επένδυσης είναι η καταλληλότητα της θέσης εγκατάστασης και το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που θα επιλέξουμε.

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η καταλληλότητα της θέσης εγκατάστασης μιας μικρής ανεμογεννήτριας έχει να κάνει ουσιαστικά με το αιολικό δυναμικό (πχ διαφορετικές θα είναι οι κιλοβατώρες που παράγονται με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου 5 m/s και διαφορετικές με 7 m/s και άρα θα είναι διαφορετικά και τα έσοδα βάσει της εγγυημένης τιμής), με τη διαμόρφωση του χώρου, με την πρόσβαση και με το δίκτυο.

Όσον αφορά, τώρα, τον τύπο της ανεμογεννήτριας που θα εγκαταστήσουμε, δύο είναι τα στοιχεία που παίζουν καθοριστικό ρόλο: η σχέση τιμής/απόδοσης και βέβαια η αξιοπιστία.

### **7.2 Τιμολόγηση ενέργειας από μικρές ανεμογεννήτριες**

Πέραν από τα προφανή περιβαλλοντικά οφέλη από την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών, πλέον υπάρχουν και οικονομικά οφέλη τα οποία κάνουν ακόμη πιο ενδιαφέρουσα μία τέτοια «επένδυση». Και αυτό διότι πλέον δίνεται η δυνατότητα πώλησης της ενέργειας που παράγεται από τις μικρές ανεμογεννήτριες και μάλιστα σε τιμή ιδιαίτερα ελκυστική.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το άρθρο 13, παράγραφος 1 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 5, παράγραφος 2 του ν.3851/2010, η τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από μικρές α/γ διαμορφώνεται ως ακολούθως (άρθρο 13, παράγραφος 1 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 5, παράγραφος 2 του ν.3851/2010):

- για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50 kW, η τιμή ισούται με 250 €/MWh (τιμή ίδια για Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και Σύστημα και για μη Διασυνδεδεμένα Νησιά),
- για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50 kW, η τιμή ισούται με 87.85 €/MWh (Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και Σύστημα) και 99.45 €/MWh (μη Διασυνδεδεμένα Νησιά).

Όπως παρατηρούμε, η τιμολόγηση γίνεται ανά MWh και όχι ανά εγκατεστημένη ισχύ. Επομένως είναι ιδιαίτερα σημαντική αφενός η επιλογή της ανεμογεννήτριας που θα μας εξασφαλίσει υψηλές αποδόσεις – δηλ. μεγάλη παραγωγή ενέργειας – και αφετέρου η επιλογή της τοποθεσίας η οποία θα μας εξασφαλίσει υψηλές ταχύτητες ανέμου και κατ' επέκταση μεγάλη παραγωγή ενέργειας.

Όσον αφορά την επιλογή της ανεμογεννήτριας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι χρειάζεται προσοχή όχι μόνο όσον αφορά το μοντέλο αλλά και αναφορικά με το τι ισχύ θα έχει η Α/Γ, προκειμένου η οικονομική της απόδοση να είναι η πλέον συμφέρουσα για τις ανάγκες κάθε επενδυτή.

Είναι σημαντικό να πούμε ότι η σχέση ευρώ ανά εγκατεστημένη ισχύ ανεβαίνει δραματικά όσο η εγκατεστημένη ισχύς μειώνεται:

Πίνακας 12. Κόστος εγκατεστημένης ισχύος [16]

kW	1.5	5	10	20	50
Κόστος χιλ. €	9	35	60	100	220
Χιλ. € / kW	6	7	6	5	4.4

Όμως, το feed-in-tariff παραμένει σταθερό ασχέτως της ονομαστικής ισχύος της μηχανής (0-50 kW). Οπότε, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η βιωσιμότητα της επένδυσης είναι λιγότερο ικανοποιητική για μηχανές μικρής ισχύος. Ο τρόπος αναπροσαρμογής των τιμών που προαναφέραμε για το feed-in-tariff και λοιπές λεπτομέρειες μπορούν να αναζητηθούν στη σχετική διάταξη του νόμου, η οποία γενικά προβλέπει ως δείκτη αναπροσαρμογής τη μεσοσταθμική αναπροσαρμογή των τιμολογίων λιανικής της ΔΕΗ.

Ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται για όσο χρόνο τα τιμολόγια της ΔΕΗ καθορίζονται με υπουργική απόφαση. Όταν αυτό παύσει και η ΔΕΗ θα καθορίζει τα τιμολόγια της ελεύθερα, για την αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης της ενέργειας από μικρές α/γ (όπως και για τις λοιπές Α.Π.Ε. πλην φωτοβολταϊκών) θα εφαρμόζεται το 80% του πληθωρισμού.

### 7.3 Απόσβεση επένδυσης συστήματος μικρών διασυνδεδεμένων ανεμογεννητριών

Η απόσβεση εξαρτάται και από το ύψος της επένδυσης αλλά και από το αιολικό δυναμικό της περιοχής στο οποίο γίνεται η εγκατάσταση του αιολικού σταθμού.

Ένα μέσο κόστος για ένα αυτόνομο σύστημα ανεμογεννήτριας κυμαίνεται από 2500 € μέχρι 6000 €/kW, ενώ το κόστος για ένα σύστημα μικρής ανεμογεννήτριας ποικίλει από 2700 € μέχρι 8000 €/kW. Επίσης αντίστοιχο κόστος απαιτείται, προφανώς λόγω του μετατροπέα τάσης, για τις ανεμογεννήτριες που είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Τέλος να σημειώσουμε ότι το κόστος για τις μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες είναι πάνω από 1500 €/kW.

Αναλογιζόμενοι την ανάλυση της απόδοσης για τις μικρές ανεμογεννήτριες, η μέση πυκνότητα ισχύος είναι περίπου 0.15 με 0.25 kW/m<sup>2</sup>, λόγω του χαμηλού αιολικού δυναμικού στις περιοχές όπου η ενέργεια απαιτείται, σε σύγκριση με τις τυπικές περιοχές για μεγάλες ανεμογεννήτριες στα αιολικά πάρκα.

Το κόστος της επένδυσης κυμαίνεται περίπου από 4000 έως 7500 € ανά εγκατεστημένο kW.

Ας πάρουμε για παράδειγμα τρεις περιπτώσεις:

Μικρή ανεμογεννήτριας 1.5 kW: 9000 €

Μικρή ανεμογεννήτριας 20 kW: 100000 €

Μικρή ανεμογεννήτριας 50 kW: 220000 €

Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές και δίνουν μία τάξη μεγέθους για κάθε περίπτωση. Σημειώνεται ότι στις παραπάνω τιμές δεν περιλαμβάνεται το κόστος για τη γη που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση.

Για τρία διαφορετικά λοιπόν σενάρια αιολικού δυναμικού (5 m/s, 6 m/s και 7 m/s) και χρησιμοποιώντας μικρές ανεμογεννήτριες με απόδοση από τις μεγαλύτερες της αγοράς, προκύπτει ο εξής πίνακας για κάθε περίπτωση ανεμογεννήτριας:

Πίνακας 13. Πίνακας αρχικού κόστους επένδυσης και λειτουργικών εξόδων ανά κατηγορία μικρών ανεμογεννητριών [16]

		Αρχικό Κόστος Επένδυσης (€)	Λειτουργικά Έξοδα (€/έτος)
Α/Γ 1.5 kW	5 m/s	9000	600
	6 m/s		
	7 m/s		
Α/Γ 20 kW	5 m/s	100000	2000
	6 m/s		
	7 m/s		
Α/Γ 50 kW	5 m/s	220000	5000
	6 m/s		
	7 m/s		

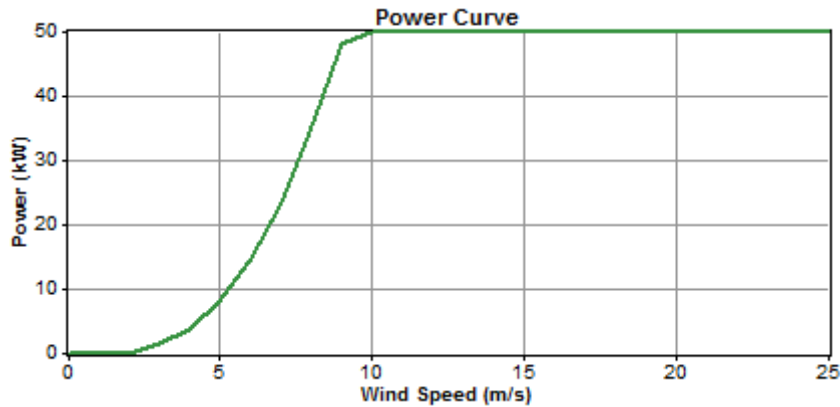
Το ουσιαστικό κίνητρο που υπάρχει είναι η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή ορίζεται από το νόμο 3851/2010 στα 250 €/MWh χωρίς να έχει πτωτική τάση όπως στα φωτοβολταϊκά. Παράλληλα οι επενδύσεις στις μικρές ανεμογεννήτριες μπορούν να ενταχθούν στον νέο αναπτυξιακό νόμο 3908/2011.

#### 7.4 Επένδυση συστήματος α/γ διασυνδεδεμένης στο δίκτυο

Με την βοήθεια του προγράμματος Homer, μελετούμε την περίπτωση ενός πραγματικού συστήματος μικρής α/γ 50 kW συνδεδεμένης στο δίκτυο. Μας ενδιαφέρουν τα οικονομικά στοιχεία του συστήματος ώστε να παρατηρήσουμε το κέρδος που θα μας αποφέρει μια υφιστάμενη τέτοια επένδυση.

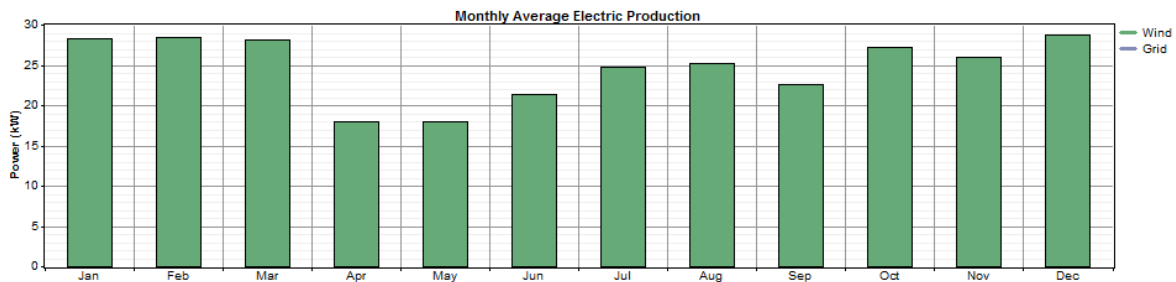
Επιλέγουμε να τοποθετήσουμε το σύστημά μας στο νησί της Νάξου. Δανειζόμαστε τα ανεμολογικά δεδομένα για την περιοχή της Νάξου από το γράφημα 7 το οποίο έχει προκύψει από πραγματικές μετρήσεις της περιοχής για κάθε ώρα του έτους. Η μέση ταχύτητα της περιοχής είναι 7.05 m/s. Θεωρούμε ότι η περιοχή στην οποία θα εγκατασταθεί η α/γ βρίσκεται κοντά στο δίκτυο. Θεωρούμε ότι όλη την ενέργεια που παράγει η α/γ την πουλάμε στο δίκτυο στην τιμή των 250 € / MWh.

Η α/γ που επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε είναι η WES50 της ολλανδικής εταιρείας Wind Energy Solutions. Η ονομαστική της ισχύς είναι 50 kW, ενώ μπορεί να δώσει μέγιστη ισχύ ως και 75 kW. Στο σύστημά μας η μέγιστη ισχύς εξόδου της μπορεί να περιοριστεί ηλεκτρονικά στα 50 kW ώστε να μπορέσει να ενταχθεί στο ειδικό πρόγραμμα μικρών α/γ. Ο χρόνος ζωής της είναι τα 20 χρόνια. Η ονομαστική ταχύτητα στην οποία λειτουργεί είναι 9.5 m/s. Αποτελείται από 2 πτερύγια με διάμετρο δρομέα 20 m και 24 m ύψος πύργου. Η καμπύλη ισχύος της α/γ, όπως προκύπτει από τον ηλεκτρονικό περιορισμό της στα 50 kW της ισχύος εξόδου φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 18. Διάγραμμα καμπύλης ισχύος α/γ WES50.

Η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα. Συνολικά η α/γ παράγει **216782 kWh/yr** λειτουργώντας συνολικά **7978 h/yr**.



Γράφημα 19. Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του διασυνδεδεμένου συστήματος της Νάξου.

Το κόστος μιας τέτοιας επένδυσης ανέρχεται σε 245700 €. Συγκεκριμένα το κόστος αγοράς της α/γ και η εγκατάστασή της στοιχίζουν 200000 €. Σε αυτό το ποσό προστίθενται το κόστος για τα θεμέλια και τον οικίσκο που ανέρχεται σε 15000 €. Η σύνδεση στο τοπικό δίκτυο που κοστίζει επιπλέον 15000 €. Τα γραφειοκρατικά έξοδα, όπως οι αδειοδοτήσεις, η τεχνική και η περιβαλλοντική μελέτη, που ανέρχονται σε 10000 €. Επίσης η μεταφορά της α/γ στην περιοχή που θέλουμε θα κοστίσει 5700 €. Τέλος έχουμε κι ένα κόστος συντήρησης της α/γ το οποίο ανέρχεται στα 3000 € το χρόνο, για 2 επισκέψεις το χρόνο.

Στην επένδυση μας θεωρούμε ότι το ετήσιο επιτόκιο προεξόφλησης είναι 8% ενώ ο χρόνος της επένδυσης φτάνει τα 20 χρόνια. Με την βοήθεια του προγράμματος Homer προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 14. Αναλυτικός πίνακας κόστους συστήματος α/γ, συνδεδεμένης με το δίκτυο, στην περιοχή της Νάξου.

Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
AVECO OETE	-245700	0	-29454	0	0	-275154
Grid	0	0	532097	0	0	532097
System	-245700	0	502643	0	0	256943

Το κέρδος από ένα τέτοιο σύστημα θεωρείται σταθερό στην διάρκεια των 20 ετών. Οπότε σύμφωνα με τον πίνακα 14 το καθαρό συνολικό κέρδος μας από μια τέτοια επένδυση φτάνει τα 256943 € σε ορίζοντα 20 ετών, ποσό που μας επιτρέπει να κάνουμε απόσβεση σε 10 περίπου χρόνια.

Τέλος σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι το πρόγραμμα των μικρών α/γ (μέχρι 50kW) διασυνδεδεμένων με το δίκτυο δεν έχει λειτουργήσει ακόμα στη χώρα μας. Αιτήσεις έχουν γίνει, αλλά ακόμα δεν έχει δοθεί καμία άδεια παραγωγής, συνεπώς δεν επωφελείται κανείς της προνομιακής τιμής των 250 €/MWh. Το Ειδικό Πρόγραμμα Μικρών Ανεμογεννητριών θα ανακοινωθεί από το ΥΠΕΚΑ μέχρι την 30/6/2014, οπότε αναμένεται να δοθούν και οι πρώτες άδειες.



## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αιολική ενέργεια είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Αυτό την κατατάσσει σε ένα πολλά υποσχόμενο κλάδο για νέες τεχνολογίες. Σήμερα λόγω της θέσπισης συστημάτων εγγυημένης τιμής kWh που αφορούν ειδικά μικρές ανεμογεννήτριες δημιουργείται μια αυξητική τάση εγκατάστασης διασυνδεδεμένων συστημάτων στην κατηγορία των μικρών και πολύ μικρών ανεμογεννητριών και κατά συνέπεια ξεκινούν οι συνθήκες ωρίμανσης για αυτή την αγορά.

Η τιμολόγηση γίνεται ανά MWh και όχι ανά εγκατεστημένη ισχύ. Επομένως είναι ιδιαίτερα σημαντική αφενός η επιλογή της ανεμογεννήτριας που θα μας εξασφαλίσει υψηλές αποδόσεις – δηλαδή μεγάλη παραγωγή ενέργειας – και αφετέρου η επιλογή της τοποθεσίας η οποία θα μας εξασφαλίσει υψηλές ταχύτητες ανέμου και κατ' επέκταση μεγάλη παραγωγή ενέργειας. Όσον αφορά την επιλογή της ανεμογεννήτριας, θα πρέπει να δώσουμε βάση όχι μόνο στο μοντέλο αλλά και στην ισχύ που θα αποδίδει η α/γ, προκειμένου η οικονομική της απόδοση να είναι η πλέον συμφέρουσα για τις ανάγκες του εκάστοτε επενδυτή.

Όσον αφορά τις απομονωμένες εφαρμογές, αποτελεί μια αποδοτική λύση, καθώς δεν απαιτεί μεγάλη επιφάνεια χώρου όπως π.χ. στα φωτοβολταϊκά, κι επίσης παράγει ενέργεια σχεδόν όλο το χρόνο. Οι περισσότερο γνωστές εφαρμογές αυτής της κατηγορίας είναι κινούμενες εφαρμογές όπως βάρκες και τροχόσπιτα, και οικιακά αιολικά συστήματα.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν μια ποικιλία στον σχεδιασμό και στο μέγεθος τους. Η αιολική ενέργεια μπορεί επίσης να παράγει ηλεκτρισμό σε ένα αστικό περιβάλλον. Αυτή η τάση έχει κυρίως παρατηρηθεί στην Ευρώπη, όπου η ενσωμάτωση μικρών ανεμογεννητριών σε ένα κατοικημένο περιβάλλον έχει συζητηθεί εντατικά.

Οι καινούριες ανεμογεννήτριες αναπτύσσονται σύμφωνα με αυτή την εφαρμογή, που στοχεύει κυρίως σε αθόρυβες και αποδοτικές συσκευές κάτω από στροβιλισμούς και αλλαγή στην ροή του αέρα. Παρόλο που εγκαθίστανται πάνω ή γύρω από κτίρια, μεγάλο ενδιαφέρον παρατηρείται στην ενσωμάτωσή τους με τα κτίρια, όπου η γεννήτρια είναι μέρος της δομής ή της πρόσοψης του σπιτιού. Αυτή η διαμόρφωση βασίζεται σε σύνδεση συνεχούς ρεύματος, όπου η μπαταρία είναι η κύρια αποθήκευση και το τμήμα ελέγχου.

Η αγορά των μικρών ανεμογεννητριών στις ανεπτυγμένες χώρες είναι ελπιδοφόρα, τόσο για τα διασυνδεδεμένα όσο και για τα απομονωμένα συστήματα, και ακόμα περισσότερο για τις αναπτυσσόμενες χώρες, λόγω της συνεχούς μείωσης σε συγκεκριμένα κόστοι και της αύξησης στην ανάγκη για ενέργεια.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ravi Anant Kishore, Shashank Priya, 2013, Design and experimental verification of a high efficiency small wind energy portable turbine (SWEPT), *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 118, 12-19
2. P. D. Clausen, D. H. Wood, 1999, Research and development issues for small wind turbines, *Renewable Energy* 16, 922-927
3. Paul Gipe, 1999, *Wind Energy Basics*, Chelsea Green Publishing Company, United States
4. ΚΑΠΕ, Ecole des Mines de Paris, ZREU, Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε.
5. Nicolas Fichaut, *Wind Energy – the Facts, Part1 – Technology*, European Wind Energy Association
6. Ronit K. Singh, M. Rafiuddin Ahmed, 2013, Blade design and performance testing of a small wind turbine rotor for low wind speed applications, *Renewable Energy* 50, 812-819
7. M.R. Islam, S. Mekhilef, R. Saidur, 2013, Progress and recent trends of wind energy technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21, 456-468
8. Muhammad Mahmood Aslam Bhutta, Nasir Hayat, Ahmed Uzair Farooq, Zain Ali, Sh. Rehan Jamil, Zahid Hussain, 2012, Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1926-1939
9. Bin Yang, Dongbai Sun, 2013, Testing, inspecting and monitoring technologies for wind turbine blades: A survey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, 516-526
10. Francisco Dvaz-Gonzalez, Andreas Sumper, Oriol Gomis-Bellmunt, Roberto Villafañila-Robles, 2012, A review of energy storage technologies for wind power applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2154-2171

## SITES

1. <http://www.windipedia.info/>
2. <http://www.eletaen.gr/drupal/sites/default/files/AnaptyksiakoPaketo.pdf>
3. [http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post\\_17.html](http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html)
4. [http://www.windenergydatabase.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7&Itemid=9](http://www.windenergydatabase.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=9)
5. [http://www.aveco.gr/docs/odigos\\_mikron\\_anemogennitron.pdf](http://www.aveco.gr/docs/odigos_mikron_anemogennitron.pdf)
6. <http://www.vortexwindfunnel.com/>
7. <http://www.goldenspiralturbine.com/>
8. <http://www.zeroenergybuildings.org/>
9. <http://robotpig.net/engineering-news-e/windlens---apodotikotes-anemogennitries- 2169>
10. <http://www.miniwind.gr/>
11. <http://www.cres.gr/kape/index.htm>
12. <http://www.rae.gr/geo/>

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥΣ

### Less than 1 kW

The existing models and main features in this range are shown in Table E.1.

Wind turbine	Rated power (kW)	Rotor diameter (m)	Rotor type/no of blades	Generator type	Manufacturer/country
WG 503	0.025	0.51	HAWT (6)	PMG	Rutland (UK)
WG 910-3	0.090	0.91	HAWT (6)	PMG	Rutland (UK)
VT-60	0.12	0.9	HAWT (6)	PMG	Technoelektro (KRO)
VT-120	0.12	1.2	HAWT (5)	PMG	Technoelektro (KRO)
WS-0,15B/0,15C	0.12	0.30 (x 0.5)	VAWT	PMG	Windsida (FIN)
WS-0,30 A	0.12	0.30 (x 1)	VAWT	PMG	Windsida (FIN)
Pacific 100	0.1	0.928	HAWT (6)	PMG	Ampair (UK)
Filip 100	0.1	1.2	HAWT (3)	PMG	S&W Team (GER)
Inclin 250	0.25	1.35	HAWT (2)	PMG	Bornay (SP)
Twister 300 T	0.25	1.0 (x 1)	VAWT	PMG	Marc (GER)
Pacific 300	0.3	1.2	HAWT (3)	PMG	Ampair (UK)
Velter B	0.3	1.7	HAWT (3)	PMG	Solenera (SP)
Speedy Vertical	0.3	1.2 (x 0.8)	VAWT (3)	PMG	Ropatec (IT)
FM 1803	0.34	1.8	HAWT (2)	PMG	Rutland (UK)
Superwind 350	0.35	1.12	HAWT (3)	PMG	Superwind (GER)
Air-X	0.4	1.14	HAWT (3)	PMG	Southwest (US)
StealthGen D-400	0.4	1.10	HAWT (5)	PMG	Eclectric (UK)
Aerocraft 502	0.5	2.4	HAWT (3)	PMG	Aerocraft (GER)
Enflo Windtec	0.5	0.71	HAWT (5)	PMG	Enflo Windtec (SWI)
Ampair Pacific	0.6	1.7	HAWT (3)	PMG	Ampair (UK)
Inclin 600	0.6	2.0	HAWT (2)	PMG	Bornay (SP)
Proven WT 600	0.6	2.55	HAWT (3)	PMG	Proven (UK)
Velter D	0.7	2.2	HAWT (3)	PMG	Solenera (SP)
Aerocraft 752	0.75	2.4	HAWT (3)	PMG	Aerocraft (GER)
Espada	0.8	2.2	HAWT (2)	PMG	Fortis (NED)
Aerocraft 1002 H	1.0	2.4	HAWT (3)	PMG	Aerocraft (GER)
BWC Excell XL1	1.0	2.5	HAWT (3)	PMG	Bergey (US)
Lakota	1.0	2.1	HAWT (3)	PMG	Aeromax (US)
Whisper 100/200	0.9/1.0	2.1/3	HAWT (3)	PMG	Southwest (US)
Airdolphin Z-1000	1.0	1.8	HAWT (3)	PMG	Zephyr (JAP)
WS-1000	1.0	1.75	HAWT (3)	PMG	Windsave (UK)
Twister 300 T	1.0	1.9 (x 1.9)	VAWT (3)	PMG	Marc (GER)
WS-2AK/WS-2B	1.0	1.0 (x 2)	VAWT	PMG	Windsida (FIN)
Easy Vertical	1.0	1.8 (x 1.15)	VAWT (3)	PMG	Ropatec (IT)

## 1 kW < SWT < 7 kW

The existing models and main features in this range are shown in Table E.2.

Wind turbine	Rated power (kW)	Rotor diameter (m)	Rotor type/no of blades	Generator type	Manufacturer/country
WS-4A/4AK/4C	1.2	1.0 (x 4)	VAWT	PMG	Windsida (FIN)
Passaat	1.4	3.12	HAWT (3)	PMG	Fortis (NED)
Butterfly I	1.5	3.0	HAWT (3)	PMG	Energotech (GER)
SG 280	1.5	2.88	HAWT (3)	PMG	Golger (GER)
Inclin 1500	1.5	2.86	HAWT (2)	PMG	Bornay (SP)
Valter I	1.5	3.1	HAWT (3)	PMG	Solenersa (SP)
Butterfly 1K	1.5	3.0	HAWT (3)	PMG	Energotech (GER)
Skystream 3,7	1.8	3.72	HAWT (3)	PMG	Southwest (US)
Antaris 2,5 KS	2.5	3/3.5	HAWT (3)	PMG	Hayde Windtechniks (GER)
Pawloon-2500	2.5	3.5	HAWT (3)	PMG	Pawloon (GER)
WT 2500	2.5	3.5	HAWT (3)	PMG	Proven (UK)
Tulipo	2.5	5.0	HAWT (3)	Asynchro + convert	WES (NED)
ARE 110	2.5	3.6	HAWT (3)	PMG	Abundant RE (US)
Turby 2,5	2.5	2 (x 2.65)	VAWT (3)	PMG	Turby (NED)
Inclin 3000	3.0	4.0	HAWT (2)	PMG	Bornay (SP)
Westwind 3	3.0	3.7	HAWT (3)	PMG	GP & GF Hill (AUS)
Simply Vertical	3.0	3.0	VAWT (3)	PMG	Ropatec (IT)
Whisper H175	3.2	4.5	HAWT (2)	PMG	Southwest (US)
Butterfly 3K	3.5	4.3	HAWT (3)	PMG	Energotech (GER)
Vento 5	5.0	5.0	HAWT (3)	PMG	Windeco (US)
ATS-1	5.0	5.4	HAWT (3)	PMG	Iskra (UK)
Aerosmart 5	5.0	5.1	HAWT (3)	Asynchro + gear	SMA (GER)
Montana	5.0	5.0	HAWT (3)	PMG	Fortis (NED)
Westwind 5	5.5	5.10	HAWT (3)	PMG	GP & GF Hill (AUS)
SWT 6000 AC	6.0	6.0	HAWT (4)	Asynchro + gear	Conergy (GER)
Inclin 6000	6.0	4.0	HAWT (3)	PMG	Bornay (SP)
WT 6000	6.0	5.5	HAWT (3)	PMG	Proven (UK)
Sirocco	6.0	5.6	HAWT (2)	PMG	Eoltec (FRA)
QR 5	6.0	3.1 (x 5)	VAWT	PMG	QR (UK)
Maxi Vertical	6.0	4.7 (x 2.5)	VAWT (3)	PMG	Ropatec (IT)
AV-7	6.5	12.8	HAWT (3)	PMG	Avanta (GER)
Butterfly 6K	7.0	4.6	HAWT (3)	PMG	Energotech (GER)

## 7 kW < SWT < 50 kW

The existing models and main features in this range are shown in Table E.3.

Wind turbine	Rated power (kW)	Rotor diameter (m)	Rotor type/no of blades	Generator type	Manufacturer/country
SWT-7500	7.5	6.0	HAWT (4)	Asynchro + gear	Conergy (GER)
BWC EXCEL-R	7.5/10	6.7	HAWT (3)	PMG	Bergey (US)
WT 8000	8.0	5.4	HAWT (3)	PMG + gear	Wabs (GER)
Aeroturbine	9.0	8.0	HAWT (3)	Synchron + gear	Aeroturbine (GER)
Aircon 10 S	9.8	7.1	HAWT (3)	PMG	Aircon (GER)
Alize	10.0	7.0	HAWT (3)	PMG	Fortis (NED)
Enwla E0	10.0	9.0	HAWT (3)	Synchron + gear	Alex Giersch (POL)
ARE 442	10.0	7.2	HAWT (3)	PMG	Abundant RE (US)
Westwind 10	10.0	6.20	HAWT (3)	PMG	GP & GF Hill (AUS)
Gala Wind	11.0	13.0	HAWT (2)	Asynchro + gear	Gala (DK)
WT 15000	15.0	9.0	HAWT (3)	PMG	Proven (UK)
Valter XV	15.0	7.2	HAWT (3)	PMG	Solenorsa (SP)
GEV 10/20	15/20	10	HAWT (2)	Asynchro + gear	Vergnet (FRA)
Westwind 20	20.0	10.4	HAWT (3)	PMG	GP & GF Hill (AUS)
Gazelle 20	20.0	11.0	HAWT (3)	Asynchro + gear	Gazelle (UK)
Jacobs 20	20.0	9.5	HAWT (3)	PMG	Jacobs (US)
JIMP 20	20.0	8–10	HAWT (3)	PMG	Jonica Implants (IT)
Big Star Vertical	20.0	8.5 (× 4.3)	VAWT (5)	PMG	Ropatec (IT)
WS-12	25.0	2.0 (× 6)	VAWT	PMG	Windside (FIN)
Wind Runner	25.0	11.0	HAWT (3)	PMG	Eoltec (FRA)
P14-30	30.0	14.0	HAWT (2)	PMG	Pitchwind (SWE)
Enwla E40	30.0	10.0	HAWT (3)	Synchron + gear	A Giersch (POL)
FL30	30.0	13.0	HAWT (3)	Asynchro + gear	Furlaender (GER)
Subaru 15/40	40.0	15.0	HAWT (3)	PMG	Subaru (JAP)
WT 50	50.0	11.5	HAWT (3)	PMG + gear	Wabs (GER)
Vertikon H 50	50.0	12.0 (× 12.5)	VAWT (3)	PMG	MARC (GER)
EW15	50.0	15	HAWT (3)	Asynchro + gear	Entegrity Wind (US)