



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κατσιγιαννης
Ιωάννης**

Εκπονητής: Μαθιουδάκης Πέτρος
Α.Μ.: 1698

ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	1
1 . Εισαγωγή.....	5
2 . Σχεδιασμός Μικρής Ανεμογεννήτριας	7
2.1. Στροφείο	8
2.1.1. Αεροδυναμικά ζητήματα.....	9
2.1.2. Δυναμικά ζητήματα.....	11
2.2. Γεννήτρια.....	13
2.3. Συστήματα Ελέγχου.....	19
2.3.1. Εκτροπή μηχανής	19
2.3.2. Απώλεια στήριξης πτερυγίων	25
2.3.3. Πέδηση ατράκτου.....	26
3. Νομοθετικό πλαίσιο	27
3.1. Ιστορική ανασκόπηση.....	27
3.2. Ισχύουσες διατάξεις	28
3.2.1. Αδειοδοτικός φορέας και κριτήρια	28
3.2.2. Αδειοδοτική διαδικασία – εξαιρέσεις	30
3.2.3. Σύνδεση σε κορεσμένα δίκτυα	35
4. Επιλογή θέσης εγκατάστασης και κόστος	37
4.1. Εισαγωγή	37
4.2. Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή θέσης εγκατάστασης	37
4.2.1. Αιολικά δεδομένα – οικονομική αξία.....	37
4.2.2. Μετεωρολογικά προβλήματα	40
4.2.3. Οπτικοαισθητική επίδραση.....	40
4.2.4. Περιβαλλοντική επίδραση.....	40
4.3. Οικονομικά μεγέθη.....	40
5. Στατιστικά στοιχεία.....	42
5.1. Παγκόσμια κλίμακα	42
5.2. Ελληνική πραγματικότητα.....	43
6. Συμπεράσματα.....	46
Βιβλιογραφία.....	48

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κατσίγιαννη Ιωάννη για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τη βοήθεια του στο σύνολο της προετοιμασίας και διεκπεραίωσης της πτυχιακής μου εργασίας. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αγάπη και την εμπιστοσύνη που μου δείχνει όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη των μικρών ανεμογεννητριών στην Ελλάδα, που χρησιμοποιούν τον άνεμο ως πηγή ενέργειας. Η εργασία έχει κυρίως επικεντρωθεί στη δομή και στα χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας, καθώς και στον τρόπο λειτουργίας και σύνδεσής της με το υπόλοιπο δίκτυο. Επιπροσθέτως, περιγράφεται το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο, ενώ δίνονται πληροφορίες για το κόστος και την επιλογή θέσης εγκατάστασής της. Ακόμη γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και τους τρόπους προστασίας του περιβάλλοντος. Εν κατακλείδι, παρουσιάζονται οι προοπτικές χρήσης των ΑΠΕ, τόσο αναφορικά με την υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα και στην Ευρώπη, όσο και σε σχέση με τα σχέδια δράσης για την προώθηση και στήριξή τους.

Λέξεις-κλειδιά: Μικρές Ανεμογεννήτριες, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), Άνεμος, Ελλάδα.

Abstract

This Thesis focuses on the study of small wind turbines in Greece, which use the wind as a source of electric power. It mostly focuses on the structure and characteristics of a wind turbine, its operation and connection to the electricity supply network. Moreover, the legal and regulatory framework for wind energy is reviewed, while the cost, the site selection and the parameters affecting the installation of a wind turbine are analyzed. In addition, renewable energy sources (RES) and ways to protect the environment are discussed. Finally, the prospects of RES are presented regarding the current situation in Greece and Europe, and in relation to the action plans for their promotion and support.

Keywords: Small Wind Turbines, Renewable Energy Sources (RES), Wind, Greece.

1 . Εισαγωγή

Οι αιολικές μηχανές παραγωγής έργου είχαν ευρύτατη διάδοση στις ανθρώπινες κοινωνίες από την αρχαιότητα, κυρίως για την άλεση δημητριακών και την άντληση υδάτων. Κατά τη βιομηχανική επανάσταση, η χρήση τους άρχισε να υποχωρεί με μεγάλο βαθμό, λόγω της διάδοσης των μηχανών εσωτερικής καύσης και της διάδοσης των υδρογονανθράκων ως η κυριότερη πηγή ενέργειας. Οι επιταγές όμως της σύγχρονης εποχής γύρω από την προστασία του περιβάλλοντος και της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, τις έχουν φέρει για άλλη μία φορά στο προσκήνιο.

Οι σύγχρονες αιολικές μηχανές βρίσκουν εφαρμογή, σχεδόν αποκλειστικά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες διαθέτουν ειδικά σχεδιασμένα πτερύγια τα οποία εκμεταλλεύονται κυρίως την άνωση που ασκεί πάνω τους ο άνεμος, ενώ οι παλιότερες λειτουργούσαν με την αντίσταση, γεγονός το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα οι σημερινές μηχανές να έχουν ριζικά μεγαλύτερη απόδοση.

Σήμερα, όταν ακούμε τον όρο ανεμογεννήτρια όλοι έχουμε στο μυαλό μας συστοιχίες πολλών μηχανών με ύψος που ξεπερνάει τα 100 – 150 μέτρα. Οι μηχανές αυτές είναι για παραγωγή αρκετών MW ηλεκτρικής ισχύος, η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο και πάει προς κατανάλωση.

Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας έχει καταστήσει την παραγωγή τους οικονομικότερη σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια και έχει ως αποτέλεσμα να έχουν κάνει την εμφάνισή τους ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους για οικιακή χρήση. Μάλιστα, όσον αφορά τον ελλαδικό χώρο, καταλυτικό ρόλο σε αυτό έχει παίξει το γεγονός ότι, σε πολλές περιπτώσεις, δεν απαιτείται αδειοδότηση, πράγμα που γλιτώνει πολύ γραφειοκρατικό κόπο και το ότι προβλέπονται σημαντικότερες οικονομικές ενισχύσεις από το ίδιο το κράτος.

Αυτή η κίνηση μακροπρόθεσμα θα έχει σημαντικό όφελος για την Ελλάδα, καθώς έτσι αποκεντρώνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η γεωγραφική θέση και μορφολογία της χώρας της έχει χαρίσει απλόχερα δύο ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, τον ήλιο και τον άνεμο, που δεν πρέπει να μείνουν ανεκμετάλλευτες.

Στόχοι της Ε.Ε μέχρι το 2020

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, ενέργεια από τους ωκεανούς, γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα και βιοκαύσιμα) αποτελούν εναλλακτικές λύσεις αντί των ορυκτών καυσίμων και συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού και στη μείωση της εξάρτησης από αναξιόπιστες και ασταθείς αγορές ορυκτών καυσίμων, ειδικότερα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η νομοθεσία της ΕΕ για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει εξελιχθεί σημαντικά κατά τα τελευταία έτη. Έως το 2020 η Ε.Ε. θα πρέπει, να καλύπτεται από ΑΠΕ. Παράλληλα, όλα τα κράτη μέλη πρέπει να καλύπτουν το 10% των καυσίμων μεταφορών τους από ΑΠΕ έως το 2020. Η οδηγία αυτή προσδιορίζει επίσης διάφορους μηχανισμούς που μπορούν να εφαρμόσουν τα κράτη μέλη για να επιτύχουν τους στόχους τους (καθεστώτα στήριξης, εγγυήσεις προέλευσης, κοινά έργα, συνεργασία μεταξύ κρατών μελών και τρίτων χωρών).

Σκοπός- Δομή της εργασίας

Ο σκοπός της πτυχιακής μου εργασίας είναι η παροχή πληροφόρησης, α) για τις ΑΠΕ και κυρίως για την αιολική ενέργεια (Α/Γ) , β) για την ορθή χρήση τους με απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, την οικονομική ενίσχυση της χώρας και την απρόσκοπτη παροχή ενέργειας. Επιπλέον αυτή η εργασία έχει ως σκοπό να προταθούν εναλλακτικοί τρόποι ώστε να προωθηθούν οι ανεμογεννήτριες μιας και το ανάγλυφο και οι καιρικές συνθήκες στη χώρα μας το επιτρέπουν.

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη: Στο 2^ο κεφαλαίο παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της μικρής ανεμογεννήτριας και τα βασικά μέρη που αποτελείται. Στο 3^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στο νομοθετικό πλαίσιο και τις ισχύουσες διατάξεις. Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζετε το κόστος και τη θέση της εγκατάστασης, τα μετεωρολογικά προβλήματα και την περιβαλλοντική επίδραση. Στο 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα στατιστικά στοιχεία σε παγκόσμια κλίμακα καθώς και για την Ελληνική πραγματικότητα.

2 . Σχεδιασμός Μικρής Ανεμογεννήτριας

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των μηχανών αυτών είναι να καθορίσουμε την έννοια της «Μικρής Ανεμογεννήτριας». Γενικά στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται διαφορετικά όρια και παράμετροι για το πως ορίζεται η έννοια αυτή και έτσι ο διαχωρισμός δεν είναι πάντα σαφής. Για παράδειγμα, η ελληνική νομοθεσία έχει σαν μοναδικό κριτήριο την παραγόμενη ισχύ και συγκεκριμένα θέτει το όριο στα 50kW αλλά το καινούριο όριο του 2018 είναι στα 60kW. Γενικά, οι συνηθέστερες παράμετροι για την κατηγοριοποίηση είναι:

- Η επιφάνεια σάρωσης του στροφέα (rotor swept area) [A]
- Η διάμετρος του στροφέα (rotor diameter) [D]
- Η ονομαστική ισχύς λειτουργίας (nominal power) [P]

Η εμφάνιση κάποιου διεθνούς προτύπου για την κατηγοριοποίηση έγινε τα τελευταία χρόνια, και συγκεκριμένα το 2013, με την θέσπιση του IEC 61400 – 2 το οποίο ορίζει τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας: 1.1: Πρότυπο IEC 61400 – 2 για τις μικρές ανεμογεννήτριες

	Micro	Πολύ μικρές	Μικρές
Επιφάνεια Σάρωσης [m ²]	≤ 3,5	3,5 ≤ A ≤ 40	40 ≤ A ≤ 200
Διάμετρος Στροφείου [m]	≤ 2,1	2,1 ≤ D ≤ 7	7 ≤ D ≤ 16
Ονομαστική ισχύς [kW]	≤ 1	1 ≤ P ≤ 10	10 ≤ P ≤ 75

Ενδεικτικά, μία ανεμογεννήτρια 10 kW και άλλη μία 50kW θα έχουν τα παρακάτω μεγέθη:

Πίνακας: 1.2: Τυπικά μεγέθη για μικρές ανεμογεννήτριες

	10 kW	50kW
Μέση διάμετρος στροφείου [m]	8	15
Μέσο ύψος πύργου [m]	10	20
Μέση ετήσια παραγωγή [MWh] ¹	30	150

¹ Για μέση ταχύτητα ανέμου 7 m/sec

Τα βασικά μέρη που αποτελείται μία ανεμογεννήτρια, ανεξαρτήτως μεγέθους, είναι:

- Στροφείο με ποικίλο αριθμό πτερυγίων (συνήθως 3)
- Ηλεκτρική γεννήτρια
- Ενεργητικά ή παθητικά συστήματα ελέγχου

2.1. Στροφείο

Το στροφείο, ή αλλιώς ρότορας είναι η καρδιά μίας ανεμογεννήτριας. Είναι η διάταξη αυτή, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε κινητική ενέργεια του άξονα ο οποίος στρέφει την γεννήτρια. Αποτελείται από πτερύγια, τα οποία είναι σχεδιασμένα με βάση κάποια, πολλαπλά συνήθως, προφίλ αεροτομών.

Σε μία ανεμογεννήτρια, το κάθε πτερύγιο συνεισφέρει την ασκούμενη ροπή πάνω στον άξονα περιστροφής. Αυτό σημαίνει ότι με αύξηση του αριθμού πτερυγίων έχουμε μεγαλύτερη ροπή άρα μικρότερη ταχύτητα περιστροφής. Επίσης η συνολική οπισθέλκουσα δύναμη, που αντιστέκεται στην περιστροφή, αυξάνεται με τον αριθμό των πτερυγίων. Άλλωστε, για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι προτιμότερη μία σχετικά μικρή ροπή και μία σχετικά υψηλή ταχύτητα περιστροφής, οπότε προτιμάμε διατάξεις με μικρό αριθμό πτερυγίων.

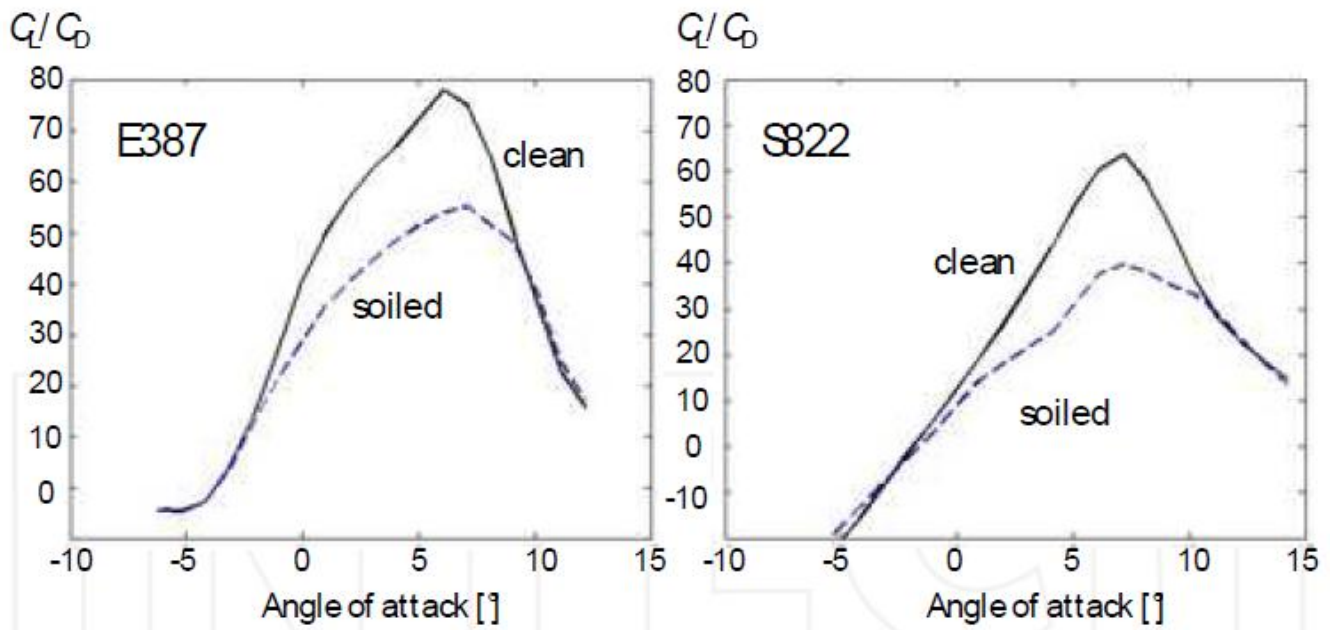
Ο βέλτιστος αριθμός πτερυγίων είναι ένα θέμα ακόμα υπό συζήτηση, αν και γενικά έχει υιοθετηθεί το μοντέλο των τριπτέρυγων ανεμογεννητριών. Κατά την περιστροφή, η μία πτέρυγα έρχεται αντιμέτωπη με τον διαταραγμένο αέρα που αφήνει πίσω της η προηγούμενη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοσή της. Αυτό σημαίνει ότι αεροδυναμικά ο βέλτιστος σχεδιασμός είναι με ένα πτερύγιο, διότι πρέπει να περιστρέφει 360° μέχρι να συναντήσει τον διαταραγμένο αέρα που άφησε το ίδιο. Η διάταξη αυτή όμως έχει πολλά προβλήματα ευστάθειας και ζυγοστάθμισης, με αποτέλεσμα να έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί.

Η αμέσως καλύτερη, αεροδυναμικά, σχεδίαση είναι αυτή των δύο πτερυγίων, καθώς η κάθε πτέρυγα πρέπει να περιστραφεί κατά 180° για να βρει διαταραγμένο αέρα. Δυστυχώς όμως δημιουργούνται προβλήματα ευστάθειας, που σχετίζονται με το γυροσκοπικό φαινόμενο, όταν η μηχανή αλλάζει προσανατολισμό ως προς τον άνεμο (εκτροπή). Όταν τα πτερύγια βρίσκονται σε κατακόρυφη θέση, τότε η εκτροπή είναι εύκολη και απροβλημάτιστη, ενώ βρίσκονται σε οριζόντια θέση, γίνεται με δυσκολία. Γίνεται κατανοητό ότι λόγω της ταυτόχρονης περιστροφής του στροφείου και της κίνησης της εκτροπής, δημιουργούνται ταλαντώσεις, που οφείλονται στην επιρροή που έχει η θέση των πτερυγίων όταν πραγματοποιείται εκτροπή. Ίδιας φύσης προβλήματα αντιμετωπίζονται σε όλες τις περιπτώσεις που ο αριθμός των πτερυγίων είναι άρτιος.

Όπως προ είπαμε, μεγάλος αριθμός πτερυγίων σημαίνει μεγάλη αντίσταση στην περιστροφή και επίσης με ραγδαίους ρυθμούς αυξάνει και το κόστος παραγωγής. Για τους λόγους αυτούς έχει καταλήξει το μοντέλο της τριπτέρυγης ανεμογεννήτριας να είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο.

2.1.1. Αεροδυναμικά ζητήματα

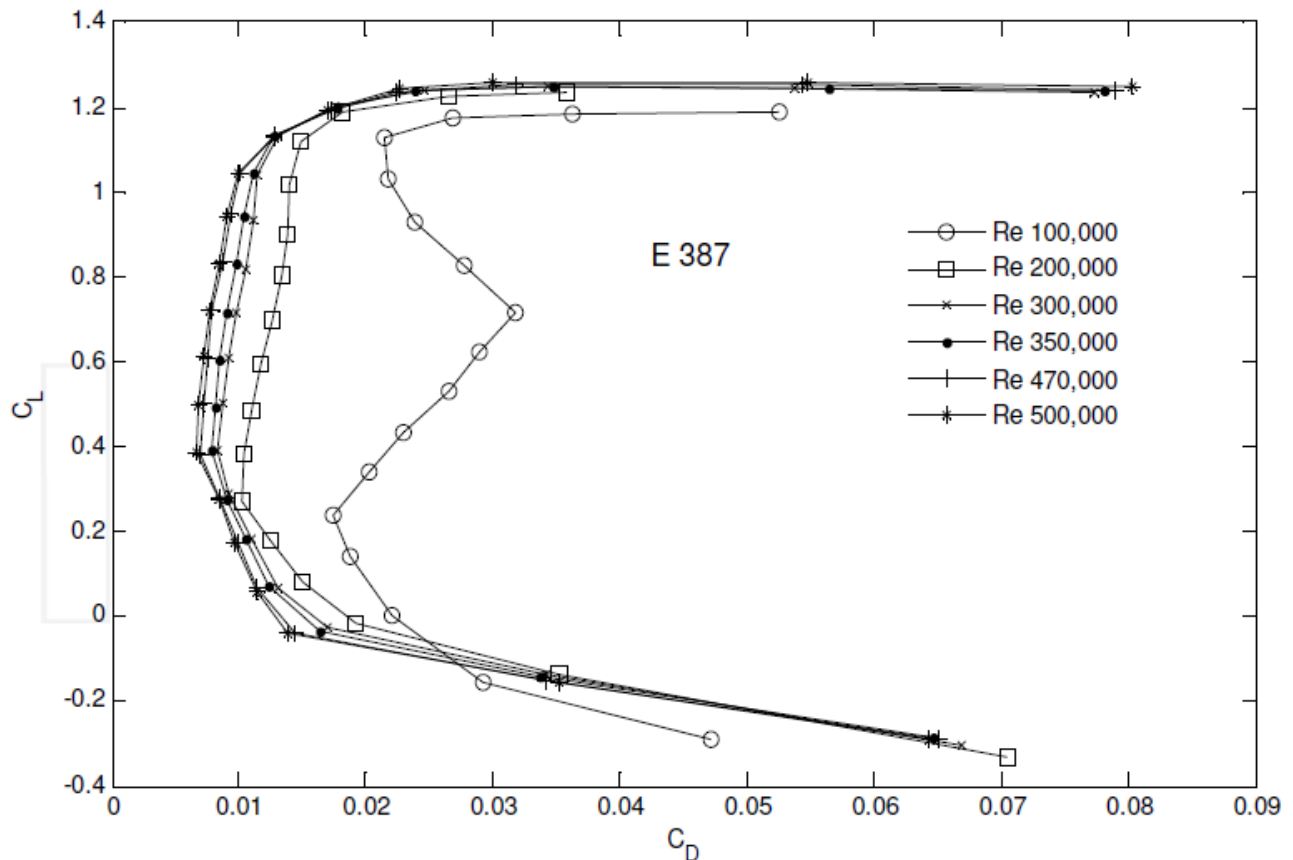
Στις μεγάλες ανεμογεννήτριες, ο αριθμός Re είναι της τάξης του 10^6 , πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το τυρβώδες οριακό στρώμα, έχει πολύ μικρή επιρροή στην αεροδυναμική απόδοση του πτερυγίου. Από την άλλη στις μικρές, ο αριθμός Re είναι της τάξης του 10^5 και έτσι το οριακό στρώμα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Αυτό σημαίνει ότι μεγάλη επίδραση έχει τόσο και η τραχύτητα του πτερυγίου, που το μέγεθός της περιορίζεται από τις κατεργασίες, είτε ακόμα και από τις ακαθαρσίες που μπορούν να επικαθίσουν πάνω του. Αυτή ακριβώς την επιρροή, του οριακού στρώματος, έδειξαν σε πείραμά τους οι Selig και McGranahan, όταν μελέτησαν 2 αεροτομές που χρησιμοποιούνται στις μικρές ανεμογεννήτριες (τις E387 και S822) το 2004. Στο συγκεκριμένο πείραμα επέβαλαν στο οριακό στρώμα να ακολουθήσει μία ζιγκ ζαγκ διαδρομή πάνω στην επιφάνεια της αεροτομής. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Εικόνα 1.1: Επίδραση επικαθίσεων στον λόγο C_l/C_d για δύο αεροτομές για $Re=10^5$.
Πηγή [1]

Βλέπουμε από τα παραπάνω γραφήματα το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει το οριακό στρώμα στην αεροδυναμική απόδοση της αεροτομής. Η μέγιστη τιμή του λόγου C_L/C_d παρουσιάζει μείωση της τάξης του 31% και 38%. Από την άλλη βλέπουμε ότι στην περιοχή της απώλειας στήριξης (stall), η επίδραση είναι μηδενική, οπότε η διαφορά μεταξύ της περιοχής λειτουργίας και της stall μειώνεται, πράγμα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την μελέτη των συστημάτων ελέγχου της μηχανής.

Στην ίδια μελέτη φαίνεται και ένα σημαντικό πρόβλημα δημιουργεί επίσης και η συμπεριφορά της φυσαλίδας αποκόλλησης της ροής (separation bubble). Λόγο του ότι ο Re δεν είναι μεγάλος, έχουμε επανακόλληση της φυσαλίδας πάνω στην αεροτομή με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντικότερη αύξηση της οπισθέλκουσας σε μικρές γωνίες προσβολής. Παρακάτω βλέπουμε διάγραμμα που εξήχθησε στην εν λόγω έρευνα με τους συντελεστές C_L και C_d για διάφορους αριθμούς Re . Βλέπουμε ότι όσο μειώνεται ο Re τόσο αυξάνεται η δύναμη αντίστασης για δεδομένη τιμή του συντελεστή άντωσης. Μάλιστα, η μετάβαση γίνεται εντονότερη όσο μειώνεται περαιτέρω ο Re και όταν φτάσουμε από $2 \cdot 10^5$ σε 10^5 , η διαφορά γίνεται αλματώδης.



Εικόνα 1.2: Απεικόνιση συντελεστών C_L , C_d για διάφορες τιμές αριθμού Re για αεροτομή E387.

Πηγή [1]

Σημαντική επίδραση στα ροϊκά φαινόμενα έχει και η μικρότερη αναλογία μήκους εκπετάσματος προς χορδής των πτερύγων (*aspect ratio*). Λόγω αυτού γίνονται εντονότερα τρισδιάστατα φαινόμενα της ροής, τα οποία στις μεγάλες πτέρυγες ήταν αμελητέα. Μάλιστα η δυσκολία επεκτείνεται και στην μελέτη της πτέρυγας, διότι δεν ισχύουν τα υπολογιστικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψιν μόνο την δισδιάστατη φύση της ροής.

Επίσης το ύψος τοποθέτησης των στροφείων αυτών δεν είναι τόσο ευνοϊκό όσο αυτό των μεγάλων μηχανών. Λόγω του ότι βρίσκονται σε αρκετά χαμηλότερο ύψος, 20-30 μέτρα σε αντίθεση με τα 60-80 μέτρα των μεγάλων, ο αέρας μέσα στον οποίο λειτουργούν, εμπεριέχει μεγαλύτερα ποσά τύρβης λόγω του ότι βρίσκονται μέσα στο οριακό στρώμα της γης.

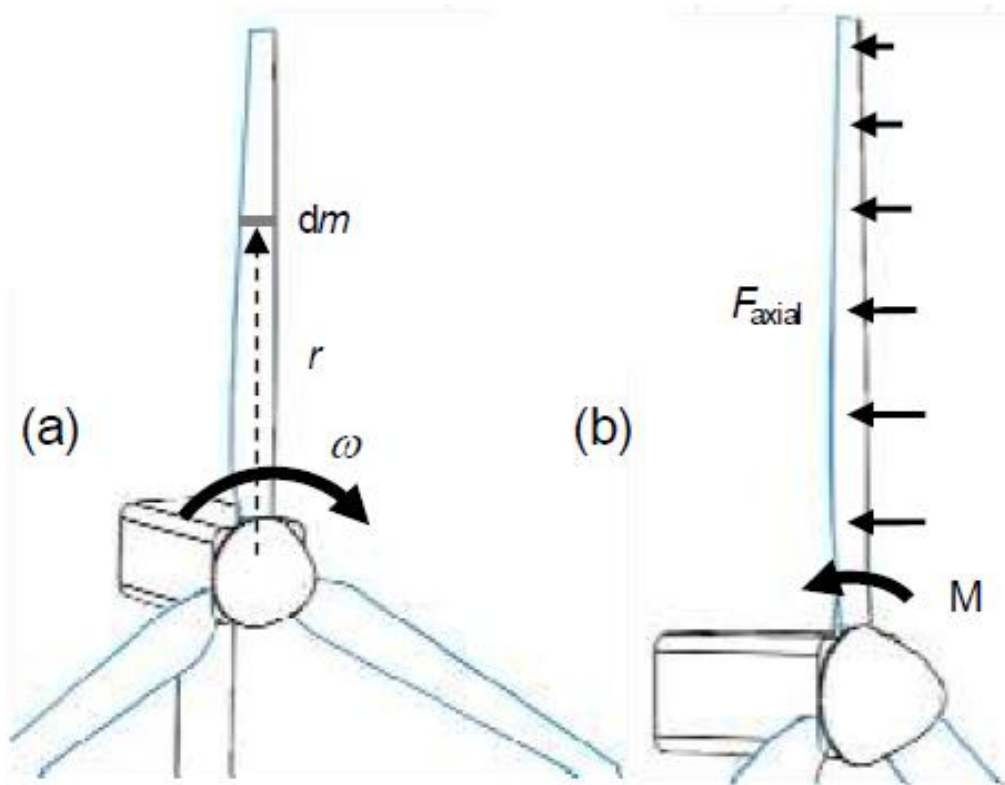
Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να έχουν αποδόσεις αντίστοιχες με αυτές των μεγάλων. Λόγω των αεροδυναμικών απωλειών είναι αδύνατο να περιμένουμε από μία μικρή μηχανή να έχει ίδια απόδοση από μία μεγάλη. Μάλιστα μελέτες έχουν δείξει ότι ενώ μία μεγάλη ανεμογεννήτρια έχει συντελεστή ισχύος μεγαλύτερο από 0.5, οι μικρές σε σπάνιες μόνο περιπτώσεις πλησιάζουν το 0.48.

2.1.2. Δυναμικά ζητήματα

Η αυξημένη τύρβη που υπάρχει στις ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους, δημιουργεί δυναμικά φορτία στην κατασκευή, αυξημένη περιστροφή ως προς τον κάθετο άξονα καθώς και δονήσεις στα διάφορα μέρη της ανεμογεννήτριας. Από την άλλη, η διάτμηση που δέχεται λόγω του ανέμου είναι αμελητέα λόγω του μικρού συνολικού μεγέθους. Τι φορτίσεις που δέχεται η κατασκευή μπορούμε να τις χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες: *i) αδρανειακή, ii) αεροδυναμική και iii) βαρυτική*. Βέβαια, η επίδραση τους στην κατασκευή είναι διαφορετική στις μικρές ανεμογεννήτριες από ότι στις μεγάλες.

Για να κάνουμε ανάλυση, αρχικά, ορίζουμε τον συντελεστή ακροπτερυγίου (*tip speed ratio*) που είναι ένας αδιάστατος αριθμός που δείχνει τον ρυθμό περιστροφής της μηχανής σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου U που δέχεται:

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (1.1)$$



Εικόνα 1.3.: Δυνάμεις σε στροφέιο Α/Γ. α) φυγοκεντρική δύναμη, β) ροπή αξονικής δύναμης.
Πηγή: [1]

Λόγω της περιστροφής, τα πτερύγια δέχονται φυγοκεντρικές δυνάμεις, που δίνονται από τη σχέση:

$$F_c = \omega^2 \rho A \int_0^R r dr = \frac{1}{2} \omega^2 \rho A R^2 \quad (1.2)$$

Όπου A το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής της πτέρυγας, σε επίπεδο παράλληλο στον δίσκο περιστροφής. Αυτό σημαίνει ότι το A εξαρτάται τόσο από τη χορδή, c , όσο και από το πάχος της πτέρυγας, γ , μεγέθη που και τα δύο εξαρτώνται από την ακτίνα:

$$A \propto c \times \gamma \propto R^2 \quad (1.3)$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική σχέση το ω από τον ορισμό του λ και λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω αναλογία, καταλήγουμε στο ότι:

$$F_c \propto R^2 \quad (1.4)$$

Επίσης ασκούνται δυνάμεις αεροδυναμικής φύσης, οι οποίες είναι κάθετες στα πτερύγια και παράλληλες με τον άξονα περιστροφής και τείνουν να κάμψουν τα πτερύγια. Αν w η σχετική ταχύτητα του ανέμου, ως προς σύστημα που ακολουθεί την κίνηση της πτέρυγας, έχουμε:

$$M = \int_0^R F_{axial}(r) dr \propto \int_0^R c w^2 r dr \quad (1.5)$$

Ο υπολογισμός της δύναμης κατά μήκος που πτερυγίου μπορεί μόνο να υπολογιστεί αριθμητικά. Παρόλα αυτά, αν υποθέσουμε ότι σε όλο το μήκος της πτέρυγας οι συντελεστές C_L C_d είναι σταθεροί, τότε η δύναμη είναι ανάλογη της χορδής c και του τετραγώνου της ταχύτητας w . Όπως προείπαμε η χορδή είναι ανάλογη με την ακτίνα. Επίσης αποδεικνύεται ότι η σχετική ταχύτητα είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ακτίνας, οπότε συνολικά η καμπτική ροπή είναι ανάλογη με τον κύβο της ακτίνας:

$$M \propto R^3 \quad (1.6)$$

Τέλος η βαρυτική δύναμη λειτουργεί παλινδρομικά και εναλλάσσεται μεταξύ, συμπίεσης, εφελκυσμού και κάμψης για το πτερύγιο, λόγω της περιστροφικής φύσης της κίνησής του. Αν t το πάχος της αεροτομής έχουμε:

$$F_g = m g = \rho g V \propto r g (c \times t \times R) \quad (1.7)$$

Όπως και πριν θεωρούμε ότι η χορδή και το πάχος αυξάνονται γραμμικά με την ακτίνα, οπότε:

$$F_g \propto R^3 \quad (1.8)$$

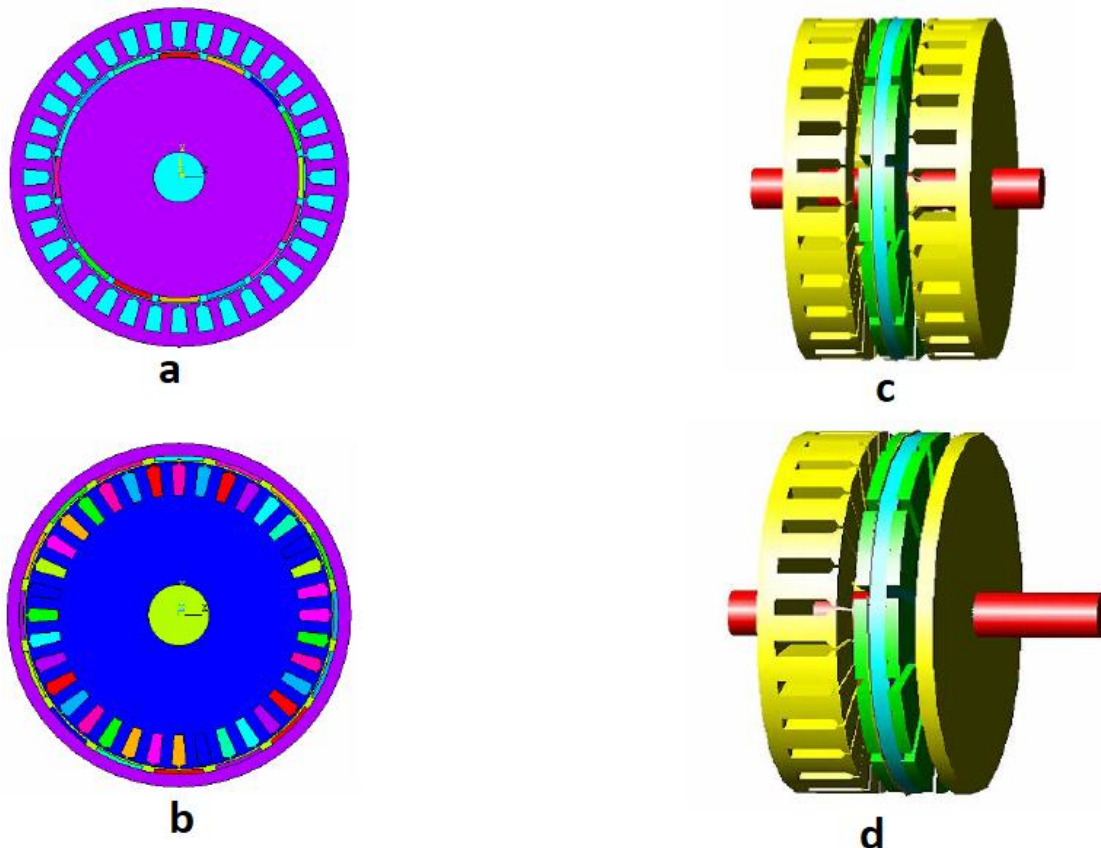
Έχει προταθεί, στη διεθνή βιβλιογραφία, ότι, με την βελτιστοποίηση της κατανομής της μάζας έχει κατέβει σε τάξη μεγέθους ανάλογη με το $R^{2.38}$. Όπως και να χει στις μεγάλες ανεμογεννήτριες κυρίαρχες δυνάμεις είναι η βαρυτική και η αεροδυναμική ροπή στρέψης, ενώ στις μικρές κυριαρχούν οι φυγοκεντρικές δυνάμεις. Αυτό συμβαίνει διότι στις μικρές, οι πτέρυγες, λόγω της φυγοκέντρωσης αποκτούν μεγαλύτερη στιβαρότητα και έτσι δεν επηρεάζονται και τόσο από τις καμπτικές ροπές.

2.2. Γεννήτρια

Η γεννήτρια είναι ο πυρήνας της ανεμογεννήτριας. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται γεννήτριες με μόνιμους μαγνήτες οι οποίες, λόγω του ότι δεν χρειάζονται εξωτερική διέγερση για την παραγωγή του μαγνητικού πεδίου. Μάλιστα, είναι ευρεία η χρήση μαγνητών νεοδυμίου που έχουν αυξήσει σημαντικά τις

αποδόσεις λειτουργίας καθώς επίσης έχουν συμβάλει και στη μείωση του μεγέθους τους.

Οι γεννήτριες υπόκεινται σε δύο βασικούς σχεδιασμούς, ακτινικής μαγνητικής ροής και αξονικής μαγνητικής ροής, όπου η έννοια της ροής αναφέρεται στον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με τον άξονα περιστροφής. Την μερίδα του λέοντος στην αγορά κατέχουν οι πρώτες, αν και οι αξονικής ροής έχουν κερδίσει έδαφος τα τελευταία χρόνια καθώς είναι εύκολα κατασκευάσιμες. Χρησιμοποιούνται όμως μόνο σε μικρές ανεμογεννήτριες (μέχρι 10kW) διότι σε μεγαλύτερα μεγέθη η κατασκευή γίνεται αρκετά πολύπλοκη.



*Εικόνα 1.4: Σχηματική αναπαράσταση βασικών τύπων γεννητριών
Πηγή: [2]*

A. Ακτινικής ροής, εσωτερικού στροφείου

Πρόκειται για τις κλασσικές γεννήτριες όπου το στροφείο φέρει τους μόνιμους μαγνήτες και περιστρέφεται μέσα στις περιελίξεις των πηνίων (εικ 1.4a).

B. Ακτινικής ροής, εξωτερικού στροφείου

Είναι μηχανές, παρόμοιας αρχής λειτουργίας με τις προηγούμενες, μόνο που αυτή τη φορά τα πηνία είναι τυλιγμένα στο κέντρο τη μηχανής που αποτελεί τον στάτορα. Οι μαγνήτες, από την άλλη είναι προσαρμοσμένοι στο εσωτερικό του κελύφους, το οποίο στρέφεται εξωτερικά γύρω από τα πηνία. (εικ 1.4b).

C. Αξονικής ροής, διπλού στάτορα

Η μηχανή αυτή αποτελείται από δύο εξωτερικούς στάτορες και ένα στροφείο ανάμεσά τους. (εικ 1.4c). Οι μαγνήτες, είναι προσανατολισμένοι κατά μήκος του άξονα περιστροφής και εδράζονται σε υποδοχές πάνω στο στροφείο. Ο στάτορας είναι κατασκευασμένο από κυκλικά φύλλα τοποθετημένα ομοκεντρικά μεταξύ τους.

D. Αξονικής ροής, διπλού ρότορα

Η διάταξη αυτή είναι παρόμοια με την προηγούμενη, μόνο που αυτή τη φορά, στο κέντρο βρίσκεται ο στάτορας ενώ απ έξω βρίσκονται δύο ρότορες με τους μαγνήτες τους.

E. Αξονικής ροής, μονού άξονα, μονού ρότορα με ισορροπία στάτορα

Η περίπτωση αυτή είναι απλοποίηση των δύο προηγούμενων και αποτελείται από έναν στάτορα και έναν ρότορα (εικ 1.4d). Όμως στην περίπτωση αυτή υπάρχει έντονη ελκτική δύναμη μεταξύ στάτορα και ρότορα με αποτέλεσμα ο ρότορας να τείνει να μετακινηθεί αξονικά. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές. Η μία είναι να τοποθετηθεί αξονικό ρουλεμάν το οποίο να μπορεί να παραλάβει τα αξονικά φορτία, πράγμα που κάνει την κατασκευή δύσκολη. Επίσης μπορεί να τοποθετηθεί, από την αντίθετη μεριά του ρότορα, δίσκος με μαγνήτες ο οποίος θα εξισορροπεί την ελκτική δύναμη αυτή.

F. Αξονικής ροής, μονού ρότορα με ισορροπία στροφείου

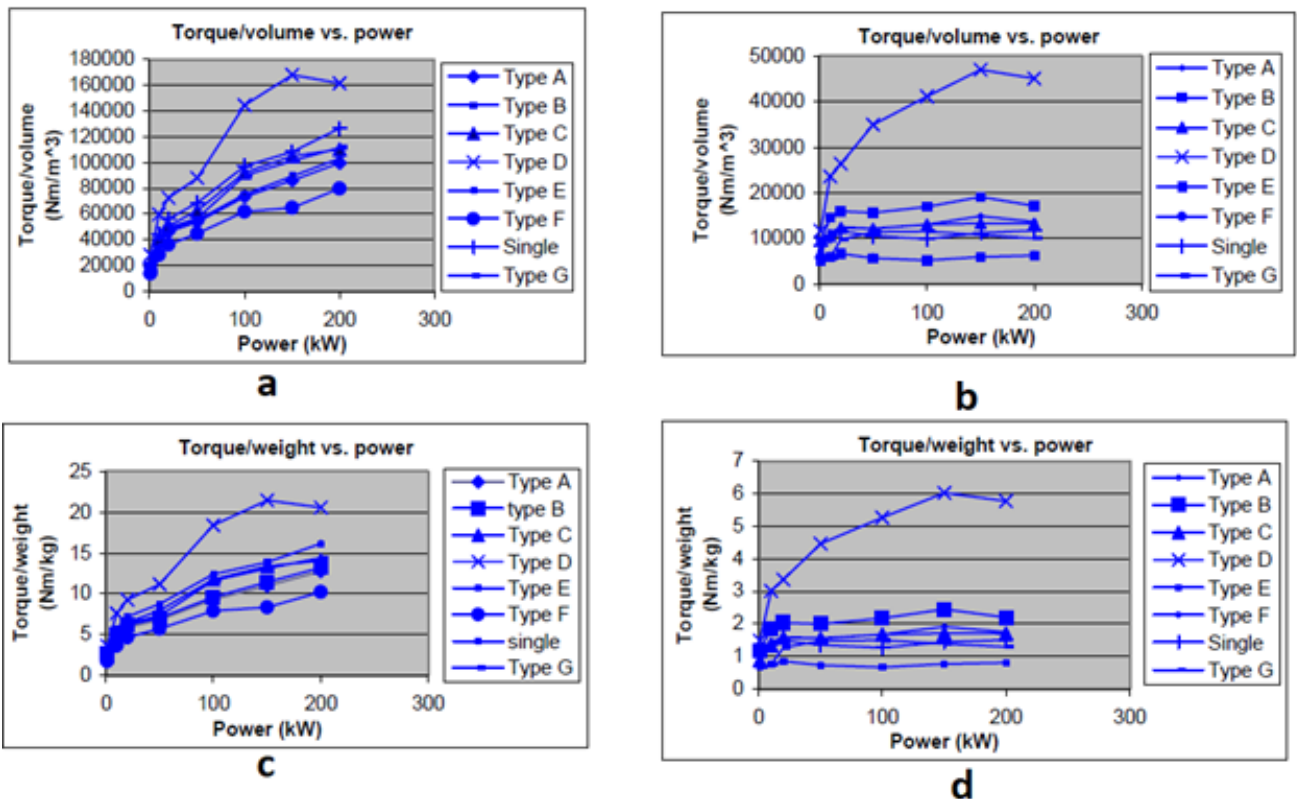
Η μηχανή αυτή μοιάζει πάρα πολύ με την προηγούμενη, μόνο που αυτή τη φορά, πάνω στον άξονα περιστροφής τοποθετείται ένας δεύτερος ρότορας. Τα δύο στροφεία βρίσκονται εκατέρωθεν του στάτορα και έτσι έχουμε εξισορρόπηση.

G. Αξονικής ροής, τοροειδής περιέλιξη

Η μηχανή αυτή λειτουργεί με διπλό στροφέιο το οποίο φέρει μόνιμους μαγνήτες. Ο στάτορας ανάμεσά τους έχει τοροειδές σχήμα, κατασκευασμένο από σίδηρο, και πάνω του είναι τυλιγμένα τα πηνία, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται η κατασκευή αυλάκων για την τοποθέτηση της περιέλιξης.

Για να καταλάβουμε τις πρακτικές διαφορές μεταξύ των μηχανών θα κάνουμε σύγκριση των κύριων χαρακτηριστικών τους βάσει της δημοσίευσης [2]

Για να γίνει σύγκριση της αναπτυσσόμενης από τη γεννήτρια ροπής, το μέγεθος αυτό αδιαστατοποιείται με τον όγκο της. Στον όγκο συμπεριλαμβάνεται ο όγκος των μαγνητών, του χαλκού, των δοντιών του στάτορα καθώς και του κελύφους του στάτορα. Μάλιστα η σύγκριση έγινε τόσο για χρήση των μηχανών σε άμεση σύζευξη με το στροφέιο, όσο και στη χρήση κιβωτίου ταχυτήτων για χρήση γεννητριών υψηλής ταχύτητας.



Εικόνα 1.5: Συγκριτικά διαγράμματα ροπής ανά όγκο για α) μηχανές άμεσης σύζευξης β) μηχανές υψηλής ταχύτητας και διαγράμματα ροπής ανά βάρος για γ) μηχανές άμεσης σύζευξης δ) μηχανές υψηλής ταχύτητας
Πηγή: [2]

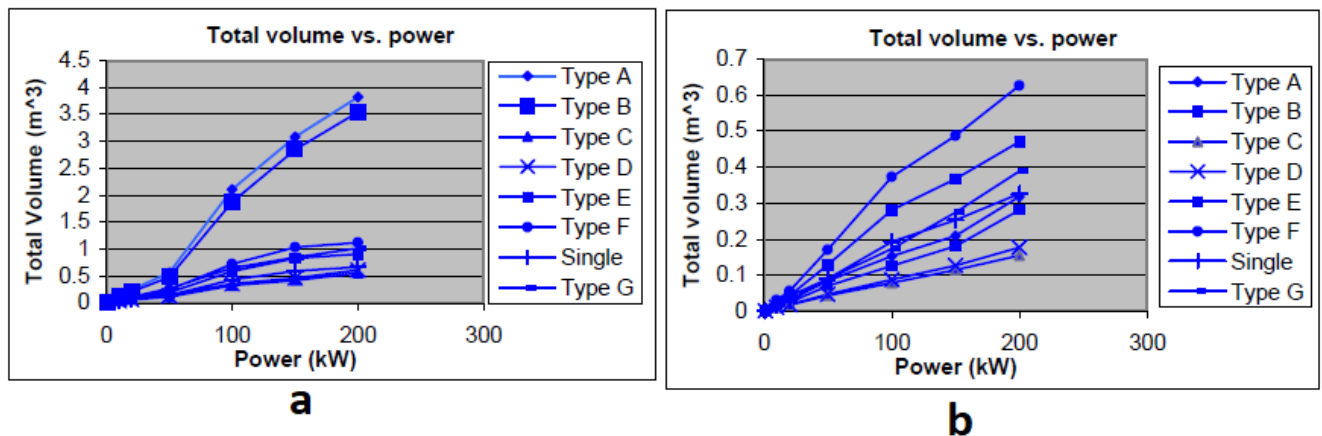
Στο διάγραμμα 1.5a βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη πυκνότητα ροπής την διαθέτουν οι γεννήτριες αξονικής ροής, διπλού στροφέιου (τύπου D), ενώ τις χαμηλότερες τιμές τις έχουν οι τύποι E και F. Ανάμεσα στους δύο τύπους ακτινικής ροής παρατηρούμε ότι ο τύπος με το εξωτερικό στροφέιο (B) είναι ελαφρώς καλύτερος από

τον κλασσικό (A). Αυτό οφείλεται στο ότι το στροφείο του B, λόγω του ότι είναι εξωτερικό παράγει λίγο περισσότερη ροπή. Τέλος βλέπουμε ότι γενικά οι ακτινικής ροής παράγουν γενικά μικρότερη ροπή από τις γεννήτριες αξονικής. Τα ίδια συμπεράσματα εξαγονται εάν δούμε το διάγραμμα b που αφορά την ροπή ανά κιλό της μηχανής.

Στα διαγράμματα c και d φαίνονται οι αντίστοιχες καμπύλες που αφορούν τις υψηλόστροφες μηχανές. Οι μηχανές τύπου D εξακολουθούν να έχουν τις υψηλότερες τιμές και οι E και F τις χαμηλότερες. Αντιθέτως, η πυκνότητα ροπής για τη γεννήτρια αξονικής ροής με διπλό στάτορα, έχει μειωθεί σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτή της ακτινικής ροής με εξωτερικό στροφείο. Αυτό συμβαίνει διότι για να διατηρηθεί το επίπεδο της μαγνητικής ροής πρέπει να αυξηθεί το μήκος του άξονα, εφόσον μειώνεται ο αριθμός των πόλων.

Γενικά βλέπουμε ότι οι πυκνότητες ροπής για τις μηχανές άμεσης σύζευξης είναι αρκετά καλύτερες από αυτές των πολύστροφων πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι πρώτες είναι καταλληλότερες για εφαρμογή σε ανεμογεννήτρια.

Ο διαθέσιμος χώρος μέσα σε μία ανεμογεννήτρια μικρού μεγέθους είναι σχετικά περιορισμένος, οπότε σημαντικό ρόλο παίζει ο όγκος που καταλαμβάνει η γεννήτρια. Για το λόγο αυτό θα γίνει σύγκριση του όγκου με την εξαγόμενη ισχύ.



Εικόνα 1.6: Συγκριτικά διαγράμματα καταλαμβανόμενου όγκου ανά εξαγόμενη ισχύ για α) μηχανές άμεσης σύζευξης β) μηχανές υψηλής ταχύτητας

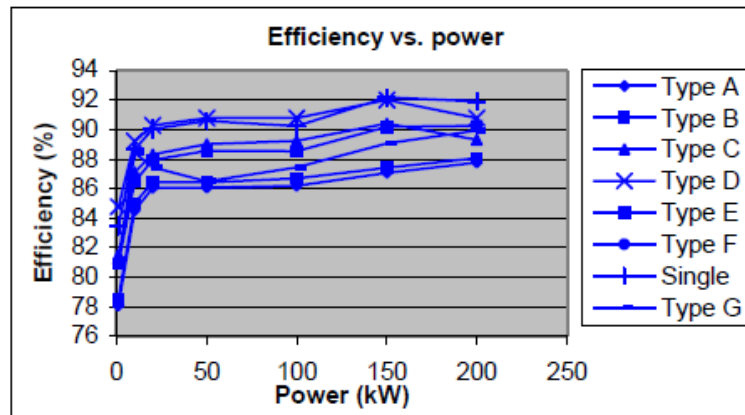
Πηγή: [2]

Βλέπουμε ότι και εδώ συνολικά υπάρχει υπεροχή για τις μηχανές άμεσης σύζευξης. Μάλιστα για της πολύστροφες μηχανές δεν έχει συυπολογιστεί ο όγκος που καταλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων.

Στα επιμέρους διαγράμματα βλέπουμε ότι στην περίπτωση της άμεσης σύζευξης οι μηχανές ακτινικής ροής καταλαμβάνουν πολύ περισσότερο χώρο από αυτές της αξονικής. Στις πολύστροφες, αντιθέτως, στην κορυφή βρίσκεται η αξονικής ροής μονού

ρότορα με ισορροπία στροφείου (τύπος F) πράγμα το οποίο οφείλεται στο αυξημένο μήκος της.

Τέλος θα παρουσιάσουμε την σύγκριση της απόδοσης έναντι της παραγόμενης ισχύος.



Εικόνα 1.7: Συγκριτικό διάγραμμα του συντελεστή απόδοσης με εξαγόμενη ισχύ
Πηγή: [2]

Εδώ φαίνεται ότι μεταξύ των μηχανών, για δεδομένη ισχύ εξόδου, η διακύμανση των αποδόσεων δεν είναι πάρα πολύ μεγάλη. Εντούτοις, στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών, που η παραγωγή τους είναι περιορισμένη, η παραμικρή διακύμανση παίζει σημαντικό ρόλο. Την μεγαλύτερη απόδοση την έχουν και πάλι οι αξονικής ροής μηχανές, με αυτήν του διπλού στροφείου να κατέχει τα πρωτεία. Για άλλη μια φορά, οι μονόπλευρες αξονικής ροής, έχουν τη χαμηλότερη απόδοση από όλες τις αξονικές, λόγω του μειωμένου αριθμού πόλων που διαθέτουν.

Συνολικά βλέπουμε ότι σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις οι μηχανές αξονικής μαγνητικής ροής υπερτερούν. Βέβαια σε μεγάλα μεγέθη, δημιουργούνται θέματα ευστάθειας στη λειτουργία τους, λόγω της αυξημένης διαμέτρου, και γι αυτό το λόγο προτιμώνται περισσότερο σε μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες, συνήθως μέχρι 10kW.

Όσον αφορά τις ακτινικές μηχανές, προτιμώνται αυτές με το εξωτερικό στροφείο. Ο λόγος είναι ότι, λόγω της μεγαλύτερης διαμέτρου, έχουν καλύτερη ψύξη και επίσης εγκαθίστανται ευκολότερα από αυτές με εσωτερικό στροφείο.

Επίσης, εξετάζοντας μόνο τις αξονικές, βλέπουμε ότι οι δίπλευρες (διπλού στροφείου ή διπλού στάτορα), έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά από της μονόπλευρες, τόσο σαν απόδοση, όσο και σαν κατασκευή καθώς είναι πολύ καλύτερα ζυγοσταθμισμένες.

Τέλος, παρατηρούμε ότι γενικά οι μηχανές άμεσης σύζευξης υπερτερούν σε σχέση με τις πολύστροφες λειτουργικά. Εκτός αυτού καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο, πράγμα που τις καθιστά καταλληλότερες για τις μικρές, και περιορισμένου διαθέσιμου χώρου, μικρές ανεμογεννήτριες.

2.3. Συστήματα Ελέγχου

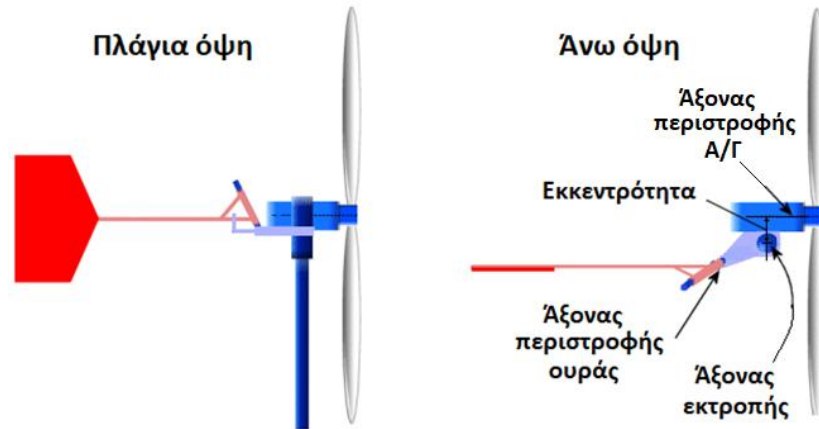
Σε περιπτώσεις μεγάλης ταχύτητας ανέμου, η υπερτάχυνση του στροφείου μπορεί να γίνει τόσο έντονη ώστε να προκληθεί ακόμα και ολική καταστροφή της μηχανής. Για την καλύτερη και απρόσκοπτη λειτουργία λοιπόν, χρησιμοποιούνται συστήματα ελέγχου, τα οποία ελέγχουν και περιορίζουν την ταχύτητα περιστροφής. Οι βασικοί τρόποι για να επιτευχθεί αυτό, οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, είναι:

- i) Εκτροπή της ανεμογεννήτριας από την διεύθυνση του ανέμου
- ii) Να έρθουν τα πτερύγια σε κατάσταση απώλεια στήριξης
- iii) Εφαρμογή πέδησης στην άτρακτο

Το σημείο που διαφέρουν οι μεγάλες Α/Γ από τις μικρές είναι στην λειτουργία των μηχανισμών που πετυχαίνουν το παραπάνω αποτέλεσμα. Ενώ οι μεγάλες έχουμε συνήθως την επενέργεια κάποιου ηλεκτρικού κινητήρα, δηλαδή υπάρχει κάποιο ενεργητικό σύστημα, στις μικρότερες αυτό γίνεται παθητικά.

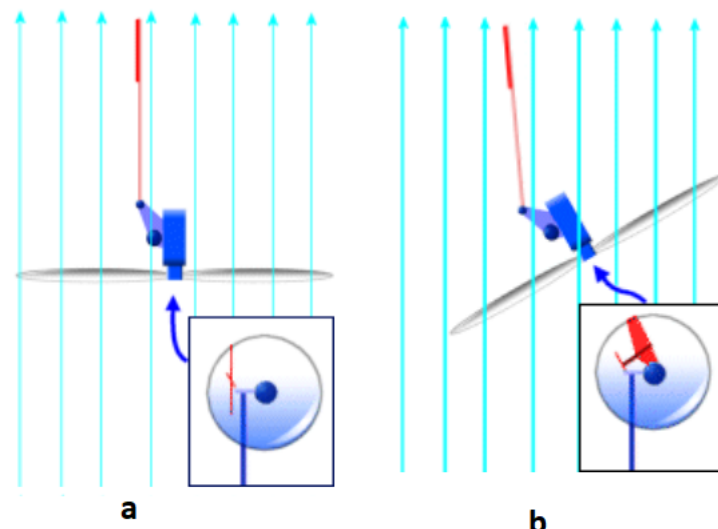
2.3.1. Εκτροπή μηχανής

Ένας πολύ διαδεδομένος τρόπος, κυρίως σε πολύ μικρές Α/Γ είναι εκτροπή όλης της μηχανής, άρα και του στροφείου, από την πορεία του ανέμου, όταν η ταχύτητα του τελευταίου φτάσει μία κρίσιμη τιμή. Ο κύριος μηχανισμός που χρησιμοποιείται αποτελείται από ελάχιστα κινούμενα μέρη και βασίζεται στην ισορροπία της αξονικής δύναμης που δέχεται το στροφείο από τον άνεμο, και του βάρους της ουράς, η οποία έχει δικό της άξονα περιστροφής. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα ο άξονας περιστροφής της μηχανής είναι τοποθετημένος έκκεντρα σε σχέση με τον άξονα εκτροπής. Επίσης έκκεντρα, προς την αντίθετη όμως πλευρά, είναι τοποθετημένος ο διαμήκης άξονας της ουράς. Αν προσέξουμε καλά την εικόνα, παρατηρούμε ότι ο άξονας περιστροφής της ουράς έχει κάποια κλίση ως προς τον κάθετο, συνήθως γύρω στις 20° , με αποτέλεσμα το βάρος της να τείνει να την ευθυγραμμίσει με τον άξονα της μηχανής. Επίσης κατά τη λειτουργία, ο άνεμος τείνει να περιστρέψει την ανεμογεννήτρια γύρω από τον άξονα εκτροπής καθώς επίσης να διατηρήσει τον διαμήκη άξονα της μηχανής παράλληλο με την διεύθυνσή του.

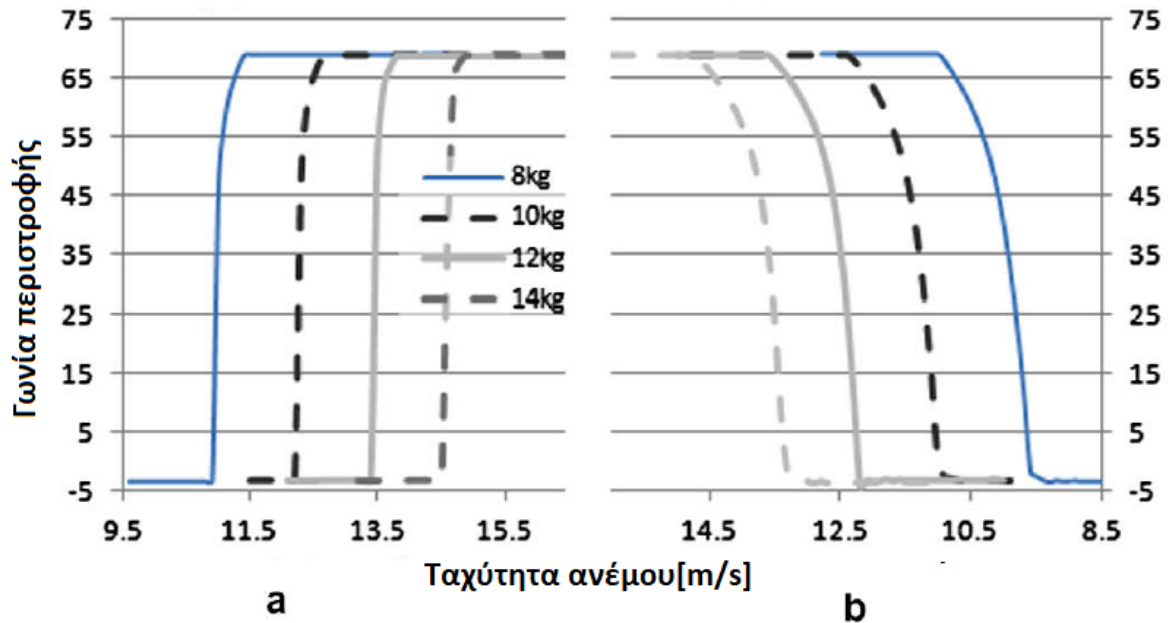


Εικόνα 1.8: Απεικόνιση συστήματος εκτροπής μικρής ανεμογεννήτριας

Σε χαμηλούς ανέμους η εκτροπή είναι μηδενική. Ο άξονας περιστροφής του στροφείου (ΑΣ) είναι ευθυγραμμισμένος με την διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και ο διαμήκης άξονας της ουράς (ΑΟ) είναι παράλληλη με τον ΑΣ (εικόνα 1.9a). Σε μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας, ο άνεμος εκτρέπει την μηχανή από την αρχική της θέση και ταυτόχρονα προσπαθεί να διατηρήσει τον παραλληλισμό του ΑΟ με την ΔΑ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ουρά να περιστραφεί γύρω από τον άξονα περιστροφής της και να χάσει την ευθυγράμμισή της με τον ΑΣ (εικόνα 1.9b). Όμως λόγω του ότι ο άξονας περιστροφής της ουράς βρίσκεται υπό κλίση, αυτή ανυψώνεται. Έτσι το βάρος της τείνει να την επαναφέρει σε ευθυγράμμιση με τον ΑΣ και από τη στιγμή που ο άνεμος «κρατάει» την ουρά σε ευθυγράμμιση μαζί του, τότε η ουρά εξαναγκάζει την ανεμογεννήτρια να τείνει να ευθυγραμμιστεί με τον άνεμο. Έτσι η θέση της ανεμογεννήτριας είναι μία ισορροπία μεταξύ της δύναμης που της ασκεί ο άνεμος και του βάρους της ουράς.



Εικόνα 1.9: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας συστήματος εκτροπής μικρής Α/Γ α) για μικρή και β) για μέτρια ταχύτητα ανέμου. Τα ένθετα είναι όψεις εμπρός από το στροφέιο

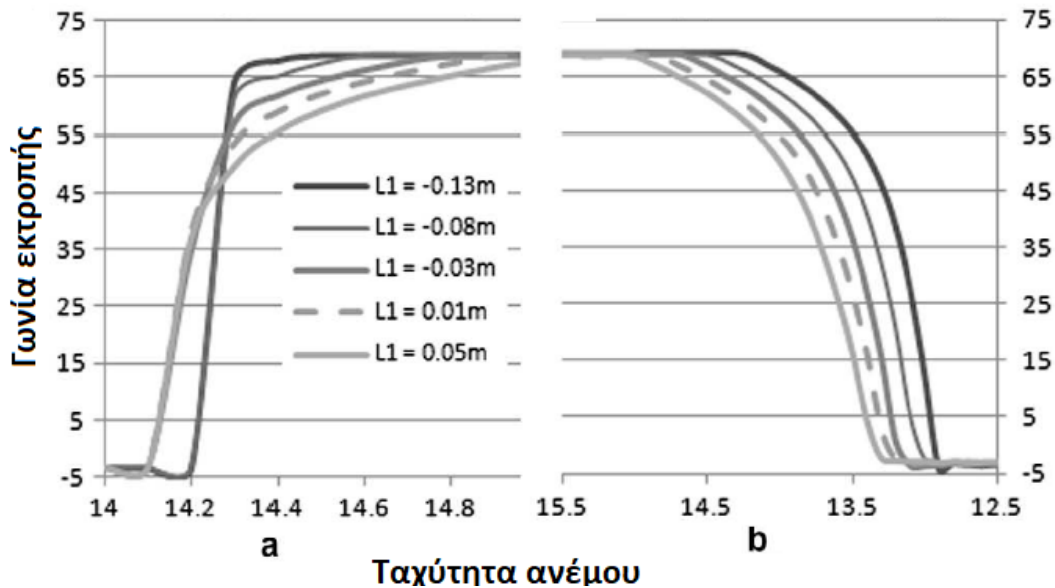


*Εικόνα 1.11: Διάγραμμα γωνίας περιστροφής στροφείου, συνάρτησε της ταχύτητας ανέμου και του βάρους της ουράς για α) αυξανόμενη, β) μειούμενη ταχύτητα ανέμου
 Πηγή: [3]*

Αρχικά παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις η ποιοτική συμπεριφορά της εκτροπής είναι ίδια. Η εκτροπή μέχρι περίπου 45 μοίρες γίνεται ακαριαία, ενώ από και πέρα ο ρυθμός μειώνεται λίγο μέχρι να φτάσει το μέγιστο των 68 μοιρών περίπου. Επίσης παρατηρείται μία υστέρηση στην επαναφορά του στροφείου στην αρχική θέση. Για παράδειγμα στην περίπτωση μάζας 8kg η εκτροπή γίνεται σε ταχύτητα 10 m/s ενώ η πλήρης επαναφορά στα 9,5m/s. Η υστέρηση αυτή είναι σχεδόν ίδια σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.

➤ Μήκος L_1

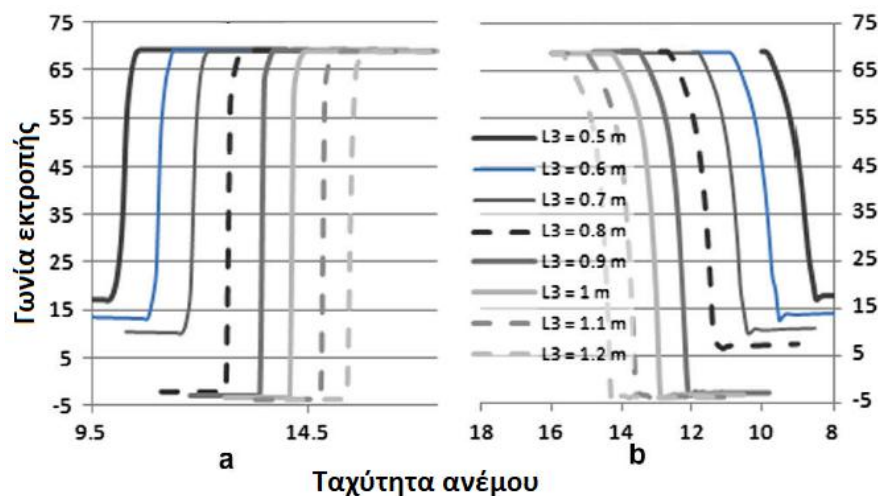
Η πλάγια απόσταση L_1 μπορεί να πάρει τόσο αρνητικές όσο και θετικές τιμές. Οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι η ουρά και η ανεμογεννήτρια βρίσκονται στην ίδια πλευρά του άξονα περιστροφής της τελευταίας. Βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα ότι οι θετικές τιμές της παραμέτρου αυτής δίνουν μία πιο ομαλή κίνηση της μηχανής αλλά γενικά οι μεταβολές της δεν επηρεάζουν πάρα πολύ την εκτροπή. Το τελευταίο συμβαίνει διότι η ροπή που ασκεί η ουρά επηρεάζεται κυρίως από το μήκος της και λιγότερο από τις αποστάσεις L_1 και L_2 . Πάλι παρατηρούμε ότι υπάρχει υστέρηση στην επαναφορά της μηχανής στην αρχική της θέση όταν ο άνεμος μειώνεται.



Εικόνα 1.12: Διάγραμμα γωνίας περιστροφής στροφείου, συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου και του μήκους L_1 για α) αυξανόμενη, β) μειούμενη ταχύτητα ανέμου
 Πηγή: [3]

➤ Μήκη L_2, L_3

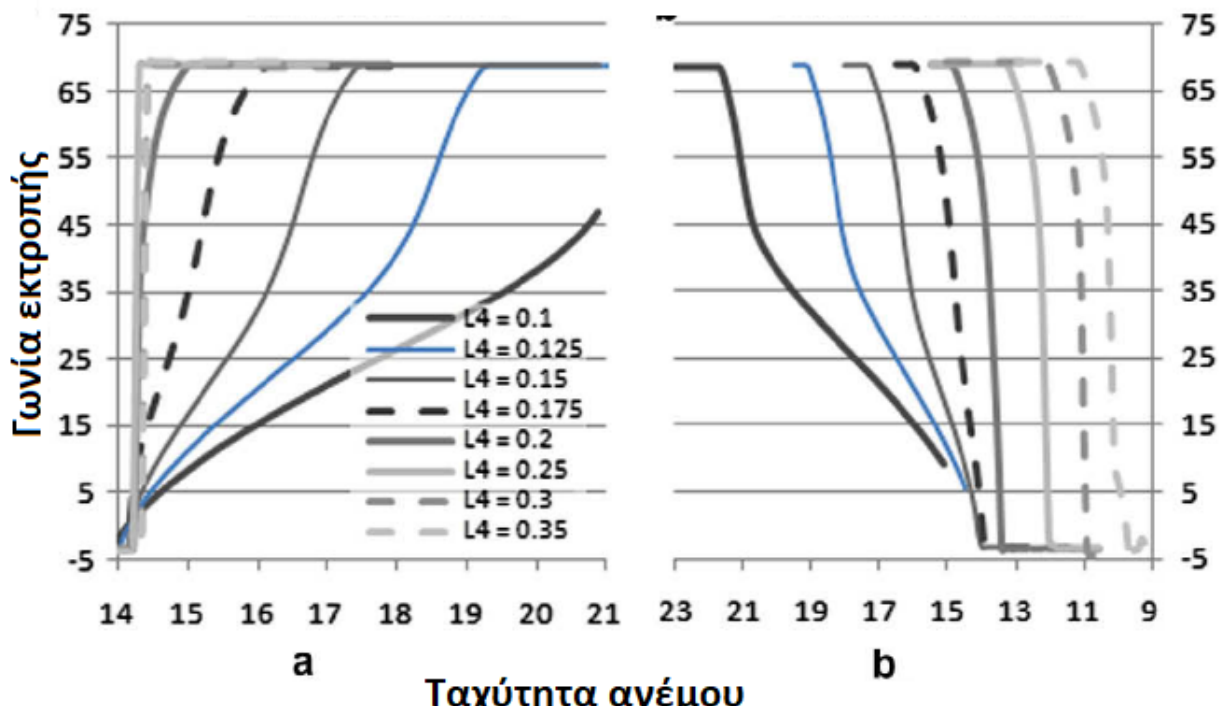
Η ισορροπία του συστήματος εκτροπής επιτυγχάνεται από την ισορροπία ροπών των δυνάμεων που ασκεί ο άνεμος στην μηχανή και στην ουρά. Όπως γίνεται κατανοητό η αύξηση του μήκους της ουράς ισοδυναμεί σε αύξηση του μοχλοβραχίονα και άρα η ουρά γίνεται κυρίαρχη έναντι της ανεμογεννήτριας, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι θα παρουσιαστεί μία συμπεριφορά αντίστοιχη της αύξησης του βάρους της ουράς. Επιπροσθέτως το μήκος L_2 λειτουργεί σαν προέκταση του L_3 οπότε παρουσιάζουν παρόμοια επιρροή στην εκτροπή, αν και το L_2 επηρεάζει σε μικρότερο βαθμό.



*Εικόνα 1.13: Διάγραμμα γωνίας περιστροφής στροφείου, συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου και του μήκους L_3 για α) αυξανόμενη, β) μειούμενη ταχύτητα ανέμου
Πηγή: [3]*

➤ Μήκος L_4

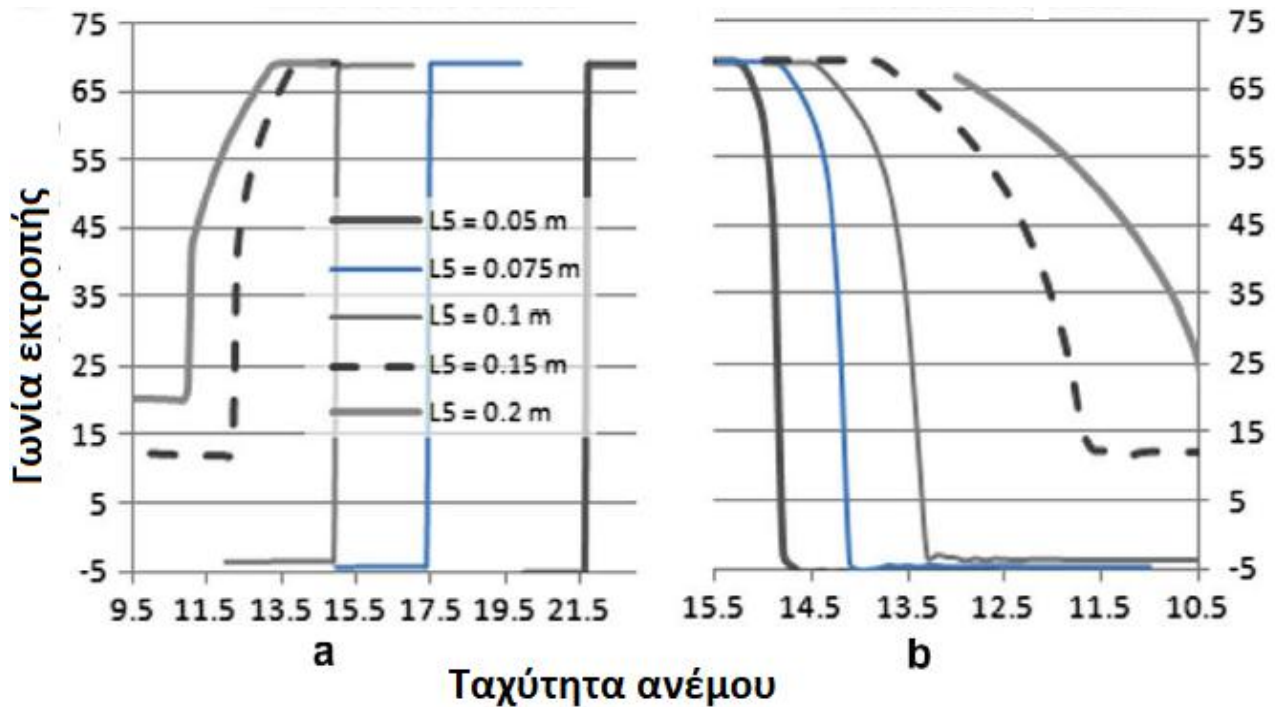
Τα μήκη L_4 και L_5 είναι αυτά που καθορίζουν τον μοχλοβραχίονα στην ροπή που ασκεί η ανεμογεννήτρια στον μηχανισμό εκτροπής, οπότε η σωστή επιλογή τους παίζει σημαντικότατο ρόλο. Το μήκος L_4 επηρεάζει κυρίως την συμπεριφορά όταν έχει ξεκινήσει ήδη η εκτροπή. Όσο αυξάνεται το μέγεθος αυτό, τόσο γίνεται πολύ πιο απότομη η μετακίνηση στο σημείο μέγιστης εκτροπής (68°). Επίσης παρατηρούμε από τις κλίσεις των καμπυλών, ότι η επιρροή γίνεται εντονότερη όσο μεγαλώνει η γωνία εκτροπής. Η επαναφορά, από την άλλη, γίνεται πολύ πιο ομαλή σε μικρές τιμές του L_4 . Βέβαια η υστέρηση παρατηρείται και σε αυτήν την περίπτωση.



*Εικόνα 1.14: Διάγραμμα γωνίας περιστροφής στροφείου, συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου και του μήκους L_4 για α) αυξανόμενη, β) μειούμενη ταχύτητα ανέμου
Πηγή: [3]*

➤ Μήκος L_5

Το μήκος L_5 παίζει σημαντικό ρόλο όταν η μηχανή είναι σε πλήρη ευθυγράμμιση με την διεύθυνση του ανέμου με τις μεγαλύτερες τιμές να οδηγούν σε πιο απότομη εκτροπή. Στην περίπτωση αυτή, η κλίση των καμπυλών γίνεται ακόμα πιο έντονη στις μικρότερες γωνίες εκτροπής. Μάλιστα από μία τιμή του L_5 και πάνω παρατηρούμε μία βίαιη και άμεση μετάβαση στο σημείο μέγιστης εκτροπής.



*Εικόνα 1.15: Διάγραμμα γωνίας περιστροφής στροφέιου, συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου και του μήκους L_5 για α) αυξανόμενη, β) μειούμενη ταχύτητα ανέμου
Πηγή: [3]*

Ο συγκεκριμένος τρόπος ελέγχου έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι, παρόλη την σχετικά πολυπαραμετρική αρχική μελέτη, η κατασκευή του είναι πολύ εύκολη και οικονομική. Η έλλειψη πολύπλοκων συστημάτων, αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία όλης της μηχανής.

Από την άλλη με τον μηχανισμό αυτόν η ανεμογεννήτρια βρίσκεται συνεχώς σε ταλάντωση για την εύρεση κάθε φορά ενός νέου σημείου ισορροπίας. Αυτό οδηγεί σε φθορά του άξονα περιστροφής εκτροπής και επίσης σε συνεχή θόρυβο που προκαλεί η μηχανή.

2.3.2. Απώλεια στήριξης πτερυγίων

Η περιστροφή των πτερυγίων γύρω από τον διαμήκη άξονά τους είναι διαδεδομένη στις μεγάλες ανεμογεννήτριες και πετυχαίνεται με χρήση ηλεκτρικών κινητήρων. Στην περίπτωση αυτή ο σκοπός είναι διπλός, αφενός η προσαρμογή της γωνίας προσβολής στις διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου. Αφετέρου, σε περίπτωση πολύ ισχυρού ανέμου, τα πτερύγια έρχονται σε τέτοια γωνία ώστε να βρίσκονται σε κατάσταση απώλειας στήριξης και να μην παράγουν άντωση και άρα να σταματήσει η περιστροφή.

Στις μικρότερες ανεμογεννήτριες, η χρήση κινητήρων για τον σκοπό αυτό είναι αδύνατη λόγω των διάφορων οικονομιοτεχνικών περιορισμών που θέτονται. Για το

λόγο αυτό υιοθετούνται παθητικά συστήματα που εκμεταλλεύονται τις φυγοκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από την γρήγορη περιστροφή. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό διαφέρει ανάλογα τον κατασκευαστή αλλά γενικά χρησιμοποιούνται μοχλοί συνδεδεμένοι με τα πτερύγια και με ελατήρια, τα οποία υπερνικούν τις φυγοκεντρικές δυνάμεις μέχρι αυτές να φτάσουν σε μία κρίσιμη τιμή.

Γίνεται εμφανές ότι με τον τρόπο αυτόν, είναι αδύνατο να γίνει ακριβής έλεγχος της περιστροφής ώστε να γίνει βελτιστοποίηση της γωνίας προσβολής, έτσι οι μηχανισμοί αυτοί χρησιμοποιούνται μόνο για την δημιουργία κατάστασης stall. Ένας κρίσιμος παράγοντας, που θέλει μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος, είναι η επίτευξη της ίδιας γωνίας σε όλα τα πτερύγια. Η ενδεχόμενη ανισοροπία των πτερυγίων θα οδηγήσει σε άνιση κατανομή των δυνάμεων πάνω στο στροφέιο, που μπορεί να αποβεί καταστροφικό. Τέλος, είναι σημαντική η μελέτη της ομαλής μεταβίβασης από την γωνία stall σε γωνία λειτουργίας ώστε να μην προκληθούν ταλαντώσεις που μακροπρόθεσμα θα προκαλέσουν κόπωση στην μηχανή.

2.3.3. Πέδηση ατράκτου

Το τελευταίο σύστημα που μπορεί να εφαρμοστεί είναι η πέδηση της ατράκτου και ένας τρόπος να εφαρμοστεί αυτό είναι με συστήματος δισκόφρενου. Στην περίπτωση των πολύστροφων γεννητριών η πέδηση εφαρμόζεται στον γρήγορο άξονα λόγω του ότι η απαιτούμενη ροπή είναι σημαντικά χαμηλότερη.

Ένας άλλος τρόπος είναι να εφαρμοστεί κάποιο ηλεκτρικό φορτίο στην γεννήτρια, το οποίο θα προκαλέσει ροή ρεύματος μεγάλης έντασης. Με τον τρόπο αυτόν αναπτύσσεται μεγάλη επαγωγική δύναμη πάνω στην γεννήτρια με αποτέλεσμα να φρενάρεται όλη η ανεμογεννήτρια. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας μία μεταβλητή αντίσταση, η οποία μειώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και έτσι αναγκάζει περισσότερο ρεύμα να διέλθει από τους αγωγούς.

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται κυρίως σε μικρού ή μεσαίου μεγέθους ανεμογεννήτριες. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι σε μεγαλύτερα μεγέθη η ένταση του ρεύματος που απαιτείται για να προκληθεί το φρενάρισμα είναι υπερβολικά μεγάλη για να εφαρμοστεί.

3. Νομοθετικό πλαίσιο

3.1. Ιστορική ανασκόπηση

Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα έφτασε το 1889 με την πρώτη μονάδα παραγωγής να βρίσκεται Αθήνα και το πρώτο φωτιζόμενο κτίριο να είναι τα ανάκτορα, επί πρωθυπουργίας Χαρ. Τρικούπη και βασιλείας Γεωργίου Α'. Από τότε η παραγωγή μοιράστηκε σε πολλούς μικρούς ή μεγάλους ιδιώτες και βρισκόταν κατακερματισμένη σε διάφορα σημεία της χώρας. Ως καύσιμες ύλες χρησιμοποιούνταν πετρέλαιο ή γαιάνθρακας τα οποία εισάγονταν από το εξωτερικό, πράγμα το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα αφενός η παραγωγή να μην επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών και αφετέρου η τιμή του ρεύματος να είναι υπερβολικά υψηλή.

Το κίνητρο για καλύτερη εκμετάλλευση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πηγών στην παραγωγή ρεύματος και η ενοποίηση των συστημάτων διανομής, οδήγησε στην ανάγκη της συγκέντρωσης της ηλεκτρικής παραγωγής σε έναν και μόνο διαχειριστή. Έτσι, τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) η οποία απορρόφησε σταδιακά και τις 385 παραγωγικές εταιρίες που είχαν ιδρυθεί μέχρι τότε.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού ήταν αποκλειστικό προνόμιο της ΔΕΗ μέχρι το 1994 όπου με τον νόμο 2244/1994 επιτράπηκε η είσοδος φυσικών προσώπων στον χώρο. Το 1999, με τον νόμο 2773, γίνονται ακόμα ευνοϊκότερες οι συνθήκες, κυρίως για τους σταθμούς παραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα δόθηκε προτεραιότητα σε αυτούς στην αγορά της πλεοναζούσης ηλεκτρικής ενέργειας που παρήγαγαν, από την ΔΕΗ, έναντι στις συμβατικές μονάδες παραγωγής.

Στη συνέχεια, το 2006 θεσπίστηκε ο νόμος 3468, ο οποίος καθορίζει τις αρχές και τους κανόνες που διέπουν την αδειοδότηση, εγκατάσταση και διασύνδεση στο δίκτυο των μονάδων παραγωγής από ΑΠΕ, τόσο από μεγάλες μονάδες όσο και από μικρές οικιακές. Η μεγάλη καινοτομία που θεσπίστηκε με τον νόμο αυτό είναι η εξαίρεση από την υποχρέωση αδειοδότησης για την παραγωγή, κάποιων κατηγοριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα για την αιολική ενέργεια στην κατηγορία αυτήν υπάγονται οι εξής περιπτώσεις, όπως ορίζονται από το άρθρο 4 του νόμου αυτού:

- i) Ισχύ μικρότερη ή ίση των 20kW για σύνδεση σε απομονωμένα μικροδίκτυα,
- ii) Ισχύ μικρότερη ή ίση των 40kW για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά

iii) Ισχύ μικρότερη ή ίση των 60kW για το διασυνδεδεμένο σύστημα

Στον κυκεώνα και στις δαιδαλώδεις διαδρομές της ελληνικής γραφειοκρατίας, η απαλλαγή αυτή είναι σημαντικότατο κίνητρο στην εγκατάσταση μικρών μονάδων παραγωγής που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές. Γίνεται εμφανές ότι με τις προαναφερθείσες ευνοϊκές μεταρρυθμίσεις γίνεται το πρώτο βήμα για να στραφεί ο κόσμος στην εγκατάσταση συστημάτων ανεμογεννητριών μικρής κλίμακας.

3.2. Ισχύουσες διατάξεις

Η Ελλάδα, πέρα από τις προαναφερθείσες νομοθετικές διατάξεις, προχώρησε το 2010 στην θέσπιση του νόμου 3851 και το 2013 στον νόμο 4203, οι οποίοι αποσκοπούν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. Τα περισσότερα άρθρα των νόμων αυτών, αποτελούν αντικαταστάσεις η/και τροποποιήσεις άρθρων του αντίστοιχου νόμου του 2006 και ανοίγουν δρόμο για πραγματικές ευκαιρίες και ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών. Στην παρούσα εργασία θα αναφέρουμε και αναλύσουμε τις διατάξεις που αφορούν την αδειοδότηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και εστιάζοντας στις μικρές ανεμογεννήτριες, ώστε να γίνει φανερή η διευκόλυνση που παρέχεται από την εξαίρεση της αδειοδοτικής διαδικασίας.

3.2.1. Αδειοδοτικός φορέας και κριτήρια

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να αναφερθεί είναι η μεγάλη αλλαγή που έγινε όσον αφορά τον φορέα που χορηγεί την άδεια. Στον νόμο του 2006 αρμόδιος για την τελική απόφαση ήταν ο Υπουργός Ανάπτυξης ο οποίος λάμβανε υπόψη του την γνώμη της ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Πλέον την αποκλειστική αρμοδιότητα την έχει η Ρ.Α.Ε. η οποία απλά κοινοποιεί την απόφασή της στον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ο οποίος με τη σειρά του ελέγχει την νομιμότητά της. Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την έγκριση ή μη της αίτησης άδειας είναι (όπως ακριβώς αναγράφονται στο σχετικό ΦΕΚ):

- i) Εθνική ασφάλεια
- ii) Προστασία της δημόσιας υγείας και ασφάλειας
- iii) Της εν γένει ασφάλειας των εγκαταστάσεων και του σχετικού εξοπλισμού του Συστήματος και του Δικτύου
- iv) Της ενεργειακής αποδοτικότητας του έργου για το οποίο υποβάλλεται η σχετική αίτηση, όπως η αποδοτικότητα αυτή προκύπτει, για τα έργα Α.Π.Ε., από μετρήσεις του δυναμικού Α.Π.Ε. και για τις μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. από τα ενεργειακά ισοζύγιά τους. Ειδικά για το αιολικό δυναμικό, οι υποβαλλόμενες μετρήσεις πρέπει να έχουν εκτελεστεί από

πιστοποιημένους φορείς, σύμφωνα με το πρότυπο DIN-EN ISO/IEC17025/2000, όπως ισχύει κάθε φορά.

- v) Της ωριμότητας της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, όπως προκύπτει από μελέτες που έχουν εκπονηθεί, γνωμοδοτήσεις αρμόδιων υπηρεσιών, καθώς και από άλλα συναφή στοιχεία.
- vi) Της εξασφάλισης ή της δυνατότητας εξασφάλισης του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.
- vii) Της δυνατότητας του αιτούντος ή των μετόχων ή εταίρων του να υλοποιήσει το έργο με βάση την επιστημονική και τεχνική επάρκειά του και της δυνατότητας εξασφάλισης της απαιτούμενης χρηματοδότησης από ίδια κεφάλαια ή τραπεζική χρηματοδότηση έργου ή κεφάλαια επιχειρηματικών συμμετοχών ή συνδυασμό αυτών.
- viii) Της διασφάλισης παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των πελατών.
- ix) Της δυνατότητας υλοποίησης του έργου σε συμμόρφωση με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Α.Π.Ε. και ειδικότερα με τις διατάξεις του για τις περιοχές αποκλεισμού χωροθέτησης εγκαταστάσεων Α.Π.Ε., εφόσον οι περιοχές αυτές έχουν οριοθετηθεί κατά τρόπο ειδικό και συγκεκριμένο, καθώς και τις διατάξεις του για τον έλεγχο της φέρουσας ικανότητας στις περιοχές που επιτρέπονται Α.Π.Ε., ώστε να διασφαλίζεται η κατ' αρχήν προστασία του περιβάλλοντος.
- x) Της συμβατότητας του έργου με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την επίτευξη των στόχων που προβλέπονται στην παρ. 3 του άρθρου 1.

Η παράγραφος 3 του άρθρου 1 ορίζει πως οι εθνικοί στόχοι για Α.Π.Ε. καθορίζονται μέχρι το τέλος του 2020 ως εξής:

- i) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.
- ii) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής που εκδίδεται μέσα σε τρεις (3) μήνες από τη δημοσίευση του παρόντος, καθορίζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και η κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Α.Π.Ε.. Η απόφαση αυτή αναθεωρείται ανά διετία ή και νωρίτερα, εάν συντρέχουν σημαντικοί λόγοι που σχετίζονται με την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ.

- iii) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.
- iv) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.

3.2.2. Αδειοδοτική διαδικασία – εξαιρέσεις

Για την κατασκευή ενός σταθμού παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές απαιτείται η έκδοση και υπογραφή αδειών και συμβάσεων από τους αρμόδιους φορείς. Για να επιτευχθεί αυτό τα βήματα που πρέπει να γίνουν είναι τα εξής (σε παρένθεση σημειώνονται οι αρμόδιοι φορείς του αντίστοιχου βήματος):

- Έκδοση Άδειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας). Δικαίωμα υποβολής αίτησης έχουν:
 - Φυσικά πρόσωπα που έχουν υπηκοότητα κράτους μέλους της Ε.Ε
 - Νομικά πρόσωπα ή κοινοπραξίας που εδρεύουν σε κράτος μέλος της Ε.Ε.
- Διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης του σταθμού παραγωγής στο Σύστημα ή σε Δίκτυο (ΔΕΗ ή ΔΕΣΜΗΕ).
- Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) ή Απαλλαγή από Ε.Π.Ο. (Περιφέρεια).
- Άδεια Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση, εφόσον απαιτείται, ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου (Περιφέρεια).
- Έκδοση Άδειας Εγκατάστασης (με ενσωματωμένη Ενιαία Άδεια Χρήσης Νερού και Εκτέλεσης Έργων όταν πρόκειται για Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό) (Περιφέρεια).
- Έκδοση Οικοδομικών Αδειών (όπου απαιτείται εκτέλεση δομικών έργων) ή άλλων αδειών και εγκρίσεων που τυχόν απαιτούνται και μπορούν να εκδοθούν χωρίς να υπάρχει ακόμα η Άδεια Εγκατάστασης (Πολιοδομία ή αρμόδια κατά περίπτωση αρχή). Ειδικότερα στις εγκαταστάσεις Α/Γ δεν απαιτείται οικοδομική άδεια αλλά Έγκριση Εργασιών Δόμησης Μικρής Κλίμακας από την Διεύθυνση πολιοδομίας
- Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης στο Σύστημα ή σε Δίκτυο (ΔΕΗ ή ΔΕΣΜΗΕ).
- Υπογραφή Σύμβασης Αγοραπωλησίας Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ)
- Δοκιμαστική Περίοδος και έκδοση Άδειας Λειτουργίας (ΔΕΗ ή ΔΕΣΜΗΕ). Γίνεται προσωρινή σύνδεση στο δίκτυο και εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών ο φορέας εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών.

Η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων είναι μία από τις απαραίτητες διαδικασίες για την αδειοδότηση εγκατάστασης ΑΠΕ. Η αίτηση γίνεται στην περιφέρεια και γίνεται εξέταση της τήρησης κάποιων περιβαλλοντικών κριτηρίων και συγκεκριμένα εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εγκατάστασης καθώς και τα προτεινόμενα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης. Η έγκριση ισχύει για δέκα έτη και μπορεί να ανανεώνεται με νέα αίτηση που υποβάλλεται 6 μήνες πριν από την λήξη της.

Εξαιρέσεις

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω, η γραφειοκρατική διαδικασία, για την χορήγηση των απαραίτητων εγκρίσεων και αδειών, είναι αρκετά χρονοβόρα και επίπονη. Για το λόγο αυτό ο νόμος του 2010, συγκεκριμένα όσον αφορά τις Α/Γ, ορίζει κάποιες εξαιρέσεις που υπόκεινται οι μικρές αιολικές εγκαταστάσεις και συγκεκριμένα αυτές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ κάτω από 100kW. Το όριο των 100kW ορίζεται για σταθμούς που ανήκουν στο ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο και εγκαθίστανται στο ίδιο ή σε όμορα ακίνητα.

Άδεια παραγωγής και εγκατάστασης

Αρχικά η Άδεια Παραγωγής καθώς και η άδεια εγκατάστασης στην κατηγορία αυτή κρίνονται μη απαραίτητες. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει η ανάγκη υποβολής αποτελεσμάτων ανεμολογικών μετρήσεων από διαπιστευμένο φορέα. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι εφόσον ορίζεται ρητά από τον νόμο, δεν απαιτείται η έγγραφη απόφαση εξαίρεσης άδειας παραγωγής από την Ρ.Α.Ε.

Διαδικασία Ε.Π.Ο.

Διαφοροποίηση υπάρχει επίσης και στην διαδικασία Ε.Π.Ο. Σύμφωνα με την απόφαση του ΥΠΕΚΑ 1958/13.1.2012 που αφορά την κατάταξη των έργων σε κατηγορίες περιβαλλοντικής αδειοδότησης, οι μικρές αιολικές εγκαταστάσεις κατατάσσονται στην κατηγορία Β (όπως ισχύει με βάση τον νόμο 4014/2011). Αυτό σημαίνει ότι εν υπόκεινται σε διαδικασία Ε.Π.Ο. αλλά λαμβάνουν τις Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (Π.Π.Δ.) με αίτηση στην περιφέρεια. Οι μικρές εγκαταστάσεις οι οποίες βρίσκονται σε κτίρια ή Βιομηχανικές περιοχές απαλλάσσονται πλήρως από την υποχρέωση έκδοσης Ε.Π.Ο.

Ξεχωριστή κατηγορία αποτελούν οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε γήπεδα οι οποίες υπόκεινται σε κατηγοριοποίηση. Οι ανεμογεννήτριες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος πάνω από 20kW και κάτω από 100kW είναι υποχρεωμένες για έκδοση Π.Π.Δ. από την τοπική περιφέρεια. Οι εγκαταστάσεις μικρότερες από 20kW δεν είναι υποχρεωμένες σε Ε.Π.Ο. εκτός από τις παρακάτω κατηγορίες που υπόκεινται σε υποχρέωση έκδοσης Π.Π.Δ.:

- Εντός περιοχής Natura 2000
- Σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων από αιγιαλό
- Σε απόσταση 150 μέτρων από άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας

Εάν η βεβαίωση απαλλαγής, δεν χορηγηθεί μέσα σε 20 ημέρες από την αίτηση τότε αυτή θεωρείται χορηγηθείσα και αυτό βεβαιώνεται από τον ενδιαφερόμενο με το αντίγραφο του αιτήματος με τον αριθμό πρωτοκόλλου και την ημερομηνία κατάθεσης μαζί με υπεύθυνη δήλωση για παρέλευση του 20ημέρου χωρίς έκδοση απόφασης.

Πολεοδομία

Επιπροσθέτως πρέπει να υποβληθεί αίτηση την αρμόδια πολεοδομική αρχή, που δυστυχώς δεν έχουν θεσπιστεί ειδικές διατάξεις για τις μικρές αιολικές εγκαταστάσεις. Με βάση το γενικό πλαίσιο που υπάρχει ισχύουν τα ακόλουθα:

- Όχληση:

Με βάση την υπουργική απόφαση 13727/724/24.7.2003 όπως τροποποιήθηκε με την Δ6/Φ1/οικ.19500/4.11.2004 οι βαθμοί όχλησης ανεμογεννητριών κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

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

Επίσης ισχύουν οι εξής 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 2.000 κατοίκους,
 - ✓ εντός ορίων οικισμών προϋφιστάμενων του 1923 και εκτός σχεδίου
- Οι σταθμοί χαμηλής όχλησης πρέπει να βρίσκονται εκτός οικισμού ασχέτως απόστασης
- Οι σταθμοί μέσης όχλησης πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση 500 μέτρων από οικισμό

- Όροι δόμησης

Όπως προαναφέρθηκε για την εγκατάσταση μικρών Α/Γ δεν απαιτείται άδεια δόμησης αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Πολεοδομία. Εντούτοις, δεν απαλλάσσονται από την έκδοση άδειας δόμησης, οι δομικές κατασκευές όπως τα θεμέλια των Α/Γ ή/και οι εγκαταστάσεις στέγασης εξοπλισμών ελέγχου και μετασχηματιστών.

Επίσης δεν απαιτείται έγκριση της Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου εκτός για τις περιπτώσεις των εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε παραδοσιακούς οικισμούς ή περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους.

Δοκιμαστική λειτουργία

Τέλος οι μικρές εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών δεν υποχρεούνται σε υποβολή σε δοκιμαστική λειτουργία.

Συνολικά φαίνονται στο παρακάτω πίνακα οι απαιτούμενες γραφειοκρατικές διαδικασίες ανά κατηγορία συνολικής εγκατεστημένης ισχύος:

$P_{installed} \leq 20 \text{ kW}$	$20\text{kW} < P_{installed} \leq 100 \text{ kW}$	$P_{installed} > 100 \text{ kW}$
Δεν απαιτείται Άδεια Παραγωγής ή άλλη σχετική με αυτήν διαπιστωτική απόφαση.		Απαιτείται Άδεια Παραγωγής. Η αίτηση πρέπει να συνοδεύεται από τεκμηρίωση αιολικού δυναμικού που να βασίζεται σε μετρήσεις πιστοποιημένου φορέα.
Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για την διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος και θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. Ο Διαχειριστής χορηγεί Προσφορά Σύνδεσης, αρχικά μη-δεσμευτική, η οποία οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική με το πέρας της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, όπου απαιτείται.		
Απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από την υποχρέωση ΕΠΟ. Αυτή εκδίδεται από την ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. της οικείας Περιφέρειας εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα (Ν.3851, αρθ.3). Για την απόδειξη της άπρακτης παρέλευσης, ο ενδιαφερόμενος πρέπει στα επόμενα στάδια να προσκομίζει σχετική βεβαίωση της Περιφέρειας, ή εναλλακτικά, αντίγραφο του αιτήματός του με τον αριθμό πρωτοκόλλου και την ημερομηνία κατάθεσής του, μαζί με υπεύθυνη δήλωση για την παρέλευση του 20ημέρου χωρίς έκδοση ούτε απαλλαγής, ούτε		Απαιτείται απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Με την έκδοση της απόφασης αυτής, οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική η Προσφορά Σύνδεσης.

<p>αρνητικής απόφασης. Κατ' εξαίρεση απαιτείται ΕΠΟ εάν:</p> <p>α) το έργο εγκαθίσταται εντός περιοχής Natura 2000 ή σε απόσταση < 100m από αιγιαλό, ή</p> <p>β) γειτνιάζει σε απόσταση <150 m με άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας, η δε αθροιστική ισχύς υπερβαίνει το όριο των 20 kW.</p>	
<p>Εφόσον απαιτείται, πρέπει να ζητηθεί η έκδοση Άδειας Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης.</p> <p>Δεν απαιτείται ΕΠΟ αλλά ούτε και απαλλαγή για ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (ΒΙ.ΠΕ., ΒΙ.ΠΑ. κτλ), ή πάνω σε κτίρια και άλλες δομικές κατασκευές (Ν.3468/2006, αρθ.8, όπως αντικαταστάθηκε με τον Ν.3851/2010, αρθ.3, §2). Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να προσκομίζεται τοπογραφικό διάγραμμα ή έγγραφο προσφοράς σύνδεσης απ' όπου να προκύπτει σαφώς η εγκατάσταση σε υποδοχέα ή πάνω σε κτίριο αντίστοιχα.</p>	
<p>Δεν απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης.</p>	<p>Απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης.</p>
<p>Για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δεν απαιτείται Οικοδομική Άδεια, αλλά Έγκριση Εργασιών Δόμησης Μικρής Κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας (Ν.3851/2010, αρθ.9, §8), κατ' εφαρμογή των ισχυουσών Γενικών και Ειδικών Πολεοδομικών Διατάξεων.</p> <p>Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης.</p> <p>Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας.</p>	
<p>Δεν απαιτείται Δοκιμαστική Λειτουργία.</p> <p>Δεν απαιτείται Άδεια Λειτουργίας (Ν.3468/2006, αρθ.8, όπως αντικαταστάθηκε με τον Ν.3851/2010, αρθ.3, §2).</p>	<p>Απαιτείται Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία που γίνεται κατόπιν αιτήσεως προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών (ΥΑ.13310/2007, ΦΕΚ.Β'1153, άρθ.14).</p> <p>Απαιτείται Άδεια Λειτουργίας.</p>

Με εξέταση του παραπάνω συγκριτικού πίνακα γίνεται εμφανής η διευκόλυνση που παρέχεται σε παραγωγούς που θέλουν να ασχοληθούν με εγκαταστάσεις μικρών

ανεμογεννητριών. Η απαλλαγή και μόνο της διαδικασίας αδειοδότησης αποτελεί σημαντικότερο κίνητρο για πολλά φυσικά ή νομικά πρόσωπα.

3.2.3. Σύνδεση σε κορεσμένα δίκτυα

Η νομοθεσία προβλέπει κάποιους περιορισμούς στην εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε περιοχές όπου το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται κορεσμένο. Αρμόδια για τον χαρακτηρισμό ενός δικτύου ως κορεσμένο είναι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.

Το 2010 η Ρ.Α.Ε. εξέδωσε ερώτημα προς το ΔΕΣΜΗΕ ζητώντας να ενημερωθεί για τα κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία, το δίκτυο μιας περιοχής θεωρείται κορεσμένο. Η απάντηση λοιπόν που στάλθηκε ήταν πως ένα δίκτυο θεωρείται κορεσμένο, όταν το άθροισμα των λειτουργούντων μονάδων Α.Π.Ε. μαζί με αυτών που έχουν ήδη πάρει δεσμευτικές προσφορές σύνδεσης, δεν ξεπερνούν το ασφαλές όριο απορρόφησης του δικτύου. Η τιμή του ορίου αυτού εκδίδεται κάθε φορά από την Ρ.Α.Ε. Μέχρι τώρα οι περιοχές αυτές είναι αρκετά περιορισμένες στην Ελλάδα και περιορίζονται, κατά κύριο λόγο σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Εντούτοις ο διαχειριστής του συστήματος, δηλαδή η ΑΔΜΗΕ, μπορεί να εξακολουθήσει να χορηγεί προσφορές σύνδεσης αιολικών σταθμών σε περιοχές των οποίων το δίκτυο έχει χαρακτηριστεί κορεσμένο. Η προϋπόθεση για να γίνει αυτό είναι, η προς σύνδεση ισχύ να μην ξεπερνάει το 20% της δυναμότητας της συνολικής απορρόφησης ισχύος από το δίκτυο. Βέβαια προτεραιότητα στην απορρόφηση τη παραγόμενης ισχύος έχουν οι εγκαταστάσεις οι οποίες έχουν γίνει πριν χαρακτηριστεί το δίκτυο ως κορεσμένο. Αυτό σημαίνει πως οι εν λόγω σταθμοί θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα άμεσης απόκρισης σε περίπτωση που ο διαχειριστής ζητήσει μείωση της παραγόμενης ισχύος ή ακόμα και διακοπή της λειτουργίας.

Σύμφωνα με το άρθρο 14Α του νόμου 4203/2013, οι περιορισμοί που θέτει ο διαχειριστής, ως προς την απορροφώμενη ισχύ είναι αυστηροί και δεσμευτικοί. Σε κάθε κύκλο καταμέτρησης, συμψηφίζεται η παραγόμενη ισχύς, από έναν τέτοιο σταθμό, με την καταναλισκόμενη ενέργεια από τον ίδιο τον σταθμό. Σε περίπτωση που έχουμε πλεόνασμα ισχύος, τότε αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο, χωρίς να υπάρχει καμία υποχρέωση αποζημίωσης του παραγωγού.

Τιμολόγηση παραγόμενης ενέργειας

Μέχρι το 2016, η πολιτική πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ οριζόταν από τα άρθρα 12 και 14 του νόμου 3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν με το άρθρο 5 του νόμου 3851/2010. Συγκεκριμένα για παλαιότερες εγκαταστάσεις άνω

των 50kW που βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα, η τιμή ανέρχεται στα 87,85€/MWh και για το μη διασυνδεδεμένο δίκτυο στα 99,45€/MWh. Η σύμβαση πώλησης ισχύει για 20 χρόνια και μπορεί να παραταθεί μετά από έγγραφη συμφωνία του παραγωγού και του διαχειριστή του δικτύου. Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος ανά παραγόμενη μεγαβατόρα (MWh) που απορροφάται από το δίκτυο.

Με το νόμο 4414/2016 καθορίστηκε ως ενιαία τιμή αναφοράς των (μεγάλων) αιολικών εγκαταστάσεων τα 98€/MWh. Από το καλοκαίρι του 2018, οι τιμές αποζημίωσης των μεγάλων αιολικών εγκαταστάσεων καθορίζονται μέσω διαγωνισμών. Στις 2 Ιουλίου 2018 διεξήχθη ο πρώτος διαγωνισμός που περιλάμβανε αιολικές εγκαταστάσεις από 3 έως 50MW (ή από 6 έως 50 MW για αιολικούς σταθμούς που ανήκουν σε Ενεργειακές Κοινότητες). Η ανώτατη τιμή καθορίστηκε στα 90€/MWh, και οι προσφορές κυμάνθηκαν από 68,18€/MWh έως 71,93€/MWh (με μεσοσταθμική τιμή τα 69,53 €/MWh). Συνολικά συμμετείχαν 14 έργα και κατακυρώθηκε ισχύς 170,92MW.

Σύμφωνα με το νόμο 3851/2010, στις αιολικές εγκαταστάσεις κάτω των 50kW η τιμή είναι ίδια τόσο για το διασυνδεδεμένο όσο για το μη διασυνδεδεμένο δίκτυο και ίση με 250€/MWh, πράγμα που αποσκοπεί στη γρηγορότερη απόσβεση μίας τέτοιας επένδυσης και δίνει κίνητρα στον κόσμο να στραφεί στον τομέα αυτόν. Οι δελεαστική αυτή τιμή είχε ως αποτέλεσμα να υποβληθούν πάνω από 1000 αιτήσεις εγκατάστασης, παρόλα αυτά η διαδικασία αυτή δεν προχώρησε στη συνέχεια. Τον Ιανουάριο του 2018, στο νόμο 4513/2018 «Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις» ορίστηκε εκτός των άλλων ότι το ανώτατο όριο ηλεκτρικής ισχύος των μικρών ανεμογεννητριών αυξάνεται στα 60kW.

Μέσα στο 2019 αναμένεται να γίνουν διαγωνισμοί για την κατηγορία των μικρών ανεμογεννητριών. Ακόμα θα πρέπει να εκδοθεί η Υπουργική Απόφαση με την οποία θα καθορίζονται οι ποσότητες και η ανώτατη τιμή από την οποία θα ξεκινούν οι διαγωνισμοί. Η λογική που με την οποία αντιμετωπίζεται το ζήτημα είναι ότι δεν μπορούν να δοθούν υψηλές τιμές και να επιβαρύνεται ο καταναλωτής, για μια τεχνολογία που μπορεί, σε μεγαλύτερα μεγέθη, να παράγει ρεύμα με μικρότερο κόστος. Οπότε με αυτή τη λογική οι μικρές ανεμογεννήτριες δεν πρέπει να επιδοτηθούν με υψηλές τιμές, αφού υπάρχουν οι μεγάλες ανεμογεννήτριες που παράγουν πλέον φθινό ρεύμα.

4. Επιλογή θέσης εγκατάστασης και κόστος

4.1. Εισαγωγή

Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης μίας αιολικής εγκατάστασης παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με την επιλογή μίας οποιασδήποτε μονάδας παραγωγής. Η διαφορά όμως εδώ είναι ότι, υπάρχει έντονη διαφορά της συμπεριφοράς του ανέμου ακόμα και σε γειτνιάζουσες περιοχές. Η γνώση της ακριβούς θέσης εγκατάστασης και τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά αυτής της περιοχής, είναι αυτά που καθορίζουν την λειτουργική συμπεριφορά και άρα και την οικονομική βιωσιμότητα μίας τέτοιας επένδυσης.

- Οι ιδιότητες που πρέπει να καλύπτει μια αιολική εγκατάσταση είναι:
- Μικρό κόστος παραγόμενης KWh
- Να μην υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον
- Συμβατή λειτουργία με το ηλεκτρικό δίκτυο
- Να έχουν προβλεφθεί οι ακραίες καιρικές συνθήκες της περιοχής
- Να είναι αποδεκτή από το κοινό.

4.2. Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή θέσης εγκατάστασης

4.2.1. Αιολικά δεδομένα – οικονομική αξία

Ο σημαντικότερος παράγοντας επιλογής θέσης είναι ο άνεμο της περιοχής αυτής. Ο στόχος μίας εγκατάστασης είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, οπότε γίνεται αντιληπτό ότι σε περιοχή με καταλληλότερους ανέμους, η απόσβεση της επένδυσης θα γίνει πολύ πιο σύντομα. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να συλλεχθούν τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής με κάποιο αξιόπιστο τρόπο.

Βασικό κριτήριο που επηρεάζει την αξιοπιστία αιολικών δεδομένων είναι η διάρκεια των μετρήσεων. Όσο μεγαλύτερη διάρκεια έχουν οι μετρήσεις, τόσο πιο σφαιρική εικόνα αποκτούμε για τα ανεμολογικά δεδομένα και έτσι μπορούμε να αποφασίσουμε με περισσότερη ασφάλεια για την επιλογή ή όχι της θέσης.

Για τα δεδομένα αυτά μπορεί να γίνει μία αρχική, ποιοτική και όχι ποσοτική, παρατήρηση, αν εξετάσουμε την μορφή της βλάστησης που έχει η περιοχή. Τα δέντρα που υπάρχουν μακροχρόνια σε μια περιοχή, τείνουν να συγκεντρώνουν τα κλαδιά τους κατάντι του ανέμου. Αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Βαθμός παραμόρφωσης δέντρου	Δείκτης	Βαθμός παραμόρφωσης δέντρου	Δείκτης
	0 - 1		5
	2		6
	3		7
	4		

Εικόνα 3.1: Ποιοτικοί δείκτες ανέμου περιοχής

Η ερμηνεία των δεικτών που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα μπορούν να ερμηνευθούν με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Είδος δέντρου	Δείκτης	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec)							
		και 95% όριο αξιοπιστίας (\pm m/sec)							
		Τιμή Δείκτη							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Έλατο	Griggs - Putnam	6.0 \pm 2.0	6.7 \pm 1.9	7.4 \pm 1.8	8.1 \pm 1.8	8.8 \pm 1.8	9.5 \pm 1.8	10.2 \pm 1.9	10.9 \pm 2.0
Άρκενθος (είδος πεύκου)	Griggs - Putnam	4.4 \pm 2.1	5.0 \pm 2.0	5.6 \pm 1.9	6.2 \pm 1.9	6.8 \pm 2.0	7.4 \pm 2.1	8.0 \pm 2.2	8.6 \pm 2.5
Έλατο	Griggs - Putnam	3.0 \pm 2.8	4.2 \pm 2.6	5.4 \pm 2.5	6.6 \pm 2.4	7.8 \pm 2.5	9.0 \pm 2.6	10.2 \pm 2.8	11.4 \pm 3.0
Πεύκο	Griggs - Putnam	3.3 \pm 1.9	4.0 \pm 1.8	4.7 \pm 1.7	5.4 \pm 1.8	6.1 \pm 1.8	6.8 \pm 2.0	7.5 \pm 2.1	8.2 \pm 2.3
Pseudotsuga (Douglas Fir)	Griggs - Putnam	3.3 \pm 1.7	4.1 \pm 1.6	4.9 \pm 1.5	5.7 \pm 1.5	6.5 \pm 1.5	7.3 \pm 1.6	8.1 \pm 1.8	8.9 \pm 1.9
Σφένδαμνος	Barsch	3.4 \pm 1.5	4.3 \pm 1.0	5.2 \pm 1.4	6.1 \pm 2.2	7.0 \pm 3.1	7.9 \pm 4.1	8.8 \pm 5.1	9.7 \pm 6.1
Βελανιδιά	Barsch	3.0 \pm 1.8	4.1 \pm 1.7	5.2 \pm 1.7	6.3 \pm 1.8	7.4 \pm 1.9	8.5 \pm 2.1	9.6 \pm 2.3	10.7 \pm 2.5
Ακακία	Barsch	3.7 \pm 1.2	4.4 \pm 1.0	5.1 \pm 1.0	5.8 \pm 1.3	6.5 \pm 1.7	7.2 \pm 2.1	7.9 \pm 2.5	8.6 \pm 3.0
Πτελέα	Barsch	3.3 \pm 1.5	4.4 \pm 1.4	5.5 \pm 1.4	6.6 \pm 1.6	7.7 \pm 2.0	8.8 \pm 2.4	9.9 \pm 2.9	11.0 \pm 3.4

Φυσικά η πιο σίγουρη και αξιόπιστη μέθοδος είναι να εγκατασταθεί ένα ανεμόμετρο στην περιοχή και να αναλυθούν, από εξειδικευμένο προσωπικό τα δεδομένα, με χρήση επιστημονικών στατιστικών μεθόδων. Η μέθοδος αυτή όμως απαιτεί μεγάλο διάστημα δειγματοληψίας. Γενικά προτιμώνται δεδομένα που έχουν συλλεχθεί σε διάστημα τουλάχιστον δύο ετών. Ανεμολογικά δεδομένα μπορεί να συλλεχθούν τόσο από την Ρ.Α.Ε. όσο και από τον Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

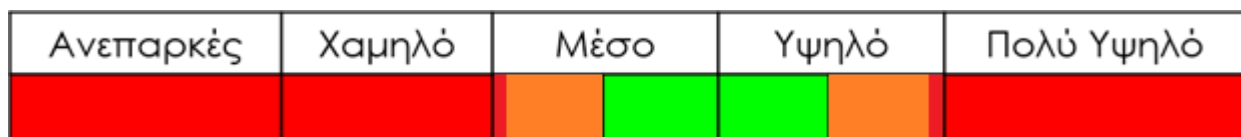
Η μέση ετήσια τιμή για την ταχύτητα του ανέμου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

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

Το ερώτημα, λοιπόν, που γεννάται είναι σε ποιες περιοχές ανέμου είναι ασφαλέστερο να γίνει μία τέτοιου είδους επένδυση. Η πρώτη αρνητική περιοχή είναι αυτή των πολύ χαμηλών ανέμων. Γίνεται αντιληπτό ότι για μικρές ταχύτητες ανέμου έχουμε πολύ μικρή παραγωγή ενέργειας και άρα η επένδυσή μας θα αργήσει να αποσβεστεί. Ενδεικτικά να αναφέρουμε ότι μία ανεμογεννήτρια ξεκινάει τη λειτουργία της σε ταχύτητα ανέμου περίπου 3 m/s, οπότε για μέση ταχύτητα μέχρι 5,5 – 6 m/s η παραγωγή της είναι ανεπαρκής και μη αποδοτική.

Επίσης σε περιπτώσεις πολύ υψηλών ανέμων υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της εγκατάστασης. Βέβαια, όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν συστήματα προστασίας τα οποία θέτουν την μηχανή είτε εκτός λειτουργίας, είτε της επιτρέπουν περιορισμένη λειτουργία.

Έτσι το προτιμώμενο παράθυρο λειτουργίας κυμαίνεται για μέση ταχύτητα ανέμων 6 – 8 m/s. Η βέλτιστη μέση ταχύτητα θεωρείται πως είναι στα 7 m/s.



Εικόνα 3.2: Δείκτης ασφάλειας επένδυσης ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου

4.2.2. Μετεωρολογικά προβλήματα

Η ασφαλή λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας πρέπει να γίνεται μέσα σε κάποια όρια κλιματολογικών συνθηκών. Όπως γνωρίζουμε, ο άνεμος έχει μία αρκετά πολύπλοκη και πολλές φορές απρόβλεπτη συμπεριφορά. Οι αιολικές μηχανές για απρόσκοπτη λειτουργία απαιτούν σχετικά σταθερούς ανέμους με όσον τον δυνατόν μικρότερη εμφάνιση στιγμιαίων ριπών. Οι ριπές αυτές μπορούν να αποβούν καταστροφικές για τα μηχανικά μέρη της μηχανής.

Η λειτουργία μπορεί επίσης να επηρεαστεί από την εμφάνιση παγετού. Αφενός η επικαθίσεις μπορεί να επηρεάσουν τα στατικά φορτία και αφετέρου η αζυγοστάθμιστη επικαθίση πάνω στα πτερύγια μπορεί να δημιουργήσουν θέματα ευστάθειας του στροφέιου. Επιπροσθέτως, ελλοχεύει ο κίνδυνος τραυματισμού, από κάποιο κομμάτι πάγου που θα εκτοξευθεί από την μηχανή.

4.2.3. Οπτικοαισθητική επίδραση

Εάν η περιοχή εγκατάστασης είναι σχετικά κλειστή, τότε η ανεμογεννήτρια ίσως δημιουργεί άσχημη οπτική αίσθηση. Αντιθέτως, εάν η περιοχή είναι αχανής, τότε μάλλον θα περάσει απαρατήρητη.

4.2.4. Περιβαλλοντική επίδραση

Γενικά οι ανεμογεννήτριες έχει αποδειχθεί ότι δεν έχουν κάποια σημαντική επίπτωση στο φυσικό περιβάλλον. Βέβαια καλό θα είναι να μην επιλέγονται θέσεις οι οποίες είναι περάσματα αποδημητικών πουλιών, διότι έχουν παρατηρηθεί κάποιοι θάνατοι. Βέβαια ο αριθμός αυτός είναι πολύ μικρός και αμελητέος.

4.3. Οικονομικά μεγέθη

Το βασικό θέμα που μας απασχολεί σε όλες τις περιπτώσεις επενδύσεων είναι το κόστος της αρχικής επένδυσης. Στην περίπτωση των ανεμογεννητριών το θέμα αυτό συμπεριλαμβάνει αρκετές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Το πρώτο θέμα είναι το κόστος για την απόκτηση της έκτασης που θα εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια. Το θέμα αυτό δεν έχει μοναδική απάντηση διότι το κόστος παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακύμανση ανάλογα την περιοχή που βρίσκεται η έκταση. Επίσης το γεγονός ότι θα εγκατασταθεί μία αιολική μονάδα, **δεν** καθιστά την

υπόλοιπη έκταση αναξιοποιήσιμη. Άλλωστε, οι μικρές αιολικές εγκαταστάσεις, δεν καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση μέσα σε ένα οικόπεδο και έτσι μπορεί κάλλιστα να αξιοποιηθεί η υπόλοιπη έκταση με κάποιον άλλον τρόπο, οπότε το κόστος απόκτησης επιμερίζεται.

Πέρα από την απόκτηση της έκτασης θα πρέπει να υπολογιστεί και το γεγονός ότι πρέπει να λάβουν χώρα κάποιες εργασίες ώστε να κατασκευαστεί η κατάλληλη υποδομή για την εγκατάσταση. Οι εργασίες αυτές συμπεριλαμβάνουν χωματουργική διαμόρφωση του χώρου και κατασκευή θεμελίων. Επιπροσθέτως ενδέχεται να χρειαστεί να γίνει διάνοιξη ή επέκταση δρόμων για την μεταφορά της ανεμογεννήτριας στο χώρο εγκατάστασης. Το κόστος των παραπάνω εργασιών συνήθως κυμαίνεται από 25.000 – 40.000€ για μία ανεμογεννήτρια ισχύος 50KW.

Τέλος υπάρχει και το κόστος της ίδιας της μηχανής. Λόγω του ότι η παραγωγή ανεμογεννητριών είναι σχετικά καινούριος χώρος, υπάρχει ακόμα και σήμερα ανωριμότητα στην παραγωγική διαδικασία και έτσι οι τιμές παρουσιάζουν τεράστιες διακυμάνσεις. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ότι το κόστος για μία ανεμογεννήτρια 50KW, με πύργο ύψους 20 μέτρα και inverter, μπορεί να κυμανθεί από 80 – 170 χιλιάδες ευρώ.

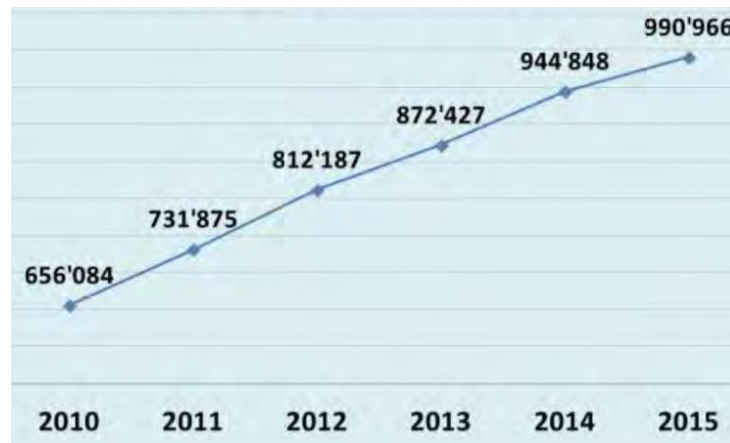
Σύμφωνα με τα παραπάνω, καταλήγουμε σε ένα αρχικό κόστος της τάξης των 125.000 έως 240.000 ευρώ για την αρχική εγκατάσταση, χωρίς να συνυπολογίσουμε το κόστος για την απόκτηση του οικοπέδου. Γίνεται αντιληπτό ότι το κόστος είναι αρκετά υψηλό και έτσι γίνεται φανερή η ανάγκη για προσεκτική μελέτη του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

5. Στατιστικά στοιχεία

5.1. Παγκόσμια κλίμακα

Η προσπάθεια που γίνεται για την στροφή σε ήπιες μορφές παραγωγής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, είναι παγκόσμια. Ενδιαφέρον έχει να δούμε μερικά στατιστικά στοιχεία που να αφορούν την χρήση των ανανεώσιμων πηγών τα τελευταία χρόνια και το αν πετυχαίνει το εγχείρημα αυτό. Ειδικότερα τα στατιστικά αυτά θα αφορούν τις μικρές ανεμογεννήτριες, που πραγματευόμαστε στην παρούσα εργασία.

Το πρώτο διάγραμμα που θα δούμε αφορά τον αριθμό των εγκατεστημένων μονάδων ανά έτος, σε παγκόσμια κλίμακα.

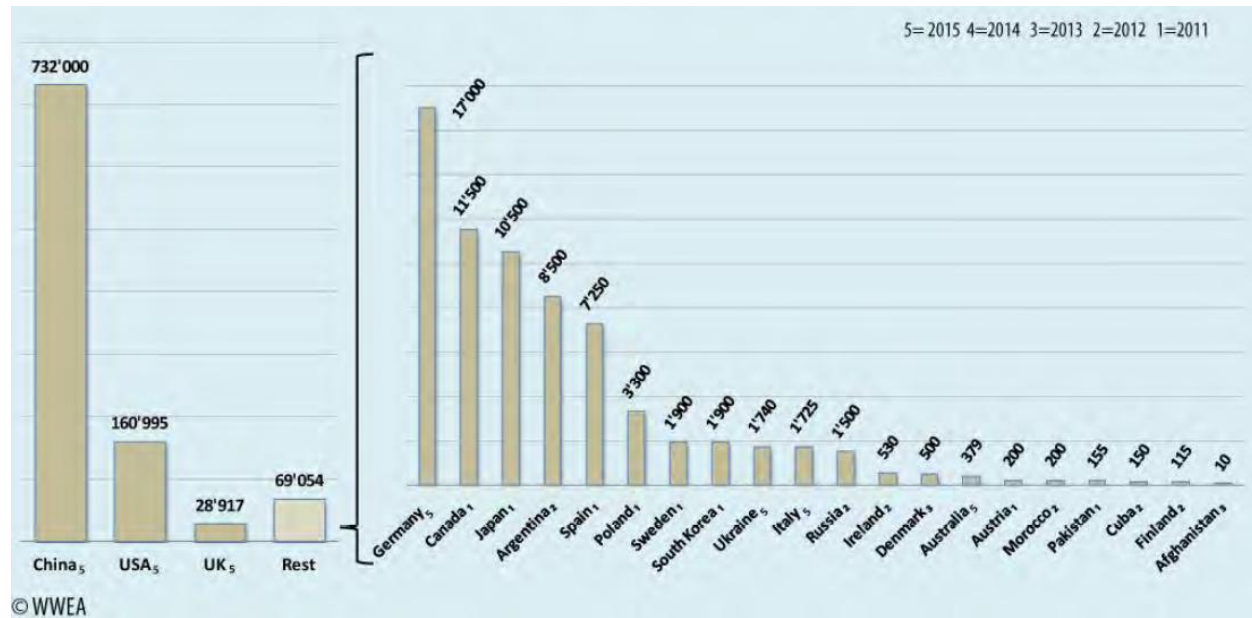


Εικόνα 4.1: Συνολικός αριθμός εγκατεστημένων μονάδων παγκοσμίως, εξαιρουμένης της Ινδίας.

Πηγή: [8]

Αρχικά παρατηρούμε ότι από το 2010 μέχρι το 2015 είχαμε αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων κατά περίπου 150%. Βλέπουμε ότι, σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά κάθε φορά, το 2014 είχαμε μία αύξηση της τάξης του 8% και το 2013 7%. Αντιθέτως το 2015 είχαμε μία μείωση του ρυθμού αύξησης και έφτασε περίπου σε επίπεδο του 5%. Βέβαια το παραπάνω διάγραμμα δεν συμπεριλαμβάνει την Ινδία. Η χώρα αυτή είναι μεγάλη αγορά στον τομέα αυτόν και εκτιμάται ότι το 2015, μαζί με την Ινδία ο αριθμός θα ανέβαινε στο 1.000.000.

Μία καλύτερη εικόνα της κατανομής των μονάδων αυτών ανά τον κόσμο θα μας δώσει το παρακάτω διάγραμμα. Το γράφημα αυτό απεικονίζει το πλήθος των μικρών ανεμογεννητριών που κατέχει η κάθε χώρα:



Εικόνα 4.2: Πλήθος εγκατεστημένων μικρών Α/Γ ανά χώρα.

Πηγή: [8]

Βλέπουμε ότι την μερίδα του λέοντος την κατέχει μακράν η Κίνα με 732.000 μονάδες το 2015. Έτσι τη χρονιά αυτή η Κίνα κατέχει το 74% των συνολικών εγκατεστημένων μονάδων παγκοσμίως. Είναι γεγονός ότι η αιολική παραγωγή ηλεκτρισμού στην Κίνα ξεκίνησε πολύ νωρίς, στις αρχές του 1980. Δεύτερη χώρα έρχονται οι ΗΠΑ με 160.995 εγκατεστημένες μονάδες το 2015 και τρίτο το Ηνωμένο Βασίλειο με 28.917. Είναι χαρακτηριστικό το ότι ο υπόλοιπος κόσμος συνολικά κατέχει μόλις 69.054 μονάδες, δηλαδή περίπου μόνο το 7% της παγκόσμιας ποσότητας.

5.2. Ελληνική πραγματικότητα

Εύκολα παρατηρεί κανείς την απουσία της Ελλάδας από τα παραπάνω διαγράμματα. Η αλήθεια είναι ότι αυτό είναι εν μέρη λογικό, διότι η κατάργηση της ανάγκης αδειοδότησης έγινε τα τελευταία χρόνια. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε σε περίοδο που η χώρα εισερχόταν στα πακέτα οικονομικής στήριξης και κατά συνέπεια ο κόσμος δεν είχε την οικονομική δυνατότητα και διάθεση να προβεί σε τέτοιου είδους επενδύσεις. Παρ' όλ' αυτά υπάρχει ένας, μικρός ομολογουμένως, αριθμός μικρών ανεμογεννητριών που λειτουργούν στην ελληνική επικράτεια. Βέβαια οι μονάδες αυτές βρίσκονται μόνο σε δύο περιφέρειες της χώρας, δύο (2) στην Κρήτη και τρεις (3) στο Βόρειο Αιγαίο.

Στην περιφέρεια του Βορείου Αιγαίου λειτουργούν τρεις (3) μονάδες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 45kW. Από αυτές η παλαιότερη ανήκει στις Κοιν. Επειχ. Αγίου

Ευστρατίου και έχει ισχύ 20kW. Η θέση εγκατάστασης είναι στον δήμο Αγίου Ευστρατίου, ο οποίος ανήκει στο Μη Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, και η ενεργοποίηση της σύνδεσης έγινε αρκετά παλιότερα και συγκεκριμένα τον Οκτώβριο του 1995.

Η αμέσως επόμενη μονάδα, στην περιφέρεια αυτή, ενεργοποίησε την σύνδεσή της τον Οκτώβρη του 2011. Η μονάδα αυτή ανήκει στην εταιρία ΧΙΟΠΛΑΣ Σ. Νικήτας – Σ. Γδύσης Ο.Ε. και βρίσκεται στο δημοτικό διαμέρισμα του Βροντάδου της Χίου. Η εγκατεστημένη ισχύς της ανέρχεται στα 20KW και ανήκει στο Μη Διασυνδεδεμένο Δίκτυο.

Τέλος, η τρίτη μονάδα της περιφέρειας αυτής, βρίσκεται πάλι στη Χίο και συγκεκριμένα στο Δημοτικό Διαμέρισμα Θυμιανών. Ιδιοκτήτης είναι η εταιρία ΠΕΤΡΟΓΚΑΖ Α.Ε. και έχει ισχύ μόλις 5KW. Η μονάδα αυτή ανήκει επίσης στο Μη Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και η σύνδεσή της πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2014.

Η Κρήτη φιλοξενεί δύο μονάδες παραγωγής. Η πρώτη έχει εγκατεστημένη ισχύ 40KW και ανήκει στην εταιρία Μανουσέλης – Πρωτοπαπαδάκης Ο.Ε. με δ.τ. Ερμής Ενεργειακή Ο.Ε. Βρίσκεται στον Δήμο Σελίνου και συγκεκριμένα στο δημοτικό διαμέρισμα Καμπανού και η σύνδεση πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του 2010.

Η δεύτερη μονάδα έχει ισχύ 20KW και ανήκει σε ιδιώτη και συγκεκριμένα στην κ. Παπαδοπούλου Ουρανία του Νικολάου. Βρίσκεται στον Δήμο Αχαρνών – Αστερουσίων και συγκεκριμένα στο δημοτικό διαμέρισμα των Αχαρνών. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 20KW και η σύνδεση έγινε τον Αύγουστο του 2013. Φυσικά αμφότερες οι μονάδες ανήκουν στο Μη Διασυνδεδεμένο Δίκτυο.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η χώρας μας δεν έχει να επιδείξει τίποτα αξιοσημείωτο στον τομέα των μικρών ανεμογεννητριών. Έχει γίνει βέβαια μία μικρή προσπάθεια με την παρουσία πέντε (5) μονάδων παραγωγής αλλά υπάρχουν ακόμα πολλά να γίνουν.

Στην Ελλάδα θα εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες στην πρώτη Αγροτική Ενεργειακή Κοινότητα της Ελλάδας, η οποία δημιουργήθηκε τον περασμένο Ιούλιο στη Θεσσαλία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, τον Γενικό Οργανισμό Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλίας και έξι Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων από τη Λάρισα και την Καρδίτσα.

Στην ενεργειακή αυτή κοινότητα θα εγκατασταθούν μικρές ανεμογεννήτριες τύπου «EW-16 THETIS» η οποία κατασκευάζεται από ελληνικό εργοστάσιο που ανήκει στον όμιλο Eunice, που έχει επίσης την ευθύνη ανάπτυξης και λειτουργίας του πρωτοποριακού έργου TILOS, το οποίο συνδυάζει ανανεώσιμες πηγές (αιολικά, φωτοβολταϊκά) με αποθήκευση ενέργειας (μπαταρίες) για την μέγιστη κάλυψη των αναγκών της Τήλου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι εγκαταστάσεις επιφάνειας 1.300 τ.μ. βρίσκονται στη Μάνδρα Αττικής και αφορούν επένδυση ύψους 4,5 εκατ. Ευρώ. Η ονομαστική ισχύς της

συγκεκριμένης μικρής ανεμογεννήτριας είναι 50 kW και στο σχεδιασμό της ενσωματώνει σύγχρονη τεχνολογία με στόχο τη μέγιστη αποδοτικότητα και διάρκεια ζωής με την ελάχιστη συντήρηση και με δυνατότητα προσαρμογής στις τοπικές συνθήκες του σημείου εγκατάστασης (θάλασσα, βουνό, ένταση ανέμων, κλπ). Το εργοστάσιο έχει δυνατότητα παραγωγής 50 ανεμογεννητριών ετησίως με δυνατότητα αύξησης 30%.

6. Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία προσπάθεια από διεθνείς οργανισμούς και από τις κυβερνήσεις, για να γίνεται η παραγωγή ενέργειας με άλλες, λιγότερο καταστροφικές για το περιβάλλον, μεθόδους. Αυτό γίνεται με θέσπιση ορίων στους ρύπους που παράγουν οι μηχανές εσωτερικής ή εξωτερικής καύσης καθώς και με νομοθετικές διευκολύνσεις που παρέχονται σε όσους είναι διατεθειμένοι να στραφούν στην παραγωγή ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές.

Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έκανε προσπάθεια να αναπτύξει τις μικρές μονάδες παραγωγής προσφέροντας ευνοϊκούς όρους προς τους παραγωγούς. Ειδικότερα στο θέμα των μικρών ανεμογεννητριών έγινε προσπάθεια, απαλλάσσοντας από την αδειοδοτική διαδικασία, τις μονάδες με εγκατεστημένη ισχύ κάτω των 100kW. Ειδικότερα για τις μονάδες κάτω από 50kW, η ελληνική νομοθεσία πρόσφερε δελεαστικές τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας, με αποτέλεσμα να υποβληθούν πάνω από 1000 αιτήσεις εγκατάστασης. Παρόλα αυτά, η διαδικασία αυτή δεν προχώρησε στη συνέχεια. Στις αρχές του 2018 το όριο ισχύος των μικρών ανεμογεννητριών αυξήθηκε στα 60kW, ενώ τους επόμενους μήνες αναμένεται να υπάρξει δημόσια διαβούλευση για τον τρόπο εγκατάστασής τους, καθώς και διαγωνισμός για εγκατάσταση νέων τεχνολογιών ΑΠΕ που θα περιλαμβάνουν και μικρές ανεμογεννήτριες.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες, εάν ενταχθούν σε μικρά αυτόνομα υβριδικά δίκτυα μπορούν να γίνουν ελκυστική λύση για εφαρμογές όπως ηλεκτροδότησης κεραιών κινητής τηλεφωνίας, για μικρά απομακρυσμένα νησιά ή οικισμούς, ή ακόμα και για συστήματα ασφαλάτωσης. Επιπλέον, λόγω του ότι η τιμή πώλησης της ενέργειας έχει θεσμοθετηθεί, αναμένεται μία αυξητική τάση στην εγκατάσταση μικρών και πολύ μικρών ανεμογεννητριών σε διάφορες περιοχές.

Βέβαια, σε αυτό θα πρέπει να συνεισφέρει και η πολιτεία. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί η περαιτέρω ωρίμανση της αγοράς είναι να επεκταθεί η τιμολογιακή πολιτική που αφορά τις μικρές ανεμογεννήτριες, στο όριο ισχύος υποχρέωσης λήψης άδειας, δηλαδή στα 100kW. Επίσης θα μπορούσε να γίνει σωστότερη και πιο πλήρης ενημέρωση του κόσμου για τις μονάδες αυτές, με χρήση του διαδικτύου και των ΜΜΕ. Ταυτόχρονα με αυτό θα πρέπει να ενταθούν οι έλεγχοι από τους διαχειριστές και το ΥΠΕΚΑ, ώστε να μην έχουμε κατάχρηση του ευνοϊκού θεσμικού πλαισίου, ούτε φαινόμενα «κατάτμησης έργων».

Η αλήθεια είναι ότι οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν γίνει εμφανείς σε μεγάλο βαθμό. Αρκεί μάλιστα μία μόνο συζήτηση με κατοίκους του νησιού της Κρήτης για να ανακαλύψουμε ότι τα τελευταία χρόνια η ποσότητα της ωφέλιμης, για το χώμα,

βροχής στο νησί έχει μειωθεί δραματικά. Τη θέση της έχουν πάρει παρατεταμένες άνυδρες μέρες ή το χειμώνα κάποιες καταρρακτώδεις βροχές, οι οποίες όμως, λόγω της μαζικής ποσότητας νερού, αυτό δεν μένει στο χώμα αλλά καταλήγει αμέσως στα ρυάκια και από εκεί στις θάλασσες, χωρίς να ωφελήσει τη γη. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να δοθούν περισσότερα κίνητρα στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην χώρα άμεσα.

Βιβλιογραφία

- [1] «Wind Turbines», Edited by Ibrahim Al-Bahadly
- [2] «PM Wind Generator Comparison of Different Topologies», Y. Chen, P. Pillay, M. A. Khan
- [3] «Analysis of the furling behavior of small wind turbines», E. Audierne, J. Elizondo, L. Bergami, H. Ibarra, O. Probst
- [4] «Ανεμοκινητήρες», Γ. Μπεργελές
- [5] Νόμος 3468/2006, ΦΕΚ 1405
- [6] Νόμος 3851/2010, ΦΕΚ 1753
- [7] Νόμος 4203/2013, ΦΕΚ 3881
- [8] «www.wwindea.org» World Wind Energy Association
- [9] «www.resoffice.gr» Γενική Γραμματεία Ενέργειας και Ορυκτών Πρώτων Υλών
- [10] «www.energypress.gr» Δημοσιογραφικό Ενημερωτικό Portal για την Ενέργεια
- [11] <https://energypress.gr/news/diagonismos-kai-gia-egkatastasi-mikron-anemogennitron-mesa-sto-2018-epikeitai-nomothetiki>
- [12] <https://renewables.messaritis.gr/ελληνικές-ανεμογεννήτριες-στην-πρώτ/>