



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ**

Χρηστίνα Α. Μακρή

Επιβλέπων : Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ**

Χρηστίνα Α. Μακρή

Επιβλέπων : Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2013

.....
Χρηστίνα Α. Μακρή

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χρηστίνα Μακρή, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία πραγματεύεται τη σχεδίαση και τη μοντελοποίηση ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας σε οικιακή κλίμακα. Γίνεται μελέτη της αντοχής της ανεμογεννήτριας, χρησιμοποιώντας ως υλικά, το αλουμίνιο, πολυμερές με ίνες άνθρακα και πολυμερές με ίνες γυαλιού.

Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκαν τρεις, διαφορετικού τύπου, ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, εκ των οποίων δύο σχεδιάστηκαν σε διαστάσεις εμπορικών μοντέλων και μια σε πρωτότυπη μορφή μικρών διαστάσεων, με τη χρήση του λογισμικού σχεδίασης SolidWorks. Στη συνέχεια, με τη χρήση του λογισμικού μηχανικής ανάλυσης ANSYS Workbench και συγκεκριμένα με εφαρμογή της μεθόδου της αλληλεπίδρασης ρευστού - στερεού, FSI, μελετήθηκε η αντοχή της υβριδικής ανεμογεννήτριας, με το εργαλείο στατικής ανάλυσης, Static Structural. Ως φόρτιση χρησιμοποιήθηκε η ανεμοπίεση σε μέση ταχύτητα ανέμου, όπως αυτή προέκυψε με χρήση του εργαλείου της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, CFX. Τέλος, διερευνήθηκε η χρήση εναλλακτικών υλικών για την κατασκευή των ανεμογεννητριών, και συγκεκριμένα του αλουμινίου και πολυμερών άνθρακα και γυαλιού αντίστοιχα.

Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τα μεγάλα ενεργειακά προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας και οι προσπάθειες που γίνονται για μία παγκόσμια δέσμευση με σκοπό την στροφή σε καθαρές μορφές ενέργειας. Ακόμη, παρουσιάζεται η έννοια της ανανεώσιμης τεχνολογίας, τα πλεονεκτήματά της καθώς και η εφαρμογή της στην Ελλάδα.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται ο ορισμός της κατανεμημένης παραγωγής, οι τεχνολογίες που ολοκληρώνουν την κατανεμημένη παραγωγή, οι τύποι της κατανεμημένης παραγωγής καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί η χρήση της.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η αιολική ενέργεια, η αξιοποίησή της ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της καθώς και η εκμετάλλευσή της στην Ελλάδα.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στον άνεμο, στις μετρήσεις του αιολικού δυναμικού όπως και σε μαθηματικές σχέσεις που σχετίζονται με τον άνεμο.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφονται οι τύποι των ανεμογεννητριών, τα μέρη από τα οποία αποτελείται μία ανεμογεννήτρια καθώς και οι βασικές διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά μεγέθη τους. Ακόμη, παρουσιάζονται τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ανεμογεννητριών.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το χρηματοοικονομικό και νομοθετικό πλαίσιο για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται το λογισμικό SolidWorks με τη χρήση του οποίου σχεδιάστηκαν οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, οι οποίες και παρατίθενται.

Στο Κεφάλαιο 8 περιγράφεται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, η οποία χρησιμοποιείται για την ανάλυση αντοχής της ανεμογεννήτριας. Αναφέρονται οι τύποι των πεπερασμένων στοιχείων, οι μέθοδοι αυτόματης γένεσης πλέγματος, τα είδη ανάλυσης και τέλος, παρουσιάζεται το λογισμικό ANSYS Workbench και η χρήση του στις ανεμογεννήτριες.

Στο Κεφάλαιο 9 γίνεται αναφορά στην Υπολογιστική Ρευστοδυναμική και στις εξισώσεις RANS. Έπειτα, παρουσιάζονται τα βασικά μοντέλα τύρβης και αναλύεται το υβριδικό μοντέλο της ανεμογεννήτριας, το οποίο θα μελετηθεί. Τέλος, παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος με τη χρήση του CFX καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη ροή του ανέμου γύρω από την ανεμογεννήτρια.

Στο Κεφάλαιο 10 περιγράφεται η αντιμετώπιση της αλληλεπίδρασης ρευστού – στερεού, όπως αυτή γίνεται στο ANSYS Workbench καθώς και τα βήματα που ακολουθούνται για τη μελέτη της αντοχής της υβριδικής ανεμογεννήτριας με τη χρήση του εργαλείου Static Structural, υπό φορτίο ανέμου, όπως αυτό προέκυψε από την επίλυση του CFX, και φόρτιση λόγω βαρύτητας και σταθερής περιστροφικής ταχύτητας. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, που προέκυψαν χρησιμοποιώντας ως υλικά της ανεμογεννήτριας, το αλουμίνιο, πολυμερές με ίνες άνθρακα και πολυμερές με ίνες γυαλιού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ανεμογεννήτρια, Αιολική Ενέργεια, Πεπερασμένα Στοιχεία, Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, Αλληλεπίδραση Ρευστού – Στερεού, Μοντέλα Τύρβης, SOLIDWORKS, ANSYS Workbench, CFX, Static Structural

ABSTRACT

This work discusses the design and modeling of vertical axis wind turbine, which can be used to produce energy in a residential scale. Study is the strength of the wind turbine, using the materials, aluminum, polymer with carbon fibers and polymer with glass fibers.

More specifically, three different type designed vertical axis wind turbines, of which two dimensions are designed in commercial models and an original compact, using the design software SolidWorks. Then, the method of fluid - solid interaction, FSI, and use the software ANSYS Workbench studied the resistance of the hybrid wind turbine, the static analysis tool, Static Structural, pressure loads in the wind, as derived using the tool of CFD, CFX, and gravitational constant rotational speed for the characteristic speeds of the turbine and as the application of materials, aluminium, carbon fibers - polymer and polymer with glass fibers.

KEYS WORDS

Wind Turbine, Wind Power, Renewable Energy, Wind Pressure, Finite Elements, Computational Fluid Dynamics, Fluid structure interaction, Models Turbulence, SOLIDWORKS, ANSYS Workbench, CFX, Static Structural

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθ. Ευάγγελο Χριστοφόρου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της Μεταπτυχιακής Εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το ενδιαφέρον θέμα.

Ακόμη, ευχαριστώ την Κλειώ Βόσου, Διδ. του Ε.Μ.Π., για τη βοήθεια που μου προσέφερε προκειμένου να ολοκληρωθεί η Μεταπτυχιακή Εργασία και τον Υπ. Διδ. Δημήτρη Κοσσυβάκη για τις υποδείξεις του κατά την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τον Καθ. Χριστόφορο Προβατίδη, για την παραχώρηση του χώρου του στο Εργαστήριο Δυναμικής και Κατασκευών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π..

Τέλος, θα ήθελα ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους ανθρώπους που ήταν πάντα δίπλα μου σε κάθε βήμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | I |
| ABSTRACT | VII |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ..... | VII |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | XI |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | XV |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 17 |
| 1.1 ΤΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ..... | 17 |
| 1.1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ..... | 17 |
| 1.1.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ..... | 18 |
| 1.1.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ | 19 |
| 1.1.4 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ..... | 19 |
| 1.1.5 ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ..... | 21 |
| 1.2 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 21 |
| 1.2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 22 |
| 1.2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ..... | 24 |
| 1.2.3 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 25 |
| 1.2.4 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ | 26 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 29 |
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 29 |
| 2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ | 30 |
| 2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ..... | 34 |
| 2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ..... | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ | 39 |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 39 |
| 3.2 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ | 39 |
| 3.3 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΑΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 42 |
| 3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 42 |
| 3.5 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ | 45 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ | 47 |
| 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 47 |
| 4.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ | 47 |
| 4.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ | 49 |
| 4.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ..... | 50 |
| 4.5 ΤΥΡΒΗ ΑΝΕΜΟΥ..... | 52 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ..... | 55 |
| 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 55 |
| 5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 55 |
| 5.2.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ DARRIEUS..... | 57 |
| 5.2.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ SAVONIUS..... | 58 |
| 5.2.3 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ DARRIEUS - SAVONIUS..... | 59 |
| 5.3 ΜΕΡΗ, ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΕΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 60 |
| 5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ..... | 60 |
| 5.4.1 ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ | 61 |
| 5.4.2 ΛΟΓΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΕΜΟΥ – ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ | 63 |
| 5.4.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΡΟΠΗΣ..... | 64 |
| 5.5 ΤΥΠΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ..... | 65 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ - ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ..... | 69 |

| | |
|--|------------|
| 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 69 |
| 6.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 69 |
| 6.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ | 70 |
| 6.4 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 70 |
| 6.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 71 |
| 6.5.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ | 73 |
| 6.5.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ | 76 |
| 6.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ | 76 |
| 6.6.1 ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ | 77 |
| 6.6.2 ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ | 80 |
| 6.6.3 ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΑΔΕΙΑ | 82 |
| 6.7 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 83 |
| 6.8 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 84 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SOLIDWORKS | 85 |
| 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 85 |
| 7.2 ΟΡΙΣΜΟΣ CAD | 85 |
| 7.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SOLIDWORKS | 85 |
| 7.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΡΧΕΙΟΥ PART | 86 |
| 7.3.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΩΝ ΤΥΠΟΥ ASSEMBLY | 91 |
| 7.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SOLIDWORKS | 92 |
| 7.4.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ SAVONIUS | 92 |
| 7.4.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ H | 94 |
| 7.4.3 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ DARRIEUS-SAVONIUS | 96 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 97 |
| 8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 97 |
| 8.2 ΟΡΙΣΜΟΣ CAE | 97 |
| 8.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 98 |
| 8.3.1 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΓΕΝΕΣΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ | 100 |
| 8.3.2 ΕΙΔΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 101 |
| 8.4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS WORKBENCH | 102 |
| 8.4.1 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ | 104 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ | 105 |
| 9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 105 |
| 9.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ | 105 |
| 9.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ | 106 |
| 9.2.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΥΡΒΗΣ | 108 |
| 9.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΥΡΒΗΣ | 110 |
| 9.3 ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΤΥΠΟΥ DARRIEUS- SAVONIUS | 110 |
| 9.4 ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ANSYS WORKBENCH | 112 |
| 9.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ | 113 |
| 9.4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ | 115 |
| 9.4.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΤΟ CFX | 117 |
| 9.4.4 ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ CFX | 121 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΥΠΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΕΜΟΥ | 127 |
| 10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 127 |
| 10.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΡΕΥΣΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ANSYS (FSI) | 127 |
| 10.2.1 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ STATIC STRUCTURAL ΚΑΙ CFX ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ANSYS WORKBENCH | 127 |
| 10.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ | 128 |
| 10.4 ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ STATIC STRUCTURAL ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ANSYS WORKBENCH | 129 |
| 10.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ | 129 |
| 10.4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ | 129 |

| | |
|---|------------|
| 10.4.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΤΗ | 130 |
| 10.4.4 ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ <i>STATIC STRUCTURAL</i> | 132 |
| 10.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ | 138 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... | 139 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1: Εκπομπές ρύπων από εργοστάσια..... | 17 |
| Σχήμα 2: Διάρκεια ζωής παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας..... | 20 |
| Σχήμα 3: Η συνεισφορά όλων των ενεργειακών μορφών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε μέχρι τα τέλη του 2011 | 22 |
| Σχήμα 4: Εγκατεστημένη ισχύς σε MW ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και στόχος για το 2020 . | 26 |
| Σχήμα 5: Τα ποσοστά των εγκατεστημένων μορφών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα το 2012 | 28 |
| Σχήμα 6: Τύποι και τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής..... | 36 |
| Σχήμα 7: Ο ανεμόμυλος τύπου "Western Wheel" | 40 |
| Σχήμα 8: Η ανεμογεννήτρια Smith-Putnam..... | 40 |
| Σχήμα 9: Το μοντέλο ανεμογεννήτριας Mod-5B..... | 41 |
| Σχήμα 10: Η ανεμογεννήτρια Darrieus | 41 |
| Σχήμα 11: Η γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος σε MW των μονάδων αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2012..... | 45 |
| Σχήμα 12: Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στον Ελλαδικό χώρο | 47 |
| Σχήμα 13: Κατακόρυφο προφίλ ανέμου | 49 |
| Σχήμα 14: Προφίλ ταχύτητας..... | 50 |
| Σχήμα 15: Η κατανομή Weibull | 51 |
| Σχήμα 16: Χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου | 52 |
| Σχήμα 17: Μέγεθος τυρβώδους ανέμου μετά από πρόσκρουση σε εμπόδιο..... | 53 |
| Σχήμα 18: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κάθετου άξονα..... | 55 |
| Σχήμα 19: Ανεμογεννήτρια Darrieus ισχύος 2MW | 58 |
| Σχήμα 20: Ανεμογεννήτρια Savonius | 59 |
| Σχήμα 21: Υβριδική ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus-Savonius..... | 59 |
| Σχήμα 22: Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας..... | 60 |
| Σχήμα 23: Προσπίπτουσα επιφάνεια ανέμου σε ανεμογεννήτρια οριζόντιου και κάθετου άξονα..... | 61 |
| Σχήμα 24: Σχηματική παράσταση ροής αέρα μέσω δίσκου επιφάνειας A | 62 |
| Σχήμα 25: Καμπύλες Cp-λ διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών..... | 63 |
| Σχήμα 26: Χαρακτηριστικές καμπύλες Ct-λ διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών..... | 64 |
| Σχήμα 27: Τυπικές καμπύλες Ct-λ και Cp-λ | 65 |
| Σχήμα 28: Τυπικές καμπύλες Ct και Cp συναρτήσει του λ και της γωνίας πρόσπτωσης | 65 |
| Σχήμα 29: Εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες σε οικία..... | 69 |
| Σχήμα 30: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας..... | 72 |
| Σχήμα 31: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για την αδειοδότηση μικρής ανεμογεννήτριας | 77 |
| Σχήμα 32: Επιλογή τύπου αρχείου | 86 |
| Σχήμα 33: Ενεργοποίηση εντολής Sketch..... | 87 |
| Σχήμα 34: Εντολές Boss/Base και Cut | 88 |
| Σχήμα 35: Ρυθμίσεις εντολής Extrude Boss/Base | 88 |
| Σχήμα 36: Ρυθμίσεις εντολής Revolve Boss/Base | 89 |
| Σχήμα 37: Ρυθμίσεις εντολής Swept Boss/Base..... | 90 |
| Σχήμα 38: Ρυθμίσεις εντολής Loft Base/Boss..... | 91 |
| Σχήμα 39: Οι εντολές Insert Components και Mate..... | 91 |
| Σχήμα 40: Άξονας Περιστροφής | 93 |
| Σχήμα 41: Πτερύγιο..... | 93 |
| Σχήμα 42: Δίσκος συγκράτησης..... | 93 |
| Σχήμα 43: Φλάντζα σταθεροποίησης..... | 94 |
| Σχήμα 44: Η ανεμογεννήτρια τύπου Savonius σε διάφορες όψεις..... | 94 |
| Σχήμα 45: Άξονας περιστροφής | 95 |
| Σχήμα 46: Πτερύγιο..... | 95 |
| Σχήμα 47: Δαχτυλίδι σύνδεσης πτερυγίων | 95 |

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 48: Η ανεμογεννήτρια τύπου H σε διάφορες όψεις | 96 |
| Σχήμα 49: Η υβριδική ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus-Savonius σε διάφορες όψεις..... | 96 |
| Σχήμα 50: Τύποι πεπερασμένων στοιχείων (a) μονοδιάστατα, (b) διδιάστατα και (c) τριδιάστατα προβλήματα | 99 |
| Σχήμα 51: Εκκίνηση του ANSYS Workbench | 102 |
| Σχήμα 52: Παράθυρο έναρξης του ANSYS Workbench | 103 |
| Σχήμα 53: Τεχνικές Προδιαγραφές της υβριδικής ανεμογεννήτριας | 111 |
| Σχήμα 54: Εισαγωγή εργαλείου γεωμετρίας στο ANSYS Workbench | 113 |
| Σχήμα 55: Εισαγωγή γεωμετρίας από το Solidworks..... | 114 |
| Σχήμα 56: Ελάχιστες διαστάσεις υπολογιστικού χωρίου | 114 |
| Σχήμα 57: Ανεμογεννήτρια και υπολογιστικό χωρίου που επικαλύπτει την ανεμογεννήτρια | 115 |
| Σχήμα 58: Εισαγωγή μπλοκ πλέγματος στο ANSYS Workbench | 115 |
| Σχήμα 59: Ορισμός επιφανειών ρευστού και απομόνωση της γεωμετρίας..... | 116 |
| Σχήμα 60: Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων του ρευστού..... | 116 |
| Σχήμα 61: Χαρακτηριστικά και στατιστικά στοιχεία του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων του ρευστού..... | 117 |
| Σχήμα 62: Εισαγωγή εργαλείου CFX στο ANSYS Workbench..... | 117 |
| Σχήμα 63: Ορισμός περιοχής ρευστού και επιλογή του αέρα ως το εργαζόμενο ρευστό | 118 |
| Σχήμα 64: Επιλογή μοντέλου τύρβης..... | 119 |
| Σχήμα 65: Οριακή συνθήκη στην είσοδο του ρευστού | 120 |
| Σχήμα 66: Ορισμός αρχικών συνθηκών επίλυσης στην είσοδο του ρευστού | 120 |
| Σχήμα 67: Οριακή συνθήκη στην έξοδο του ρευστού..... | 120 |
| Σχήμα 68: Οριακή συνθήκη στα τοιχώματα του ρευστού..... | 120 |
| Σχήμα 69: Ορισμός του αριθμού των επαναλήψεων και του κριτηρίου σύγκλισης..... | 121 |
| Σχήμα 70: Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου σε επιφάνεια κάθετη του άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα εισόδου 13.5 m/s | 122 |
| Σχήμα 71: Γραμμές ροής της ταχύτητας του ανέμου σε επιφάνεια κάθετη του άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα εισόδου 13.5 m/s..... | 122 |
| Σχήμα 72: Κατανομή της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ για ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 3 m/s..... | 123 |
| Σχήμα 73: Κατανομή της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ για ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 13.5 m/s..... | 123 |
| Σχήμα 74: Κατανομή της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ για ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 15.5 m/s..... | 124 |
| Σχήμα 75: Μεταβολή της μέγιστης ολικής πίεσης που ασκείται στην ανεμογεννήτρια συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου | 124 |
| Σχήμα 76: Ροπή στην ανεμογεννήτρια από τον άνεμο συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου | 125 |
| Σχήμα 77: Το εργαλείο Static Structural και η αλληλεπίδραση με το CFX | 128 |
| Σχήμα 78: Γεωμετρία ανεμογεννήτριας στο Static Structural..... | 129 |
| Σχήμα 79: Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων της ανεμογεννήτριας | 130 |
| Σχήμα 80: Χαρακτηριστικά και στατιστικά στοιχεία του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων της ανεμογεννήτριας..... | 130 |
| Σχήμα 81: Λεπτομέρειες ορισμού κυλινδρικής πάκτωσης στην ανεμογεννήτρια..... | 131 |
| Σχήμα 82: Λεπτομέρειες ορισμού βαρύτητας στην ανεμογεννήτρια | 131 |
| Σχήμα 83: Λεπτομέρειες ορισμού περιστροφικής ταχύτητας στην ανεμογεννήτρια | 131 |
| Σχήμα 84: Λεπτομέρειες ορισμού της εισαχθείσας πίεσης από την επίλυση του CFX..... | 132 |
| Σχήμα 85: Ρυθμίσεις της ανάλυσης του προβλήματος..... | 132 |
| Σχήμα 86: Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s και υλικό κατασκευής το αλουμίνιο | 133 |
| Σχήμα 87: Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης παραμόρφωσης κατά von-Mises της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s και υλικό κατασκευής το αλουμίνιο | 133 |
| Σχήμα 88: Γραφική απεικόνιση της συνολικής μετατόπισης της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s και υλικό κατασκευής το αλουμίνιο..... | 134 |
| Σχήμα 89: Καμπύλες μέγιστης ισοδύναμης τάσης της ανεμογεννήτριας ως προς την ταχύτητα του ανέμου..... | 136 |
| Σχήμα 90: Καμπύλες μέγιστης ισοδύναμης παραμόρφωσης της ανεμογεννήτριας ως προς την ταχύτητα του | |

| | |
|--|-----|
| ανέμου..... | 136 |
| Σχήμα 91: Καμπύλες μέγιστης συνολικής μετατόπισης της ανεμογεννήτριας ως προς την ταχύτητα του ανέμου..... | 137 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 1: Ταξινόμηση κατανεμημένης παραγωγής με βάση το Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων..... | 31 |
| Πίνακας 2: Ποιος είναι ο ορισμός που δίνετε για την διάσπαρτη παραγωγή όπως προέκυψε από μελέτη του CIRED | 32 |
| Πίνακας 3: Κατηγοριοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής με βάση τη δυναμικότητα του σταθμού | 34 |
| Πίνακας 4: Τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής | 35 |
| Πίνακας 5: Σύγκριση χρόνου απόσβεσης και εκπομπών διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών..... | 37 |
| Πίνακας 6: Τιμές παραμέτρου α για τον υπολογισμό μέσης ταχύτητας ανέμου | 48 |
| Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση Α/Γ κατά το πρότυπο IEC 61400-2 | 57 |
| Πίνακας 8: Ποσοστά των υλικών που χρησιμοποιούνται στα βασικά μέρη των ανεμογεννητριών | 67 |
| Πίνακας 9: Υποχρέωση και αρμόδιες υπηρεσίες για περιβαλλοντική αδειοδότηση μικρών ανεμογεννητριών | 81 |
| Πίνακας 10: Βαθμοί όχλησης μικρών ανεμογεννητριών..... | 82 |
| Πίνακας 11: Αποστάσεις από οικισμούς για εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών | 82 |
| Πίνακας 12: Χαρακτηριστικές ταχύτητες του ανέμου και οι αντίστοιχες περιστροφικές ταχύτητες δρομέα της υβριδικής ανεμογεννήτριας..... | 112 |
| Πίνακας 13: Υλικά εφαρμογής στην ανεμογεννήτρια | 128 |
| Πίνακας 14: Οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 3 m/s | 135 |
| Πίνακας 15: Οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s | 135 |
| Πίνακας 16: Οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 15.5 m/s | 135 |
| Πίνακας 17: Αναλυτικά αποτελέσματα για το αλουμίνιο, ως υλικό κατασκευής της ανεμογεννήτριας | 137 |
| Πίνακας 18: Αναλυτικά αποτελέσματα για το πολυμερές με ίνες άνθρακα, ως υλικό κατασκευής της ανεμογεννήτριας | 137 |
| Πίνακας 19: Αναλυτικά αποτελέσματα για το πολυμερές με ίνες γυαλιού, ως υλικό κατασκευής της ανεμογεννήτριας | 138 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1.1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, δισεκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα CO₂, κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, καθώς και άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αλλάζοντας τη σύσταση των αερίων που παρέμενε σταθερή για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Αυτή η ανατροπή αναμένεται να αλλάξει δραστικά το κλίμα τις επρχόμενες δεκαετίες. Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται υπεύθυνο για το 50% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας καθώς σε λιγότερο από δύο αιώνες η συνολική ποσότητα CO₂ της ατμόσφαιρας αυξήθηκε κατά 25%. Κάθε χρόνο η ατμόσφαιρα επιβαρύνεται με έξι δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα ανέβει τα επόμενα εκατό χρόνια από δύο έως έξι βαθμούς °C.



Σχήμα 1: Εκπομπές ρύπων από εργοστάσια [1]

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης της γης δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλα τα μήκη και πλάτη. Πρόσφατες έρευνες σε Αμερική και Ευρώπη δείχνουν ότι κάτω από αυτές τις συνθήκες, προβληματικά κλιματολογικά φαινόμενα όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και άλλα, αναμένεται να εμφανίζονται συχνότερα.

Οι σίγουρες συνέπειες της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι:

- Η μείωση στα αποθέματα του νερού.
- Οι απότομες μεταβολές στη θερμοκρασία του πλανήτη.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες στη θερινή περίοδο.
- Η είσοδος των θαλάσσιων υδάτων στον παράκτιο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και η υποβάθμισή του.

- Οι σημαντικές μετακινήσεις πληθυσμού και αγαθών.
- Η δραματική μείωση του αριθμού των ειδών.

Η αλλαγή του κλίματος αμφισβητήθηκε στο παρελθόν και σε οποιοδήποτε προσπάθειες για την έγκαιρη αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού αντέδρασαν ομάδες πίεσης ισχυρών συμφερόντων. Πλέον, όμως, αυτή η πραγματικότητα είναι αδιαμφισβήτητη καθώς οι συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ήδη γεγονός. Την τελευταία δεκαετία, εκδηλώθηκαν τρεις φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές, κυρίως πλημμύρες και τυφώνες, στον κόσμο από ότι στην δεκαετία του '60, ενώ τετραπλασιάστηκε το κόστος των καταστροφών από παρόμοια φαινόμενα.

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με την καύση λιγνίτη, λιθάνθρακα, πετρελαίου και άλλων ορυκτών καύσιμων, ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος της περιβαλλοντικής κρίσης προκαλώντας αλόγιστη ρύπανση στον αέρα (Σχήμα 1), στο έδαφος, στο υπέδαφος, στον υδροφόρο ορίζοντα άλλα και στην υγεία των πολιτών. Στην Ευρώπη οι πιο ρυπογόνοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν στην Ελλάδα, τη Γερμανία, την Πολωνία και την Ισπανία.

Σύμφωνα με έκθεση του Παγκόσμιου Ταμείου για τη Φύση, της WWF, η ελληνική ΔΕΗ είναι η πέμπτη μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής λιγνίτη στον κόσμο και οι πιο ρυπογόνοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί στην Ευρώπη είναι αυτοί του Άγιου Δημητρίου και της Καρδίας στην Κοζάνη. Οι σταθμοί της ΔΕΗ εκλύουν κάθε χρόνο 43 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ποσότητα που αποτελεί το 40% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της χώρας [2].

1.1.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ

Σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης των κλιματικών αλλαγών η διεθνής κοινότητα συμφώνησε στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου υπογράφοντας τη σύμβαση-πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή γνωστή ως "πρωτόκολλο του Κιότο". Η συμφωνία αυτή επικυρώθηκε από πάνω από 100 χώρες στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997. Εκεί, οι ανεπτυγμένες χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν συνολικά τις εκπομπές των έξι κύριων αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και διάφορα βιομηχανικά φθοριούχα αέρια) κατά 5.2% με βάση τις εκπομπές του 1990 ως το 2012.

Το πρωτόκολλο είναι ένα θετικό βήμα αλλά ατελές για τη σωτηρία του πλανήτη και για την προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς αποτελεί την πρώτη συμφωνία που έθεσε συγκεκριμένο στόχο μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και αναγνώρισε την κοινή αλλά διαφοροποιημένη ευθύνη των διαφόρων χωρών. Ο κοινός στόχος είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 5.2%, αλλά η ευθύνη είναι διαφοροποιημένη με βάση τις ανάγκες ανάπτυξης τους και την ιστορική τους ευθύνη στη δημιουργία του φαινομένου. Έτσι, ενώ ο Καναδάς έχει στοχεύσει σε μείωση 6% των εκπομπών του, η Γερμανία σε μείωση κατά 21%, η Ελλάδα διεκδίκησε και "πέτυχε" να της επιτραπεί η αύξηση κατά 25%.

Μαζί με το πρωτόκολλο του Κιότο γεννήθηκε μια σειρά πολύπλοκων εννοιών, οι οποίες ονομάζονται ευέλικτοι "μηχανισμοί" για την αποφυγή της πραγματικής μείωσης των εκπομπών. Οι ευέλικτοι αυτοί μηχανισμοί δίνουν το δικαίωμα στις ανεπτυγμένες χώρες να πουλούν και να αγοράζουν πιστώσεις μεταξύ τους. Δηλαδή, όταν μια χώρα έχει καταφέρει να μειώσει σε μεγαλύτερο ποσοστό τα αέρια του θερμοκηπίου από αυτό για το οποίο δεσμεύτηκε, έχει τη δυνατότητα να εμπορευθεί την επιπλέον αυτή ποσότητα με κάποια χώρα, η οποία δεν κατάφερε να φτάσει στο στόχο της.

Όπως φαίνεται, τα περιθώρια που προσφέρει το πρωτόκολλο του Κιότο στην ανάπτυξη της αγοράς του άνθρακα το καθιστά ανεπαρκές για την προστασία του παγκόσμιου κλίματος. Όμως οι περιβαλλοντικές οργανώσεις, φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης, αλλά και ορισμένες κυβερνήσεις πιέζουν για νέους πιο φιλόδοξους αλλά και αναγκαίους στόχους, για σοβαρότερη προσπάθεια

μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το μέλλον των έργων φαίνεται πως βλάπτει τα συμφέροντα των επιχειρήσεων που δε θέλουν να δουν να πηγαίνουν χαμένα τα σχέδια που προσφέρουν σε όσους χρειάζονται τις πιστώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και έσοδα στα ταμεία τους [3].

1.1.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ

Μέχρι τώρα το πλέον αποτελεσματικό ρυθμιστικό πλαίσιο για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. έχει πραγματοποιηθεί από την Ευρωπαϊκή ένωση. Το 2007 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια διεξοδική δέσμη μέτρων για τη χάραξη μιας νέας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι κλιματικές αλλαγές και να ενισχυθεί η ενεργειακή ασφάλεια και η ανταγωνιστικότητα της Ε.Ε..

Η Επιτροπή έθεσε τρεις φιλόδοξους στόχους με χρονικό ορίζοντα το 2020:

- Βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων κατά 20%.
- Αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην τελική κατανάλωση στο επίπεδο του 20%.
- Αύξηση του ποσοστού βιοκαυσίμων στις μεταφορές στο 10% [4].

Σημειώνεται ότι ο στόχος για 20% διείσδυση των Α.Π.Ε. αφορά το σύνολο των ενεργειακών χρήσεων (ηλεκτρισμός, θερμότητα και μεταφορές).

Τα κράτη μέλη παρακολουθούν τις οικείες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και υποβάλλουν σχετική έκθεση κάθε χρόνο. Αν μια έκθεση παρακολούθησης δείξει ότι ένα κράτος δεν τήρησε τις επιτρεπόμενες ποσότητες που καθορίζονται στην απόφαση για επιμερισμό της προσπάθειας, η κοινότητα μπορεί να κινηθεί διαδικασίες για παράβαση κατά του υπόψη κράτους μέλους βάσει του άρθρου 226 της συνθήκης ΕΚ. Το άρθρο αυτό εξουσιοδοτεί την Επιτροπή να προσφεύγει στο Δικαστήριο κατά των κρατών μελών που δεν τηρούν τις υποχρεώσεις τους. Αυτό σημαίνει πως επιβάλλεται χρηματικό πρόστιμο για κάθε μη συμμόρφωση των κρατών στις επιταγές της Επιτροπής [5].

1.1.4 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ενεργειακοί πόροι έχουν εξελιχθεί σε πόρους στρατηγικής σημασίας για τη λειτουργία του οικονομικού συστήματος. Όμως η ενεργειοβόρα δομή παραγωγής, η αυξανόμενη κατανάλωση και ταυτόχρονα η ανορθολογική χρήση της ενέργειας έχουν οδηγήσει σε μείωση των αποθεμάτων των ενεργειακών πόρων άρα και αύξηση του κόστους εξόρυξης και παραγωγής τους. Η στενότητα των φυσικών πόρων και η επίπτωσή της στην οικονομική ανάπτυξη έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την οικονομική σκέψη. Στοχαστές όπως ο Malthus και Marx, διερευνούσαν ήδη από τον 19ο αιώνα κατά πόσο η φύση θέτει φραγμούς στην οικονομική ανάπτυξη, ώστε η οικονομία να οδηγηθεί μακροχρόνια σε μια στάσιμη κατάσταση.

Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, αρκετοί οικονομολόγοι ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της στενότητας συγκεκριμένων φυσικών πόρων. Ειδικότερα, το ενδιαφέρον για τη στενότητα των ορυκτών καυσίμων υπήρξε αρκετά έντονο λόγω των δύο μεγάλων ενεργειακών κρίσεων. Ο προβληματισμός στρεφόταν πάντα γύρω από το πώς θα μπορέσει να συμβαδίσει η κοινωνική ευημερία σε συνάρτηση με τη στενότητα των φυσικών πόρων. Οι ενεργειακοί πόροι που κατέχουν σήμερα δεσπόζουσα θέση στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι, κυρίως, το πετρέλαιο και τα προϊόντα του ενώ ακολουθεί ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Το πετρέλαιο και τα λοιπά ορυκτά

καύσιμα είναι εξαντλήσιμοι και σπάνιοι πόροι και επομένως υπό την πίεση της αυξανόμενης ζήτησης θα αυξάνονται ολοένα οι τιμές τους. Η διάρκεια ζωής παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι ο λιγνίτης, ο γαιάνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, φαίνεται στο Σχήμα 2.

Πρόσφατα, οι διεθνείς τιμές του πετρελαίου έφτασαν σε πρωτόγνωρα υψηλά επίπεδα φτάνοντας στο υψηλότερο επίπεδο σε πραγματικούς όρους, από το τέλος της δεκαετίας του '70. Στα τέλη του Μαΐου του 2008 η τιμή του αργού πετρελαίου τύπου Μπρεντ κινήθηκε γύρω στα 132 USD το βαρέλι, ήταν δηλαδή υπερδιπλάσια σε σχέση με τα επίπεδα του 2007. Η μέση τιμή του πετρελαίου για τους πέντε πρώτους μήνες του 2008 ανερχόταν σε 105 USD έναντι μέσου όρου της τάξης των 73 USD το βαρέλι, κατά το 2007 ενώ οι τιμές είχαν ήδη τριπλασιαστεί σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2002 [5].

Οι τιμές του άνθρακα και του φυσικού αερίου ακολούθησαν αύξηση, με τον ίδιο ρυθμό ή και με ταχύτερο σε σχέση με τις τιμές του πετρελαίου, κατά τους τελευταίους 12 μήνες του 2008. Αυτό σημαίνει ότι οι υψηλές τιμές του πετρελαίου είχαν ως αποτέλεσμα τις αυξημένες τιμές των ενεργειακών προϊόντων, πιέζοντας τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στην Ευρώπη να αυξήσουν τις τιμές τους.

Οι προηγούμενες πετρελαϊκές κρίσεις, όπως εκείνη της δεκαετίας του '70 είχαν προκληθεί από τους περιορισμούς που επιβλήθηκαν στην προσφορά από χώρες παραγωγής. Στην προκειμένη περίπτωση, η σταθερή ή ακόμη ελαφρώς μειωμένη προσφορά πετρελαίου αγωνίζεται να ανταποκριθεί σε μια αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση. Το συμπέρασμα είναι πως η αύξηση των τιμών του πετρελαίου δεν οφείλεται πια σε προσωρινούς παράγοντες όπως γινόταν κατά το παρελθόν αλλά σε μια διαρθρωτική μεταβολή της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης πετρελαίου στην παγκόσμια οικονομία και ως εκ τούτου είναι πιθανόν μακροπρόθεσμα να παραμείνουν οι τιμές υψηλά.



Σχήμα 2: Διάρκεια ζωής παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας [6]

Η κυριότερη πολιτική αντιμετώπιση του προβλήματος πρέπει να συνίσταται στο να καταστούν οι χώρες περισσότερο αποτελεσματικές όσον αφορά στην παραγωγή και στη χρήση ενέργειας και λιγότερο εξαρτημένες από τα ορυκτά καύσιμα. Σήμερα, δυστυχώς, η εξάρτηση των χωρών και κυρίως της Ευρωπαϊκής Ένωσης παραμένει μεγάλη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εισάγει το 50% της ενέργειας που χρειάζεται και προβλέπεται να φτάσει το 70% έως το 2030 με ανάλογη αύξηση της χρήσης ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας. Μόνο το ρωσικό φυσικό αέριο

καλύπτει το 20% των αναγκών της, γεγονός που δίνει την ευκαιρία στη Ρωσία να χρησιμοποιήσει την ενέργεια ως πολιτικό όπλο τα επόμενα χρόνια.

Σε περίπτωση που οι χώρες, οι οποίες είναι εισαγωγείς πετρελαίου, φυσικού αερίου και άλλων ορυκτών καυσίμων, αυξήσουν τις τιμές των εν λόγω καυσίμων, αυτό θα αποτελούσε πηγή πληθωρισμού αυξάνοντας τις τιμές των προϊόντων και συρρικνώνοντας την αγοραστική δύναμη των πολιτών. Πρόσφατα, στην Ευρώπη ο πληθωρισμός των τιμών ενέργειας συνέβαλε κατά 0.8% περίπου στην αύξηση του εναρμονισμένου δείκτη τιμών καταναλωτή κατά το τέταρτο τρίμηνο του 2007 και οι τιμές πολλών γεωργικών προϊόντων παρουσίασαν κατακόρυφη αύξηση [7].

1.1.5 ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο ηλεκτρικός τομέας αποτελεί την πιο κρίσιμη υποδομή των σύγχρονων κοινωνιών. Έτσι, η αξιοπιστία και η αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που δεν θα είναι εκτεθειμένη σε διακοπές εφοδιασμού και απότομες αυξήσεις των τιμών γίνεται πλέον επιτακτική ανάγκη.

Η στενότητα στα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και τα μεγάλα ενεργειακά προβλήματα που εμφανίζονται κατά καιρούς, έχουν οδηγήσει σε νέες στρατηγικές στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες, πλέον, θα δίνουν έμφαση σε αποκεντρωμένες μονάδες με αποδοτικές τεχνολογίες, όπως οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών. Τέτοιες αποκεντρωμένες τεχνολογίες θα μπορούσαν όχι μόνο να παρέχουν υποστήριξη στους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής αλλά και να τους αντικαταστήσουν.

Στο νέο περιβάλλον της ενέργειας, η αποκεντρωμένη παραγωγή μπορεί να καλύπτει μεγάλο εύρος νέων τεχνολογιών με μικρές μονάδες εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση. Η μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών και άλλων νέων και αποδοτικών τεχνολογιών αποτελεί τη νέα πρόκληση στον ενεργειακό τομέα και θα απαιτηθούν ανάλογες παρεμβάσεις στο δίκτυο.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας, αιολικής ενέργειας, βιομάζας, μικρών υδροηλεκτρικών, συστημάτων αποθήκευσης, συμπεριλαμβάνονται στους μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους κάθε χώρας. Στην Ευρώπη, η διείσδυση και η συμμετοχή των αποκεντρωμένων μονάδων στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2030 εκτιμάται στο 35% - 40% . Αυτό θεωρείται μεγάλη συμβολή στην ασφάλεια και στην αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στη βιώσιμη ανάπτυξη [8].

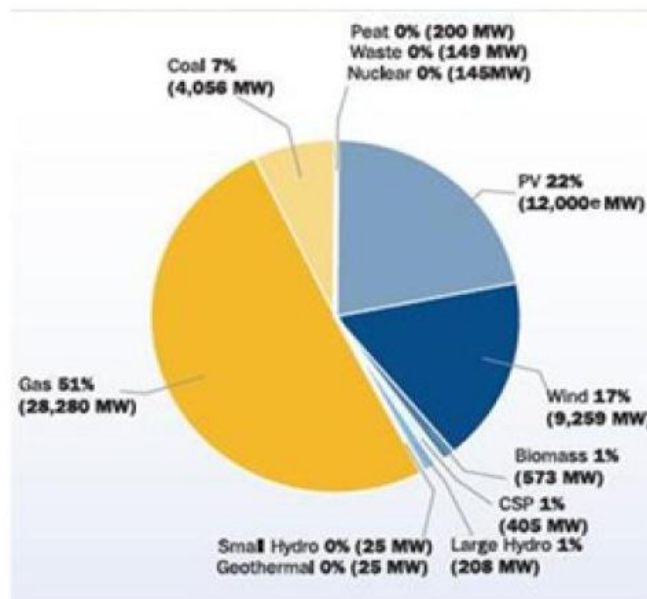
1.2 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα κυριότερα είδη των Α.Π.Ε. είναι τα ακόλουθα:

- Αιολική ενέργεια: η κινητική ενέργεια που παράγεται από την ροή του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Ηλιακή ενέργεια: αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται το φάσμα ακτινοβολιών προερχόμενο από τον ήλιο. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:
 - Ενεργητικά ηλιακά συστήματα: μετατρέπουν την θερμική ενέργεια προερχόμενη από τον ήλιο σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική.
 - Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική.
- Υδραυλική ενέργεια: αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- Βιομάζα: είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.
- Γεωθερμική ενέργεια: η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και μετατρέπεται σε ηλεκτρική αφού προηγουμένως έχει μετατραπεί σε μηχανική.
- Αστικά απορρίμματα: η αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους είτε μέσω καύσης τους είτε μέσω της καύσης του μεθανίου που παράγεται κατά την φυσική αποσύνθεσή τους.
- Ενέργεια από θαλάσσια κύματα: εκμεταλλεύεται την δυναμική ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων και την μετατρέπει σε μηχανική η οποία μετασχηματίζεται σε ηλεκτρική.

Η συνεισφορά όλων των ενεργειακών μορφών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε. μέχρι τα τέλη του 2011 φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Η συνεισφορά όλων των ενεργειακών μορφών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε. μέχρι τα τέλη του 2011 [6]

1.2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παγκόσμια επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη διατύπωσαν την εξής έννοια της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης: "βιώσιμη είναι η ανάπτυξη, η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να χειροτερεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες". Η δυνατότητα της βιώσιμης ανάπτυξης είναι υπαρκτή όσο υπάρχουν ανανεώσιμοι πόροι συμπεριλαμβανομένων και των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών και αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Η ευρύτερη έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναφέρεται σε κάθε πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώνεται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου. Πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη

κλίμακα, και για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση, καύση αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτό σημαίνει πως πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως: ο ήλιος, ο άνεμος, οι υδατοπτώσεις, η ενέργεια των κυμάτων, των ρευμάτων, των ωκεανών, η βιομάζα και η γεωθερμία.

Οι Α.Π.Ε. μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα, κυρίως για θέρμανση, είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας, κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις Α.Π.Ε. υπολογίζεται ότι είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή, όμως, μέχρι πρόσφατα, τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς και οι πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που συνδέονται με τη διατήρηση του παρόντος επιπέδου ανάπτυξης στον ενεργειακό τομέα, εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε, αρχικά, μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 ως αποτέλεσμα κυρίως, των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές και ήταν ιδιαίτερα ακριβές. Σήμερα όμως, λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια, λόγω της εξέλιξης των τεχνολογιών τους και της διεύρυνσης της παραγωγικής βάσης τεχνολογίας σε αναπτυσσόμενες χώρες, με αντίστοιχη μείωση του κόστους επένδυσης και παραγωγής.

Για τα κράτη αποτελούν στρατηγική επιλογή, αφού έχουν ωριμάσει και είναι ασφαλείς, ανταγωνιστικές και ελκυστικές σε ιδιώτες και επενδυτές και η εφαρμογή τους συμβάλλει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών και ειδικότερα στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και στην απεξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο. Μπορούν, δηλαδή, να απαντήσουν αποτελεσματικά στο τρίπτυχο των προβλημάτων που απασχολούν τον τομέα της ενέργειας: α) επάρκεια αποθεμάτων, β) ασφάλεια ανεφοδιασμού και γ) προστασία του περιβάλλοντος.

Εξάλλου, στην προώθηση των Α.Π.Ε. στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά συνέβαλε το γεγονός ότι μπορούν να συμμετέχουν στην ενεργειακή αυτόρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, αποτελώντας την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου. Είναι προφανές ότι χώρες με μεγάλα αποθέματα, στις πρωταρχικές μορφές ενέργειας έχουν, συνήθως, την τάση να χρησιμοποιούν αυτό το πλεονέκτημα ως μέσο για πολιτικό και οικονομικό έλεγχο των υπολοίπων. Παράδειγμα τέτοιων συνεπειών είναι η πολιτική και οικονομική κατάσταση που έχει εδραιωθεί στη Μέση Ανατολή. Οι Α.Π.Ε. όμως, αποτελούν ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας παράλληλα την ανάγκη για τεράστιες μονάδες ενεργειακής παραγωγής, αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ταυτόχρονα, υποβοηθείται η αποκέντρωση και η ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας σε κάθε περιοχή όπου εγκαθίστανται τέτοιου είδους μονάδες.

Το πιο σημαντικό όφελος που μπορούν να προσφέρουν σε μια οικονομία σχετίζεται με την βελτίωση της απασχόλησης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν καταπληκτικό δυναμικό ως προς τη δημιουργία και τη διαφύλαξη θέσεων εργασίας. Μελέτη του WWF για τη Βιομάζα ("Biomass Study") εντοπίζει ένα δυναμικό απασχόλησης της τάξης των 170000-290000 θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. μόνο και μόνο από αυτήν τη συγκεκριμένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Οι εν λόγω θέσεις εργασίας υπολογίζεται ότι θα δημιουργηθούν κυρίως σε αγροτικές, αδύναμες από πλευράς υποδομών, περιοχές και θα είναι ως εκ τούτου εξαιρετικά σημαντικές.

Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι ο απλός εξοπλισμός τους στην κατασκευή και τη συντήρηση. Εξάλλου, το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με τις μικρές έως ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης που εμφανίζουν, συνεπάγεται περιορισμένο κόστος λειτουργίας. Έτσι,

αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό το μέχρι σήμερα μειονέκτημα του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων εκμετάλλευσής τους. Επιπρόσθετα, στα τεχνικά πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνονται η δυνατότητα διαφοροποίησης των ενεργειακών φορέων, τεχνολογιών και υποδομών παραγωγής θερμότητας, καυσίμων και ηλεκτρισμού και η αύξηση της ευελιξίας των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, ώστε να ανταποκρίνονται στη μεταβαλλόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Για κάθε χώρα η επιλογή μεταξύ των διάφορων διαθέσιμων ενεργειακών πόρων εξαρτάται έντονα από τους φυσικούς περιορισμούς που τίθενται για κάθε τύπο πόρου, υδατικό δυναμικό, αιολικό δυναμικό ανά περιοχή, μέγιστη μέση ηλιακή έκθεση ανά μονάδα επιφάνειας κ.λπ.. Για κάθε πόρο, λοιπόν, υπάρχει ένα κατώφλι της βέλτιστης απόδοσης. Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά τα οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια τα οποία είναι αναγκαία προκειμένου να πραγματοποιηθούν τεχνικά οι ανανεώσιμες πηγές σε μια χώρα:

- α) Οικονομικός ανταγωνισμός (κόστος KWh).
- β) Επιπτώσεις στην απασχόληση.
- γ) Ευαισθησία στις τιμές των πρώτων υλών (πετρέλαιο, και άλλα ορυκτά).
- δ) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- ε) Κοινωνική αποδοχή.

1.2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Από το 1997 που υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο, οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές αυξάνονται διαρκώς με ταχείς ρυθμούς. Η εγκατεστημένη ισχύς σε ανεμογεννήτριες αυξάνεται κατά 25-30% ετησίως, τα φωτοβολταϊκά κατά 50-60% ετησίως, οι ηλιακοί συλλέκτες για θέρμανση νερού κατά 15-20% ετησίως, εγκατεστημένοι σε 50 εκατομμύρια νοικοκυριά παγκοσμίως το 2007 και η παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων κατά 15-20% ετησίως.

Παγκοσμίως, ολοένα και περισσότερες χώρες στοχεύουν να αυξήσουν την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, διαμορφώνοντας τα θεσμικά πλαίσια για την προσέλκυση επενδύσεων. Σήμερα, 58 χώρες έχουν θέσει στόχους για τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό τους ισοζύγιο συμπεριλαμβανομένων και αναπτυσσόμενων χωρών αλλά και πολιτειών-περιφερειών των ΗΠΑ και του Καναδά, και η πλειοψηφία αυτών έχει διαμορφώσει συγκεκριμένες πολιτικές και κίνητρα για τη χρήση των Α.Π.Ε.. Την πρωτοπορία στον κλάδο διαθέτει η Ευρώπη, έχοντας άνω του 35% του παγκόσμιου δυναμικού σε παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες.

Σήμερα, πάνω από 70 χώρες χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια, μεταξύ τους και αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα, Αίγυπτος, Μεξικό, Ιράν, Βραζιλία κ.α. Η Ινδία και η Κίνα έχουν πολύ μεγάλη ισχύ σε αιολική ενέργεια, κατέχοντας 4η και 6η θέση αντίστοιχα, με τη Γερμανία και την Ισπανία να κατέχουν την 1^η και 2^η, στην παγκόσμια κατάταξη όσον αφορά στην εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων. Χώρες όπως η Γερμανία κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν με τέτοιο τρόπο τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας ώστε εκτός από τα πρωτεύοντα αποτελέσματα να αποκτήσουν οφέλη σε επίπεδο τεχνολογίας και κατασκευαστικής δραστηριότητας. Ο εξοπλισμός και οι κατασκευές στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν μεγάλο κομμάτι της βιομηχανικής παραγωγής της Γερμανίας, μαζί με τη βιομηχανική παραγωγή σε αυτοκίνητα και μηχανικά εργαλεία.

Ο μεγαλύτερος κατασκευαστής φωτοβολταϊκών κυψελών στον κόσμο που χρησιμοποιούνται στους ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η εταιρία Q-CELLS και βρίσκεται στο Wolfen της Γερμανίας σε μια χώρα που δεν φημίζεται

για την ηλιοφάνεια της. Παρόλα αυτά είναι η πρώτη στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και είναι η τρίτη μεγαλύτερη παραγωγός ηλιακών συλλεκτών μετά την Κίνα και την Ιαπωνία.

Σε μια άλλη περιοχή της Ευρώπης, στη Σκωτία, οι σημαντικότερες οικονομικές δραστηριότητες τα τελευταία χρόνια προέρχονται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκεί έχει πραγματοποιηθεί ένα σπουδαίο επίτευγμα με 1.5 εκατομμύριο νοικοκυριά να έχουν ρεύμα από ανανεώσιμες πηγές. Το 2007 στην γιορτή της Πράσινης Ενέργειας ανακοίνωσαν ότι ήταν η ημέρα κατά την οποία οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ξεπέρασαν σε ικανότητα παραγωγής την πυρηνική ενέργεια. Ακόμη και σε αυτήν την περίοδο της οικονομικής κρίσης, η Σκωτία διαθέτει ανεβασμένους οικονομικούς δείκτες πράγμα που αποδεικνύει τη σημαντική συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στην οικονομία της χώρας.

Ανάλογα οικονομικά οφέλη απολαμβάνει και η Δανία όπου περισσότεροι από 15000 άνθρωποι ζουν από την αιολική ενέργεια, σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας ανεμογεννήτριες ή τμήματα εξοπλισμού, ή προσφέροντας συμβουλευτικές υπηρεσίες καθώς και υπηρεσίες κατασκευών έργων. Σήμερα η απασχόληση ανθρώπινου δυναμικού στη Δανέζικη βιομηχανία αιολικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από ότι π.χ. η αντίστοιχη απασχόληση στην βιομηχανία ιχθύων. Η παραγωγή ανεμογεννητριών στη χώρα αυτή συνδυάζεται με την προσφορά 5000 επιπλέον θέσεων εργασίας σε άλλες χώρες όπου ανεγείρονται ή κατασκευάζονται μέρη του εξοπλισμού των ανεμογεννητριών, όπως οι γεννήτριες και τα κιβώτια ταχυτήτων.

1.2.3 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης Α.Π.Ε. είναι τα εξής:

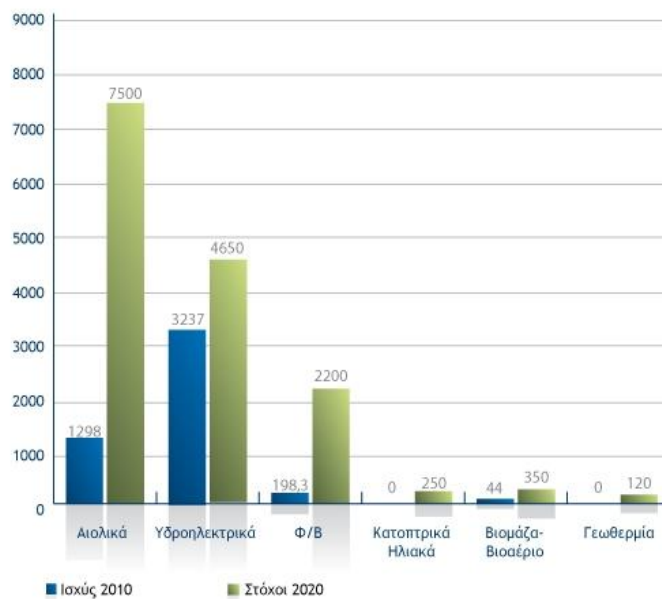
- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, ήλιος, άνεμος, ποτάμια, οργανική ύλη, κ.α. και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, κ.λπ..
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, γι' αυτό και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το ευρύ κοινό.
- Αποτελούν, μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας, την κατ' εξοχήν περιβαλλοντικά φιλική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε μείωση των εκπομπών και από άλλους ρυπαντές, όπως είναι π.χ. τα οξείδια του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή, τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, τα αιωρούμενα σωματίδια, κ.α..
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής (δίκτυα, δρόμοι, κλπ.) και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών των χρηστών, π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, κ.α..
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε. σχεδιάζονται συνήθως για να καλύπτουν τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, και έχουν μικρό σχετικά χρόνο κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των Α.Π.Ε. δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων, π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, τηλεθέρμανση οικισμών ή και μικρών πόλεων με ατμό ή ζεστό νερό που προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση γεωργικής και δασικής βιομάζας, κ.α..

1.2.4 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των Α.Π.Ε.. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπολογικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χώρα μας βρίσκεται σε μια περιοχή εξαιρετικά ηλιόλουστη, όπου υπάρχουν πλούσιοι υδάτινοι πόροι και πνέουν, συχνά, ισχυροί άνεμοι. Η Ελλάδα διαθέτει σχεδόν ανεξάντλητο δυναμικό κάθε μορφής Α.Π.Ε.. Ενδεικτικά, σύμφωνα με μελέτη για τις ανανεώσιμες πηγές στη Μεσόγειο, η οικονομικά εκμεταλλεύσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα από κάθε μορφής Α.Π.Ε. ανέρχεται σε 55000 GWh το χρόνο (Σχήμα 4), ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό υπερβαίνει τις 218000 GWh.



Σχήμα 4: Εγκατεστημένη ισχύς σε MW ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και στόχος για το 2020 [6]

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας, γεωγραφικό πλάτος 33°, εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας τη δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2700 ώρες τον χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και στην Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη

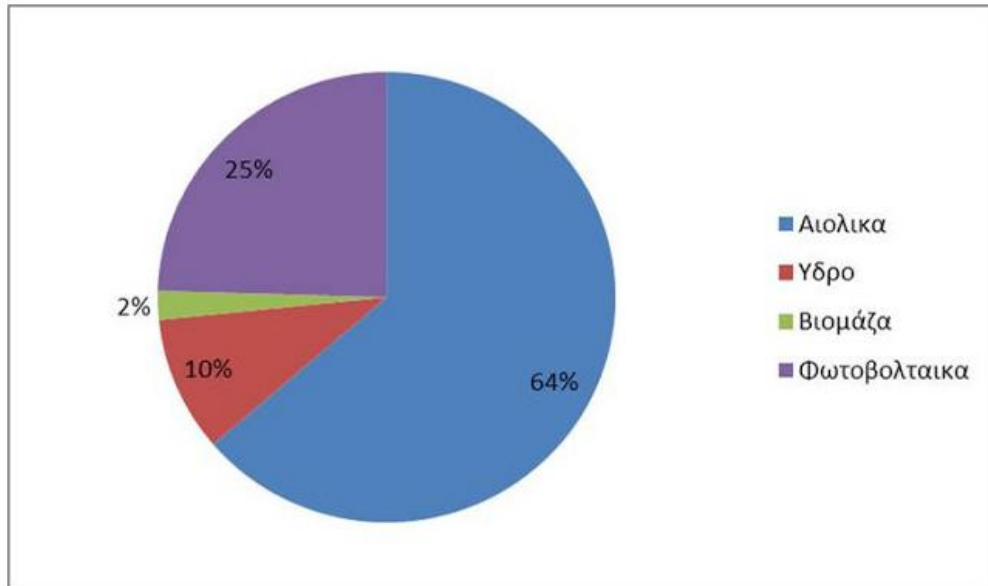
από 2200 έως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και στη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειας της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4.3 KWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας. Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρη την επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Εκτιμάται ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει το ένα τρίτο των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό. Η κατανάλωση ηλεκτρισμού αντιστοιχούσε σε 58.7 TWh το 2005.

Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της ανάγλυφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα. Εκτιμάται ότι το σύνολο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της Ελλάδας είναι 10000 GWh/έτος, με θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό 80000 GWh και τεχνικά εκμεταλλεύσιμο 21500 GWh. Το 10% περίπου του δυναμικού αυτού, 1000 GWh, θεωρείται ότι είναι δυνατό να αξιοποιηθεί μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων μέχρι 5 MW.

Ακόμη, η συνύπαρξη ηπειρωτικού - νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13.6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. Επιπλέον, η "πράσινη" ενέργεια από τα έγκατα της γης, δηλαδή η παραγωγή ενέργειας από το πλήθος των θερμών πηγών που υπάρχουν διάσπαρτες στις χερσαίες αλλά και στις νησιωτικές περιοχές της χώρας. Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα γνωστά στοιχεία, το ενεργειακό απόθεμα που υπάρχει κάτω από τη γη με τη μορφή ζεστού νερού αντιστοιχεί σε πάνω από 1000 θερμικά MW ετησίως. Το άμεσα αξιοποιήσιμο δυναμικό ξεπερνά σε ισχύ τα 200 MW και μπορεί να αντικαταστήσει 160000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος.

Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0.4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3%, περίπου, των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Ο νέος νόμος για τις Α.Π.Ε., που ψηφίστηκε στις 25 Μαΐου 2010 από το Ελληνικό Κοινοβούλιο, καθορίζει ως εθνικό δεσμευτικό στόχο το 20%, για τη συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 και το 40% για τον ηλεκτρισμό. Επίσης, προβλέπει ακόμη ότι έως τις 31 Δεκεμβρίου 2019, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της ενεργειακής τους κατανάλωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και σε αντλίες θερμότητας. Για τα κτίρια του Δημοσίου η υποχρέωση αυτή θα τεθεί σε ισχύ πέντε χρόνια νωρίτερα, δηλαδή το 2014. Στο Σχήμα 5, που ακολουθεί, φαίνονται τα ποσοστά των εγκατεστημένων Α.Π.Ε στην Ελλάδα για το 2012 [9].



Σχήμα 5: Τα ποσοστά των εγκατεστημένων μορφών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα το 2012 [6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανεμημένη παραγωγή αποτελεί μια νέα ιδέα στην οικονομική βιβλιογραφία της αγοράς του ηλεκτρισμού, αλλά στην πραγματικότητα ως ιδέα είναι κάθε άλλο παρά καινούργια. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή βρισκόταν σε εμβρυακό στάδιο, η κατανεμημένη παραγωγή ήταν ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Τα πρώτα εργοστάσια παραγωγής ισχύος παρείχαν ηλεκτρισμό σε φορτία-πελάτες που βρίσκονταν σε μικρή ακτίνα από αυτούς.

Τα πρώτα ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος (grids) ήταν συνεχούς ρεύματος (Direct Current, DC), οπότε η τάση παροχής ήταν σχετικά περιορισμένη, όπως και η απόσταση μεταξύ σταθμού παραγωγής και καταναλωτή. Η εξισορρόπηση ζήτησης και προμήθειας υλοποιούνταν μερικώς με τη χρήση τοπικής αποθήκευσης ενέργειας, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσσωρευτών, οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα άμεσης ηλεκτρικής σύνδεσης με το DC δίκτυο ισχύος. Παράλληλα, με τη μικρής κλίμακας παραγωγή, επιστρέφουν στο προσκήνιο και οι μονάδες τοπικής αποθήκευσης [10].

Με το πέρασμα του χρόνου, τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η εμφάνιση των δικτύων ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος (Alternate Current, AC), έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του τομέα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την μεταφορά του ηλεκτρισμού σε μεγάλες, πλέον, αποστάσεις. Η πρώτη εγκατάσταση διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έγινε από τον Thomas Edison με τη χρησιμοποίηση τάσης 60V, η οποία αργότερα αυξήθηκε [11]. Επιπλέον, οι οικονομίες κλίμακας στην παραγωγή ηλεκτρισμού οδήγησαν σε μια αύξηση της παραγόμενης ισχύος των εργοστασίων, καθώς και στη μείωση του κόστους ανά μονάδα. Κατασκευάστηκαν μαζικά ηλεκτρικά συστήματα, που συνίσταντο από τεράστια δίκτυα μεταφοράς και διανομής, καθώς και μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης επιτεύχθηκε από τη μέση επίδραση του συνδυασμού μεγάλων ποσοτήτων ακαριαία μεταβαλλόμενων φορτίων. Η ασφάλεια της παροχής αυξήθηκε αφού, η μερική ή πλήρης ανεπάρκεια κάποιας μονάδας παραγωγής σε ένα χρονικό διάστημα αντισταθμίστηκε από τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής εντός του διασυνδεδεμένου συστήματος. Στην πραγματικότητα, αυτή η διασύνδεση του συστήματος υψηλής τάσης είχε ως αποτέλεσμα να γίνει εφικτή η οικονομία κλίμακας.

Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και στο ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο την κατανεμημένη παραγωγή. Αυτό επιβεβαιώνεται από την IEA, International Energy Agency το 2003, όπου παραθέτει τους πέντε βασικούς λόγους που συνετέλεσαν σε αυτό:

- Ανάπτυξη των τεχνολογιών κατανεμημένης παραγωγής.
- Περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς.
- Αυξημένη ζήτηση παροχής ηλεκτρισμού υψηλής αξιοπιστίας.
- Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Προβληματισμοί για τις κλιματικές αλλαγές.

Η ενεργειακά απελευθερωμένη κοινή αγορά προχώρησε στις διαδικασίες φιλελευθεροποίησης του ενεργειακού τομέα με πολύ αργά βήματα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και σε διαφορετικούς χρόνους στις περισσότερες χώρες μέλη της Ε.Ε.. Όπως έγινε και σε άλλους τομείς, τα πρώτα βήματα και οι αρχικές ενέργειες για την κοινή αγορά της ενέργειας, όπως η Ντιρεκτίβες 96/92/EC και 98/30/EC, που καθορίζουν τα γενικά κριτήρια της εσωτερικής αγοράς

ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, και προσπαθούν να συμβιβάσουν τις ρυθμιστικές δομές των αγορών των κρατών μελών, αντίστοιχα.

Παρά τις προσπάθειες, τόσο σε κρατικό όσο και σε κοινοτικό επίπεδο, το ενεργειακό κόστος πέφτει και οι βελτιώσεις στην παρεχόμενη αξιοπιστία και στην αποδοτική ενεργειακή συντήρηση δεν είναι οι αναμενόμενες. Έλλειψη στην εγκατεστημένη ηλεκτρική ενέργεια σε τοπικό επίπεδο σε διάφορα μέρη στην Ευρώπη, προκαλούν τη δύσκολη αντιμετώπιση από τον ενεργειακό τομέα. Η κατάσταση δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο από την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση.

Ο αριθμός των διαχειριστών αγοράς (market operators) παραμένει μικρός σε πολλές χώρες, με αποτέλεσμα η κατανομημένη παραγωγή να μην έχει πάρει τις αναμενόμενες διαστάσεις. Είναι πολλά τα εμπόδια που τίθενται στη εξάπλωση της κατανομημένης παραγωγής και ειδικότερα στα συστήματα, Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Επιγραμματικά, έχουν να κάνουν με κανονιστικά και οικονομικά ζητήματα.

Έπειτα από το κοινό πλαίσιο εργασίας για την ενέργεια, είναι επιβεβλημένο να εφαρμοστούν συγκεκριμένες πολιτικές που θα οδηγήσουν στην αύξηση της αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος και θα προωθήσουν "καθαρές" και αποδοτικές τεχνολογίες, με σκοπό να υπερπηδήσουν τα προαναφερθέντα εμπόδια. Όσον αφορά στη ΣΗΘ, ένα μέτρο υποστήριξης σαφώς ορισμένο χρειάζεται να τεθεί αν ληφθεί υπόψη ότι [12]:

- Για μικρές εφαρμογές ΣΗΘ στον τριτογενή τομέα, το κόστος κεφαλαίου εγκατάστασης σταθμού ΣΗΘ είναι σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης για ξεχωριστή παραγωγή. Έτσι, ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης είναι σύντομος μόνο εάν ο σταθμός επιτυγχάνει υψηλό χρόνο ετήσιας λειτουργίας, πράγμα που συμβαίνει όταν ο ηλεκτρισμός και η θέρμανση απαιτούνται ταυτόχρονα και τους 12 μήνες του χρόνου και όταν η ζήτηση για θέρμανση είναι ομαλή.
- Οι κύριοι μηχανισμοί εμπορίας εκπομπών και χορηγήσεων πράσινων πιστοποιητικών, δουλεύουν δύσκολα, ιδιαίτερα στην Νότια Ευρώπη οπότε, τα συστήματα υψηλής απόδοσης ή οι πηγές εναλλακτικών μορφών ενέργειας βρίσκουν οριακή υιοθέτηση σε μικρές εφαρμογές.

Συνεπώς, οι ενέργειες υποστήριξης, οικονομικές και μη, είναι αναγκαίες.

2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η κατανομημένη παραγωγή είναι ουσιαστικά τόσο νέα προσέγγιση στο πεδίο της ηλεκτρικής βιομηχανίας, ώστε με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία να μην έχει δοθεί κάποιος γενικά αποδεκτός ορισμός αυτής. Έτσι, γίνεται προσπάθεια εξασφάλισης ενός κοινώς αποδεκτού ορισμού, εγχείρημα δύσκολο καθώς αποτελεί ένα πολύ-παραμετρικό ζήτημα.

Οι Αγγλοαμερικανικές χώρες, συχνά χρησιμοποιούν τον όρο Embedded Generation, με την έννοια ότι η παραγόμενη ισχύς ενός κατανομημένου σταθμού εκτείνεται, παρέχεται σε τοπικό επίπεδο. Οι Βορειοαμερικανικές χώρες χρησιμοποιούν τον όρο Dispersed Generation, δηλαδή διάσπαρτη παραγωγή, ενώ στην Ευρώπη και σε κάποιες περιοχές στην Ασία χρησιμοποιείται ο όρος Decentralized Generation, δηλαδή αποκεντρωμένη παραγωγή. Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται πολύ συχνά ο όρος, Distributed Generation (DG), κατανομημένη παραγωγή.

Επιπλέον, όσον αφορά στην κατάταξη των κατανομημένων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Power Research Institute, EPRI), ορίζει την κατανομημένη παραγωγή ως παραγωγή "από μερικά KW έως 50 MW". Το Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (International Council on Large Electric Systems,

CIGRE), έχει δημιουργήσει μια ομάδα εργασίας στον τομέα της καταναμημένης παραγωγής. Σύμφωνα με αυτή, μονάδες παραγωγής που (α) δεν υπερβαίνουν 100 MW, (β) είναι συνήθως συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής και (γ) η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δεν γίνεται κεντρικά (not centrally dispatched), συνιστούν καταναμημένη παραγωγή.

Στον Πίνακα 1 ταξινομείται η καταναμημένη παραγωγή με βάση την πηγή.

Πίνακας 1: Ταξινόμηση καταναμημένης παραγωγής με βάση το Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλων Ηλεκτρικών

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

Συστημάτων

Λόγω, επίσης, των διαφορετικών κυβερνητικών ρυθμίσεων ανά χώρα, ο ορισμός για την κατάταξη κάθε καταναμημένου σταθμού παραγωγής ποικίλει. Στον Πίνακα 2, αναφέρονται οι ορισμοί που προέκυψαν από τη CIRED (International Research Center on the Environment and Development) το 1999, στη βάση ενός ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε από τις χώρες μέλη.

Πίνακας 2: Ποιος είναι ο ορισμός που δίνετε για την διάσπαρτη παραγωγή όπως προέκυψε από μελέτη του CIRED

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

Στην αγορά της Αγγλίας και της Ουαλίας, τα εργοστάσια κατανεμημένης παραγωγής με δυναμικότητα (capacity) μικρότερη από 100 MW δεν υφίστανται κεντρικό έλεγχο κατανομής φορτίου, ενώ αν η δυναμικότητα είναι μικρότερη των 50 MW, η παραγόμενη ισχύς δεν είναι υποχρεωτικό να εμπορευτεί στη χονδρική αγορά (wholesale market). Ως εκ τούτου, ο όρος κατανεμημένη παραγωγή χρησιμοποιείται εξ' ορισμού για μονάδες με δυναμικότητα μικρότερη από 100 MW. Στη Σουηδία, ο νόμος κάνει ειδική μεταχείριση σε μικρές μονάδες με μέγιστη παραγωγική δυναμικότητα τα 1500 KW. Έτσι, η κατανεμημένη παραγωγή στη Σουηδία συχνά, ορίζεται ως παραγωγή ισχύος έως 1500 KW. Υπό το νομικό όμως καθεστώς της χώρας, ένα αιολικό πάρκο με 100 ανεμογεννήτριες των 1500 KW ισχύος έκαστη, νοείται ως κατανεμημένη παραγωγή, καθώς η κατάταξη κάθε μιας αιολικής ενεργειακής μονάδας, και όχι η κατάταξη του συνόλου του αιολικού πάρκου, είναι σύμφωνη με τη Σουηδική νομοθεσία. Εν αντιθέσει, για υδροηλεκτρικές μονάδες, η συνολική βαθμίδα είναι σύμφωνη με τη Σουηδική νομοθεσία. Κάποια από τα παραθαλάσσια Αιολικά πάρκα, έχουν μέγιστη δυναμικότητα μέχρι 1000 MW. Αυτά θα μπορούσαν να ενταχθούν στο νομοθετικό καθεστώς που ορίζει την κατανεμημένη παραγωγή, εφόσον σχεδιάζουν να εγκαταστήσουν ανεμογεννήτριες 1500 KW ισχύος [13].

Έτσι, κάποια κράτη ορίζουν την κατανεμημένη παραγωγή με βάση το επίπεδο τάσης, ενώ άλλα βασίζονται στην αρχή, ότι η κατανεμημένη παραγωγή συνδέεται σε κυκλώματα από τα οποία τα φορτία εξυπηρετούνται άμεσα. Υπάρχουν και κράτη που ορίζουν την κατανεμημένη παραγωγή

στηριζόμενα σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά αυτής, για παράδειγμα, χρήση ανανεώσιμων, συμπαραγωγής, ή μη κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής, κ.λπ. [14].

Το Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineer Inc, IEEE), καθορίζει την κατανεμημένη παραγωγή, ως παραγωγή ηλεκτρισμού από εγκαταστάσεις, οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες από τα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διασύνδεσή τους σχεδόν σε κάθε σημείο του συστήματος ισχύος. Από άλλους ορίζεται η κατανεμημένη παραγωγή ως μικρή πηγή, ηλεκτρικής παραγωγής ενέργειας, ή αποθήκευσης, όπου τυπικά εκτείνεται από μερικά KW έως δεκάδες MW, που δεν είναι μέρος της μεγάλης κεντρικής πηγής ενέργειας, και εγκαθίσταται κοντά στο φορτίο. Επιπλέον, στον ορισμό αυτό περιλαμβάνουν και εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας, στοιχείο που δεν είναι ιδιαίτερα τυπικό στην βιβλιογραφία ενώ, αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι η πηγή ενέργειας που καθορίζουν, είναι σχετικά μικρής κλίμακας συγκρινόμενη με τους ορισμούς των CIRED και CIGRE.

Ίσως να ήταν σκόπιμο να εξεταστεί τι δεν είναι κατανεμημένη παραγωγή. Με βάση αυτό το σκεπτικό, σχετικά με τον ορισμό της Ομάδας εργασίας του Διεθνούς Συμβουλίου Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE), που παρουσιάστηκε νωρίτερα, φαίνεται ότι οι μονάδες κατανεμημένης παραγωγής δεν υφίστανται έλεγχο από το διαχειριστή του δικτύου μεταφοράς. Έτσι, μονάδες παραγωγής που κατασκευάζονται από τον διαχειριστή του δικτύου μεταφοράς ως υποκατάστατο της επέκτασης του δικτύου ισχύος και υπακούσουν σε μέτρα εφαρμογής για κατανομή φορτίου δεν θεωρούνται ότι κατατάσσονται στην κατανεμημένη παραγωγή.

Είναι σαφές λοιπόν, ότι υπάρχουν πολλοί ορισμοί για την κατανεμημένη παραγωγή, επιτρέποντας την υιοθέτηση ενός ευρύτερου φάσματος πιθανών σχημάτων παραγωγής. Κάποιοι ορισμοί επιτρέπουν τη σύνδεση μονάδων συμπαραγωγής μεγαλύτερης κλίμακας, ή μεγάλων αιολικών πάρκων στο δίκτυο μεταφοράς ισχύος, ενώ άλλοι εστιάζονται σε μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο διανομής ισχύος.

Από όλους αυτούς τους ορισμούς αφήνεται να εννοηθεί ότι τουλάχιστον οι μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο διανομής ισχύος πρέπει να θεωρούνται μέρος της κατανεμημένης παραγωγής (Κριτήριο 1). Επιπλέον, οι μονάδες παραγωγής που εγκαθίστανται κοντά στο φορτίο ή στην πλευρά του πελάτη - μετρητή μπορούν να αναγνωριστούν ως μονάδες κατανεμημένης παραγωγής (Κριτήριο 2). Το τελευταίο κριτήριο επικαλύπτει μερικώς το πρώτο, καθώς, οι περισσότερες μονάδες παραγωγής που είναι εγκατεστημένες στον μετρητή, είναι επίσης συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής. Εντούτοις, το τελευταίο κριτήριο μπορεί να συμπεριλάβει και μεγαλύτερες μονάδες, εγκατεστημένες στην πλευρά του πελάτη, αλλά συνδεδεμένες στο δίκτυο μεταφοράς ισχύος [14].

Τα παραπάνω οδηγούν στον ορισμό ότι η κατανεμημένη παραγωγή καθορίζεται με βάση τη φύση σύνδεσής της στο δίκτυο, παρά με την δυναμικότητα παραγωγής. Ορίζεται πηγή κατανεμημένης παραγωγής, η πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που συνδέεται απ' ευθείας στο δίκτυο διανομής ή στην πλευρά του μετρητή του πελάτη.

Ένα από τα προφανή κριτήρια, θα έπρεπε να είναι η δυναμικότητα της εγκατεστημένης μονάδας. Εντούτοις, η βιβλιογραφική έρευνα που έγινε, έδειξε ότι δεν υπάρχει συμφωνία στα επίπεδα μέγιστης δυναμικότητας παραγωγής. Για παράδειγμα, μονάδες παραγωγής ισχύος μεγαλύτερης από 100 - 150 MW δεν είναι εφικτό να συνδεθούν σε επίπεδα τάσης 110 KV, εξαιτίας τεχνικών περιορισμών [13]. Καθώς αυτή η τάση είναι στις περισσότερες των περιπτώσεων η μέγιστη που κατέχουν και διαχειρίζονται οι οργανισμοί διανομής, θα έλεγε κάποιος ότι η μέγιστη δυναμικότητα ενός κατανεμημένου σταθμού παραγωγής είναι τα 100 - 150 MW.

Στο Βερολίνο όμως, η τοπική εταιρία BEW AG κατασκεύασε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυσμένου κύκλου τουρμπίνας αερίου, στο κέντρο της πόλης. Ο σταθμός παράγει ηλεκτρισμό δυναμικότητας 300 MW και περιφερειακή θέρμανση δυναμικότητας 300 MW. Ο σταθμός συνδέεται σε διάφορες γραμμές του δικτύου διανομής, ισχύος 33 και 110 KV, που ανήκουν στην ίδια εταιρία.

Η ηλεκτρική ισχύς όπως και η θερμότητα, χρησιμοποιούνται κυρίως σε τοπικό επίπεδο. Κατ' επέκταση, ο σταθμός θα μπορούσε να χαρακτηριστεί κατανεμημένης παραγωγής, με βάση τον ορισμό που δίνουν οι Ackerman T. et al., παρόλο που η δυναμικότητά του φτάνει τα 300 MW. Με βάση, επίσης, το σκεπτικό αυτό, οι Ackerman T. et al., προτείνουν μια κατηγοριοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής σε σχέση με την δυναμικότητά της (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Κατηγοριοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής με βάση τη δυναμικότητα του σταθμού

| Κατηγορία | Ισχύς | |
|------------|-------|--------|
| | Από | Έως |
| Πολύ μικρή | 1 W | 5 kW |
| Μικρή | 5 kW | 5 MW |
| Μεσαία | 5 MW | 50 MW |
| Μεγάλη | 50 MW | 300 MW |

Είναι όμως φανερό, ότι η μέγιστη δυναμικότητα ενός σταθμού κατανεμημένης παραγωγής που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο διανομής είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του ίδιου του δικτύου διανομής. Εξαιτίας του ότι η δυναμικότητα ενός δικτύου διανομής μπορεί να ποικίλει ευρέως, δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθεί ως στοιχείο ορισμού για την κατανεμημένη παραγωγή [14]. Εντούτοις, η δυναμικότητα θα έπρεπε να αποτελεί κριτήριο ορισμού της κατανεμημένης παραγωγής.

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Συχνά, ο όρος κατανεμημένη παραγωγή χρησιμοποιείται για να περιγράψει παραγωγή με συγκεκριμένη τεχνολογία, όπως με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όμως είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε τεχνολογία για την υλοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής. Στον Πίνακα 4 παραθέτονται επιγραμματικά οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

Από τον Πίνακα 4, είναι φανερό ότι είναι δύσκολο να ενταχθεί στον ορισμό της κατανεμημένης ενέργειας η τεχνολογία που χρησιμοποιείται, διότι οι διαθέσιμες τεχνολογίες και η ισχύς που αποδίδει κάθε είδος από αυτές, ειδικά στον τομέα των ανανεώσιμων, διαφέρουν μεταξύ των κρατών. Εκτός όμως από τις τεχνολογίες που βασίζονται στις ανανεώσιμες, παρατηρείται ότι και οι δυναμικότητες των συμβατικών μονάδων παραγωγής ποικίλουν εξίσου. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι αεριοστρόβιλοι, όπου η ισχύς τους μπορεί να κυμαίνεται από μερικά KW έως και 500 MW. Από την άλλη, τίθεται σε αμφισβήτηση ακόμη και η ένταξη Α.Π.Ε. οποιασδήποτε μορφής και δυναμικότητας. Για παράδειγμα, μια τεράστια υδροηλεκτρική μονάδα που είναι εγκατεστημένη στα βουνά, θα μπορούσε να ενταχθεί στην κατανεμημένη παραγωγή [14].

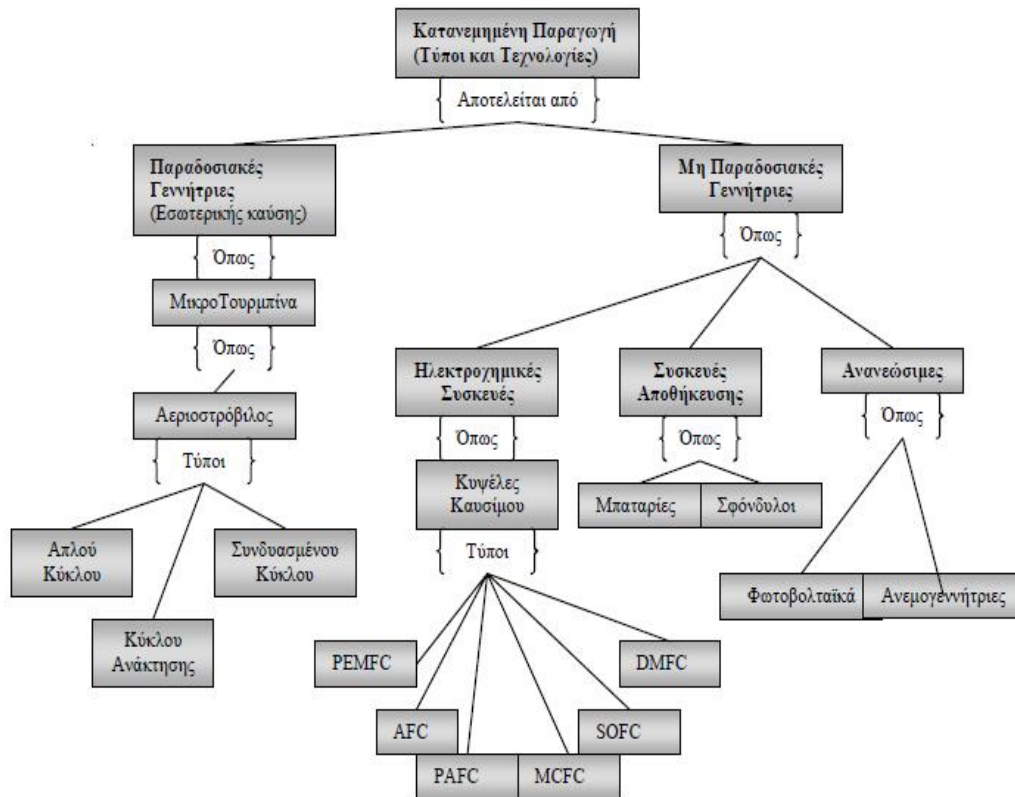
Πίνακας 4: Τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής

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

Οι τεχνολογίες της κατανεμημένης παραγωγής:

- Συμπαραγωγής
- Κυψελών καυσίμων
- Φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Αιολικής ενέργειας

καθώς οι τύποι αυτής φαίνονται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6: Τύποι και τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής [15]

2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Συχνά, οι τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής περιγράφονται ως περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τεχνολογίες ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εντούτοις, στον Πίνακα 5 φαίνεται ότι η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς, για κάθε τεχνολογία παραγωγής υπάρχουν έμμεσες και άμεσες εκπομπές ρύπων.

Οι έμμεσες εκπομπές είναι εκπομπές ρύπων κατά τη διαδικασία κατασκευής της μονάδας, αναζήτησης και μεταφοράς των πηγών ενέργειας. Ο Πίνακας 5 δείχνει, ότι οι εκπομπές ενός τυπικού σταθμού κατανεμημένης παραγωγής είναι σαφώς χαμηλότερες σε σχέση με αυτές των σταθμών που ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιούν κάρβουνο.

Επίσης, οι εκπομπές σε διοξείδιο του θείου και διοξείδιο του άνθρακα των μεγάλων υδροηλεκτρικών μονάδων και των αεριοστρόβιλων συνδυασμένου κύκλου είναι, επίσης, χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των σταθμών αυτών. Η τεχνολογία βιομάζας δεν συμπεριλήφθηκε στη λίστα διότι θεωρείται ουδέτερη καθώς, η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται κατά την καύση της ισούται με το ποσό του διοξειδίου του άνθρακα που απορροφάται κατά τη διαδικασία ανάπτυξής της. Η εκπομπή NO_x αναφέρεται ότι είναι 20-40% μικρότερη από τις μονάδες ορυκτών καυσίμων, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του θείου θεωρούνται αμελητέες.

Επιπρόσθετα, περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση των απωλειών στις γραμμές μεταφοράς ένεκα της σωστής χωροθέτησης των σταθμών κατανεμημένης παραγωγής σε σχέση με την τοποθεσία και τη δυναμικότητα, μπορεί να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο το περιβαλλοντικό ισοζύγιο της κατανεμημένης παραγωγής [14].

Πίνακας 5: Σύγκριση χρόνου απόσβεσης και εκπομπών διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών

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

Οι συστοιχίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι κυψέλες καυσίμου δεν έχουν άμεσες εκπομπές. Πέρα από τις εκπομπές κατά τη διαδικασία της κατασκευής, το μίγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται στις μπαταρίες, θα πρέπει να συμπεριληφθεί στις έμμεσες εκπομπές. Ομοίως, στην περίπτωση των κυψελών καυσίμου οι έμμεσες εκπομπές είναι συνάρτηση του μίγματος που απαιτείται για την παραγωγή του υδρογόνου, αφού αυτό δεν γίνεται να εξορυχτεί. Επιπλέον, κάποιοι πιστεύουν πως η μεγάλη διείσδυση και χρήση σταθμών καταναμημένης παραγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα την υπολειτουργία των μεγάλων κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι εκπομπές ανά παραγόμενη KWh [13]. Άλλα στοιχεία, τα οποία κάνουν δύσκολη την ενιαία περιβαλλοντική εκτίμηση, είναι οι διαφορετικές απόψεις που διατυπώνονται σε διάφορα σχετικά θέματα όπως για παράδειγμα, την επικινδυνότητα των πυρηνικών σταθμών, ή την υψηλή στάθμη θορύβου και την οπτική ρύπανση που μπορεί να προκαλεί μια ανεμογεννήτρια.

Γίνεται αντιληπτό ότι δεν μπορεί να περιγραφεί το σύνολο των τεχνολογιών καταναμημένης παραγωγής ως περιβαλλοντικά φιλικό. Εντούτοις, η χρήση καταναμημένων μονάδων παραγωγής που βασίζονται σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, θεωρείται ότι περιορίζει ή μειώνει τις εκπομπές ανεπιθύμητων αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζεται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου.

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

Η εκμετάλλευση του υψηλού της δυναμικού στη Ελλάδα, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνεται στις σύγχρονες αποδοτικές ανεμογεννήτριες, έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

3.2 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Η αξιοποίηση και η τιθάσευση του ανέμου απασχόλησε τον άνθρωπο για χιλιάδες χρόνια και ήταν ο ρυθμιστής για την ανάπτυξη και την εξέλιξη της ανθρωπότητας καθώς χρησιμοποιήθηκε τόσο στη ναυτιλία και την άρδευση όσο και στις αγροτικές καλλιέργειες. Η οικονομική και παραγωγική δραστηριότητα των αρχαίων χρόνων τονίζεται με την αναφορά στον διαχειριστή των ανέμων, τον Αίολο στην Ελληνική μυθολογία, παρόμοιες αναφορές υπάρχουν σε κάθε αρχαίο πολιτισμό.

Αρχικά, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων, για εμπορικές συναλλαγές, συγκοινωνία και εξερευνήσεις. Ιστορικές αναφορές δείχνουν πως και άλλοι λαοί εκτός των Ελλήνων, όπως οι Πέρσες, οι Αιγύπτιοι και οι Κινέζοι, χρησιμοποιούσαν αιολικές μηχανές. Οι κατασκευαστικές τεχνικές δείχνουν ότι χρησιμοποιούνταν ανεμόμυλοι με κάθετους άξονες προκειμένου να αξιοποιούν τις δυνατότητες του αέρα. Ανεμόμυλοι τέτοιας τεχνολογίας υπήρχαν κυρίως στις Αραβικές χώρες ενώ την ιδέα της τεχνολογίας αυτής τη μετέφεραν, αργότερα, στην Ευρώπη οι σταυροφόροι. Στην Ευρώπη όμως, στις αρχές του Μεσαίωνα, κυριάρχησαν οι ανεμόμυλοι οριζοντίου άξονα, με μια ελαφριά κλίση των πτερυγίων. Η χρήση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, στη Δυτική Ευρώπη ξεκίνησε κατά τον Μεσαίωνα από την Αγγλία και την Ολλανδία. Εκείνη την εποχή, ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν κυρίως για άντληση νερού και άλεσμα. Περισσότεροι από 200000 ανεμόμυλοι είχαν εγκατασταθεί στη Βόρεια Ευρώπη. Στις αρχές του 20ου αιώνα, στη Γερμανία χρησιμοποιούνταν ακόμα περίπου 20000 ανεμόμυλοι.

Από τον 19ο αιώνα και μετά, κυρίως στην Αμερική, διαδόθηκε ένας τύπος ανεμόμυλου γνωστός ως "Western Wheel", όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Οι κατασκευές αυτές είχαν πολλά πτερύγια, περίπου 20, ήταν φτιαγμένες από ατσάλι, και χρησιμοποιούνταν κυρίως για άρδευση. Τον 20ο αιώνα, ως τα τέλη της δεκαετίας του 1930, είχαν εγκατασταθεί περίπου 8 εκατομμύρια τέτοιες μονάδες.



Σχήμα 7: Ο ανεμόμυλος τύπου "Western Wheel" [16]

Η πρώτη απόπειρα να χρησιμοποιηθεί αιολική μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έγινε στα τέλη του 19ου αιώνα, με την ανεμογεννήτρια συνεχούς ρεύματος ισχύος 12 KW, η οποία κατασκευάστηκε από τον Brush στις Η.Π.Α.. Εντούτοις, για μια μεγάλη περίοδο του 20ου αιώνα υπήρχε ελάχιστο ενδιαφέρον για τη χρήση της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κάποιες αξιοσημείωτες εξαιρέσεις, ήταν η ανεμογεννήτρια των Αμερικανών Smith–Putnam, η οποία κατασκευάστηκε στις Η.Π.Α. το 1941 (Σχήμα 8). Η εντυπωσιακή για την εποχή της μηχανή είχε ατσάλινο ρότορα διαμέτρου 53 m και ονομαστική ισχύ 1250 KW. Επίσης, η ανεμογεννήτρια του Gedser στη Δανία το 1957, ονομαστικής ισχύος 200 KW, με ρότορα διαμέτρου 24 m και η ανεμογεννήτρια Hütter W34 το 1958, ονομαστικής ισχύος 100 KW, με ρότορα διαμέτρου 34 m .



Σχήμα 8: Η ανεμογεννήτρια Smith-Putnam [16]

Η ξαφνική αύξηση της τιμής του πετρελαίου στην δεκαετία του '70 υποκίνησε μια σειρά από κυβερνητικά χρηματοδοτούμενα προγράμματα για έρευνα και ανάπτυξη ανεμογεννητριών. Στις Η.Π.Α., αυτό οδήγησε στην κατασκευή μια σειράς πρωτοτύπων ανεμογεννητριών, ξεκινώντας το 1975 με το μοντέλο Mod-0 διαμέτρου 38 m ισχύος 100 KW και καταλήγοντας στο μοντέλο Mod-5B το 1987, με διάμετρο 97.5 m και ονομαστικής ισχύος 2.5 MW (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Το μοντέλο ανεμογεννήτριας Mod-5B [16]

Παρόμοιες προσπάθειες, έγιναν στη Σουηδία, τη Γερμανία και τη Βρετανία. Την εποχή εκείνη υπήρχε μεγάλη αβεβαιότητα ως προς το ποια κατασκευαστική αρχιτεκτονική θα αποδειχθεί οικονομικά αποδοτικότερη και έτσι διερευνήθηκαν διάφορες καινοτόμες ιδέες. Στον Καναδά κατασκευάστηκε η ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα Darrieus με ισχύ 4 MW (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Η ανεμογεννήτρια Darrieus [16]

Ανεξάρτητα με την εξέλιξη στον τομέα των "μεγάλων" ανεμογεννητριών, σε χώρες όπως οι Η.Π.Α., η Δανία, η Γερμανία, έγιναν ιδιαίτερες προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί η αιολική ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα. Στην Καλιφόρνια, τη δεκαετία του '80 εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες με συνολική ισχύ περίπου 1500 MW. Στα πρώτα στάδια εξέλιξης χρησιμοποιούσαν ανεμογεννήτριες της τάξης των 50 KW. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν ανεμογεννήτριες της τάξης των 100, 150, 250 και 500 KW. Η εξέλιξη αυτή έκανε δυνατή τη μαζική παραγωγή των ανεμογεννητριών. Γι' αυτό και μπορεί να παρατηρηθεί μια βελτίωση στον τομέα της αξιοπιστίας των συστημάτων αυτών.

Σταδιακά, η αύξηση του μεγέθους των ανεμογεννητριών οδήγησε σε μονάδες της τάξης των 500 – 1500 KW με πολλές δυνατότητες [17].

3.3 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΑΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αιολική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη γι' αυτό είναι και ανανεώσιμη. Δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους.

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι από τεχνικοοικονομικής άποψης η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα την πλέον συμφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι ήδη το κόστος της παραγόμενης αιολικής KWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής KWh, χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας, τόσο από δημόσιους όσο και από ιδιωτικούς φορείς, κυρίως στις πιο ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη. Από την άλλη πλευρά αντιπαρατίθεται το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν είναι προβλέψιμη ούτε και συνεχής, ενώ παράλληλα είναι μια μορφή ενέργειας χαμηλής πυκνότητας, γεγονός που υποχρεώνει σε μεγάλες κατασκευές, ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους.

Τέλος, αν και είναι ευρύτερα αποδεκτό ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια καθαρή και οικονομικά ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα για την Ελλάδα, προτού διατυπωθούν τελικά συμπεράσματα, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα βασικά θετικά και αρνητικά στοιχεία, που συνοδεύουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και την αξιοποίηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που σημαίνει ότι δεν εξαντλείται σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων.
- Αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια.
- Είναι εγχώρια πηγή ενέργειας και συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Έχει συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

- Μπορεί να αποτελέσει σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων.
- Οι επενδύσεις αιολικής ενέργειας είναι εντάσεως εργασίας αφού δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα που αποδίδονται στην αιολική ενέργεια είναι τα εξής:

- Η χαμηλή ροή αξιοποιήσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, W/m^2 , κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις "αραιές" μορφές ενέργειας. Τυπικές τιμές ροής της αξιοποιήσιμης αιολικής ισχύος κυμαίνονται μεταξύ $200 W/m^2$ και $400 W/m^2$. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων, για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας. Σήμερα, καταβάλλονται προσπάθειες αύξησης της συγκέντρωσης ισχύος των αιολικών μηχανών, οι οποίες σε επιλεγμένες περιπτώσεις πλησιάζουν ή και υπερβαίνουν τα $500 W/m^2$.
- Η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων δεν δίνει τη δυνατότητα να υπάρχει η απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που απαιτείται. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη χρήση των αιολικών μηχανών κυρίως ως εφεδρικές πηγές ενέργειας σε συνδυασμό πάντοτε με κάποια άλλη πηγή ενέργειας, π.χ. σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες Diesel κ.λπ.. Σε περιπτώσεις διασύνδεσης της αιολικής εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο η παραγόμενη ενέργεια δεν πληροί πάντοτε τις τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η τοποθέτηση αυτοματισμών ελέγχου, μηχανημάτων ρύθμισης τάσης και συχνότητας, καθώς και ελέγχου της άεργης ισχύος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, σήμερα, έχει δώσει λύσεις στα περισσότερα από τα αναφερόμενα προβλήματα, ιδιαίτερα με την κατασκευή ανεμογεννητριών μεταβλητού βήματος και μεταβλητών στροφών. Παρόλα αυτά, υπάρχει κάποιο αυξημένο κόστος για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της παραγόμενης ενέργειας, το οποίο προστίθεται στο συνολικό κόστος της παραγόμενης KWh.
- Ανοιχτό ζήτημα αποτελούν οι διαδικασίες ζεύξης-απόζευξης αιολικών μηχανών στο ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω των μεταβατικών φαινομένων που αυτές προκαλούν. Λόγω των τελευταίων προβλημάτων απαγορεύεται η διασύνδεση, πέραν ενός ορίου παραγόμενης ισχύος, αιολικών μηχανών σε μικρά τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα, τα οποία όμως αποτελούν και την πλειοψηφία των δικτύων του ελληνικού Αρχιπελάγους.
- Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να συγχρονιστεί η ζήτηση και η διαθέσιμη ενέργεια. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο αρχικό κόστος λόγω της προσθήκης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης, καθώς και αυξημένες υποχρεώσεις συντήρησης και εξασφάλισης της ομαλής λειτουργίας.
- Ένα ακόμα μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού. Στην πραγματικότητα αξιοποιείται μερικώς μόνο η κινητική ενέργεια, η οποία αντιστοιχεί σε ένα περιορισμένο φάσμα ταχύτητας του ανέμου.
- Πρέπει, επίσης, να ληφθεί υπόψη ότι από το σύνολο της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια, μόνο ένα περιορισμένο μέρος της μετατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια λόγω των αεροδυναμικών και των μηχανικών απωλειών και περιορισμών.

- Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί το σχετικά υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, ειδικά, μάλιστα, για μεμονωμένες περιπτώσεις αιολικών μηχανών μικρού μεγέθους. Στο σημείο αυτό πρέπει να προστεθεί ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει τα τελευταία χρόνια συμπίεσει σημαντικά τις τιμές των ανεμογεννητριών.

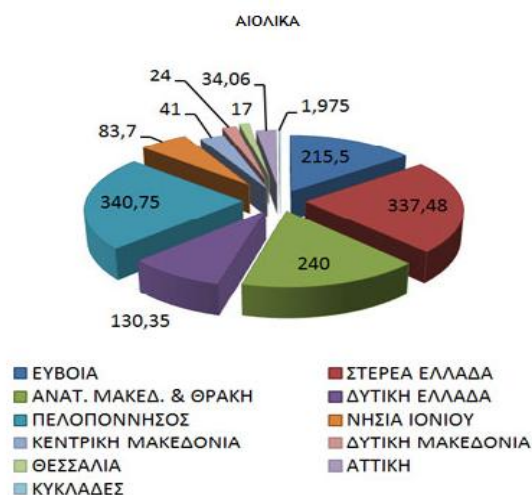
Ειδικά για την Ελλάδα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα ακόλουθα στοιχεία:

- Διαθέτει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό, κυρίως στα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου, και μάλιστα άριστης ποιότητας.
- Η περιορισμένη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο, με μικρή, μάλιστα, τη συμμετοχή της αιολικής ενέργειας, καθιστά προφανείς τις σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες σύστασης αιολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, σε μια αγορά με σημαντικό αριθμό αναξιοποίητων θέσεων εγκατάστασης.
- Η υψηλή σεισμικότητα της Ελλάδας εγκυμονεί κινδύνους για τις θερμοηλεκτρικές και κυρίως τις πυρηνικές εγκαταστάσεις, με αποτέλεσμα να θεωρείται προβληματική στο άμεσο μέλλον η κατασκευή πυρηνικών μονάδων. Προφανώς, με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα είναι δυνατή η δημιουργία υψηλής ασφάλειας συμβατικών μονάδων, με δυσανάλογη όμως αύξηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.
- Η δυνατότητα αξιοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων, που χρηματοδοτούνται εν μέρει από ελληνικούς και κοινοτικούς φορείς, δεδομένων των υψηλών επιχορηγήσεων και του συγκριτικά χαμηλού κόστους που συνοδεύουν παρόμοιες επενδύσεις σε τομείς αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, είναι δυνατή στην περίπτωση ίδρυσης αιολικών πάρκων η σταδιακή εγκατάσταση των μηχανών, με διαχρονική κατανομή του κόστους επένδυσης σύμφωνα με το σχεδιασμό του επενδυτή.
- Η έλλειψη ισχυρών οικονομικών συμφερόντων, που έχουν επενδύσει σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως για παράδειγμα η πυρηνική ενέργεια στη Γαλλία, το τυχόν κυβερνητικό ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Πράγματι, με την ενθάρρυνση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η πολιτεία έχει δείξει αυξημένο ενδιαφέρον για τη διεύθυνση της αιολικής ενέργειας στην εγχώρια ενεργειακή αγορά, με τη θέσπιση νομικού πλαισίου αλλά και τη χρηματοδότηση αντίστοιχων έργων, χωρίς βέβαια να αρθούν πλήρως οι αντιξοότητες που συνοδεύουν τη λειτουργία της κρατικής μηχανής και των αντίστοιχων γραφειοκρατικών μηχανισμών.
- Η δυνατότητα αποκεντρωμένης ανάπτυξης μέσα από αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την οικονομική δραστηριότητα των τοπικών κοινωνιών.

Με την έκθεση των ανωτέρω, πιστεύεται ότι τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, ειδικά στον Ελλαδικό χώρο, είναι ασυγκρίτως περισσότερα και σοβαρότερα από τα υπάρχοντα μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό, η στρατηγική απόφαση να αξιοποιηθεί το υπάρχον αιολικό δυναμικό, καθώς και να αναπτυχθούν κατασκευαστικές μονάδες ανεμογεννητριών, μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει σε οικονομικά βιώσιμες αλλά και ελκυστικές επενδύσεις, μη λαμβάνοντας υπόψη στους ισολογισμούς μας τα παράλληλα οφέλη, που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και την οικονομική ανεξαρτησία της χώρας μας [18].

3.5 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, οι προσπάθειες για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του '70 από τη ΔΕΗ με μετρήσεις του αιολικού δυναμικού και της ηλιοφάνειας των νησιών και της ηπειρωτικής χώρας και συνεχίστηκαν με έρευνες για την ανάπτυξη της γεωθερμίας. Τα πρώτα έργα Α.Π.Ε. παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1980, συγκεκριμένα το 1982 με την εγκατάσταση του πρώτου αιολικού πάρκου στην Κύθνο και στα μέσα της δεκαετίας του '90 δόθηκε η ουσιαστική ώθηση για την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. με τον Ν.2244/1994. Από τότε δεκάδες αιολικά πάρκα έχουν εγκατασταθεί σε περιοχές όπως: η Άνδρος, η Κρήτη, τα Δωδεκάνησα, το Μαρμάρι Ευβοίας, η Χίος, το Κάστρο Βοιωτίας κ.λπ.. Σήμερα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων ξεπερνάει τα 1000 MW (Σχήμα 11).



Σχήμα 11: Η γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος σε MW των μονάδων αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2012 [20]

Οι μελλοντικές προοπτικές για την ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα ευόιωνες, καθώς η κατασκευή ανεμογεννητριών αποτελεί αντικείμενο τεχνολογικά και οικονομικά προσιτό στη Μεταλλοβιομηχανία της Ελλάδας, χωρίς πρόσθετες επενδύσεις σε τεχνικό εξοπλισμό. Ταυτόχρονα, το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα πλούσιο, το καλύτερο στα πλαίσια της Ευρώπης αλλά κατέχει τη δέκατη θέση από πλευράς αξιοποίησής του. Οπότε, είναι αντιληπτά τα τεράστια περιθώρια αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, της οποίας η ορθή εκμετάλλευση θα συνεισφέρει ουσιαστικά στο ενεργειακό ισοζύγιο και στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας.

Οι πιο ευνοημένες, από πλευράς αιολικού δυναμικού, περιοχές στην Ελλάδα βρίσκονται στο Αιγαίο, κυρίως στην περιοχή των Κυκλάδων, της Κρήτης, στην Ανατολική και Νοτιοανατολική Πελοπόννησο, την Εύβοια και την Ανατολική Θράκη. Εκεί επικεντρώνονται οι προσπάθειες ανάπτυξης των αιολικών πάρκων. Όμως, το πρόβλημα των νησιών είναι η μη ύπαρξη διασύνδεσης με το εθνικό δίκτυο, ώστε να υπάρχει απορρόφηση της παραγόμενης ενέργειας κατά την εποχή χαμηλής ζήτησης αυτής, εκτός τουριστικής περιόδου. Πρέπει, επιπλέον, να αναφερθεί ότι σε πολλά ελληνικά νησιά, οι κάτοικοι αντιδρούν στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων φοβούμενοι μήπως οι ανεμογεννήτριες αλλοιώσουν την εικόνα του νησιού. Μελέτη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, (Ρ.Α.Ε.), για τη διασύνδεση των νησιών του Αιγαίου με την ηπειρωτική Ελλάδα έδειξε ένα κόστος 2-2.5 δις € με τη χρηματοδότηση να πραγματοποιείται από Υπηρεσίες Κοινής Ωφελείας, (Υ.Κ.Ω.), και τις Α.Π.Ε. αλλά απαιτούνται χρονοβόρες διαδικασίες. Η διασύνδεση των Κυκλάδων, Άνδρος, Μύκονος, Τήνος, Σύρος, Πάρος, Νάξος, Κύθνος, με την ηπειρωτική Ελλάδα, Εύβοια και Αττική, είχε ανατεθεί στη ΔΕΗ το 2006, με νέο σχεδιασμό, έχοντας λάβει τη γνωμοδότηση από την Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση, (Π.Π.Ε.Α.). Η ισχύς των σταθμών είναι

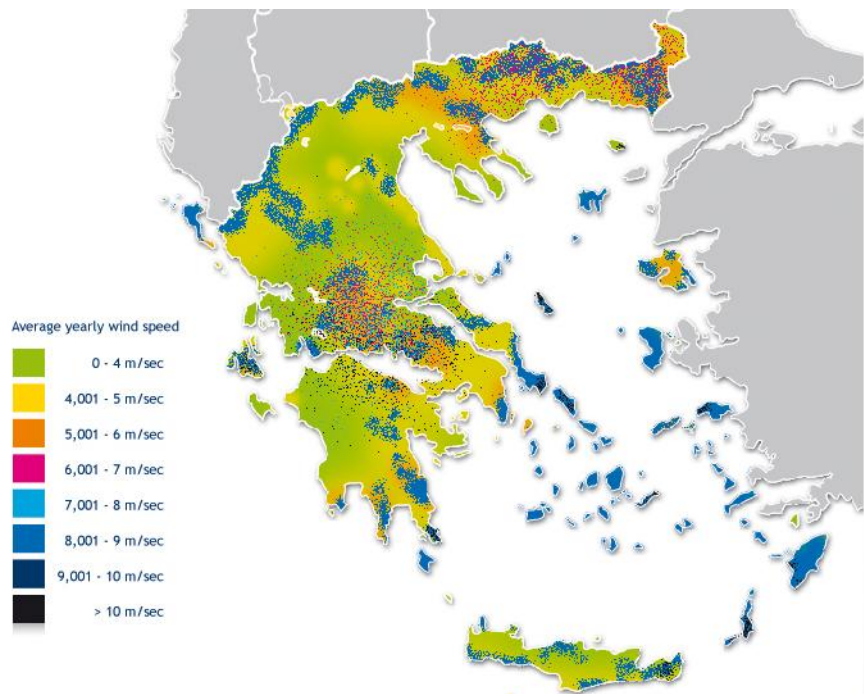
200-250 MW, υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης με τα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων και το κόστος ολοκλήρωσής ανέρχεται περίπου στα 400 εκατ. €.

Στην Ελλάδα δεν έχουν εγκατασταθεί ακόμη υπεράκτια αιολικά πάρκα αλλά πρόσφατα το ΥΠΕΚΑ επέλεξε 12 θαλάσσιες περιοχές οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες για εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Οι συγκεκριμένες περιοχές είναι ο Άγιος Ευστράτιος, η Αλεξανδρούπολη, η Κάρπαθος, η Κέρκυρα, η Θάσος, το Κρυονέρι, η Κύμη, η Λήμνος, η Λευκάδα, η Πεταλιού, η Σαμοθράκη και το Φανάρι Ροδόπης συνολικής ισχύος 1.2 GW. Συνεπώς, η αλλαγή του ενεργειακού τοπίου και του περιβάλλοντος στην Ελλάδα που μπορεί να φέρει η αιολική ενέργεια είναι ορατή, και μένει μόνο η σωστή αξιοποίησή της [20].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνεμος αποτελεί την πηγή ενέργειας που εκμεταλλεύονται οι ανεμογεννήτριες. Κύριο γνώρισμα του ανέμου είναι τα εντόνως στοχαστικά χαρακτηριστικά του. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου σε σύνθετη τοπογραφία (Σχήμα 12), με το ύψος και με το χρόνο. Τέλος, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της τύρβης του ανέμου [20].



Σχήμα 12: Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στον Ελλαδικό χώρο [21]

4.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ

Ένα μέγεθος το οποίο επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου είναι το υψόμετρο και απαιτείται διαφορετική διαδικασία υπολογισμού της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε περιοχές όπου το υψόμετρο μεταβάλλεται. Για τον υπολογισμό της, γίνεται αναγωγή της ταχύτητας του ανέμου στο υψόμετρο αναφοράς. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι κυριότεροι τρόποι μεταβολής και οι σχέσεις που εφαρμόζονται σε αντίστοιχες περιπτώσεις:

Λογαριθμική σχέση (log law): $\frac{V(z)}{V^*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$. για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε υψόμετρο z από το έδαφος,

όπου $V^* = \left(\frac{\tau}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}$ είναι η ταχύτητα τύρβης που εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα και

την επιφανειακή τάση Reynolds, τ είναι η διατμητική τάση στην επιφάνεια του εδάφους και ρ η πυκνότητα του αέρα

$k = 0.4$ είναι η σταθερά του Karman (σταθερά αναλογίας) και

z_0 είναι η παράμετρος τραχύτητας ή μήκος τραχύτητας.

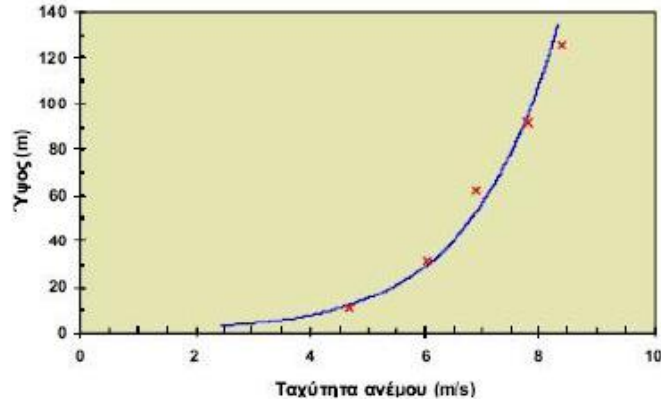
Εκθετική σχέση (power law): $\frac{V(z)}{V(z_1)} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^\alpha$, από την οποία υπολογίζεται η ταχύτητα του

ανέμου σε υψόμετρο z από το έδαφος συναρτήσει της παραμέτρου α , η οποία είναι ο δείκτης τραχύτητας εδάφους που παίρνει τιμές από 0.1 έως 0.4 (Πίνακας 6). Ο εκθετικός νόμος εφαρμόζεται σε μεγάλο πλήθος μετρήσεων και εμφανίζει καλή ακρίβεια σε περιπτώσεις, όπου η διαφορά ύψους είναι περισσότερο από 30-50 m. Η ακρίβεια όμως ελαττώνεται πολύ για μεγάλες διαφορές υψών.

Πίνακας 6: Τιμές παραμέτρου α για τον υπολογισμό μέσης ταχύτητας ανέμου

| Τάξη τραχύτητας εδάφους | Περιγραφή διαμόρφωσης εδάφους | Υψόμετρο αναφοράς z_g (m) | Εκθέτης διόρθωσης (α) |
|-------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | Ανοιχτή θάλασσα, έρημος | 250 | 0,11 |
| 2 | Υπαιθρος με θάμνους και αραιά δέντρα | 300 | 0,15 |
| 3 | Προαστιακές περιοχές, μικρές πόλεις, δάση | 400 | 0,25 |
| 4 | Κέντρα πόλεων, περιοχές με ψηλά κτίρια, πυκνοδομημένες βιομηχανικές περιοχές | 500 | 0,36 |

Η τραχύτητα του εδάφους επιδρά στη διάτμηση του ανέμου, καθορίζοντας το πόσο επιβραδύνεται ο άνεμος κοντά στο έδαφος. Σε περιοχές με υψηλό βαθμό τραχύτητας, όπως τα δάση ή οι πόλεις, οι ταχύτητες του ανέμου κοντά στην επιφάνεια τείνουν να είναι μικρές και η διάτμηση του ανέμου μεγάλη, ενώ το αντίστροφο ισχύει σε περιοχές με μικρή τραχύτητα, όπως είναι οι επίπεδοι, ανοικτοί αγροί. Η διάτμηση του ανέμου μπορεί να ελαττωθεί πολύ ή να εξαλειφθεί όπου υπάρχει μία απότομη αλλαγή στο ύψος του πεδίου, όπως μία απότομη ακρογιαλιά ή κορυφογραμμή. Στο Σχήμα 13, παρουσιάζεται μία πιθανή μορφή του οριακού στρώματος του ανέμου.



Σχήμα 13: Κατακόρυφο προφίλ ανέμου [22]

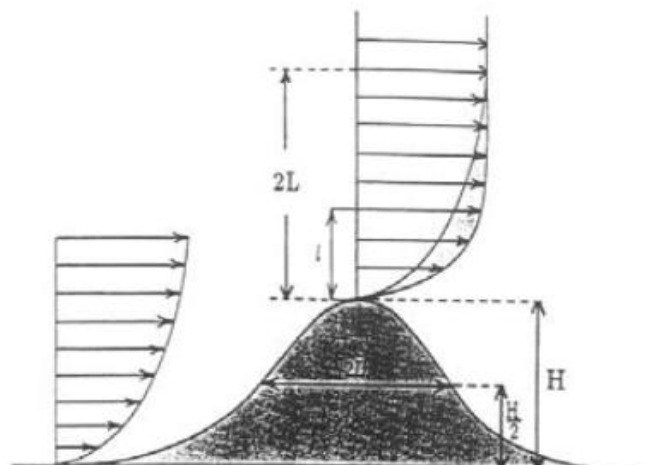
4.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ

Η ταχύτητα του ανέμου, σε μία σύνθετη τοπογραφία μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά μεταξύ κοντινών περιοχών. Ο θεωρητικός υπολογισμός των επιδράσεων της ανώμαλης τοπογραφίας στην ταχύτητα του ανέμου είναι ιδιαίτερα δύσκολος και γίνεται μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αποδεκτά για περιπτώσεις τοπογραφίας με μικρές κλίσεις, ενώ για απότομες κλίσεις δεν υπάρχει ακόμα αξιόπιστο μοντέλο.

Παρά τη δυσκολία που υπάρχει στον υπολογισμό του ανέμου σε ανώμαλη τοπογραφία, σε απλούστερες περιπτώσεις υπάρχουν εμπειρικοί κανόνες που μπορούν να εφαρμοστούν και να δώσουν ποιοτικές και ποσοτικές εκτιμήσεις. Σε μια λοφοσειρά, ο άνεμος που τη συναντάει, επιταχύνεται στην κορυφή και επιβραδύνεται στους πρόποδες. Έστω H το ύψος του λόφου και L το πλάτος του λόφου σε ύψος $H/2$. Υπάρχει ένα ύψος l πάνω από την κορυφή, όπου η σχετική επιτάχυνση ΔS γίνεται μέγιστη:

$$l = 0.3z_0 \left(\frac{L}{z_0} \right)^{0.67} \quad \text{και} \quad \Delta S_l = 2 \frac{l}{L}$$

όπου l το ύψος πάνω από την κορυφή του λόφου, ενώ z_0 το ύψος τραχύτητας που εξαρτάται από τη μορφή της επιφάνειας του εδάφους.



Σχήμα 14: Προφίλ ταχύτητας [22]

Το προφίλ της ταχύτητας (Σχήμα 14) αποτελείται από τρία μέρη. Ανάμεσα στο επίπεδο της γης και το ύψος l το προφίλ είναι λογαριθμικό, ανάμεσα στο ύψος l και $2L$ ένα διαφοροποιημένο λογαριθμικό προφίλ, ενώ από το ύψος $2L$ και πάνω το προφίλ του ανέμου παραμένει αμετάβλητο, $\Delta S=0$ (ίδιο με το προφίλ πριν από τον λόφο):

$$\Delta S = \begin{cases} 2 \frac{h}{L} & 0 \leq h \leq l \\ 2 \frac{h}{L} \ln\left(\frac{H}{2L}\right) & l \leq h \leq 2L \\ 0 & h \geq 2L \end{cases}$$

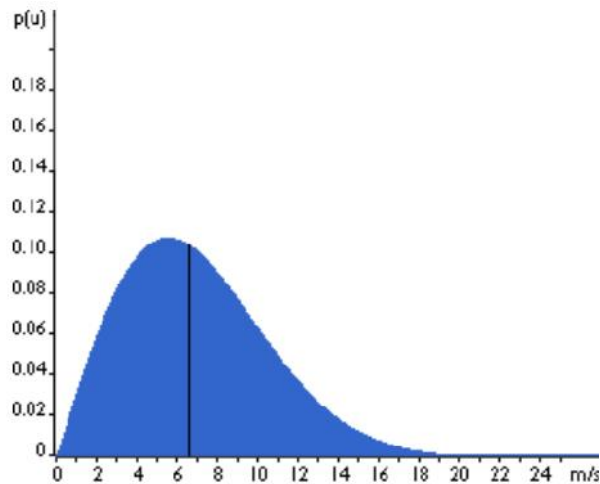
4.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ

Χαρακτηριστικό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, θεωρείται η μέση ταχύτητα του ανέμου. Όμως, η γνώση αυτής δεν αποτελεί από μόνη της κριτήριο για την εκτίμηση της αιολικής ενέργειας που μπορεί να προσφέρει μία περιοχή. Απαιτείται επιπλέον πληροφόρηση, σχετικά με τη συχνότητα της κάθε ταχύτητας ανέμου.

Η στατιστική κατανομή της ετήσιας ταχύτητας ανέμου μπορεί να προκύψει από ανεμολογικά δεδομένα μετρούμενα σε καθορισμένο ύψος. Κατά τη διαδικασία αυτή συνηθίζεται η χρήση μέσων τιμών δεκαλέπτων U_{10} , τα οποία αξιολογούνται σε διάστημα ενός έτους, ώστε να προκύψει η ετήσια μέση ταχύτητα του ανέμου και η ετήσια σχετική κατανομή του. Συγκεκριμένα, η U_{10} αποτελεί την κύρια μεταβλητή με την οποία περιγράφεται η μεταβολή του ανέμου με το χρόνο, σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς και Αμερικάνικους κανονισμούς. Έχει ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 0.02, γεγονός που ισοδυναμεί με μια μέση περίοδο επαναφοράς 50 ετών, ανεξάρτητα από τη διεύθυνση του ανέμου, σε ύψος 10 m πάνω από επίπεδη ανοιχτή περιοχή εδάφους και λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του υψομέτρου (εάν απαιτείται).

Ωστόσο, για να προκύψουν αξιόπιστα στατιστικά αποτελέσματα, χρειάζονται δεδομένα τουλάχιστον μερικών ετών, μέχρι δέκα, σύμφωνα με τη μετεωρολογική επιστήμη. Η στατιστική κατανομή της συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου συνηθίζεται να μετράται ως συνάρτηση πυκνότητας - πιθανότητας.

Εξαιτίας των ελλιπών ιστορικών δεδομένων για την ταχύτητα ανέμου στις περισσότερες περιοχές, χρησιμοποιείται η μαθηματική συνάρτηση Weibull, (Σχήμα 15), για να χαρακτηρίσει το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, η οποία προσεγγίζει σε πολύ καλό βαθμό την κατανομή του ανέμου. Η κατανομή Weibull $P(v)dv$ εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος στην περιοχή ταχύτητας μεταξύ $v+dv/2$ και $v-dv/2$. Κάθε κατανομή έχει μία συγκεκριμένη παράμετρο σχήματος k , όπου $1 < k < 3$ και μία παράμετρο μεγέθυνσης c , η οποία είναι συνάρτηση του ύψους και της περιοχής.



Σχήμα 15: Η κατανομή Weibull [22]

Στην Ελλάδα, συνήθως, λαμβάνονται τιμές μεταξύ 1.5 και 2.0. Συχνά, όταν είναι γνωστή μόνο η μέση ταχύτητα του ανέμου κι επειδή είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της παραμέτρου σχήματος, λαμβάνεται η τιμή $k=2$ και τότε η κατανομή Weibull ονομάζεται κατανομή Rayleigh.

Η μαθηματική έκφραση της κατανομής Weibull είναι: $P(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k}$.

Οι παράμετροι k και c της κατανομής Weibull υπολογίζονται προσεγγιστικά από τις σχέσεις:

$$c = \frac{2\bar{u}}{\sqrt{\pi}} \text{ και } k = \frac{\sqrt{\pi} 3c^3}{2\bar{U}^3}.$$

Για να σχεδιαστεί μία καμπύλη Weibull θα πρέπει να βρεθεί η πιθανότητα για κάθε ταχύτητα από 0 m/s μέχρι 24 m/s, χωρίζοντας τις ταχύτητες σε κλάσεις εύρους 1 m/s. Όταν μετρηθούν όλες οι ταχύτητες σε μία συγκεκριμένη περιοχή για ένα χρόνο, τότε μπορεί να παρατηρηθεί στις περισσότερες περιπτώσεις ότι πολύ ισχυροί άνεμοι είναι σπανιότερο να εμφανιστούν από ότι οι μέτριοι ή ασθενείς άνεμοι, όπως, επίσης, είναι σπάνιο να επικρατεί πλήρης άπνοια. Έτσι λοιπόν, η πιθανότητα να επικρατούν άνεμοι μηδενικής έντασης είναι πολύ κοντά στο μηδέν όπως, επίσης, η πιθανότητα να επικρατούν άνεμοι πολύ ισχυροί είναι επίσης πολύ μικρή [22].

Η μορφή της κατανομής, διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το ανάγλυφο του εδάφους και άλλους γεωγραφικούς παράγοντες.

4.5 ΤΥΡΒΗ ΑΝΕΜΟΥ

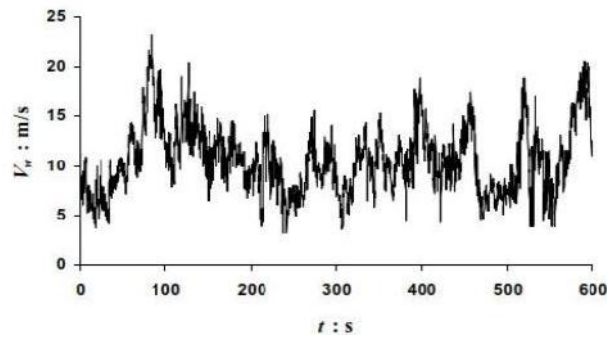
Οι στιγμιαίες τιμές του ανέμου, από τις οποίες προκύπτει η μέση τιμή, U_{10} που αναφέρθηκε παραπάνω, θεωρούνται ως το άθροισμα της μέσης τιμής συν την απόκλιση τους από αυτή τη μέση τιμή, τη λεγόμενη τυρβώδη συνιστώσα (Σχήμα 16). Η τύρβη, λοιπόν αποτελεί τη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τη μέση τιμή της. Είναι έντονη σε περιπτώσεις ξαφνικών ριπών ανέμου και ακραίων καιρικών φαινομένων. Εξαρτάται, κατά κύριο λόγο από τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου, από το μήκος τραχύτητας μιας περιοχής, την ατμοσφαιρική σταθερότητα αλλά και τα επιμέρους τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Έτσι, ισχύει: $V_w = \overline{V_w} + v(t)$,

όπου V_w : η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου,

$\overline{V_w}$: η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου και

$v(t)$: η στιγμιαία τύρβη



Σχήμα 16: Χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου [22]

Γίνεται αντιληπτό ότι παρόλο που θεωρείται ένα χρονικό διάστημα 10 λεπτών κατά το οποίο όλες οι παράμετροι που καθορίζουν το πεδίο του ανέμου θεωρούνται σταθερές, στην πραγματικότητα το πεδίο του ανέμου χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα ως προς το μέτρο της ταχύτητας αλλά και τη διεύθυνση του ανέμου. Για το λόγο αυτό, πολλές φορές χρησιμοποιούνται χρονοσειρές της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου, οι οποίες αποδίδουν, σαφώς, με περισσότερη ακρίβεια την πραγματική φύση του πεδίου. Ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί μαθηματικά η τύρβη, λέγεται ένταση ή διασπορά τύρβης κι εξαρτάται από τη μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου κι από τη διασπορά αυτής, ενώ παίρνει τιμές 5-20%. Για το σχεδιασμό των ανεμογεννητριών οι συνήθεις τιμές που λαμβάνονται είναι 16-18%.

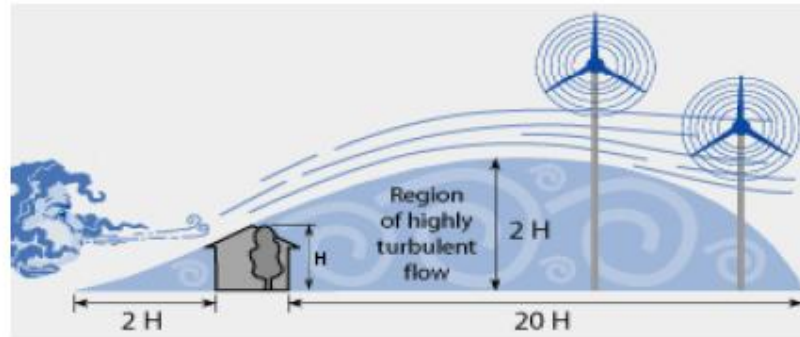
Η ένταση της τύρβης υπολογίζεται από τη σχέση: $I = \frac{\sigma_v}{v_w} = \frac{1}{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}$

όπου σ_v : η διασπορά της ταχύτητας του ανέμου από τη μέση τιμή στο διάστημα που υπολογίζεται η μέση τιμή και δίνεται από τη σχέση: $\sigma_v = \frac{\overline{v_w}}{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}$

και H : το ύψος μέτρησης της ταχύτητας ανέμου.

Πρακτικά, η τύρβη επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους αλλά και την παρουσία εμποδίων (Σχήμα 17). Ως εμπόδιο, μπορεί να θεωρηθεί οτιδήποτε έχει σημαντικό ύψος σε σχέση με

το ύψος μέτρησης του ανέμου, άρα και της τυρβώδους συνιστώσας του. Το ίχνος του ανέμου (wake), που δημιουργείται όταν ο άνεμος διαπερνά αυτά τα εμπόδια, παρουσιάζεται εξασθενημένο και αναταραγμένο, προκαλώντας ένα ρεύμα ανέμου που μόνο αρνητικές συνέπειες έχει για την παραγωγή μιας ανεμογεννήτριας αλλά και για την αντοχή της.



Σχήμα 17: Μέγεθος τυρβώδους ανέμου μετά από πρόσκρουση σε εμπόδιο [22]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

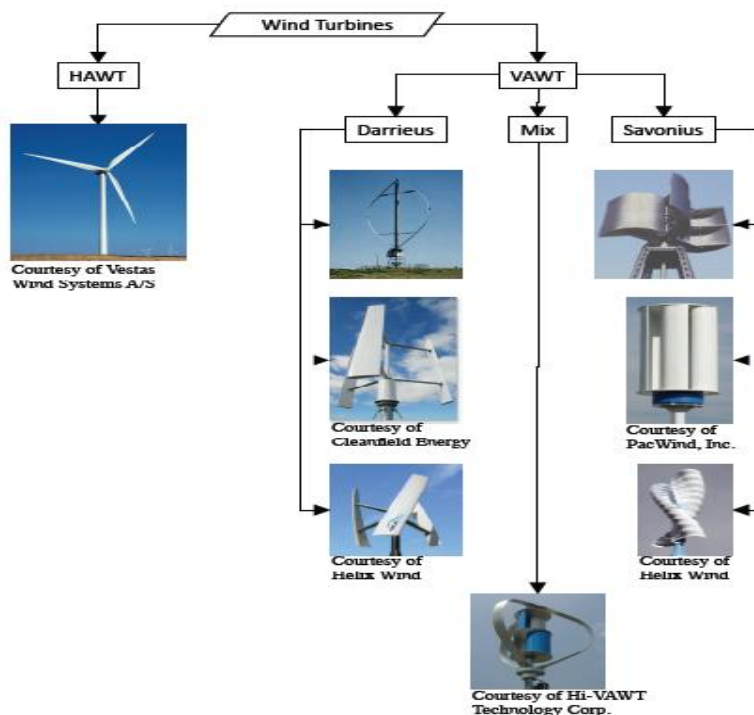
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επί τόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού.

5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό των πτερών τους και τον τύπο του άξονα που χρησιμοποιούν. Με βάση το πρώτο κριτήριο χωρίζονται σε τρίπτερες και δίπτερες Α/Γ ενώ με βάση το δεύτερο διακρίνονται σε Α/Γ οριζόντιου και κάθετου άξονα (Σχήμα 18).



Σχήμα 18: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κάθετου άξονα [23]

Οι Α/Γ οριζόντιου άξονα (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbines) περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα οριζόντιο ως προς το επίπεδο του εδάφους. Είναι φανερό ότι κάθε στιγμή πρέπει να προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση του ανέμου. Η περιστροφή των στροφείων τους επιτυγχάνεται χάρη κυρίως στις δυνάμεις άνωσης που επενεργούν στα πτερύγιά τους, προκαλώντας με την σειρά τους ανάπτυξη ροπής στον άξονα.

Οι Α/Γ κάθετου άξονα (VAWT - Vertical Axis Wind Turbines) περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα, ο οποίος είναι κάθετος ως προς το επίπεδο του εδάφους. Οι Α/Γ κάθετου άξονα, από τον τρόπο της κατασκευής τους, "πιάνουν" τον αέρα από κάθε κατεύθυνση. Χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου ανεξαρτήτως της διεύθυνσής του. Οι πλέον γνωστοί τύποι Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι οι τύπου "Darrieus" και οι τύπου "Savonius" [17].

Ανάλογα με την εφαρμογή τους, οι Α/Γ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτόνομα Συστήματα, που περιλαμβάνουν Α/Γ μη συνδεδεμένες με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρισμού. Είναι ιδανικές για εξοχικές κατοικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται συσσωρευτές, μπαταρίες, για την αποθήκευση της ενέργειας καθώς και εγκατάσταση μετατροπέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις, αντλιοστάσια και στην ιστιοπλοΐα.
- Διασυνδεδεμένα Συστήματα, που περιλαμβάνουν Α/Γ συνδεδεμένες με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρισμού. Στην εφαρμογή αυτή, η παραγόμενη ενέργεια πωλείται στο δίκτυο. Δεν χρειάζεται η αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες, απαιτείται όμως η εγκατάσταση μετατροπέα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε οικιακές Α/Γ, αγροκτήματα και ελεύθερους χώρους και σε εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Ακόμη, σύμφωνα με το Νόμο 3851.2010, οι Α/Γ με βάση την ισχύ τους κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες:

- ≤ 20 KW
- $>20-50$ KW
- $>50-100$ KW

Ενημερωτικά, στην Αγγλία, η κατηγοριοποίηση των Α/Γ με βάση την ισχύς τους είναι η εξής:

- Micro wind: ≤ 1.5 KW
- Small wind: $> 1.5-15$ KW
- Small-medium wind: $> 15-100$ KW

Επιπλέον, οι Α/Γ κατηγοριοποιούνται με κριτήριο τις διαστάσεις τους. Οι πιο συνηθισμένες παράμετροι για την κατηγοριοποίηση των μικρών Α/Γ είναι:

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

Η κατηγοριοποίηση αυτή των μικρών Α/Γ προκύπτει από το πρότυπο IEC 61400-2 βάσει της επιφάνειας σάρωσης. Πιο συγκεκριμένα, ισχύει ο ακόλουθος Πίνακας 7 [19].

Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση Α/Γ κατά το πρότυπο IEC 61400-2

| | Μicro | Πολύ Μικρές | Μικρές |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Επιφάνεια σάρωσης | $A \leq 3,5m^2$ | $3,5m^2 < A \leq 40m^2$ | $40m^2 < A \leq 200m^2$ |
| Διάμετρος Στροφείου | $D \leq 2,1m$ | $2,1m < D \leq 7m$ | $7m < D \leq 16m$ |
| Ονομαστική Ισχύς | $P \leq 1kW$ | $1kW < P \leq 10kW$ | $10kW < P \leq 75kW$ |

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι λειτουργίας των συστημάτων μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική [23]:

- Η μέθοδος λειτουργίας σταθερής ταχύτητας (fixed speed), που σημαίνει ότι ο δρομέας της Α/Γ στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών ανεξάρτητα της ταχύτητας του ανέμου. Τα συστήματα σταθερών στροφών - σταθερής συχνότητας είναι συστήματα που βασίζονται στην υλοποίηση συστημάτων ελέγχου μεθόδου "stall", απώλειας αεροδυναμικής στήριξης, εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων, είτε συστημάτων ελέγχου μεθόδου "pitch", έλεγχος μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων.
- Η μέθοδος λειτουργίας μεταβλητής ταχύτητας, όπου η ταχύτητα του δρομέα της Α/Γ μεταβάλλεται κατά ελεγχόμενο τρόπο, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της μηχανής, καθώς αυξάνεται το ποσοστό εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου, κυρίως κατά τις χαμηλές ταχύτητες ανέμου σε σχέση με την λειτουργία σταθερής ταχύτητας.

5.2.1 ANEMOGENNHTPIA DARRIEUS

Η Α/Γ Darrieus πήρε το όνομά της από τον Γάλλο αεροναυπηγό Georges Jean Darrieus, ο οποίος κατοχύρωσε την ευρεσιτεχνία του το 1931, στο αμερικανικό γραφείο ευρεσιτεχνιών. Η πατέντα του Darrieus, αφορούσε μία Α/Γ κατακόρυφου άξονα, στις άκρες του οποίου στηρίζονται καμπυλωμένα πτερύγια τύπου αεροτομής. Η διάταξή τους θύμιζε το προφίλ αυγού και για τον λόγο αυτό, ο συγκεκριμένος τύπος ονομάζεται πολλές φορές και αυγοειδής (egg type). Η συγκεκριμένη διάταξη των πτερυγίων, επιτύγχανε την προστασία της κατασκευής από την κάμψη των πτερυγίων λόγω των αναπτυσσόμενων φυγόκεντρων δυνάμεων. Ένας άλλος τύπος ανεμογεννήτριας, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία Darrieus, είναι ο τύπος Η ή αλλιώς γνωστός ως Giromill, όπου τα πτερύγια του είναι παράλληλα με τον άξονα, περιφερειακά του δρομέα.

Οι δύο αυτοί τύποι Α/Γ κάνουν χρήση ενός συνδυασμού οπισθελκουσών δυνάμεων και δυνάμεων άνωσης, με τις τελευταίες να υπερσχύουν έναντι των πρώτων. Ο συνδυασμός αυτός, προκύπτει από την μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης του αέρα ως προς τα πτερύγια, καθώς περιστρέφεται ο δρομέας. Το γεγονός αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα μία ανεπιθύμητη περιοδική αυξομείωση της αναπτυσσόμενης ροπής στον άξονά της και, τελικά, την κακή συνεργασία με την ηλεκτρική γεννήτρια. Αυτό κάνει τις Α/Γ τύπου Darrieus να μειονεκτούν έναντι των Α/Γ οριζόντιου άξονα, καθώς οι τελευταίες διατηρούν σταθερή την γωνία πρόσπτωσης, για όσο διάστημα, τουλάχιστον, δεν μεταβάλλεται η διεύθυνση του αέρα, επιτρέποντας την ανάπτυξη υψηλότερων ταχυτήτων των στροφείων τους. Επίσης, οι Α/Γ τύπου Darrieus έχουν μικρή ροπή εκκίνησης. Ο αεροδυναμικός σχεδιασμός των πτερυγίων τους επιτρέπει την ανάπτυξη σχετικά μεγάλων ταχυτήτων αφού ξεπεραστεί το "εμπόδιο" της αρχικής ροπής αδράνειας.

Ο σχετικά υψηλός βαθμός απόδοσής τους, έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον πολλών κατασκευαστριών εταιρειών για την παραγωγή μοντέλων μικρής ισχύος, ιδανικών για την τοποθέτησή τους εντός κατοικημένων περιοχών και όχι μόνο [24].

Η μεγαλύτερη Α/Γ Darrieus, που έχει κατασκευαστεί φαίνεται στο Σχήμα 19. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση βρίσκεται στο Quebec του Καναδά, το ύψος της οποίας ανέρχεται στα 64 m και έχει ονομαστική ισχύ 2 MW σε ταχύτητα ανέμου 15 m/s.

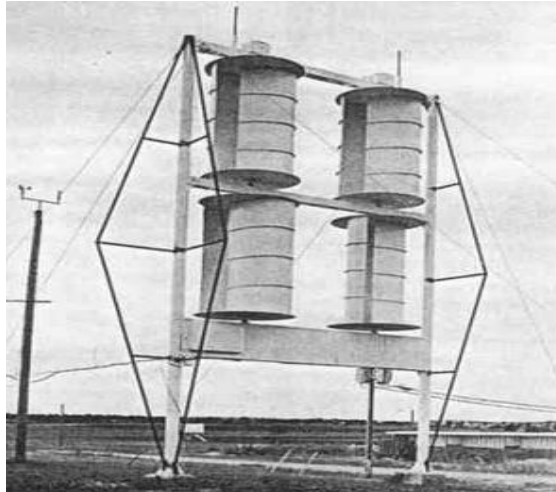


Σχήμα 19: Ανεμογεννήτρια Darrieus ισχύος 2MW [24]

5.2.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ SAVONIUS

Η Α/Γ κάθετου άξονα τύπου Savonius, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1992 από τον Φιλανδό μηχανικό Sigurd Johannes Savonius. Είναι η Α/Γ με τη χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με τις άλλες αλλά το γεγονός ότι παρουσιάζει μεγάλη ροπή εκκίνησης, την κάνει ιδιαίτερα αξιόπιστη.

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του τύπου των Α/Γ, είναι ότι εάν παρατηρηθεί από πάνω, τα πτερύγιά της σχηματίζουν ένα S (Σχήμα 20). Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στο γεγονός ότι κατά την πρόσπτωση του ανέμου στο στροφείο της, το κοίλο πτερύγιο αναπτύσσει μεγαλύτερη αεροδυναμική αντίσταση, οπισθέλκουσα δύναμη, απ' ότι το κυρτό. Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο δυνάμεων, σε συνδυασμό με την "επιστροφή" μέρους του αέρα μέσω του διακένου στην πίσω επιφάνεια του κυρτού πτερυγίου, είναι ικανή να προκαλέσει την ροπή στον άξονα και τελικά την περιστροφή της Α/Γ. Η Α/Γ τύπου Savonius χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα της μεγάλης ροπής που αναπτύσσει κατά την εκκίνηση, σε βάρος όμως της μικρής τιμής του λόγου των ταχυτήτων ανέμου – δρομέα [25].

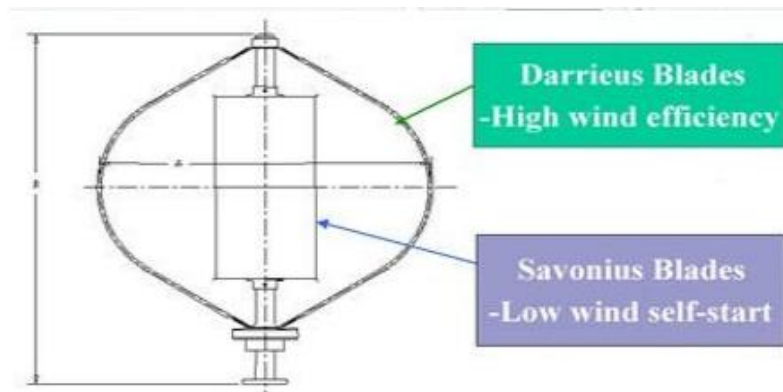


Σχήμα 20: Ανεμογεννήτρια Savonius [26]

5.2.3 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ DARRIEUS - SAVONIUS

Το υβριδικό μοντέλο Α/Γ κάθετου άξονα, αποτελείται από δύο τύπους Α/Γ σε έναν κοινό άξονα. Ο σχεδιασμός αυτός εκμεταλλεύεται τα καλά χαρακτηριστικά και των δύο τύπων ανεμογεννητριών. Το υβριδικό μοντέλο κάθετου άξονα ανεμογεννήτριας έχει πολύ καλύτερη αυτό-εκκίνηση και καλύτερη απόδοση μετατροπής σε υψηλότερες ταχύτητες ροής (Σχήμα 21).

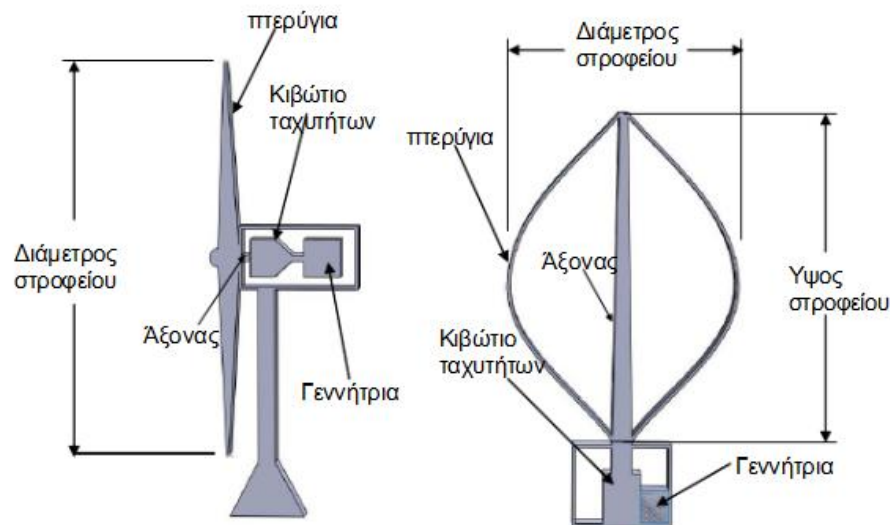
Το πλεονέκτημα της μεγάλης ροπής εκκίνησης που παρουσιάζει η Α/Γ Savonius, εκμεταλλεύονται οι εταιρείες, η οποία πραγματοποιούν μία κατασκευή που συνδυάζει στον ίδιο άξονα Α/Γ Savonius και Darrieus. Ο συνδυασμός αυτός κάνει την Α/Γ ικανή να παράγει ωφέλιμη ισχύ από πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Η απόδοση του συγκεκριμένου μοντέλου αγγίζει το 25%, που σημαίνει ότι η Savonius μπορεί να μειώσει την απόδοση του Darrieus σε υψηλές ταχύτητες αέρα καθώς η τελευταία σημειώνει μόνη της απόδοση ανώτερη του 30%.



Σχήμα 21: Υβριδική ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus-Savonius [27]

5.3 ΜΕΡΗ, ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΕΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Μια τυπική Α/Γ αποτελείται από το δρομέα ή στροφείο, την ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα προσανατολισμού, το σύστημα ελέγχου και τον πύργο (Σχήμα 22) [25]. Αναλυτικότερα, ο δρομέας αποτελείται από (α) δύο ή τρία πτερύγια και (β) το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Το σύστημα αυτό απαρτίζεται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών. Ρόλος του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών είναι η προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ηλεκτρική γεννήτρια συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου, στην περίπτωση οριζόντιου άξονα. Το σύστημα ελέγχου που αποτελείται από τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της Α/Γ, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της. Τέλος, ο πύργος στηρίζει όλη την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση.



Σχήμα 22: Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας [9]

Η απόδοση μιας Α/Γ εξαρτάται από το μέγεθός της και από την ταχύτητα του ανέμου. Συγκεκριμένα, η διάμετρος αυξάνεται ανάλογα με την ονομαστική ισχύ και κατά συνέπεια αυξάνεται και το ύψος του ιστού που θα τοποθετηθεί. Το ύψος του ιστού καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως εμπόδια περιβάλλοντος χώρου, το είδος της βάσης καθώς και από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Η επιλογή της εγκαταστημένης ισχύς μιας Α/Γ εξαρτάται από τις ενεργειακές απαιτήσεις που καλείται να καλύψει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watts. Για παράδειγμα, οι τυπικές διαστάσεις μιας μικρής Α/Γ 2 KW είναι (α) διάμετρος δρομέα ίσο με 4 m και (β) ύψος ίσο με 9 m, ενώ μιας μεγάλης Α/Γ των 3 MW οι αντίστοιχες διαστάσεις είναι 80 m και 80–100 m [28].

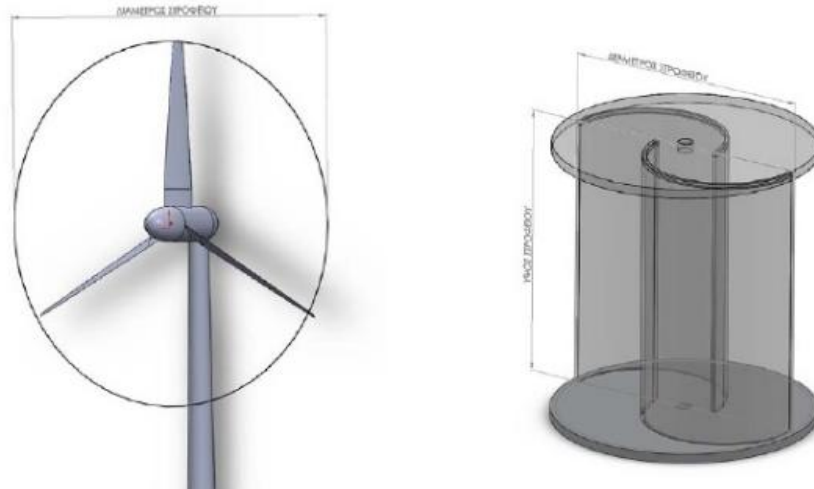
5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Τα βασικά μηχανικά μεγέθη των Α/Γ είναι τα παρακάτω:

- Η ονομαστική ισχύς (Rated Power).

- Ο βαθμός απόδοσης, C_p .
- Η ετήσια ικανότητα σε KWh/year (Capacity).
- Διάμετρος στροφέα – Άνοιγμα πτερυγίων, D .
- Ύψος στροφείου H (για τις κάθετες Α/Γ).
- Η ταχύτητα του ανέμου όπου επιτυγχάνεται η ονομαστική ισχύς (Rated Speed).
- Η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου ώστε να εξαχθεί ισχύς (Cut in Speed).
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ανέμου (Cut off Speed).
- Ο αριθμός των πτερυγίων, z .

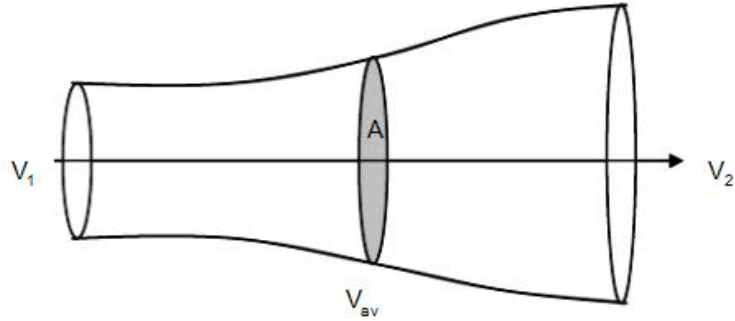
Η ονομαστική ισχύς αναφέρεται στην ηλεκτρική ισχύ, η οποία εξάγεται από την γεννήτρια και, συνεπώς, συμπεριλαμβάνει και το βαθμό απόδοσης αυτής. Εκτός από το ότι αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις διαστάσεις του στροφείου της και πιο συγκεκριμένα από την επιφάνεια πάνω στην οποία προσπίπτει ο αέρας, ώστε να παράξει μηχανικό έργο. Έτσι, σε μία Α/Γ οριζώντιου άξονα, η προσπίπτουσα επιφάνεια προκύπτει από την κυκλική διατομή ανοίγματος των πτερυγίων της, ενώ σε κατακόρυφου από το άνοιγμα των πτερυγίων, δηλαδή το γινόμενο της διαμέτρου του στροφείου επί το ύψος τους (Σχήμα 23) [29].



Σχήμα 23: Προσπίπτουσα επιφάνεια ανέμου σε ανεμογεννήτρια οριζόντιου και κάθετου άξονα [9]

5.4.1 ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η εξαχθείσα ισχύς μιας Α/Γ, προκύπτει από τη διαφορά της κινητικής ενέργειας του ανέμου που παρατηρείται πριν και μετά το στροφείο της (Σχήμα 24) [23]. Είναι προφανές, ότι εάν η ταχύτητα του ανέμου V_2 μετά την Α/Γ μηδενιστεί, τότε θα πάψει να υπάρχει ροή διαμέσου των πτερυγίων. Αντίθετα, εάν η διαφορά των ταχυτήτων είναι πολύ μικρή, τότε η εξαχθείσα ισχύς θα είναι εξίσου μικρή. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό, ότι πρέπει να υπάρχει μία ιδανική αναλογία μεταξύ των δύο ταχυτήτων, ώστε να παραχθεί η μέγιστη ισχύς.



Σχήμα 24: Σηματική παράσταση ροής αέρα μέσω δίσκου επιφάνειας A [30]

Η ισχύς που παράγει μια A/Γ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{κιν} = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2)$$

όπου V_1 : η ταχύτητα του αέρα πριν το στροφέιο

V_2 : η ταχύτητα του αέρα μετά το στροφέιο

$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V_{av}$: η παροχή μάζας

ρ : η πυκνότητα του αέρα

A: η διατομή του στροφείου και

$V_{av} = \frac{V_1 + V_2}{2}$: η μέση ταχύτητα του αέρα

Συνεπώς, η εξαχθείσα ισχύς είναι ίση με:

$$P_{κιν} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^3 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right]$$

Για να υπολογιστεί η ιδανική αναλογία των δύο ταχυτήτων ώστε να μπορέσει να παραχθεί η μέγιστη θεωρητική ισχύς πρέπει να ισχύει:

$$\frac{d^2 P_{κιν}}{dV_2^2} = 0 \Leftrightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3} \quad \Rightarrow \quad P_{κιν} = 0.5925 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3$$

Ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης C_p μιας A/Γ είναι γνωστός και με τον όρο "το όριο του Betz" (Betz limit) και σημαίνει ότι θεωρητικά μια μηχανή μπορεί να εκμεταλλευθεί μόνο το 59.25% της ισχύος του ανέμου που προσπίπτει στην επιφάνειά της. Αυτό βέβαια, δεν γίνεται εφικτό καθώς υπάρχουν μηχανικές απώλειες και άλλοι παράγοντες, όπως ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας, που δαπανούν ένα μέρος της ωφέλιμης ισχύος.

Επομένως, η ισχύς κάθε A/Γ υπακούει στη σχέση:

$$P_{A/\Gamma} = C_{preal} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

όπου $C_{preal} < 0.5925$: ο πραγματικός βαθμός απόδοσης της A/Γ

Είναι φανερό, ότι η ισχύς που μπορεί να παραχθεί από μία Α/Γ, είναι ανάλογη με την πυκνότητα του αέρα, την προσπίπτουσα επιφάνεια και την τρίτη δύναμη της ταχύτητας του ανέμου [31].

5.4.2 ΛΟΓΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΕΜΟΥ – ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ

Αυτός ο λόγος ταχυτήτων λ είναι κρίσιμη παράμετρος για τον σχεδιασμό μιας Α/Γ και προκύπτει από τη σχέση:

$$\lambda = \frac{D \cdot \omega}{2 \cdot V}$$

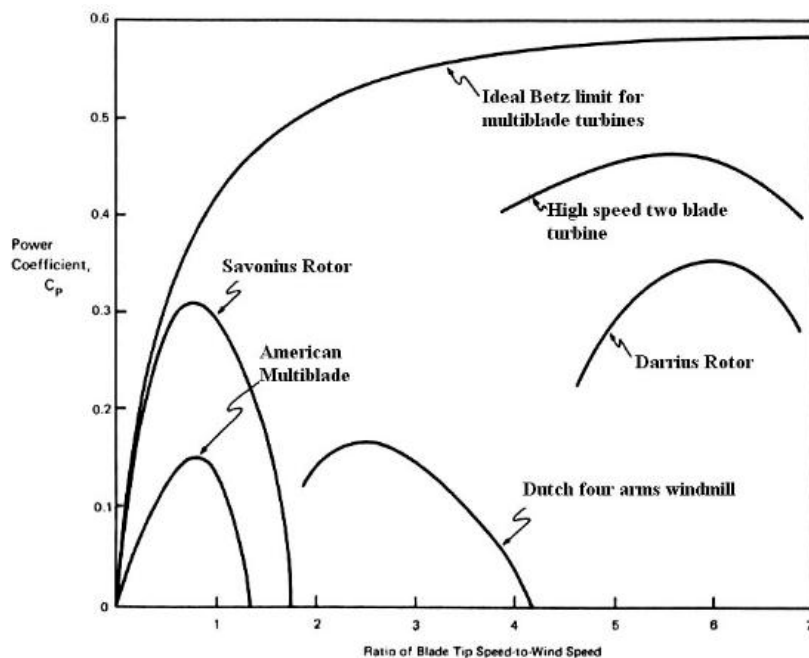
όπου ω : η γωνιακή ταχύτητα του στροφείου σε rad/sec

D : η διάμετρος του στροφείου σε m και

V : η ταχύτητα του ανέμου σε m/s

Ο όρος $\frac{D \cdot \omega}{2}$ είναι ουσιαστικά η γραμμική ταχύτητα του άκρου του πτερυγίου.

Εάν ο λόγος λ είναι πολύ μικρός, η Α/Γ δεν προλαβαίνει να εκμεταλλευτεί το σύνολο της ισχύος του ανέμου, καθώς ο αέρας τη διαπερνά "ανενόχλητος". Αντίθετα, αν ο λόγος λ είναι πολύ μεγάλος, το στροφείο μοιάζει με συμπαγή τοίχο, εμποδίζοντας τη διέλευση του ανέμου. Έτσι, ο αεροδυναμικός σχεδιασμός κάθε Α/Γ, γίνεται με βάση την επιθυμητή τιμή λ , όπου η μηχανή θα μπορεί να παράγει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ. Κάθε τύπος Α/Γ λειτουργεί αποδοτικά σε συγκεκριμένη περιοχή του λόγου ταχυτήτων λ [29]. Στο Σχήμα 25, παρουσιάζονται οι καμπύλες του συντελεστή ισχύος σε συνάρτηση με το λόγο ταχυτήτων για διάφορους τύπους Α/Γ.



Σχήμα 25: Καμπύλες C_p - λ διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών [31]

5.4.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΡΟΠΗΣ

Ο συντελεστής ροπής εκφράζει το ποσοστό ροπής, το οποίο αναπτύσσεται στον άξονα του στροφείου κάθε Α/Γ, σε σχέση με την θεωρητική ροπή που θα μπορούσε να αναπτυχθεί, σε συγκεκριμένη επιφάνεια πρόσπτωσης και σε συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου. Ο συντελεστής ροπής για Α/Γ οριζόντιου άξονα δίνεται από τη σχέση:

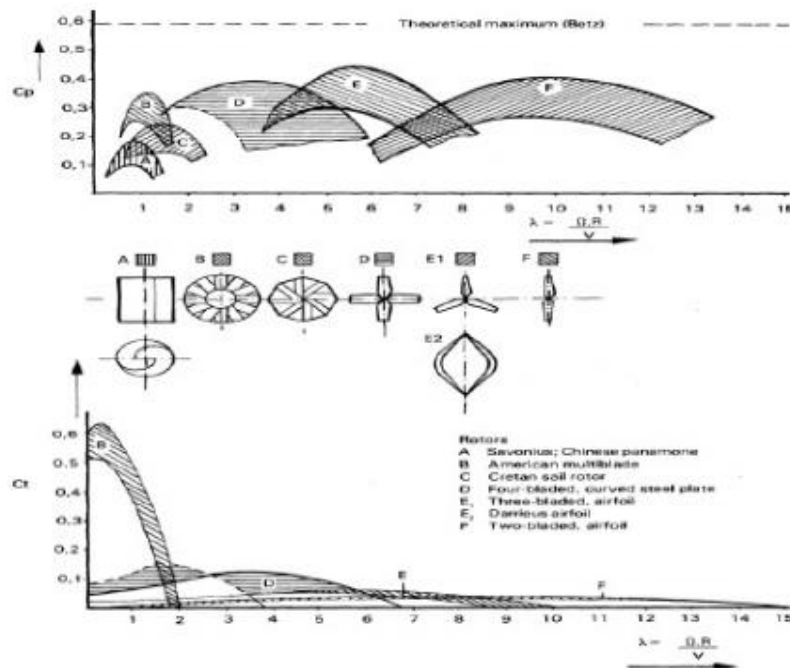
$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V^2}$$

Ενώ, αντίστοιχα, για κάθετου άξονα:

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot D \cdot V^2}$$

όπου T : η πραγματική ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα της μηχανής σε Ntm και
 R : η ακτίνα του στροφείου σε m

Όπως ισχύει για όλα τα είδη κινητήρων, η ροπή μεταβάλλεται κατά τη μεταβολή των στροφών λειτουργίας, γι' αυτό και κάθε Α/Γ έχει τη δική της χαρακτηριστική καμπύλη ροπής.

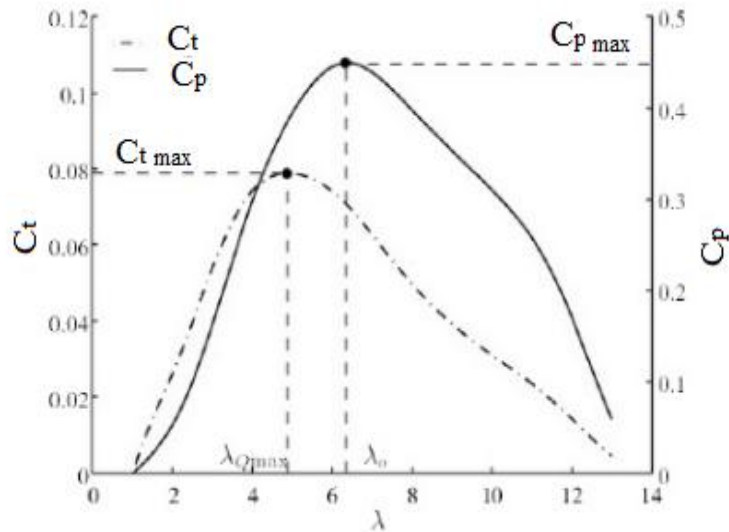


Σχήμα 26: Χαρακτηριστικές καμπύλες C_t - λ διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών [31]

Παρατηρώντας, τις καμπύλες του Σχήματος 26, γίνεται κατανοητό ότι η ροπή που αναπτύσσει μία Α/Γ κατά την λειτουργία της, εξαρτάται από:

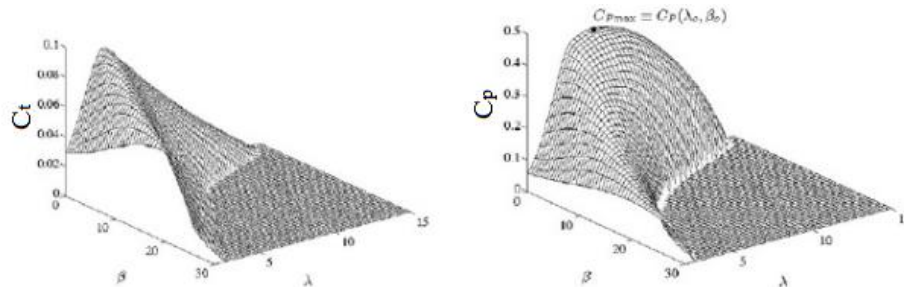
- Τον λόγο των ταχυτήτων λ .
- Τον αριθμό των πτερυγίων.
- Το είδος της Α/Γ.

Στο Σχήμα 27 που ακολουθεί, φαίνονται σε κοινό διάγραμμα δύο τυπικές καμπύλες ροπής και απόδοσης σε σχέση με τον λόγο ταχυτήτων λ , όπου και διακρίνεται η ιδανική περιοχή λειτουργίας της Α/Γ. Οι καμπύλες του σχήματος, αναφέρονται σε σταθερή γωνία πρόσπτωσης του αέρα ως προς τα πτερύγια.



Σχήμα 27: Τυπικές καμπύλες C_t - λ και C_p - λ [31]

Από τη σχέση της μηχανικής: $P = T \cdot \omega$ (Watt) γίνεται αντιληπτή η σπουδαιότητα αυτού του μεγέθους καθώς η προσπάθεια διατήρησης αυξημένης ροπής σε υψηλό αριθμό στροφών, αποφέρει τη μεγαλύτερη δυνατή ισχύ στον άξονα της μηχανής. Αυτό επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της γωνίας πρόσπτωσης του ανέμου σε σχέση με τη χορδή των πτερυγίων και οι καμπύλες παίρνουν τριδιάστατη μορφή (Σχήμα 28) με επιπλέον παράμετρο την γωνία β , γωνία πρόσπτωσης [32].



Σχήμα 28: Τυπικές καμπύλες C_t και C_p συναρτήσει του λ και της γωνίας πρόσπτωσης [31]

5.5 ΤΥΠΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Τα τελευταία χρόνια, μία σειρά από νέα υλικά έχουν καταστεί διαθέσιμα για την κατασκευή Α/Γ, με γνώμονα ότι αυτή λειτουργεί κάτω από μεταβαλλόμενες δυνάμεις και καιρικές συνθήκες.

Τα πτερύγια των Α/Γ, ιστορικά, κατασκευάζονταν από ξύλο, αλλά λόγω της ευαισθησίας του στην υγρασία και το κόστος επεξεργασίας του, σύγχρονα υλικά, όπως πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (Glass Fiber Reinforced Plastic - GFRP), πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα (Carbon

Fiber Reinforced Plastic – CFRP), χάλυβας (steel) και αλουμίνιο, αντικαθιστούν τις παραδοσιακές ξύλινες μονάδες.

Το ξύλο είναι σύνθεση κυτταρίνης και λιγνίνης και βρίσκει πολλές εφαρμογές στη μηχανική ενώ αποτελεί ένα κοινό δομικό υλικό. Είναι ενδιαφέρον υλικό λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του, αλλά η χαμηλή ακαμψία του, το καθιστά δύσκολο για τον περιορισμό των ελαστικών εκτροπών σε πολύ μεγάλα περύγια. Ακόμη, τα ξύλινα υλικά με ίνες κυτταρίνης, που ευθυγραμμίζονται στις μεγάλες φέρουσες κατευθύνσεις, είναι κοντά στη μέγιστη δυνατή απόδοση του ξύλου. Επιπλέον, το ξύλο είναι ένα φυσικό υλικό και ως εκ τούτου περιβαλλοντικώς ελκυστικό, αλλά την ίδια στιγμή είναι δύσκολο να ληφθεί σε επαναλήψιμη και υψηλή ποιότητα, η οποία αποτελεί προϋπόθεση για σταθερή και οικονομικότερη κατασκευή των περυγίων του ρότορα. Το ξύλο είναι καλή επιλογή για τα περύγια Α/Γ κάθετου άξονα, και χρησιμοποιείται κυρίως στις μικρές οικιακές Α/Γ και είναι ένα καλό υποψήφιο υλικό για μικρές Α/Γ σε ερευνητικό και πειραματικό επίπεδο

Ο χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου και άνθρακα. Παλαιότερα, οι Α/Γ σχεδιάζονταν με βαρύτερα περύγια χάλυβα ή χάλυβα με προσμίξεις νικελίου, που έχουν μεγαλύτερη αδράνεια, και περιστρέφονται σε ταχύτητες κυβερνώμενες από την AC συχνότητα των γραμμών μεταφοράς ισχύος. Η υψηλή αδράνεια καταχωρεί τις αλλαγές της ταχύτητας περιστροφής και ως εκ τούτου η ισχύς εξόδου γίνεται πιο σταθερή. Ο σκοπός του κράματος νικελίου είναι να μειώσει τη στρέβλωση στην απόσβεση, να χαμηλώσει τις κρίσιμες θερμοκρασίες του χάλυβα και να διευρύνει το φάσμα της επιτυχούς θερμικής επεξεργασίας. Το κράμα νικελίου έχει καλή αντοχή στη διάβρωση και την οξειδωση. Ο χάλυβας αποτελούσε κάποτε άριστη επιλογή για την κατασκευή περυγίων, αλλά σύντομα εγκαταλείφθηκε λόγω του υψηλού βάρους και του χαμηλού επιπέδου κόπωσης.

Το αλουμίνιο είναι ένα ασημένιο λευκό μέταλλο με πυκνότητα περίπου το ένα τρίτο από αυτή του χάλυβα. Εφαρμόστηκε μόνο σε δοκιμαστικές καταστάσεις, επειδή βρέθηκε να έχει χαμηλότερο επίπεδο κόπωσης από το χάλυβα. Το αλουμίνιο είναι όλκιμο και καλός αγωγός της θερμότητας. Επιπλέον, είναι ένα μέταλλο χαμηλής τιμής, έχει καλή αξιοπιστία αλλά χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό. Το αλουμίνιο είναι ελαφρύτερο αλλά λιγότερο δύσκαμπτο από το χάλυβα. Η κατασκευή των περυγίων από αλουμίνιο, αν και οικονομικό υλικό, δεν είναι καλή επιλογή. Το κύριο πρόβλημα με τη χρήση κραμάτων αλουμινίου είναι η έντονη κόπωση και τα μη επιτρεπόμενα επίπεδα πίεσης.

Οι ίνες και τα υλικά μήτρας, όπως οι πολυεστέρες, βινυλεστέρες, εποξειδία, κ.λπ., συνδυάζονται σε σύνθετα υλικά. Αυτά τα σύνθετα υλικά έχουν καλές μηχανικές, θερμικές και χημικές ιδιότητες. Πρώτον, οι ίνες γυαλιού είναι άμορφες με ισοτροπικές ιδιότητες. Τα περισσότερα προϊόντα ενισχυμένα με γυαλί που κατασκευάζονται με το Ε-γυαλί, ηλεκτρικό γυαλί, το οποίο έχει καλές ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες και υψηλή θερμική αντοχή. Οι ίνες από γυαλί σε σύνθετα υλικά έχουν καλές ιδιότητες, όπως μέτρια ακαμψία, υψηλή αντοχή και μέτρια πυκνότητα.

Οι ίνες άνθρακα που αποτελούνται από σχεδόν καθαρό άνθρακα, ο οποίος σχηματίζει ένα κρυσταλλογραφικό πλέγμα με ένα εξαγωνικό σχήμα που ονομάζεται γραφίτης. Τα τελευταία χρόνια, οι ίνες άνθρακα έχουν γίνει αυξανόμενου ενδιαφέροντος, λόγω των απαιτήσεων που παρουσιάζονται από τις ολοένα και μεγαλύτερες έλικες και τη μείωση των τιμών των ινών άνθρακα. Οι ίνες άνθρακα σε σύνθετα υλικά έχουν ένα εξαιρετικό συνδυασμό πολύ υψηλής ακαμψίας, υψηλής αντοχής, μικρού βάρους και χαμηλής πυκνότητας.

Οι ίνες αραμιδίων (αρωματικά πολυαμίδια) χαρακτηρίζονται από την εξαιρετική περιβαλλοντική και θερμική σταθερότητα, στατική και δυναμική αντοχή σε κόπωση, και την αντοχή στην κρούση. Αυτές οι ίνες έχουν την υψηλότερη ειδική αντοχή σε εφελκυσμό και αναλογία αντοχής / πυκνότητας, από οποιοδήποτε εμπορικά διαθέσιμο νήματα συνεχών ινών. Τα σύνθετα του αραμιδίου ενισχυμένα με θερμοπλαστικό έχουν εξαιρετική αντοχή στη φθορά. Οι ίνες αραμιδίου έχουν χαμηλές ή πολύ χαμηλές πυκνότητες [33].

Στον Πίνακα 8, που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ποσοστά των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται στα βασικά μέρη των Α/Γ [33].

Πίνακας 8: Ποσοστά των υλικών που χρησιμοποιούνται στα βασικά μέρη των ανεμογεννητριών

| Component/ Material (% by weight) | Large Turbines and Small Turbines | | | | | | | Carbon Filament Reinforced Plastic |
|---|------------------------------------|------------------------------|------------|----------|-----------|--------------------------------|---------------|---|
| | Permanent Magnetic Materials | Pre- stressed Concrete | Steel | Aluminum | Copper | Glass Reinforced Plastic | Wood Epoxy | |
| Rotor | | | | | | | | |
| Hub | | | (95) - 100 | (5) | | | | |
| Blades | | | 5 | | | 95 | (95) | (95) |
| Nacelle | (17) | | (65) - 80 | 3 - 4 | 14 | 1 - (2) | | |
| Gearbox | | | 98 - (100) | (0) - 2 | (<1) - 2 | | | |
| Generator | (50) | | (20) - 65 | | (30) - 35 | | | |
| Frame, Machinery & Shell | | | 85 - (74) | 9 - (50) | 4 - (12) | 3 - (5) | | |
| Tower | | 2 | 98 | (2) | | | | |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ - ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε οικιακές εφαρμογές. Ζητήματα αξιοπιστίας και ασφάλειας της παρεχόμενης από το δίκτυο ενέργειας καθώς και τα υψηλά κόστη επέκτασης του δικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές είναι μερικοί από αυτούς. Παρόλο που τα συστήματα αιολικής ενέργειας απαιτούν σχετικά μεγάλη αρχική επένδυση, προσφέρουν μειωμένο ή μηδενικό κόστος ενέργειας για μια ζωή. Σε μια κατοικία ή αγρόκτημα το φορτίο είναι δυνατόν να καλυφθεί από μια ανεμογεννήτρια (Σχήμα 29). Αλλά ακόμα και σε εφαρμογές, όπου θα μπορούσε να εγκατασταθεί Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος, από πλευράς κάλυψης φορτίου, η επιλογή μικρής Α/Γ μπορεί να είναι προτιμητέα. Για παράδειγμα, όταν το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι αρκετά ασθενές ώστε να διαχειριστεί την ενέργεια που εισρέει από μια μεγάλη Α/Γ. Τέτοιες περιπτώσεις αφορούν κυρίως σε απομακρυσμένα μέρη του δικτύου με χαμηλή πυκνότητα φορτίου και μικρή κατανάλωση [34].



Σχήμα 29: Εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες σε οικία [35]

6.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας και αποτελεί σήμερα μια τεχνολογικά ώριμη και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Κάποια από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η χρήση των μικρών Α/Γ συνοψίζονται παρακάτω [28]:

- Έχουν αξιόπιστη λειτουργία και μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Με τη λειτουργία τους αποφεύγεται η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Είναι φιλικές στο περιβάλλον, δεν ρυπαίνουν και συμβάλλουν στη μείωση των αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου.

- Μπορούν πολύ εύκολα να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές ως αποκεντρωμένες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.
- Όλες οι υφιστάμενες χρήσεις γης μπορούν να συνεχίσουν να εξασκούνται χωρίς εμπόδια, π.χ. οι αγρότες μπορούν να συνεχίσουν να καλλιεργούν τη γη, καθώς οι Α/Γ χρησιμοποιούν μόνον ένα μικρό μέρος της, περίπου 2%.

Τα μειονεκτήματα τους είναι τα παρακάτω:

- Απαιτούν μια σχετικά υψηλή αρχική επένδυση, ενώ απαιτούν κάποιο κόστος συντήρησης γιατί έχουν κινούμενα μέρη.
- Υπάρχει ένας προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τις λεπίδες του ηλεκτρικού κινητήρα, ο οποίος είναι περίπου όσος παράγεται από ένα κοινό πλυντήριο.
- Οι απόψεις για την αισθητική, οπτική επίπτωση τους δίστανται.

6.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μια Α/Γ με ισχύ περίπου 3 KW και διάμετρο δρομέα 5-7 m τοποθετημένη σε ύψος 15-25 m, μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών ενός τυπικού σπιτιού στην Ευρώπη. Για την εγκατάσταση τέτοιου εξοπλισμού απαιτείται ελάχιστος διαθέσιμος χώρος ενώ πρέπει να αποφευχθεί η τοποθέτηση της Α/Γ σε απάνεμα μέρη, όπου η ταχύτητα του ανέμου περιορίζεται από παρακείμενα δέντρα ή κτήρια. Όμως, οι περισσότεροι ιδιοκτήτες σπιτιών έχουν δίπλα τους γείτονες, οι οποίοι μπορεί να ενοχληθούν από τον θόρυβο ή την εικόνα της Α/Γ.

Σε μια τυπική οικιακή εφαρμογή, η Α/Γ εξυπηρετεί το φορτίο του σπιτιού παράλληλα με το δίκτυο, αν η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλότερη του ορίου λειτουργίας, 3-5 m/s, η Α/Γ δεν θα παράγει ενέργεια και έτσι η εγκατάσταση θα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί θα παρουσιαστεί αύξηση και στην ενέργεια που αποδίδει η Α/Γ οπότε θα μειωθεί, ανάλογα, η κατανάλωση από το δίκτυο. Σε περίπτωση που η ενέργεια από τον άνεμο ξεπερνά την απαιτούμενη από το φορτίο του σπιτιού, η πλεονάζουσα ενέργεια αποδίδεται στο δίκτυο. Το αν θα πωληθεί στο δίκτυο επιφέροντας κέρδος στον ιδιοκτήτη ή θα αποδοθεί χωρίς συγκεκριμένες απολαβές εξαρτάται από την συμφωνία που έχει γίνει με τον διαχειριστή του δικτύου. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται αυτόματα σε ένα τυπικό οικιακό σύστημα που δεν περιλαμβάνει μπαταρίες. Μικρά αιολικά συστήματα σε απομακρυσμένες περιοχές λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο [36].

6.4 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα μικρά συστήματα αιολικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνεργασία με το δίκτυο ή σε αυτόνομες εφαρμογές. Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, η ενέργεια από την Α/Γ καλύπτει φορτία όπως αυτό του φωτισμού και διαφόρων συσκευών, όταν είναι επαρκής. Αν είναι λιγότερη από την απαιτούμενη, το δίκτυο καλύπτει τη διαφορά ενώ στην αντίθετη περίπτωση το πλεόνασμα διοχετεύεται στο δίκτυο. Η παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζει ότι όλη η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται με τον ένα ή τον άλλον τρόπο προς όφελος του ιδιοκτήτη. Τα αυτόνομα συστήματα μπορεί να είναι κατάλληλα για σπίτια, αγροκτήματα, ή ακόμα ολόκληρες κοινότητες. Είναι απαραίτητο να περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας ή πρόσβαση σε άλλη μορφή ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε περιόδους μειωμένου αιολικού δυναμικού.

Οι μπαταρίες αποθήκευσης είναι η καρδιά ενός αυτόνομου συστήματος. Αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε περιόδους που ανανεώσιμη πηγή δεν είναι διαθέσιμη. Η ικανότητα αποθήκευσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες κατά τη διάρκεια περιόδων μειωμένης παραγωγής. Συνήθως η συστοιχία των μπαταριών σχεδιάζεται για 1-3 ημέρες λειτουργίας χωρίς άνεμο [2].

Σε ένα τέτοιο σύστημα όμως υπάρχουν πολλές απώλειες. Τα αυτόνομα συστήματα είναι σύνθετα και οι πολλές διαδοχικές μετατροπές ενέργειας αυξάνουν τις απώλειες και μειώνουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Απώλεια ενέργειας υπάρχουν, επίσης, σε περιόδους με αυξημένο άνεμο όπου η παραγόμενη ενέργεια ξεπερνά την απαιτούμενη για την κάλυψη του φορτίου και την φόρτιση των μπαταριών. Τότε μέρος της παραγόμενης ενέργειας δεν χρησιμοποιείται.

6.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Σε γενικές γραμμές, η επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Γ παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με την επιλογή θέσης εγκατάστασης οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής ενέργειας. Διαφέρει όμως σ' ένα βασικό σημείο, είναι αδύνατο να προσδιορισθεί η καθαρή παραγωγή ενέργειας ή το κατά προσέγγιση κόστος αυτής, αν δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση εγκατάστασης της Α/Γ.

Η συμπεριφορά του ανέμου σε μία θέση, είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της Α/Γ. Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης Α/Γ, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου στη θέση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και η διεύθυνσή του είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της Α/Γ όχι όμως και οι μοναδικές. Α/Γ τοποθετημένες σε βιώσιμες θέσεις πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ιδιότητες:

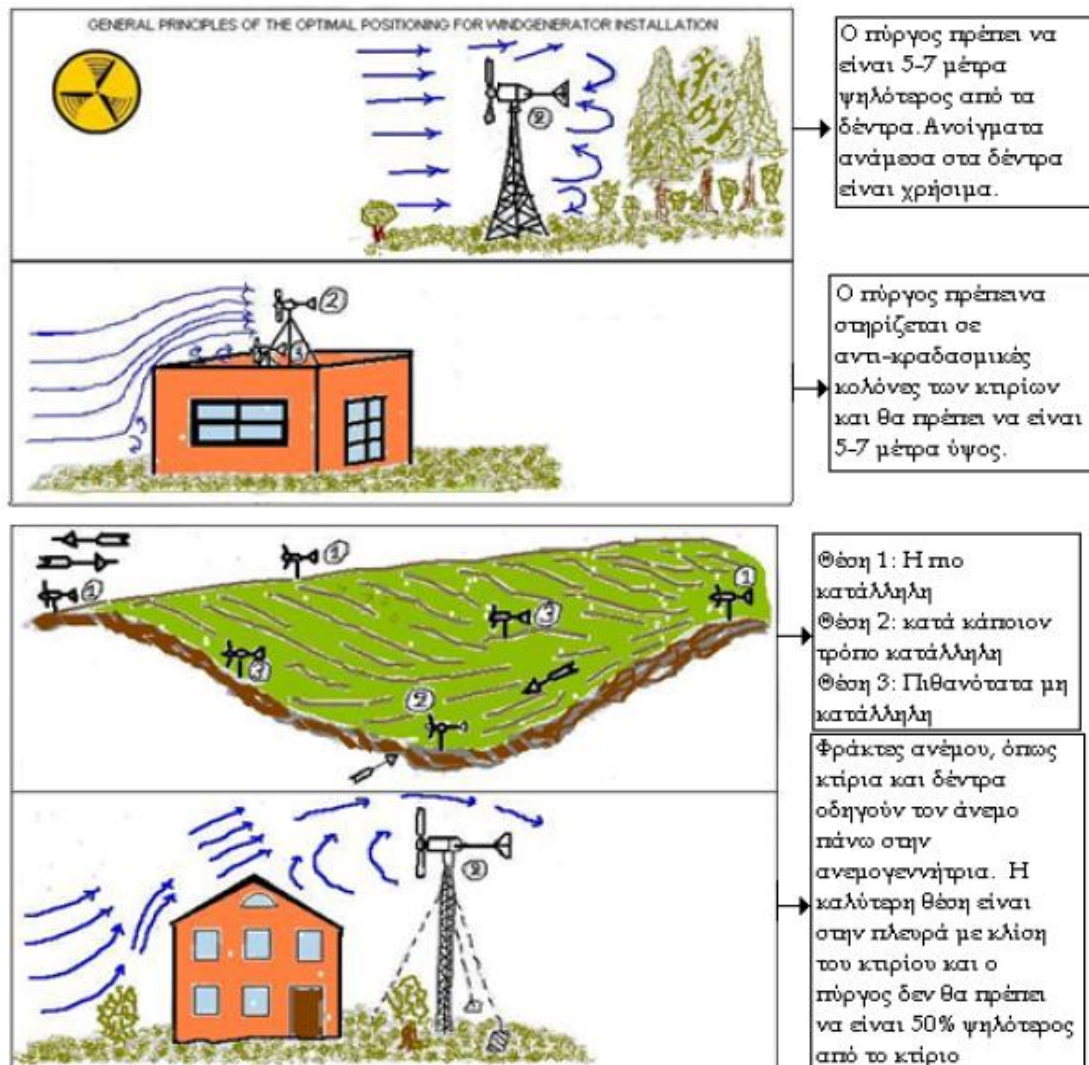
- Η παραγωγή ενέργειας να είναι συμφέρουσα οικονομικά, το κόστος της παραγόμενης KWh να είναι μικρό.
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η λειτουργία της Α/Γ να είναι συμβατή με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου.
- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της Α/Γ οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης θέσης, όπως παγετοί, εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κ.λπ.
- Η επιλεγμένη θέση να είναι αποδεκτή από το κοινό.

Η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης Α/Γ μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής, όταν είναι δυνατός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο προσδιορισμός περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Έπειτα, αφού γίνει προσεκτικός έλεγχος της περιοχής αυτής, επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις υπόλοιπες παραμέτρους που απαριθμήθηκαν προηγουμένως (Σχήμα 30).

Ένας πρωταρχικός παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για να αναχθούν υπάρχοντα δεδομένα, σε θέσεις που ενδιαφέρουν δεν είναι ακριβείς. Έτσι, δεν είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα δίκτυο μετρήσεων ταχυτήτων του ανέμου που να μπορεί να δώσει το αιολικό δυναμικό σε κάθε θέση μιας μεγάλης περιοχής. Επίσης, οι μετρήσεις χρειάζονται χρόνο και χρήματα για να πραγματοποιηθούν.

Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης Α/Γ, είναι να χρησιμοποιηθούν υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να

δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση Α/Γ είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις [37].



Σχήμα 30: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας [38]

Πρέπει να τονισθεί, ότι η παρουσία της τύρβης επηρεάζει σημαντικά την επιλογή της σωστής τοποθεσίας για την εγκατάσταση μιας Α/Γ, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για χαμηλά ύψη και μικρής ισχύος Α/Γ. Έτσι, θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση ιδιαίτερα μικρών Α/Γ σε απόσταση μικρότερη των 20 m από ένα σημαντικό ύψους εμπόδιο, αλλά θα πρέπει να τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση και μάλιστα σε ύψος όπου το χαμηλότερο σημείο της φτερωτής να απέχει από το έδαφος 3 φορές τουλάχιστον το ύψος του εμποδίου. Συνήθως, δέντρα και πυκνοί θάμνοι θεωρούνται εμπόδια όταν μελετάται η εγκατάσταση στην ύπαιθρο, ενώ οικίες και ψηλοί φράκτες για περιπτώσεις εγκατάστασης σε κατοικημένες περιοχές.

6.5.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Το να προσδιοριστεί μια τοποθεσία στην οποία πνέουν δυνατοί άνεμοι, δεν σημαίνει ότι εντοπίστηκε και η βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της Α/Γ. Πολλές και σημαντικές είναι οι επιμέρους παράμετροι, που πρέπει να έχει υπόψη του ο μηχανικός, προκειμένου να καταλήξει στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Και η επιλογή αυτή θα είναι η βέλτιστη, μόνον εφόσον γίνει σωστή και λεπτομερής αξιολόγηση των παραμέτρων τούτων.

6.5.1.1 Οικονομική αξία

Ο σημαντικότερος στόχος μιας Α/Γ είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή όχι μιας θέσης. Επειδή η Α/Γ παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν φυσάει άνεμος, χρησιμοποιείται συνήθως σαν εξοικονομητής καυσίμου.

Έτσι, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Για να κριθεί, επομένως, η οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης Α/Γ, είναι απαραίτητες πληροφορίες για το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σ' ένα έτος.

Ένας άλλος οικονομικός παράγοντας πρωταρχικού ενδιαφέροντος είναι το κόστος εγκατάστασης, το οποίο είναι αισθητά μειωμένο αν η εγκατάσταση γίνει κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

6.5.1.2 Επιδράσεις στο περιβάλλον

Γενικά, οι επιδράσεις των Α/Γ στο περιβάλλον είναι μικρές. Ωστόσο, σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί η Α/Γ να έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον.

Οι επιδράσεις που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι:

- **Οπτικοαισθητική επίδραση:** Η εγκατάσταση μιας τεράστιας Α/Γ σε μία όχι και τόσο ανοιχτή περιοχή δημιουργεί σε ορισμένους μια αρνητική οπτική εντύπωση. Αντίθετα, η εγκατάσταση της ίδιας Α/Γ σε μία αχανή έκταση περνάει σχεδόν απαρατήρητη.
- **Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση:** Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής.
- **Γενικοί κανονισμοί και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης:** Όταν γίνεται προσπάθεια για να βρεθούν οι κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση Α/Γ, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι κανονισμοί και οι νόμοι που πιθανόν εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση γης για εγκατάσταση μεγάλων Α/Γ. Τέτοιοι νόμοι μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων.
- **Μετεωρολογικά προβλήματα:** Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση Α/Γ πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες. Ορισμένες απ' αυτές μπορεί, πράγματι, να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή. Άλλες πάλι απλώς επηρεάζουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.
 - **Παγετός:** Η δημιουργία παγετού μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία Α/Γ με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα, η επικάλυψη στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα

συστήματα της Α/Γ και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Όταν επικάθονται σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση λοιπόν παγετού θα πρέπει να σταματάει η λειτουργία της Α/Γ και να γίνεται καθαρισμός στα πτερύγια. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχει επιλεχτεί εμφανίζει συχνά φαινόμενα παγετού. Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της Α/Γ. Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης Α/Γ να εκτιμάται από μετεωρολόγο η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης παγετών. Πρέπει να αποφεύγεται, επίσης, η επιλογή περιοχών που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της Α/Γ, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

- Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι: Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης Α/Γ που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Έτσι, λοιπόν, ανάλογα με τη θέση που επιλέγεται, μεταβάλλεται και ο τύπος της Α/Γ που θα εγκατασταθεί. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.
- Η σταθερότητα των ανέμων: Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου κατά το χρονικό διάστημα μιας ώρας, σαφώς επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής, ενώ μπορούν να επιδράσουν και στη διάρκεια ζωής της. Αλλά και οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, στη διάρκεια μιας ώρας, επηρεάζουν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο Α/Γ Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής. Είναι φανερό ότι η λειτουργία μιας μηχανής σε μια θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερους ανέμους. Ένα άλλο ενδιαφέρον αιολικό χαρακτηριστικό είναι η διαχρονική μεταβλητότητα δηλαδή η μεταβολή των αιολικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής από χρόνο σε χρόνο. Βέβαια οι από χρόνο σε χρόνο μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι συνήθως πολύ μικρότερες από τις εποχιακές ή ημερήσιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου έτους. Όμως η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει οπωσδήποτε το μέσο κόστος της ενέργειας που παράγεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Όπως είναι γνωστό η μέση διάρκεια ζωής της Α/Γ είναι 20 χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να είναι σημαντική. Έτσι, η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν οι αποφάσεις για την επιλογή τοποθεσίας στηριχτούν σε δεδομένα ενός "άσχημου ή πολύ καλού αιολικού έτους".

- Τύρβη: Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις εκτείνονται σε μέγεθος και διάρκεια και μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής. Η τύρβη μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής ή το κόστος συντήρησης της μηχανής. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος, βουνά, κοιλάδες, λόφοι, κ.λπ., είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από επίπεδο, ομαλό έδαφος. Ωστόσο υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα που να αποσαφηνίζουν αυτές τις διαφορές. Η μεγάλη πλειοψηφία των μετρήσεων έχει γίνει πάνω από επίπεδο έδαφος, όπου μπορούν να αναπτυχθούν απλές θεωρίες για να περιγράψουν τη συμπεριφορά της ροής. Αλλά και αν υπήρχαν μετρήσεις της τύρβης πάνω από ανώμαλο έδαφος, θα ήταν δύσκολο να εκτιμηθεί η επίδρασή της στη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερη εμπειρία, από τη λειτουργία μεγάλης ποικιλίας Α/Γ κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Προς το παρόν, θα ήταν επιθυμητό, να επιλέγονται θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.
- Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα: Α/Γ που πρόκειται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές υπόκεινται σε διάβρωση επειδή ο αέρας σ' αυτές τις περιοχές περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Πρέπει, λοιπόν, ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν ώστε να διαθέτουν αντισκωριακή προστασία. Αν μια Α/Γ είναι τοποθετημένη σε άγονη περιοχή, είναι πιθανό ο αέρας να μεταφέρει επάνω της σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κλπ. Τέτοια τραχιά υλικά μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού. Προκειμένου να επιτύχουμε ικανοποιητική συντήρηση της μηχανής κάτω από τέτοιες συνθήκες, απαιτούνται σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης. Τέτοιες διαδικασίες και τροποποιήσεις αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αποδοχή από την πλευρά του κοινού: Η επιτυχής επιλογή μιας τοποθεσίας για την εγκατάσταση Α/Γ εξαρτάται από την αποδοχή της από την κοινή γνώμη. Το κοινό πρέπει να νοιώσει ότι τα έργα υποδομής που θα γίνουν για την εγκατάσταση της Α/Γ δεν θα αλλοιώσουν το τοπίο και η Α/Γ που θα εγκατασταθεί θα ταιριάζει με το σκηνικό των γύρω περιοχών. Η στάση του κοινού επηρεάζεται τόσο από τις αντιλήψεις του για τις Α/Γ γενικά, όσο και από τις αντιλήψεις του για τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση Α/Γ στην συγκεκριμένη θέση. Προς το παρόν οι αντιλήψεις της πλειονότητας του κοινού για τις Α/Γ είναι θετικές αφού αυτές δεν μολύνουν το περιβάλλον, χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και εξοικονομούν καύσιμα.

Τελειώνοντας πρέπει να αναφερθεί ότι όλες σχεδόν οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της όλης κατασκευής γι' αυτό και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Γ. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχει πάντα το στοιχείο του ρίσκου στην εκλογή θέσεων Α/Γ. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα βρίσκονται σε μία κατάσταση διαρκούς μεταβολής. Όσο προσεκτικές μετρήσεις και αν έχουν ληφθεί, όσο κι αν έχουν γίνει σοβαρές μελέτες των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, είναι πιθανό η απόφαση που θα παρθεί για τη θέση της εγκατάστασης να μην είναι η ορθή [37].

6.5.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Πριν ληφθεί απόφαση για την εγκατάσταση μιας Α/Γ συστήνεται να πραγματοποιηθεί μέτρηση του αιολικού δυναμικού στην περιοχή εγκατάστασης. Η μέτρηση αυτή παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής και τον υπολογισμό των εισροών από τη λειτουργία μιας Α/Γ. Η στατιστική αλλαγή των ακραίων καιρικών φαινομένων (ακραίες τιμές έντασης ανέμου & συχνότητα εμφάνισης), αποτελεί λόγο που καθιστά τη μέτρηση του αιολικού δυναμικού σημαντικό εργαλείο για το σωστό σχεδιασμό και ασφάλεια της επένδυσης. Οι μετρήσεις συνιστάται να ακολουθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές που αρμόζουν στην εφαρμογή των μικρών Α/Γ ώστε να μπορούν να είναι αξιοποιήσιμες αλλά και συγκρίσιμες με άλλες μετρήσεις από άλλο επενδυτή σε άλλη περιοχή [39].

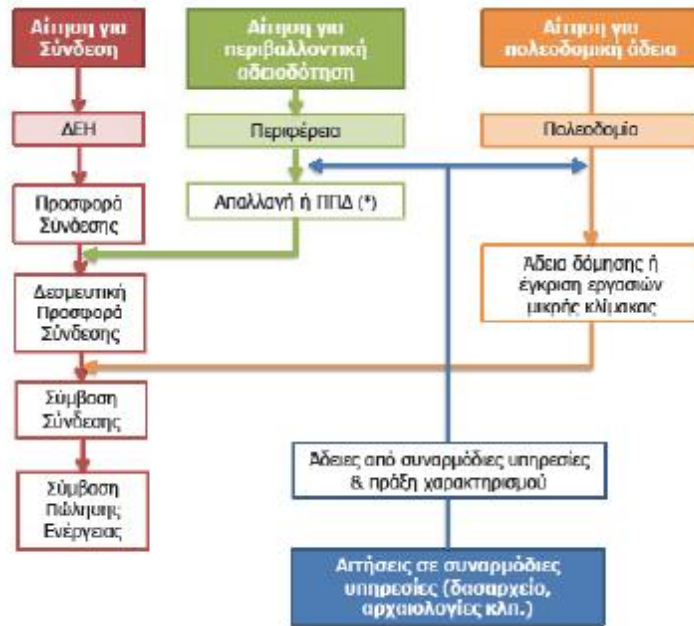
Αναλυτικότερα συνιστάται:

- Μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου σε ύψος κατ' ελάχιστον 10 μέτρων από το έδαφος στην θέση εγκατάστασης της Α/Γ.
- 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.

Ο ενδιαφερόμενος, με τη συνεργασία εξειδικευμένου προμηθευτή, τελικά εκτιμά 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 Α/Γ.

6.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

Η εγκατάσταση μιας μικρής Α/Γ απαιτεί μία σειρά αιτήσεων που αφορά τη σύνδεσής της στο δίκτυο, την περιβαλλοντική αδειοδότησή της καθώς την πολεοδομική άδεια. Τα βήματα που πρέπει να ακολουθούνται παρουσιάζονται στο Σχήμα 31.



Σχήμα 31: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για την αδειοδότηση μικρής ανεμογεννήτριας [39]

Οι Α/Γ ισχύος μεγαλύτερης των 100 KW και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος άνω των 100 KW υποχρεούνται να εκδώσουν:

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

Οι Α/Γ και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100 KW δεν έχουν αντίστοιχη υποχρέωση. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η πλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης για τη χορήγηση άδειας παραγωγής, π.χ. δεν απαιτείται η προσκόμιση ανεμολογικών μετρήσεων από διαπιστευμένα κατά IEC-17025 φορέα). Σημειώνεται ότι στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν εκδίδεται καμία διοικητική πράξη, όπως για παράδειγμα ήταν κατά το παρελθόν η Απόφαση Εξαιρέσεως από τη Ρ.Α.Ε., δεδομένου ότι αυτό ρητά καθορίζεται στη νέα διατύπωση που εισήγαγε ο ν.3851/2010.

6.6.1 ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση και την αίτηση στην αρμόδια πολεοδομική αρχή, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλει αίτηση σύνδεσης στον αρμόδιο Διαχειριστή, που μέχρι σήμερα είναι η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε..

6.6.1.1 Προσφορά Σύνδεσης

Αιτήσεις σύνδεσης για μικρές Α/Γ, όπως και γενικά για σταθμούς Α.Π.Ε. & Σ.Η.Θ.Υ.Α., πλην φωτοβολταϊκών, υποβάλλονται στη Διεύθυνση Διαχείρισης Δικτύου, Πατησίων 27, 10432 Αθήνα, 8ος όροφος) με το έντυπο του παραρτήματος της Υ.Α. 13310/2007, που βρίσκεται αναρτημένο στον δικτυακό τόπο της ΔΕΔΔΗΕ. Σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει καθορίσει η ΔΕΗ, κατά την αίτηση προσκομίζονται τα ακόλουθα δικαιολογητικά, σε τρία αντίτυπα:

- Τοπογραφικό 1:5000 ΓΥΣ της θέσης εγκατάστασης του σταθμού.
- Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης.
- Τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιήσεις του εξοπλισμού.
- Στοιχεία Μ/Σ ανύψωσης, όταν πρόκειται για σύνδεση στη μέση τάση.
- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο σύνδεσης του σταθμού, όπου θα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο σημαντικός εξοπλισμός της εγκατάστασης, οι μονάδες παραγωγής με διακριτή αρίθμηση, οι Μ/Σ ανύψωσης τάσης, οι διατάξεις αντιστάθμισης και τα μέσα απόζευξης και προστασίας.
- Σύντομη τεχνική περιγραφή.

Τα στοιχεία της αίτησης στη ΔΕΗ θα πρέπει να συμπληρωθούν:

- με αντίγραφο της έγκρισης από την Πολεοδομία (μικρής κλίμακας ή δόμησης), όταν αυτή εκδοθεί,
- με αντίγραφο της απαλλαγής από Ε.Π.Ο. ή αποδεικτικό παρέλευσης του 20ημέρου από την υποβολή της αίτησης στην Δ/νση Περιβάλλοντος της αιρετής Περιφέρειας ή απόφαση Ε.Π.Ο ή Π.Π.Δ. κατά περίπτωση.

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, η ΔΕΔΔΗΕ, ως διαχειριστής του δικτύου, θα εκδώσει την Προσφορά Σύνδεσης, που θα καταστεί δεσμευτική με την προσκόμιση της απαλλαγής από Ε.Π.Ο. ή αποδεικτικό παρέλευσης του 20ημέρου από την υποβολή της αίτησης, και θα περιγράφει τους τεχνικούς και οικονομικούς όρους της σύνδεσης. Σημειώνεται ότι, κατά τον νόμο, ο τίτλος κυριότητας και η έγκριση της Πολεοδομίας, δεν απαιτούνται για την έκδοση της προσφοράς σύνδεσης με τη ΔΕΔΔΗΕ, αλλά απαιτούνται για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης η οποία έπεται αυτών, με βάση τις σχετικές οδηγίες και την πρακτική της ΔΕΔΔΗΕ. Επίσης, οι σχετικές διατάξεις της Υ.Α. 13310/2007 που αφορούν στα ζητούμενα δικαιολογητικά για τη χορήγηση προσφοράς σύνδεσης, δεν θα πρέπει να ακολουθούνται, τουλάχιστον όχι εξαντλητικά, διότι αφενός δεν τις καταλαμβάνουν τυπικά, αφού η συγκεκριμένη Υ.Α. αφορά έργα, τα οποία δεν απαλλάσσονται από την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας, δηλαδή αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100 KW, αφετέρου δεν είναι κατάλληλες για τις μικρές Α/Γ.

6.6.1.2 Σύμβαση Σύνδεσης και Παροχή Εγγυήσεων για τη Σύνδεση

Μετά την έκδοση της δεσμευτικής προσφοράς σύνδεσης από τη ΔΕΔΔΗΕ, την υποβολή του τίτλου κυριότητας και την έγκριση της Πολεοδομίας, ο φορέας υποβάλλει στη ΔΕΔΔΗΕ αίτηση για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης. Με την υπογραφή της Σύμβασης αυτής, ο φορέας καταβάλλει στη ΔΕΔΔΗΕ 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 ΔΕΔΔΗΕ, 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.

6.6.1.3 Σύναψη Σύμβασης Πώλησης και Αγοράς της Ενέργειας

Μετά την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης με τη ΔΕΔΔΗΕ 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 ΔΕΔΔΗΕ 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.

Ο τύπος της σύμβασης πώλησης έχει καθορισθεί με υπουργική απόφαση και βρίσκεται στον δικτυακό τόπο του Υ.Π.Ε.Κ.Α. στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

- <http://www.ypeka.gr> >Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών Α.Π.Ε. > Θεσμικό Πλαίσιο > 30.08.2010.

Τα απαιτούμενα δικαιολογητικά αναφέρονται αναλυτικά στο δικτυακό τόπο του ΑΔΜΗΕ, στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

- <http://www.admie.gr> > Α.Π.Ε. & ΣΗΘΥΑ.

Σχετικά με τη σύναψη Σύμβασης πώλησης και αγοράς της ενέργειας, μετά την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης με τη ΔΕΔΔΗΕ, θα πρέπει να υπογραφεί η σύμβαση πώλησης ενέργειας με τον αρμόδιο διαχειριστή που είναι ο ΑΔΜΗΕ για το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και η ΔΕΔΔΗΕ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Τέλος, χρήσιμες διευθύνσεις, όπου μπορεί να αντλούνται πληροφορίες είναι:

- Η Υπηρεσία Α.Π.Ε. του ΥΠΕΚΑ (www.ypeka.gr > Ενέργεια > menu Υπηρεσία Α.Π.Ε.) όπου υπάρχει ενημερωμένη λίστα του εκδιδόμενου θεσμικού πλαισίου μετά τον ν.3851/2010.
- Η σελίδα της ΔΕΔΔΗΕ για τη σύνδεση παραγωγών Α.Π.Ε. στο Δίκτυο Διανομής www.deddie.gr > Φωτοβολταϊκά και άλλες ΑΠΕ > Συνδέσεις Σταθμών Α.Π.Ε..
- Η σελίδα του ΑΔΜΗΕ για τα απαιτούμενα δικαιολογητικά (www.admie.gr > Δικαιολογητικά Συμβάσεων Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.).
- Η σελίδα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, όπου υπάρχει η βασική νομοθεσία περί Α.Π.Ε. (www.rae.gr > Τι είναι η ΡΑΕ-Θεσμικό πλαίσιο ενέργειας > Νομοθεσία για την ενέργεια > Α.Π.Ε. και Συμπαρογωγή).
- Η σελίδα του ΚΑΠΕ όπου υπάρχει οδηγός για μικρά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε..

6.6.2 ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ

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, αλλά οι ανωτέρω υπουργικές αποφάσεις δεν έχουν ακόμα τροποποιηθεί (Πίνακας 9).

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 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 περίπτωση που αναφέρθηκε προηγουμένως, 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 του 20ημέρου 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 20KW ή ισχύος μικρότερης των 20 KW που εμπίπτουν στην περίπτωση που αναφέρθηκε πιο πριν, 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, 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 [39].

Πίνακας 9: Υποχρέωση και αρμόδιες υπηρεσίες για περιβαλλοντική αδειοδότηση μικρών ανεμογεννητριών

| | Σε κτίρια ή ΒΙΠΕ | Σε γήπεδα | | |
|---------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | ≤ 20kW | | > 20 kW |
| | | εκτός περιοχής Natura κλπ. | εντός περιοχής Natura κλπ. (παρ. 4.2) | |
| Ισχύοντα σήμερα (Ιαν. 2012) | Απαλλαγή από Ε.Π.Ο. | Απαλλαγή από Ε.Π.Ο. Περιφέρεια | Υποχρέωση για Ε.Π.Ο. ως Β4 Περιφέρεια | Υποχρέωση για Ε.Π.Ο. ως Β4 Περιφέρεια |
| Μετά την απόφαση για τις Π.Π.Δ. | Απαλλαγή από Ε.Π.Ο. | Απαλλαγή από Ε.Π.Ο. Περιφέρεια | Υποχρέωση για Π.Π.Δ. Περιφέρεια | Υποχρέωση για Π.Π.Δ. Περιφέρεια |

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 20KW. 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, Α/Γ 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..

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:

- 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 το γήπεδο εγκατάστασης, ως γήπεδο εγκατάστασης νοούνται οι κορυφές του πολυγώνου του γηπέδου, χωροθετείται γήπεδο άλλου αιολικού σταθμού για τον οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση Ε.Π.Ο. ή προσφορά σύνδεσης και εφόσον η συνολική ισχύς όλων αυτών των Α/Γ υπερβαίνει το προαναφερθέν καθοριζόμενο όριο των 20 KW, με βάση δημοσιοποιημένα στοιχεία ή ίδια προφανή γνώση του επενδυτή.

6.6.3 ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΑΔΕΙΑ

Ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση, 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.

6.6.3.1 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 Α/Γ κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες βαθμών όχλησης, όπως φαίνονται στον επόμενο Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Βαθμοί όχλησης μικρών ανεμογεννητριών

| Όνομαστική 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 όπως αναφέρονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Αποστάσεις από οικισμούς για εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών

| Όνομαστική ισχύς | $P \leq 20 \text{ kW}$ | $20 \text{ kW} < P \leq 700 \text{ kW}$ | $P > 700 \text{ kW}$ |
|----------------------|-----------------------------|---|----------------------|
| Απόσταση από οικισμό | Εντός οικισμού ³ | Εκτός οικισμού ασκέτως απόστασης | > 500 μέτρα |

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.

6.4.3.2 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 Α/Γ, 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). Συγκεκριμένα 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.

6.7 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από μικρές Α/Γ στην Ελλάδα διαμορφώνεται ως ακολούθως (άρθρο 13, παράγραφος 1 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 5, παράγραφος 2 του ν.3851/2010) [20]:

- 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).

Ο τρόπος αναπροσαρμογής των τιμών αυτών 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 ΔΕΔΔΗΕ. Ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται για όσο χρόνο τα τιμολόγια της ΔΕΔΔΗΕ καθορίζονται με υπουργική απόφαση. Όταν

αυτό παύσει και η ΔΕΔΔΗΕ 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.

Για λόγους σύγκρισης, στη συνέχεια παρατίθεται η αντίστοιχη τιμολογιακή πολιτική της Αγγλίας η οποία έχει ως εξής [20]:

- για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 15 KW, η τιμή ισούται με 291 €/MWh.
- για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μεταξύ 1.5 και 15 KW, η τιμή ισούται με 322 €/MWh.
- για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 1.5 KW, η τιμή ισούται με 417 €/MWh.

6.8 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι μικρές Α/Γ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μικροδίκτυο μικρής κλίμακας επιπέδου οικίας ή μικρού οικισμού. Η σύνδεση μίας μικρής Α/Γ μπορεί να γίνει στον AC ζυγό ενός μικροδικτύου ή στον AC ζυγό του δικτύου χαμηλής τάσης. Ένας άλλος τρόπος είναι η σύνδεση στον DC ζυγό ενός αυτόνομου συστήματος με συσσωρευτές ως μονάδα αποθήκευσης.

Η σύνδεση σε ζυγό AC ενός μικροδικτύου παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με την σύνδεση σε ζυγό DC. Το AC σύστημα επιτρέπει τη σύνδεση πολλών διαφορετικών πηγών και μέσων αποθήκευσης σε έναν κοινό ζυγό AC. Οι πηγές και οι συσσωρευτές μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές και να συνδέονται απλά στον κοινό ζυγό. Επίσης, οι απώλειες του συστήματος είναι λιγότερες από το DC σύστημα εφόσον λειτουργεί σε υψηλότερη τάση [37].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SOLIDWORKS

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία εξέλιξη των τελευταίων ετών στη Μηχανολογία οφείλεται χωρίς αμφιβολία στην εισαγωγή των ηλεκτρονικών υπολογιστών (H/Y) σε όλους τους επιμέρους τομείς της. Σε σχέση με τις κατασκευαστικές επιστήμες, η δυνατότητα "απεικόνισης" της γεωμετρίας μιας μηχανολογικής κατασκευής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή αλλάζει σημαντικά τόσο την εκπαίδευση όσο και την επαγγελματική πράξη του μηχανικού.

Η σχεδίαση με τη βοήθεια H/Y (Computer- Aided Design: CAD) είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιεί H/Y για την υποβοήθηση της δημιουργίας, τροποποίησης και βελτιστοποίησης ενός σχεδιασμού.

7.2 ΟΡΙΣΜΟΣ CAD

Η σχεδίαση με τη βοήθεια H/Y (Computer - Aided Design: CAD) είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιεί H/Y για την υποβοήθηση της δημιουργίας, τροποποίησης και βελτιστοποίησης ενός σχεδιασμού. Με τον όρο CAD εννοούμε τη δημιουργία γεωμετρικών απεικονίσεων στον H/Y. Προφανώς δεν υπάρχει περιορισμός στη γνωστή διαδικασία αντικατάστασης του drafting, δηλ. του διδιάστατου (2-D) παραδοσιακού σχεδίου του μηχανικού, αλλά κυρίως στην περίπτωση τριδιάστατης (3-D) απεικόνισης κατασκευών ή δομών, όπου χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες διαδικασίες προσέγγισης επιφανειών, μέσω των παρεμβολών Coons, Bezier και Nurbs, ή/και όγκων. Έτσι, είναι πολύ ευκολότερη και ελέγξιμη η αλλαγή της γεωμετρίας ενός μηχανολογικού εξαρτήματος μέχρις ότου ο μελετητής καταλήξει σε μία καταρχήν αποδεκτή κατασκευαστική λύση. Επιπλέον, όλα τα συστήματα CAD διαθέτουν κατάλληλα φίλτρα –interfaces (DXF, IGES, STEP) που δίνουν τη δυνατότητα μεταφοράς της γεωμετρικής πληροφορίας από το ένα σύστημα στο άλλο (εναλλαξιμότητα).

Τα εργαλεία CAD μπορούν να ποικίλουν μεταξύ γεωμετρικών εργαλείων διαχείρισης σχημάτων μέχρι εξειδικευμένα λογισμικά εφαρμογών. Μεταξύ αυτών των δύο άκρων, τυπικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα επί του παρόντος, περιλαμβάνουν ανάλυση ανοχών, υπολογισμούς ιδιοτήτων μάζας, κέντρο βάρους, ροπή αδρανείας, κ.λπ., μοντελοποίησης με πεπερασμένα στοιχεία (FEM) και οπτικής απεικόνισης (visualization) των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, μεταξύ άλλων. Ο σημαντικότερος ρόλος του CAD είναι ο καθορισμός της γεωμετρίας του υπό σχεδιασμό προϊόντος που είναι ουσιώδης σε όλες τις επόμενες φάσεις του κύκλου παραγωγής ενός προϊόντος. Στη συνέχεια, η εν λόγω γεωμετρία αξιοποιείται από το CAE.

7.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SOLIDWORKS

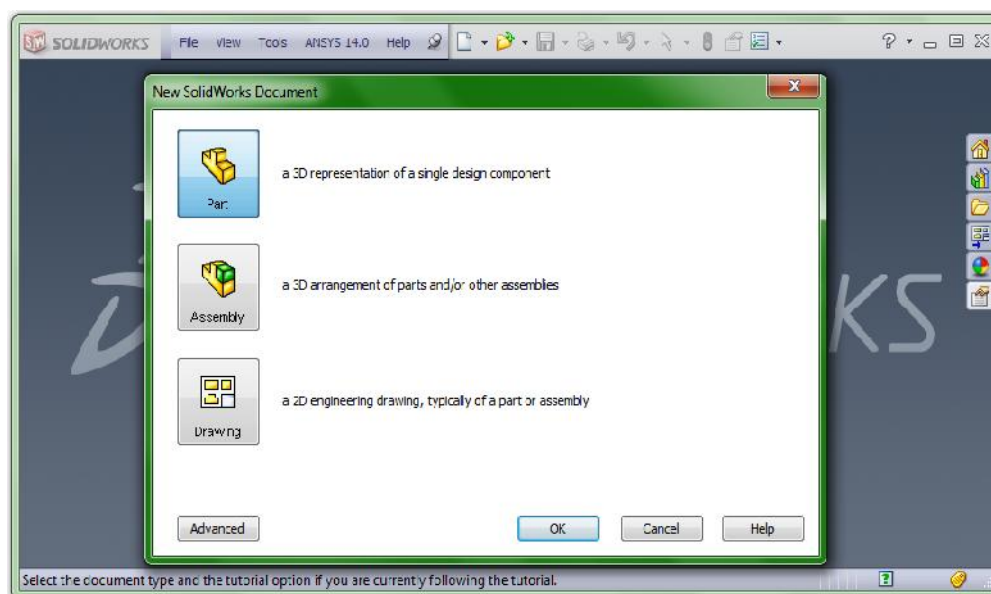
Το λογισμικό SolidWorks [40] είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραμετρικής τριδιάστατης σχεδίασης. Όπως, όλα τα λογισμικά αυτού του είδους, έτσι και αυτό, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να πραγματοποιεί τριδιάστατη απεικόνιση αντικειμένων παρέχοντάς του ταυτόχρονα τη δυνατότητα αλλαγής σχέσεων και διαστάσεων. Η μέθοδος παραγωγής των αντικειμένων βασίζεται

σε επεκτάσεις διδιάστατων σχεδίων, που πραγματοποιούνται σε προκαθορισμένα επίπεδα του χώρου.

Το λογισμικό οργανώνει τα αρχεία του σε τρεις μορφές:

- **Parts (Εξαρτήματα):** Είναι τα βασικά αρχεία σχεδιασμού ενός όγκου δεδομένης γεωμετρίας και διαστάσεων.
- **Assemblies (Συναρμολογήματα):** Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση δύο ή περισσότερων εξαρτημάτων. Σε αυτά τα αρχεία δηλώνονται γεωμετρικές και μηχανικές σχέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων.
- **Drawings:** Είναι τα αρχεία των κατασκευαστικών σχεδίων των εξαρτημάτων ή των συναρμολογημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή διδιάστατων σχεδίων προς εκτύπωση.

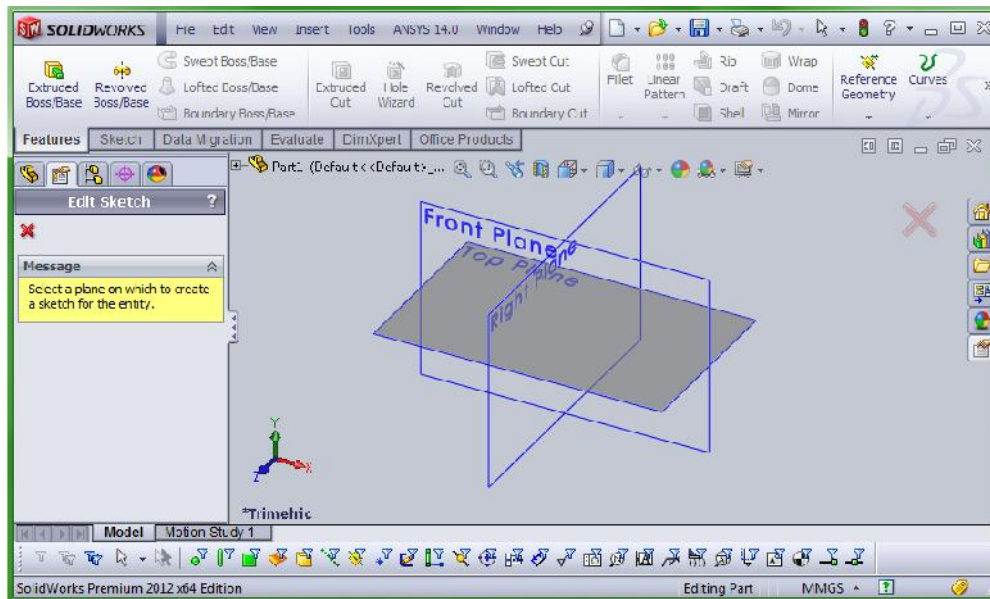
Κατά τη δημιουργία ενός νέου αρχείου, αναδύεται ένα παράθυρο, όπου ο χρήστης επιλέγει τον τύπο του αρχείου που θα χρησιμοποιήσει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 32.



Σχήμα 32: Επιλογή τύπου αρχείου

7.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΡΧΕΙΟΥ PART

Για τη δημιουργία ενός αρχείου Part, χρησιμοποιείται τουλάχιστον μία εντολή τύπου sketch, η οποία εκτελείται πάντα σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο της περιοχής σχεδίασης (Front, Right ή Top Plane). Η εντολή ενεργοποιείται επιλέγοντας το κουμπί που δείχνει ο κέρσορας στο Σχήμα 33, ενώ παράλληλα επισημαίνεται το επιθυμητό επίπεδο σχεδίασης.

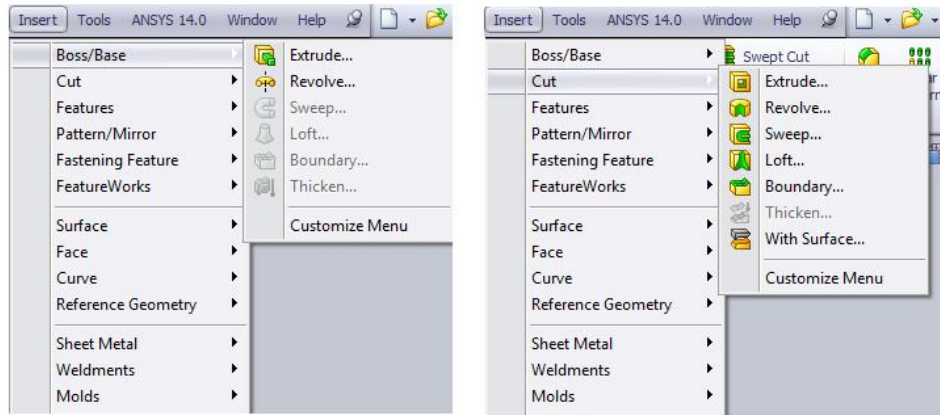


Σχήμα 33: Ενεργοποίηση εντολής Sketch

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει σχεδίαση γραμμών, κύκλων, ελλείψεων, πολυγώνων και να χρησιμοποιήσει άλλα εργαλεία που διαθέτει κάθε σχεδιαστικό πρόγραμμα από τη γραμμή εργαλείων της εντολής Sketch. Η εντολή Sketch ολοκληρώνεται με την εντολή Exit Sketch.

Η επιθυμητή τριδιάστατη μορφή στο σχήμα που έχει ήδη παραχθεί, δίνεται με τις εντολές από της οικογένειας Feature. Οι εντολές Feature χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στις εντολές Boss/Base, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επέκταση διδιάστατων σχημάτων και στις εντολές Cut, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τριδιάστατου κενού από την επέκταση διδιάστατων σχημάτων. Στις εντολές Boss/Base και Cut, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 34 ανήκουν οι εξής τέσσερις βασικές εντολές:

- Extrude
- Revolve
- Swept
- Loft

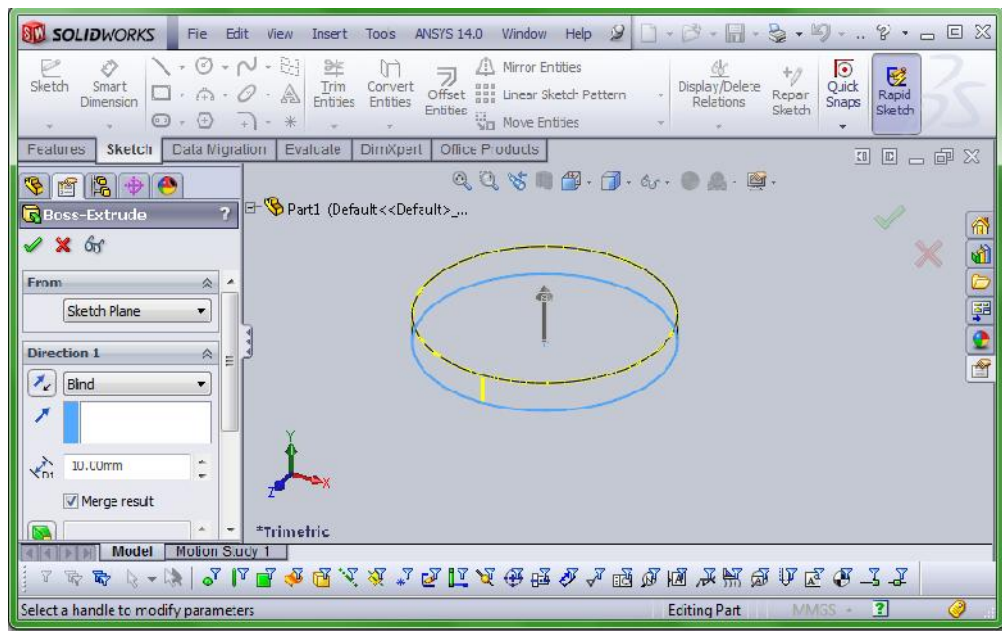


Σχήμα 34: Εντολές Boss/Base και Cut

Οι δύο κατηγορίες των εντολών αυτών εκτελούνται με την ίδια ακριβώς λογική. Για το λόγο αυτό, παρακάτω περιγράφονται μόνο οι εντολές Boss/Base.

7.3.1.1 Η Εντολή Extrude Boss/Base

Με την εντολή Extrude Boss/Base, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δώσει όγκο σε επιφάνειες, οι οποίες προκύπτουν από ένα Sketch, το οποίο αποτελείται από κλειστές γραμμές. Η επέκταση των επιφανειών με αυτή την εντολή πραγματοποιείται σε διεύθυνση κάθετη σε αυτές και το μήκος της επέκτασης ελέγχεται μέσω των ρυθμίσεων της εντολής στο αναδυόμενο παράθυρο αριστερά της επιφάνειας σχεδίασης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 35.

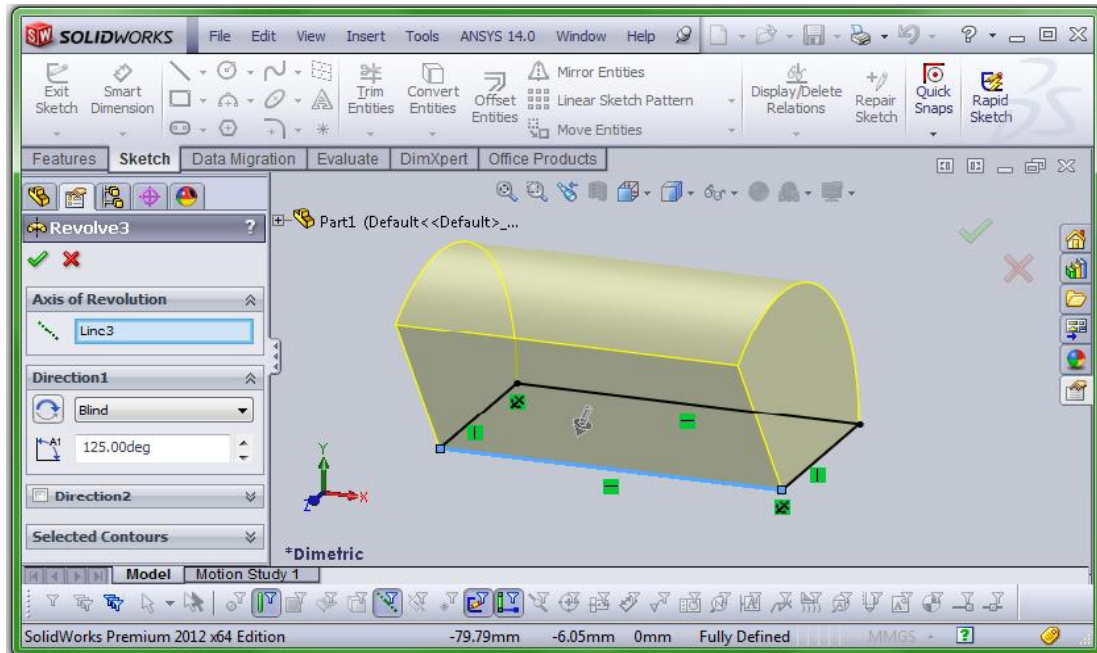


Σχήμα 35: Ρυθμίσεις εντολής Extrude Boss/Base

7.3.1.2 Η Εντολή Revolve Boss/Base

Η εντολή Revolve Base/Boss χρησιμοποιείται για την περιστροφική επέκταση επιφανειών. Κατά την εκτέλεση αυτής της εντολής, ο χρήστης καλείται να επισημάνει στις ρυθμίσεις της

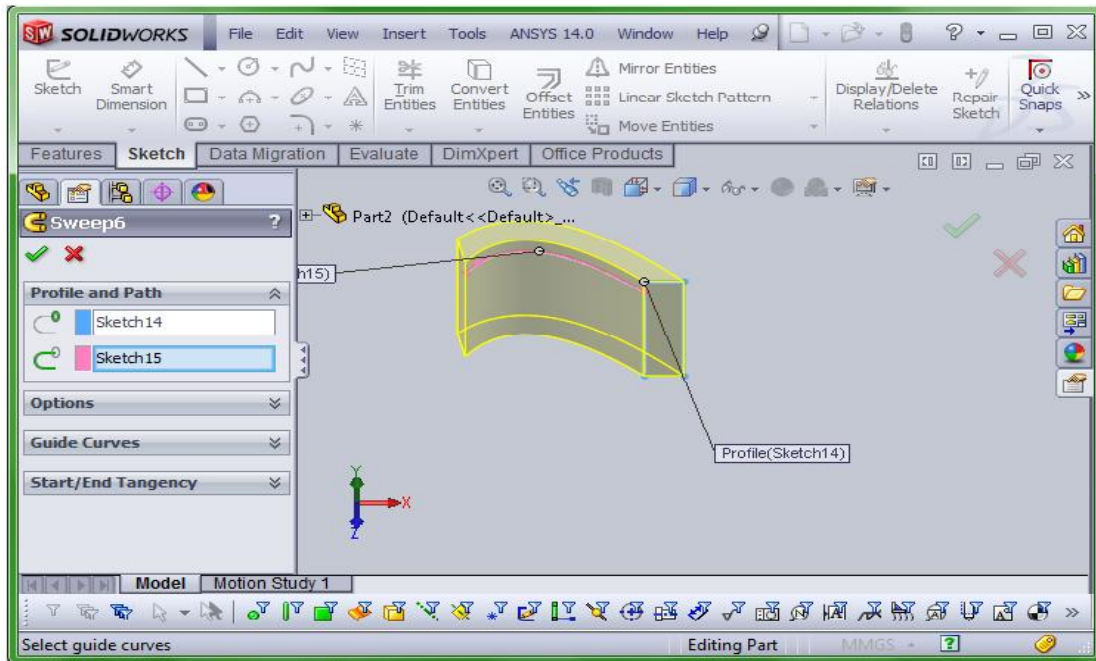
εντολής, την επιφάνεια ενός κλειστού Sketch και μία βοηθητική γραμμή που χρησιμοποιείται ως άξονας περιστροφής της επέκτασης. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη γωνία περιστροφής κατά την οποία θα εκτελεστεί η εντολή. Οι επιλογές της εντολής φαίνονται στο Σχήμα 36, που ακολουθεί.



Σχήμα 36: Ρυθμίσεις εντολής Revolve Boss/Base

7.3.1.3 Η εντολή Swept Boss/Base

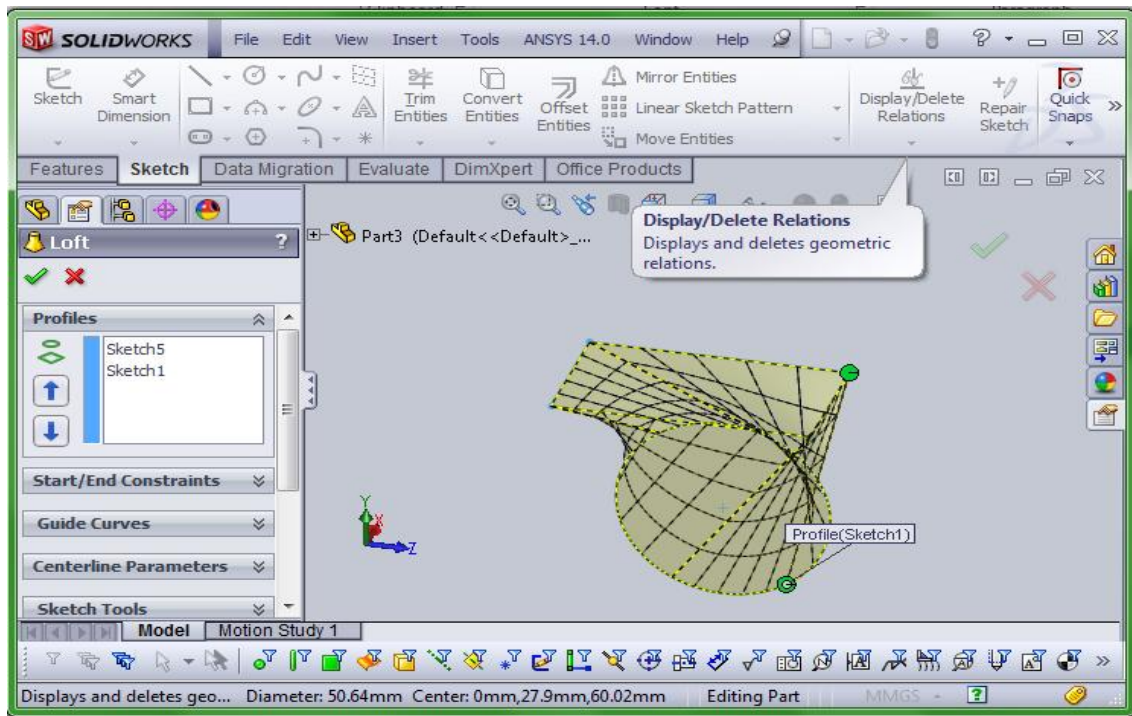
Η εντολή Swept Boss/Base είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη δημιουργία πολύπλοκων αντικειμένων. Η συγκεκριμένη εντολή είναι και αυτή εντολή επέκτασης, αλλά εκτελείται με οδηγό μία γραμμή, που έχει προηγουμένως σχεδιαστεί από το χρήστη, σε αντίθεση με τις προηγούμενες εντολές που πραγματοποιούν την επέκταση επιφανειών είτε κάθετα είτε περιστροφικά. Στις ρυθμίσεις της εντολής αυτής, ο χρήστης επιλέγει πάλι μία επιφάνεια (Profile) από μία ολοκληρωμένη εντολή Sketch και τον οδηγό-γραμμή (Path), που έχει σχεδιάσει σε διαφορετικό επίπεδο σχεδίασης (Σχήμα 37).



χίμα 37: Ρυθμίσεις εντολής Swept Boss/Base

7.3.1.4 Η εντολή Loft Boss/Base

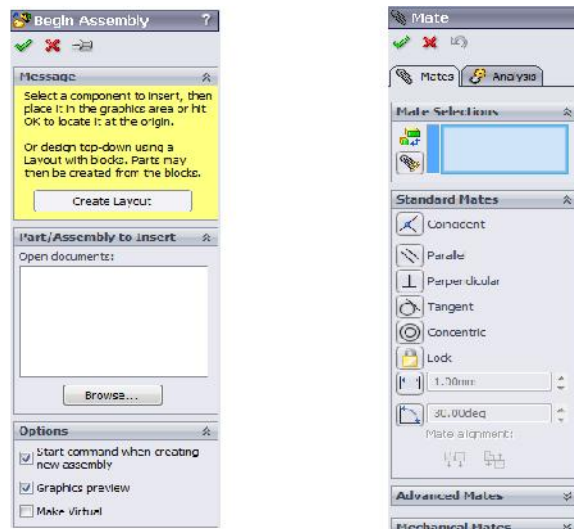
Η εντολή Loft Boss/Base χρησιμοποιείται για την επέκταση που προκύπτει από την ένωση δύο επιφανειών διαφορετικού σχήματος και επιπέδου. Στις ρυθμίσεις της εντολής, ο χρήστης επιλέγει τις επιθυμητές επιφάνειες προς ένωση-επέκταση, ενώ, παράλληλα, του δίνεται η δυνατότητα της χειροκίνητης αντιστοιχίας σημείων μεταξύ των επιφανειών. Στο Σχήμα 38 φαίνεται η ένωση μιας επιφάνειας ορθογώνιου παραλληλογράμμου με αυτήν ενός κύκλου ενώ έχουν τροποποιηθεί οι αντιστοιχίες των σημείων, με αποτέλεσμα την στρέβλωση του αντικειμένου.



Σχήμα 38: Ρυθμίσεις εντολής Loft Base/Boss

7.3.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΩΝ ΤΥΠΟΥ ASSEMBLY

Τα αρχεία τύπου Assembly χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση δύο ή περισσότερων αρχείων εξαρτημάτων (Part). Με τη δημιουργία τέτοιου είδους αρχείων, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να ελέγξει τις μηχανικές συναρμογές των αντικειμένων που έχει σχεδιάσει, αλλά και την αναπαράσταση περιοδικών περιστροφικών ή παλινδρομικών κινήσεων.



Σχήμα 39: Οι εντολές Insert Components και Mate

Κατά τη δημιουργία ενός αρχείου Assembly, ανοίγει αυτόματα το παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής "Insert Components" (Σχήμα 39), με την οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει

ήδη αποθηκευμένα αρχεία τύπου Part ή Assembly. Η προσθήκη των αντικειμένων επιτυγχάνεται με το μαρκάρισμα των αρχείων στην περιοχή " Part/Assembly to Insert" και την τοποθέτησή τους στην περιοχή σχεδίασης. Με την τοποθέτηση όλων των αρχείων, ο χρήστης ενεργοποιεί την εντολή "Mate", με την οποία θα ορίσει τις σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων. Με την ενεργοποίηση αυτής της εντολής, αναδύεται το παράθυρο του Σχήματος 39, όπου στην περιοχή "Mate Selections", επισημαίνονται δύο επιφάνειες/γραμμές/σημεία δύο αντικειμένων και από την περιοχή "Standard Mates" επιλέγεται το είδος της σχέσης που θα διέπει τα δύο επιλεγμένα στοιχεία.

7.3.2.1 Η Εντολή Mate

Αφού τοποθετηθούν τα parts στις επιθυμητές θέσεις καθορίζονται οι συσχετίσεις (mates) που υπάρχουν μεταξύ τους. Τα mates δημιουργούν τις γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων συναρμολόγησης. Μπορούν να οριστούν οι επιτρεπόμενες κατευθύνσεις γραμμικής ή περιστροφικής κίνησής τους.

Οι βασικοί τύποι συσχετίσεων είναι:

- Coincident, δηλαδή τα επιλεγμένα εξαρτήματα να συμπίπτουν
- Parallel, να είναι παράλληλα
- Perpendicular, να υπάρχει σχέση καθετότητας
- Tangent, να συνδέονται εφαπτομενικά
- Concentric, να είναι ομόκεντρα

Υπάρχει και η δυνατότητα του Advanced Mate/Width μέσω της οποίας είναι δυνατόν να "κεντραριστεί" ένα εξάρτημα ως προς κάποιο ή κάποια άλλα εξαρτήματα.

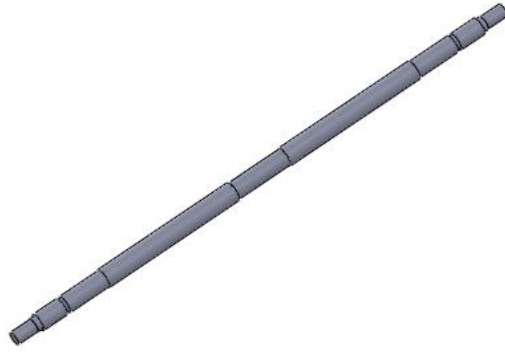
7.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SOLIDWORKS

Ακολουθούν τα τριδιάστατα αντικείμενα των Α/Γ που σχεδιάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού SolidWorks για να ακολουθήσει η ανάλυση της Α/Γ που συνδυάζει δύο τύπους Α/Γ στον άξονά της. Παρουσιάζονται Α/Γ σε διάφορες όψεις καθώς και τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελούνται.

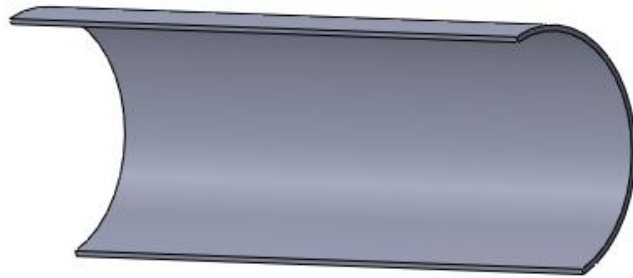
7.4.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ SAVONIUS

Σχεδιάστηκε μία Α/Γ τύπου Savonius μικρών διαστάσεων, με διάμετρο ρότορα 0.33 m και ύψος ρότορα 0.416 m. Τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται η Α/Γ τύπου Savonius είναι:

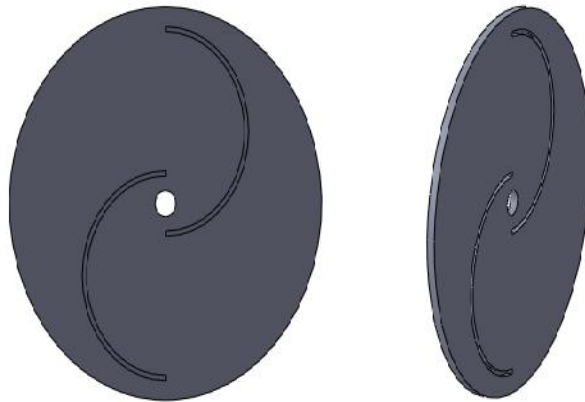
- Άξονας περιστροφής (Σχήμα 40)
- Πτερύγια (Σχήμα 41)
- Δίσκοι συγκράτησης πτερυγίων (Σχήμα 42)
- Φλάντζες σταθεροποίησης των δίσκων (Σχήμα 43)



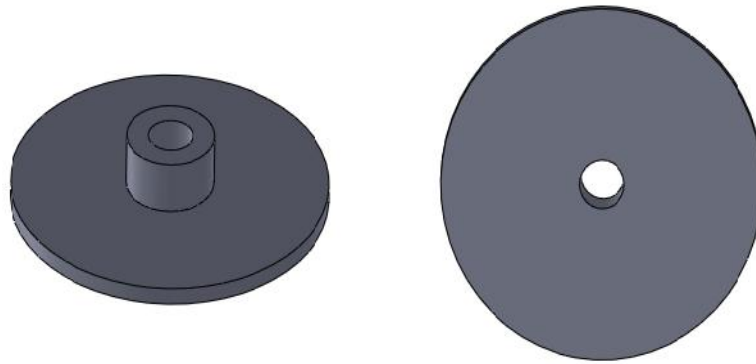
Σχήμα 40: Άξονας Περιστροφής



Σχήμα 41: Πτερύγιο

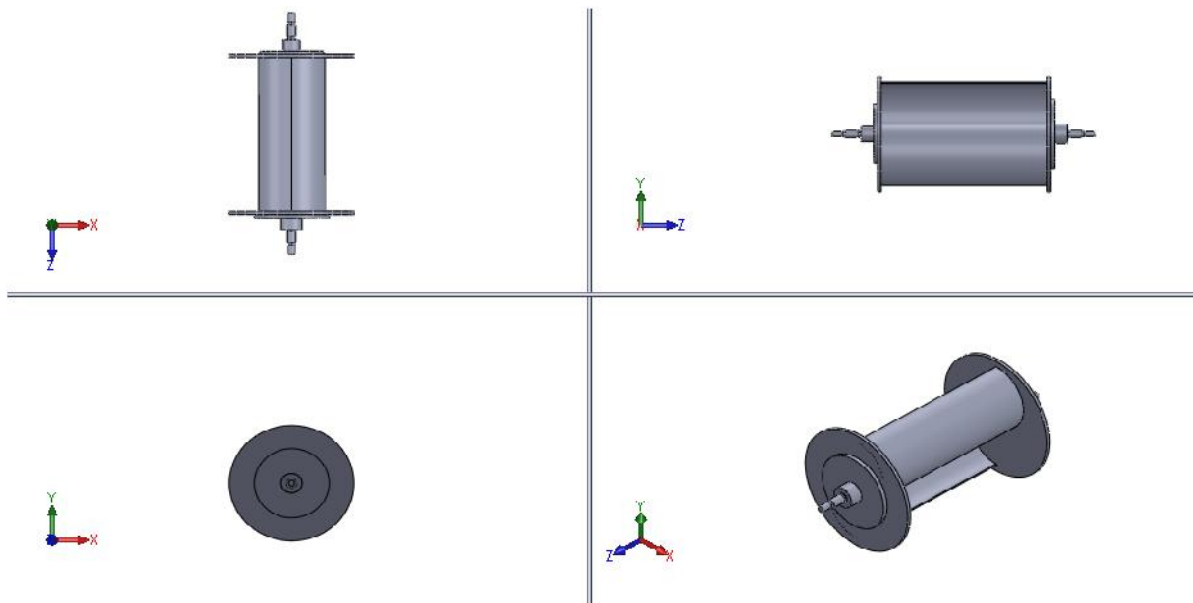


Σχήμα 42: Δίσκος συγκράτησης



Σχήμα 43: Φλάντζα σταθεροποίησης

Στο Σχήμα 44 παρουσιάζεται η Α/Γ τύπου Savonius σε διάφορες όψεις.



Σχήμα 44: Η ανεμογεννήτρια τύπου Savonius σε διάφορες όψεις

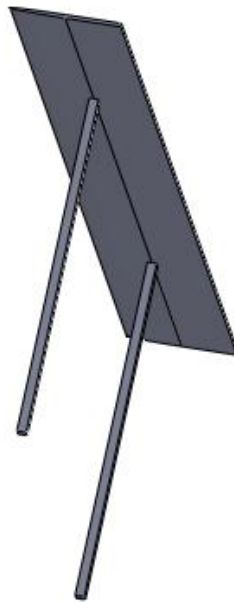
7.4.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ Η

Σχεδιάστηκε μία Α/Γ τύπου Η με διάμετρο ρότορα 0.894 m και ύψος ρότορα 1.416 m. Τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται η Α/Γ τύπου Η είναι:

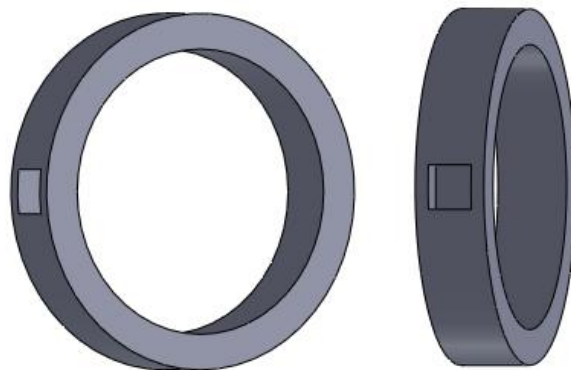
- Άξονας περιστροφής (Σχήμα 45)
- Πτερύγια (Σχήμα 46)
- Δαχτυλίδι σύνδεσης πτερυγίων (Σχήμα 47)



Σχήμα 45: Άξονας περιστροφής

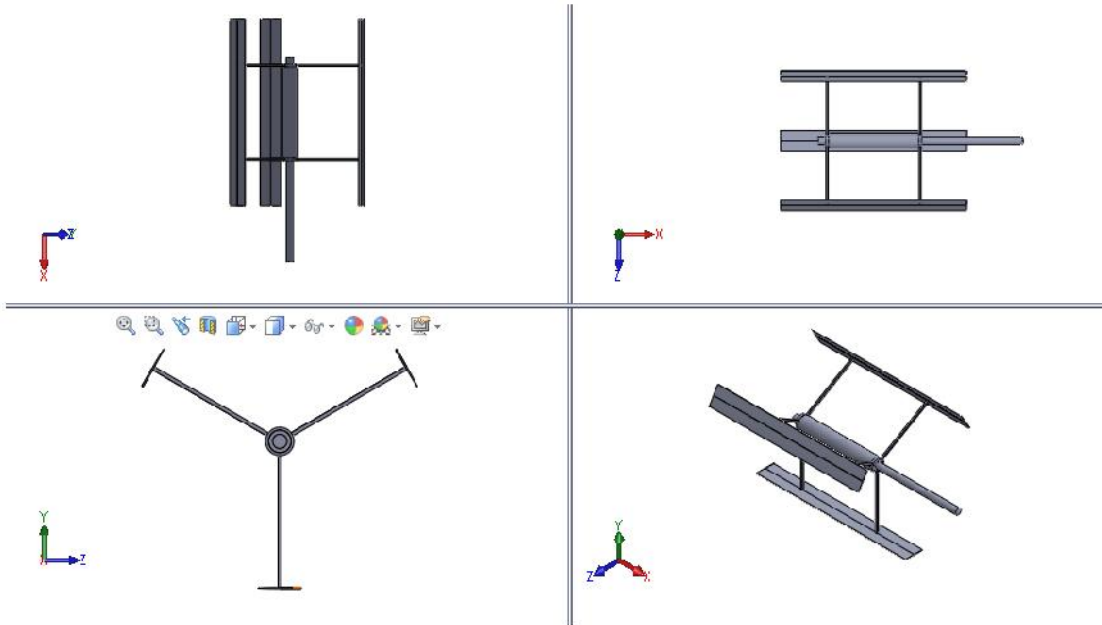


Σχήμα 46: Πτερύγιο



Σχήμα 47: Δαχτυλίδι σύνδεσης πτερυγίων

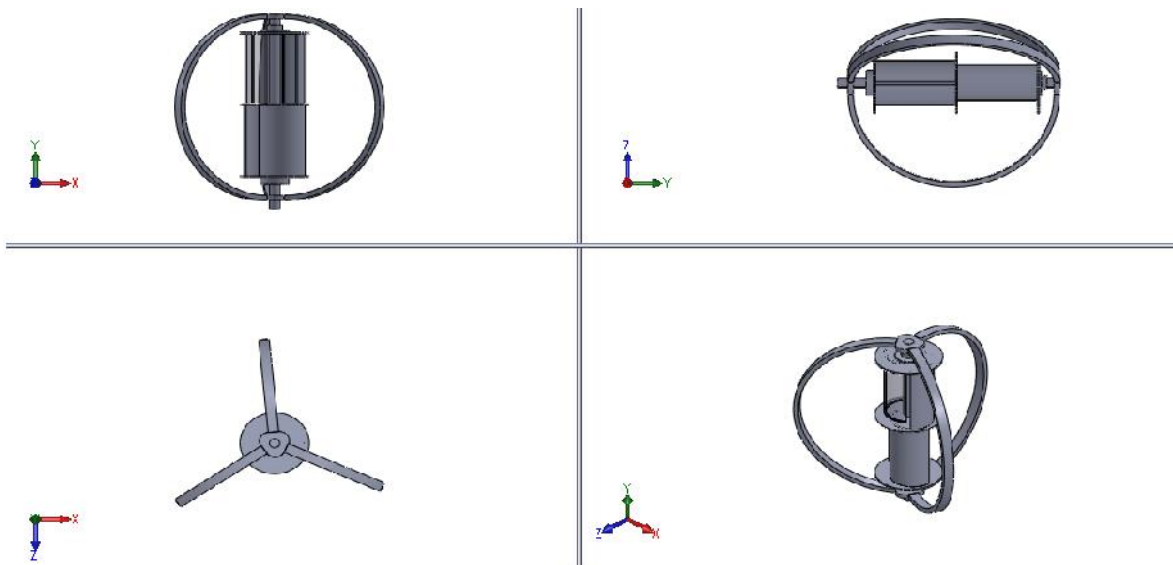
Στο Σχήμα 48 παρουσιάζεται η Α/Γ τύπου Η σε διάφορες όψεις.



Σχήμα 48: Η ανεμογεννήτρια τύπου Η σε διάφορες όψεις

7.4.3 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ DARRIEUS-SAVONIUS

Σχεδιάστηκε μία υβριδική Α/Γ τύπου Darrieus-Savonius με διάμετρο ρότορα 1.24 m και ύψος ρότορα 1.06 m (Σχήμα 49). Τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται η υβριδική Α/Γ τύπου Darrieus – Savonius, αντίστοιχα με αυτά που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, αφού συνδυάζει δύο Α/Γ τύπου Savonius και μία Α/Γ τύπου Darrieus στον ίδιο άξονα περιστροφής.



Σχήμα 49: Η υβριδική ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus-Savonius σε διάφορες όψεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυνατότητα "προσομοίωσης" της στατικής, δυναμικής, θερμικής, ρευστοδυναμικής, κ.λπ. συμπεριφοράς μιας μηχανολογικής κατασκευής στον Η/Υ αποτελεί επιτεύγματα των τελευταίων ετών και αλλάζουν σημαντικά τόσο την εκπαίδευση όσο και την επαγγελματική πράξη του μηχανικού.

Η ανάλυση με τη βοήθεια Η/Υ (Computer- Aided Engineering: CAE) είναι μία τεχνολογία που ασχολείται με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάλυση γεωμετρίας CAD, που επιτρέπει στον σχεδιαστή να προσομοιώσει και να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο θα συμπεριφερθεί το αντικείμενο έτσι ώστε ο σχεδιασμός να επιδέχεται εύκολα αποπεράτωση και βελτιστοποίηση. Η κυρίαρχη μέθοδος CAE είναι αυτή των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method: FEM).

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα CAD – CAE, το οποίο υλοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, είναι το λογισμικό ANSYS Workbench.

8.2 ΟΡΙΣΜΟΣ CAE

Η ανάλυση με τη βοήθεια Η/Υ (Computer – Aided Engineering: CAE) είναι μία τεχνολογία που απασχολείται με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάλυση γεωμετρίας CAD, που επιτρέπει στον σχεδιαστή να προσομοιώσει και να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο θα μπορεί να συμπεριφερθεί το προϊόν έτσι ώστε ο σχεδιασμός να επιδέχεται εύκολα αποπεράτωση και βελτιστοποίηση.

Μεταξύ των πλέον διαδεδομένων μεθόδων ανάλυσης είναι η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method: FEM) που επιτρέπει τη στατική και δυναμική μηχανική ανάλυση, θερμική ανάλυση, ρευστομηχανική και αεροδυναμική ανάλυση, ακουστική ανάλυση, μαγνητικού πεδίου ή και άλλων πεδίων. Η εφαρμογή της FEM απαιτεί τη χρήση ενός απλουστευμένου αφαιρετικού μοντέλου που μπορεί να δημιουργηθεί είτε με αλληλεπίδραση του χρήστη ή και αυτόματα. Το κομμάτι του λογισμικού CAE που καθιστά δυνατή την κατασκευή του αφαιρετικού μοντέλου και τη γένεση των πεπερασμένων στοιχείων είναι προ-επεξεργαστής (pre-processor). Μετά την εκτέλεση της ανάλυσης που πραγματοποιείται στον επιλυτή του λογισμικού, ο Η/Υ συγκεντρώνει τα αποτελέσματα και τα εμφανίζει με ευανάγνωστο οπτικό τρόπο, για παράδειγμα περιοχές υψηλών τάσεων μπορεί να παριστάνονται με κόκκινο χρώμα. Το κομμάτι του λογισμικού στο οποίο πραγματοποιούνται τέτοιες απεικονίσεις αποτελεί τον λεγόμενο μετα-επεξεργαστή (post-processor).

Επιπλέον, είναι διαθέσιμα και εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία πολλά εργαλεία βελτιστοποίησης σχεδιασμού. Παρόλο που τα εργαλεία βελτιστοποίησης μπορούν να θεωρηθούν σαν εργαλεία CAE, συνήθως ταξινομούνται με ξεχωριστό τρόπο. Διάφορες ερευνητικές προσπάθειες εξελίσσονται προς την κατεύθυνση αυτόματου σχεδιασμού με ολοκλήρωση των διαδικασιών βελτιστοποίησης και ανάλυσης. Σε αυτές τις προσεγγίσεις, γίνεται η παραδοχή ενός απλού αρχικού σχήματος σχεδιασμού, όπως ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο για διδιάστατο εξάρτημα που αποτελείται από μικρά στοιχεία διαφορετικών πυκνοτήτων. Κατόπιν, εκτελείται η διαδικασία βελτιστοποίησης προς υπολογισμό των βέλτιστων τιμών αυτών των πυκνοτήτων που αποβλέπει στην επίτευξη ενός στόχου με παράλληλη ικανοποίηση των κάποιων συνθηκών τάσης ή/και παραμόρφωσης. Συνήθως, στόχος είναι η επίτευξη του ελάχιστου βάρους. Με βάση τις

βέλτιστες τιμές πυκνοτήτων, το βέλτιστο σχήμα του σχεδιασμού λαμβάνεται με απαλοιφή των στοιχείων χαμηλής πυκνότητας.

Η γοητεία των μεθόδων ανάλυσης και βελτιστοποίησης είναι ότι επιτρέπουν στον μηχανικό να δει τον τρόπο με τον οποίο το προϊόν θα συμπεριφερθεί και του επιτρέπουν να επισημάνει τα όποια λάθη έχουν γίνει μέχρι τη στιγμή εκείνη, προτού προχωρήσει σε χρονοβόρες και δαπανηρές διαδικασίες κατασκευής και ελέγχου φυσικών πρωτοτύπων. Επειδή το κόστος μελέτης μεταβάλλεται εκθετικά στα τελευταία στάδια ανάπτυξης και παραγωγής του προϊόντος, η πρόωπη βελτιστοποίηση και εξευγενισμός που επιτυγχάνεται από την ανάλυση CAE τελικά αποπληρώνεται με μείωση χρόνου και κόστους.

8.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το σύνολο των απαραίτητων διαδικασιών για την ανάπτυξη ενός πλήρους μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων, περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- εισαγωγή της γεωμετρίας
- γένεση του πλέγματος
- ορισμός οριακών συνθηκών
- επίλυση
- επισκόπηση των αποτελεσμάτων

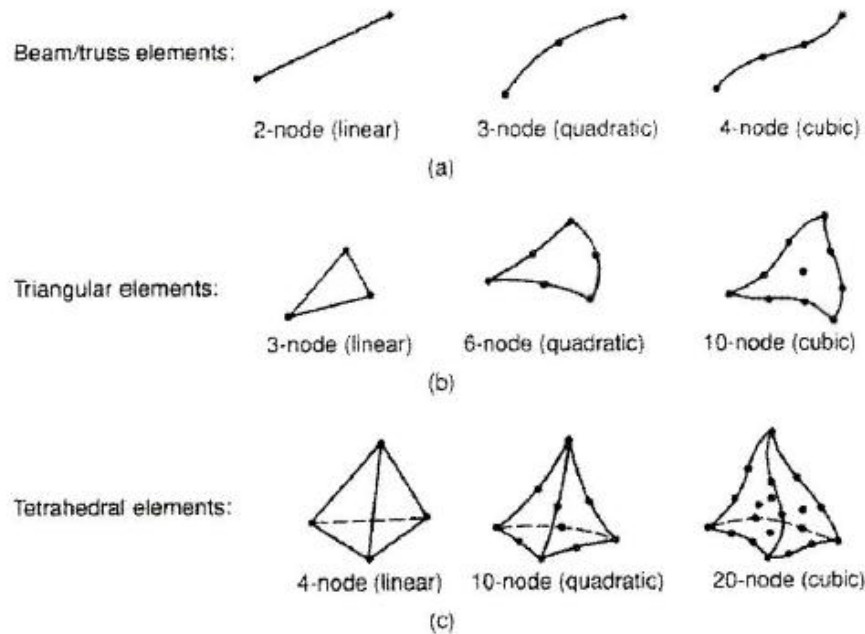
Οι παραπάνω διαδικασίες ονομάζονται, συνοπτικά, μοντελοποίηση πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Modeling)

Ο προ-επεξεργαστής (pre-processor) ξεκινάει με τον ορισμό της γεωμετρίας του αντικειμένου ή του πεδίου ορισμού του προβλήματος. Παραδοσιακά συστήματα FEA είχαν μόνο στοιχειώδεις λειτουργίες μοντελοποίησης, αλλά, σήμερα, τα περισσότερα είτε προσφέρουν προηγμένες δυνατότητες ή έχουν στενούς δεσμούς με συστήματα CAD, μερικές φορές και τα δύο. Συστήματα που στηρίζονται σε γεωμετρική μοντελοποίηση CAD είτε απευθείας σύνδεση με το μοντέλο CAD ή μεταφράζουν και εισάγουν τη γεωμετρία. Η απευθείας σύνδεση με CAD κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος διότι εξαλείφει τα βήματα μετάφρασης, την απώλεια δεδομένων και μικραίνει τον κύκλο σχεδιασμού – ανάλυσης – αλλαγής. Περαιτέρω, η χρήση συστήματος CAD διευκολύνει τη μοντελοποίηση και παρέχει πιο ισχυρές λειτουργίες δημιουργίας και αλλαγής σύνθετης γεωμετρίας. Πράγματι, σήμερα τα περισσότερα υβριδικά συστήματα μοντελοποίησης, με ολοκληρωμένη μοντελοποίηση όγκου, επιφάνειας και wireframe, και παραμετρικών μεθόδων που στηρίζονται σε features, μπορούν να χτίσουν οποιαδήποτε γεωμετρία απαιτείται για ανάλυση. Τα περισσότερα συστήματα FEA δίνουν επίσης, έμφαση στη δυνατότητα που έχουν να εισάγουν τη γεωμετρία, είτε μέσω τυποποιήσεων, όπως το IGES ή απευθείας από συγκεκριμένα συστήματα CAD. Ωστόσο, η απευθείας χρήση δεν είναι πάντα άμεσα εφαρμόσιμη. Το μοντέλο μπορεί να φαίνεται τέλειο αλλά στην πραγματικότητα να έχει σφάλματα που αποκαλύπτονται στο σύστημα FEA, κυρίως κατά την διαδικασία γένεσης πλέγματος. Μερικά συστήματα προσφέρουν λειτουργίες που μπορούν να "καθαρίσουν" την εισαγόμενη γεωμετρία. Επιπλέον, ακόμη και αν η γεωμετρία CAD δεν περιέχει σφάλματα, η ανάλυση δεν απαιτεί όλες τις λεπτομέρειές του, οπότε μερικές από αυτές, π.χ. ένα fillet, θα μπορούσαν να απαλειφθούν. Μερικά συστήματα διαθέτουν τέτοιες αυτόματες δυνατότητες απενεργοποίησης γεωμετρικών οντοτήτων.

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία πλέγματος και κατανομής κόμβων. Όταν σε κάθε πλέγμα αποδίδονται κόμβοι τότε αυτό μετατρέπεται σε πεπερασμένο στοιχείο. Η γένεση πλέγματος είναι το πλέον σημαντικό και δύσκολο στάδιο της μοντελοποίησης πεπερασμένων στοιχείων. Για

την διευκόλυνση αυτού του σταδίου, σήμερα όλα τα συστήματα προσφέρουν δυνατότητες αυτόματης γένεσης πλέγματος. Η τυπική προσέγγιση είναι να προσφέρουν αυτόματο πλέγμα τετραεδρικών στοιχείων για στερεή γεωμετρία και τετραπλευρικά ή τριγωνικά στοιχεία για επιφάνεια στον τριδιάστατο χώρο, κελύφη, επίπεδη εντατική ή επίπεδη παραμορφωσιακή κατάσταση. Πολλά συστήματα επιτρέπουν στους χρήστες να επέμβουν στις παραμέτρους αυτόματης γένεσης πλέγματος, όπως η πυκνότητα πλέγματος, καθώς και τη διασύνδεση πλέγματος με τη γεωμετρία έτσι ώστε κάθε αλλαγή αυτής να αντανακλάται αυτόματα στο πλέγμα.

Τα πεπερασμένα στοιχεία που υποστηρίζονται από ένα σύστημα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων αποτελούν τη λεγόμενη βιβλιοθήκη στοιχείων (element library). Όσο πιο μεγάλο το πλήθος των στοιχείων, τόσο περισσότερα είδη προβλημάτων μπορούν να επιλυθούν. Το Σχήμα 50 δείχνει τυπικά πεπερασμένα στοιχεία που υποστηρίζονται από τους περισσότερους κώδικες. Να σημειωθεί ότι το ίδιο πλέγμα μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετικά πεπερασμένα στοιχεία ανάλογα με τον αριθμό κόμβων που αποδίδονται σε αυτό. Τέλος, οι ζώνες στις οποίες αναμένεται απότομη μεταβολή στη συμπεριφορά των προς επίλυση αγνώστων, όπως συγκέντρωση τάσεων γύρω από οπές, πρέπει να διακριτοποιηθούν από στοιχεία μεγαλύτερης πυκνότητας πλέγματος από εκείνες που εμφανίζουν προοδευτική μεταβολή.



Σχήμα 50: Τύποι πεπερασμένων στοιχείων (α) μονοδιάστατα, (β) διδιάστατα και (γ) τριδιάστατα προβλήματα [41]

Αφού επιλεγεί η διάταξη των στοιχείων, καθορίζεται ο τύπος της ανάλυσης, π.χ. στατική ή δυναμική, γραμμική ή μη-γραμμική, επίπεδη εντατικής παραμορφωσιακής κατάσταση. Επίσης, οι άγνωστοι ή αλλιώς οι βαθμοί ελευθερίας συσχετίζονται με τους κόμβους. Οι άγνωστοι περιέχουν μετατοπίσεις, περιστροφές, θερμοκρασία, ροή θερμότητας, κ.ο.κ.. Κατόπιν, καθορίζονται οι οριακές συνθήκες, όπως μετατοπίσεις, δυνάμεις και θερμοκρασίες, οι οποίες συνήθως είναι γνωστές για το συνεχές τμήμα του συνόρου του αντικειμένου. Αυτές οι οριακές συνθήκες, πρέπει να εκφραστούν σαν ένα σύνολο τιμών μετατοπίσεων, δυνάμεων ή θερμοκρασιών σε συγκεκριμένους κόμβους των πεπερασμένων στοιχείων. Εάν πρόκειται να εισαχθούν σημειακά φορτία, πρέπει να δημιουργηθούν κόμβοι στα αντίστοιχα σημεία εφαρμογής τους. Τα περισσότερα συστήματα που είναι συνδεδεμένα με CAD επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει τις οριακές συνθήκες στη γεωμετρία CAD, και σε αυτή την περίπτωση οι οριακές συνθήκες μετατρέπονται σε ισοδύναμες οριακές συνθήκες στους κόμβους του πλέγματος από το ίδιο το σύστημα. Τα περισσότερα λογισμικά πεπερασμένων στοιχείων,

επίσης, παρέχουν έναν αριθμό τρόπων εύκολου καθορισμού των φορτίσεων και των οριακών συνθηκών για το χειρισμό ευρείας κλίμακας προβλημάτων και ρεαλιστικών συνθηκών.

Σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο πρέπει, στη συνέχεια, να αποδοθούν ιδιότητες υλικού. Αυτές οι ιδιότητες είναι τυπικά το μέτρο ελαστικότητας του Young και ο λόγος του Poisson, για ελαστικές κατασκευές. Άλλες ιδιότητες υλικών περιλαμβάνουν θερμικές ιδιότητες, ειδική θερμότητα, συντελεστής αγωγιμότητας, λανθάνουσα θερμότητα, κ.λπ., ιξωδο-ελαστικότητα, κ.λπ., για άλλου τύπου προβλήματα. Μία απλή παραδοχή που γίνεται είναι σε διαφορετικές περιοχές στοιχείων να αποδίδονται διαφορετικές ιδιότητες υλικών. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αναλύσει ένα αντικείμενο κατασκευασμένο από σύνθετο υλικό. Ένα κρίσιμο ζήτημα στην ανάλυση σύνθετων υλικών είναι η διαχείριση της διεπιφάνειας μεταξύ των στρώσεων προκειμένου να υπολογισθεί η αποκόλληση (delamination).

Από τη στιγμή που ορισθεί το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων επιλέγοντας όλες τις παραμέτρους του πλέγματος, το μοντέλο εισάγεται στον κώδικα που εκτελεί την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Μετά την αριθμητική επίλυση, τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε ένα στάδιο που παραδοσιακά ονομάζεται μετα-επεξεργαστής (post-processor). Τα περισσότερα πακέτα προσφέρουν ποικίλους τρόπους καταλογοποίησης, εκτίμησης και απεικόνισης των αποτελεσμάτων, τα οποία τυπικά περιλαμβάνουν τάσεις, παραμορφώσεις και παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής. Ο παραδοσιακός τρόπος είναι υπό μορφή ζωνών "ισοτοπικών" επιφανειών κυρίως με χρήση χρωματικής κλίμακας. Επίσης, πολλά συστήματα διαθέτουν τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων σε μορφή που μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω, σαν κείμενα, παρουσιάσεις, videos, e-mail ή αποστολή στο διαδίκτυο.

8.3.1 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΓΕΝΕΣΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η γένεση πλέγματος συνεπάγεται τη δημιουργία κομβικών συντεταγμένων και στοιχείων. Περιλαμβάνει, επίσης, την αυτόματη αρίθμηση των κόμβων και στοιχείων βασισμένων στην ελάχιστη αλληλεπίδραση με το χρήστη. Έτσι, οι μέθοδοι αυτόματης γένεσης πλέγματος απαιτούν μόνο το γεωμετρικό μοντέλο, γεωμετρία και τοπολογία, του προς διακριτοποίηση αντικειμένου, τα χαρακτηριστικά του πλέγματος, όπως πυκνότητα πλέγματος και τύπος στοιχείου, και τις οριακές συνθήκες, περιλαμβάνοντας σαν είσοδο συνθήκες φόρτισης. Άλλες μέθοδοι που απαιτούν πρόσθετη είσοδο, όπως υποδιαίρεση του αντικειμένου σε υπο-χωρία ή υπο-περιοχές, ταξινομούνται σαν ημιαυτόματες μέθοδοι.

Μερικές μέθοδοι γένεσης πλέγματος, κυρίως, εκείνες που βασίζονται στην προσέγγιση κατακερματισμού της τοπολογίας, δεν παράγουν αρχικό πλέγμα επαρκές για περαιτέρω ανάλυση. Έτσι, πρέπει να ακολουθηθεί η πορεία τριών βημάτων ώστε να γίνει βέλτιστη η γένεση του πλέγματος.

Πιο συγκεκριμένα, πρέπει:

- Εάν τα στοιχεία που παράγονται δεν είναι του επιθυμητού τύπου, να υποδιαιρεθούν στον επιθυμητό τύπο.
- Εάν τα στοιχεία δεν έχουν μεγέθη συμβατά με την επιθυμητή κατανομή πυκνότητας πλέγματος, να εκλεπτυνθούν.
- Εάν τα στοιχεία δεν είναι καλοσχηματισμένα, να εξομαλυνθούν (smoothing technique).

8.3.2 ΕΙΔΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οι δυνατότητες των πακέτων λογισμικών πεπερασμένων στοιχείων είναι πολλές. Εκτός των τετριμμένων ελαστικών αναλύσεων, σε πολλά από αυτά τα λογισμικά υπάρχουν δυνατότητες επίλυσης ποικίλων άλλων προβλημάτων σε μεγάλο τμήμα των εξισώσεων που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα: θερμικά, ακουστικά, ηλεκτρικά, μαγνητικά, ηλεκτρομαγνητικά, υδροδυναμικά, ρευστομηχανικά, περιγραφής διάβρωσης υλικών, κ.λπ.. Το σύνολο αυτό των δυνατοτήτων συνήθως αποδίδεται με τον όρο "Multi – Physics", δηλαδή επίλυση των ποικίλων εξισώσεων της Φυσικής.

8.3.2.1 Καθορισμός του Είδους Ανάλυσης

Δεν είναι δυνατόν να κωδικοποιηθεί ο τρόπος ανάλυσης, γι' αυτό στη συνέχεια δίνονται κάποιες γενικές κατευθύνσεις.

Η πλέον αρχική επιλογή είναι ο καθορισμός του φυσικού φαινομένου, το οποίο καλείται ο μελετητής να προσομοιώσει. Για παράδειγμα ελαστική ανάλυση (elastic analysis) ή πρόβλημα δυναμικού (potential problem). Τα προβλήματα δυναμικού αφορούν στην επίλυση των εξισώσεων Laplace και Poisson που διέπουν τη μηχανική ατρίβους ρευστού, μετάδοση θερμότητας, κ.ο.κ..

Μία δεύτερη επιλογή που πρέπει να γίνει είναι ο καθορισμός του προβλήματος ως:

- Στατικό πρόβλημα (static problem), δηλαδή μη-εξαρτώμενο από το χρόνο.
- Δυναμικό πρόβλημα (dynamic problem), δηλαδή χρονικά εξαρτώμενο, όπως π.χ. η ταλάντωση μιας μηχανής, ο ερπυσμός και η χαλάρωση, η διάδοση ήχου στον αέρα ή σε άλλο μέσο, κ.λπ..

Μία άλλη κατάταξη αφορά στο εάν το πρόβλημα είναι:

- Γραμμικό (linear), στο οποίο εάν διπλασιασθεί το μέγεθος των εξωτερικών δράσεων, τότε διπλασιάζεται και το μέγεθος του αποτελέσματος. Τα περισσότερα προβλήματα της πράξης είναι ή μάλλον θεωρούνται γραμμικά.
- Μη-γραμμικό (nonlinear), στο οποίο δεν ισχύει η αναλογία όπως πριν. Σε "ελαστικά" προβλήματα η μη-γραμμικότητα μπορεί να οφείλεται στο ελαστικοπλαστικό υλικό (material nonlinearity) ή στην μεταβαλλόμενη επαφή μεταξύ δύο ή περισσότερων σωμάτων (geometrical nonlinearity). Μη-γραμμικότητες υπάρχουν και σε προβλήματα δυναμικού, π.χ. όταν ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.

8.3.2.2 Είδη Πεπερασμένων Στοιχείων

Τα βασικότερα είδη των πεπερασμένων στοιχείων είναι:

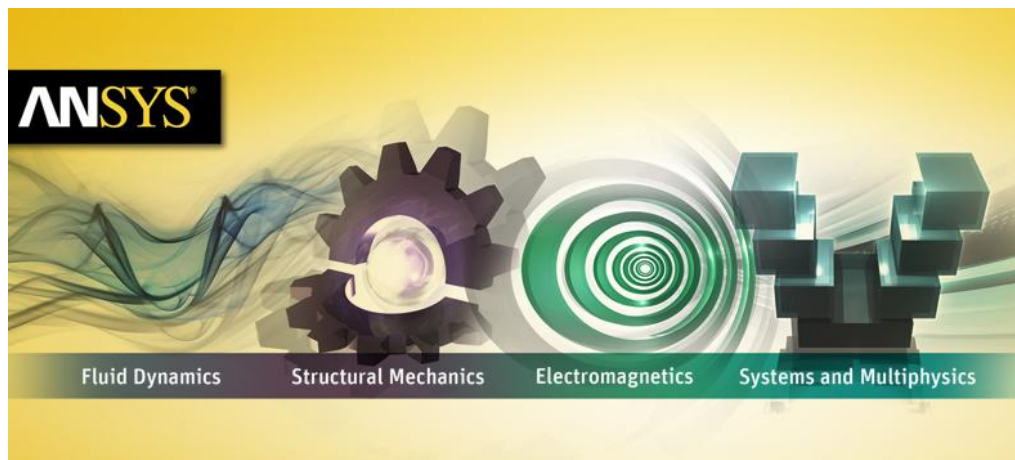
- Ράβδος (2 κόμβοι)
- Σύρμα – σχοινί
- Δοκός (2 κόμβοι)
- Επίπεδη εντατική καταπόνηση (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Επίπεδη παραμορφωτική κατάσταση (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Αξονοσυμμετρικό με αξονοσυμμετρική φόρτιση (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Αξονοσυμμετρικό με τυχαία φόρτιση (που αναλύεται σε αρμονικές)
- Πλάκα (3 μέχρι 9 κόμβοι)

- Μembrάνη
- Κέλυφος
- Ορθοτροπικό – πολυστρωματικό υλικό
- Τετράεδρο (3 κόμβοι)
- Πρίσμα (π.χ. 6 κόμβοι)
- Εξάεδρο (8 κόμβοι)

Το πλήθος των βαθμών ελευθερίας ανά κόμβο ποικίλει ανάλογα με το είδος του προβλήματος [42].

8.4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS WORKBENCH

Το λογισμικό ANSYS Workbench (Σχήμα 51), είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα CAD – CAE, το οποίο υλοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

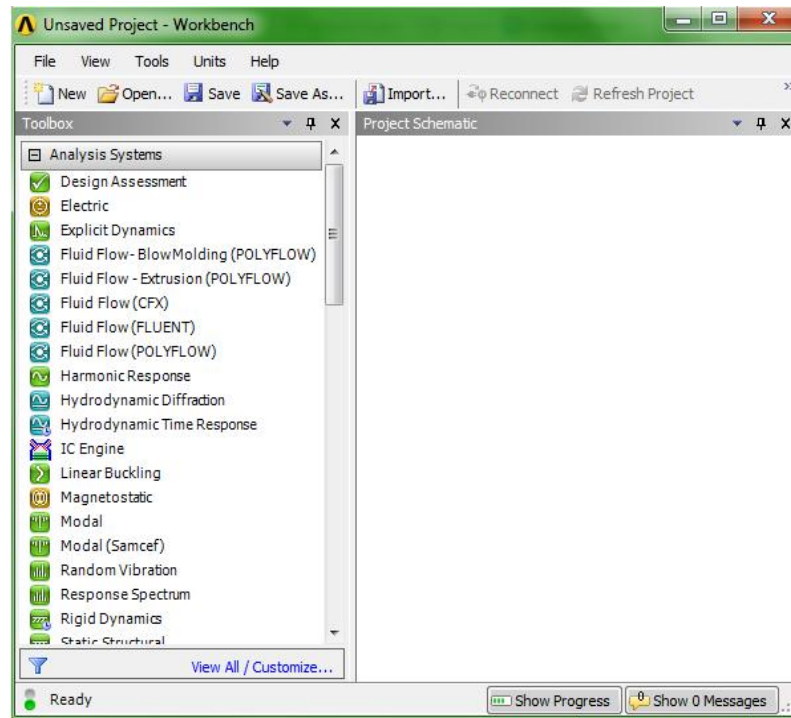


Σχήμα 51: Εκκίνηση του ANSYS Workbench

Η προσομοίωση με το ANSYS Workbench – FEA (Finite Element Analysis) προσφέρει την ιδανική λύση για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση προϊόντων, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για δημιουργία πρωτοτύπων. Αντιμετωπίζονται τα πραγματικά προβλήματα ανάλυσης, καθιστώντας την ανάπτυξη προϊόντος λιγότερο δαπανηρή και πιο αξιόπιστη.

Το λογισμικό προσομοίωσης ANSYS Workbench – FEA περιλαμβάνει μία σειρά από στοιχεία (elements), επαφές (contacts), υλικά, λύτες (solvers), ενώ εκτός της δομικής ανάλυσης αντιμετωπίζει ταυτόχρονα και μεταφορά θερμότητας, ηλεκτρομαγνητισμό και ροή ρευστών (συζευγμένη φυσική - multiphysics) [43].

Μετά την εκκίνηση του ANSYS Workbench, εμφανίζεται το παράθυρο του Σχήματος 52, το οποίο δημιουργεί ένα project που αποτελείται από την εργαλειοθήκη, Toolbox, και την περιοχή σχεδίασης, Project Schematic. Η εργαλειοθήκη περιλαμβάνει εργαλεία, μπλοκ συστημάτων ανάλυσης, κατασκευαστικών στοιχείων, προσαρμοσμένων συστημάτων και συστημάτων σχεδίασης. Πατώντας διπλό κλικ στο επιθυμητό στοιχείο της εργαλειοθήκης, αυτό εισάγεται στο Project Schematic και έτσι ξεκινά η ανάλυση του εκάστοτε προβλήματος.



Σχήμα 52: Παράθυρο έναρξης του ANSYS Workbench

Το ANSYS Workbench μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Στον αρχικό σχεδιασμό μίας κατασκευής / ενός προϊόντος.
- Στην ανεύρεση και εντοπισμό προβλημάτων (troubleshooting) δεδομένου ότι αναπαράγοντας την πραγματικότητα στο εικονικό περιβάλλον του H/Y, αναπαράγεται και το πρόβλημα, οπότε το επόμενο βήμα είναι η λύση του.
- Στη λεπτομερή ανάπτυξη του προϊόντος, όπου εξετάζεται με λεπτομέρεια το προϊόν και η συμπεριφορά του σε συνθήκες λειτουργίας, όπως και σε ακραίες συνθήκες.
- Στη βελτιστοποίηση του προϊόντος, με αλληπάλληλες επιλύσεις διαφορετικών σεναρίων, ώστε να καταδειχθούν οι παράγοντες, (διαστάσεις, υλικά, συνθήκες), που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του προϊόντος.

Κάποια από τα είδη ανάλυσης που μπορεί να επιλύσει το ANSYS Workbench είναι:

- Γραμμική στατική και δυναμική φόρτιση.
- Ρευστο – μηχανική ανάλυση.
- Εύρεση ιδιοσυχνοτήτων.
- Αρμονική ή τυχαία ταλάντωση.
- Θερμική ανάλυση, υπολογισμός θερμικών τάσεων.
- Λυγισμός.
- Αποκοπή υλικού, μεταλλικές κατεργασίες και σύντομα γεγονότα (crash, drop).

8.4.1 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Τα εργαλεία του ANSYS προσφέρουν έναν ικανοποιητικό συνδυασμό υψηλής πιστότητας και εύρους, ενισχύοντας τις δυνατότητες, για τη βελτίωση σχεδόν κάθε πτυχής του σχεδιασμού των Α/Γ.

Ο σχεδιασμός των Α/Γ περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση μιας σειράς φυσικών φαινομένων απαιτήσεων της αγοράς:

- Η αεροδυναμική περιλαμβάνει την αλλαγή της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου, γεγονός που καθιστά απαραίτητη για τους σχεδιαστές, την κατανόηση της ροής στην Α/Γ και στα τοιχώματα των πτερυγίων καθώς επηρεάζονται από την αλληλεπίδραση ρότορα και πύργου.
- Το στροφείο πρέπει να είναι ελαφρύ, ισχυρό και ευέλικτο, γεγονός που δείχνει τη χρήση της προηγμένης μηχανικής των υλικών.
- Οι υψηλές φορτίσεις του άξονα και του κιβωτίου ταχυτήτων και η απαιτούμενη αξιοπιστία έχουν προβλέψιμο κόστος συντήρησης.
- Η βιομηχανία απαιτεί υψηλή ηλεκτρική απόδοση της Α/Γ, ακόμα και για χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου πρέπει να διαχειρίζεται με ασφάλεια τη λειτουργία των γενικών συνθηκών λειτουργίας της Α/Γ
- Όλα τα μηχανικά εξαρτήματα πρέπει να είναι ισχυρά για να καλύπτουν την αξιοπιστία και την αντοχή των στόχων τους. Την ίδια στιγμή, τα κατασκευαστικά στοιχεία θα πρέπει να έχουν χαμηλός βάρος καθώς είναι συνήθως τοποθετημένα 100 μέτρα πάνω από το έδαφος.
- Κοινότητες και κυβερνήσεις απαιτούν χαμηλά επίπεδα θορύβου και ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στις προκλήσεις αυτές της μηχανικής στην κατασκευή των Α/Γ, είναι πολλά τα οφέλη από τη χρήση της ευρείας τεχνολογίας, που προσφέρει το ANSYS.

Το εργαλείο CFX του ANSYS Workbench, το οποίο βασίζεται στις αρχές της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των ρευστών. Το CFX επιτρέπει στους μηχανικούς να μελετούν προβλήματα ροής σε ένα εικονικό περιβάλλον. Ακόμη, στο ANSYS Workbench, μπορούν να μελετηθούν προβλήματα όπου υπάρχει αλληλεπίδραση ρευστού – στερεού, Fluid Solid Interaction (FSI). Υπάρχουν δύο τύποι FSI, οι οποίοι υποστηρίζονται σε μηχανικές εφαρμογές στο ANSYS, μιας κατεύθυνσης FSI και αμφίδρομη FSI. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση CFD εφαρμόζονται ως φορτίο στο εργαλείο Mechanical του ANSYS και αν το αποτέλεσμα της μηχανικής ανάλυσης περάσει πίσω στην ανάλυση CFD, τότε υπάρχει αμφίδρομη FSI, διαφορετικά υπάρχει μιας κατευθύνσεως FSI [43].

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία χρησιμοποιείται η μιας κατεύθυνσης αλληλεπίδραση ρευστού – στερεού, και πιο συγκεκριμένα το εργαλείο CFX, όπου προσομοιώνεται η ροή του ανέμου γύρω από την Α/Γ και στη συνέχεια τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, εφαρμόζονται ως φορτίο στο εργαλείο Static Structural του ANSYS, όπου και μελετάται η αντοχής της Α/Γ. Ακολουθεί ειδική μνεία των εργαλείων CFX και Static Structural του ANSYS Workbench στα επόμενα δύο κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ

9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται η υπολογιστική ρευστοδυναμική για την προσομοίωση της ροής του ανέμου γύρω από την Α/Γ. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση του εργαλείου CFX του ANSYS Workbench, το οποίο αξιοποιεί τις αρχές της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, ώστε να προσομοιωθεί η ροή του ανέμου γύρω από την Α/Γ και να προσδιοριστεί το φορτίο της ανεμοπίεσης που ασκείται στην Α/Γ.

9.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Σκοπός της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics - CFD) είναι να επιλύσει αριθμητικά, με τη βοήθεια Η/Υ, τις διαφορικές εξισώσεις που εκφράζουν μαθηματικά το πεδίο ροής. Συγκεκριμένα, η φιλοσοφία της υπολογιστικής μηχανικής των ρευστών βασίζεται στην επίλυση των εξισώσεων ροής (εξισώσεις Navier-Stokes), οι οποίες στη γενική τους περίπτωση διατυπώνονται σε μορφή μη-γραμμικών τριδιάστατων (3D) διαφορικών εξισώσεων, σε διακριτές θέσεις του πεδίου ροής [44]. Η επίλυση αυτών των εξισώσεων απαιτείται στα παρακάτω πεδία της επιστήμης της Ρευστοδυναμικής:

- Αεροδυναμική
- Υδροδυναμική
- Καύση
- Βιορευστομηχανική
- Υπερπλήρωση
- Περιβαλλοντικές ροές, ρύπανση κ.τ.λ.

Η υπολογιστική ρευστομηχανική αποτελεί μια πιθανή προσέγγιση ενός προβλήματος μηχανικής των ρευστών, μαζί με την αναλυτική λύση, αν είναι εφικτή, και το πείραμα. Το πείραμα βέβαια, είναι ιδιαίτερα ακριβό, απαιτεί μεγάλη προετοιμασία και πόρους και δεν επιτρέπει εύκολα τροποποιήσεις. Οι αναλυτικές μέθοδοι, συχνά, για να γίνουν εφικτές περιέχουν σημαντικές παραδοχές όπως απλοποίηση της γεωμετρίας, θεώρηση συνεκτικού και ασυμπίεστου ρευστού, κ.τ.λ.. Έτσι, παρότι η υπολογιστική ρευστομηχανική δε μπορεί να αντικαταστήσει τις άλλες δύο προσεγγίσεις, αναπτύσσεται ραγδαία, αφού είναι εύκολα εφαρμόσιμη (χρειάζεται ένας Η/Υ) και επιτρέπει γρήγορες τροποποιήσεις και πολλές δοκιμές.

Τα σημερινά λογισμικά CFD επιτρέπουν τη χρήση πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων όγκων που έχουν κυριαρχήσει στην ρευστομηχανική αλλά και της μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται, στη συνέχεια, από τις κατασκευάστριες εταιρείες για τον προσδιορισμό των φορτίων που ασκούνται σε δομές που βρίσκονται σε πεδία ρευστών και, συνεπώς, των δομικών τους απαιτήσεων.

9.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Οι βασικές εξισώσεις της ρευστοδυναμικής είναι η εξίσωση της συνέχειας, οι εξισώσεις της ποσότητας κίνησης και η εξίσωση ενέργειας. Οι εξισώσεις αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή της αρχής της διατήρησης της μάζας, της ορμής (2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα) και της ενέργειας [45].

9.2.1.1 Αρχή Διατήρησης της Μάζας

Η αρχή διατήρησης της μάζας σε ένα πεδίο ασυμπίεστης ροής μη μόνιμης ροής προτάσσει ότι ο ρυθμός μεταβολής της μάζας στον όγκο ελέγχου ισούται με την ολική παροχή μάζας μέσα από την επιφάνεια ελέγχου. Η μαθηματική έκφραση, υπό μορφή διαφορικής εξίσωσης, αυτής της ισότητας είναι:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{u}) = 0$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού και \bar{u} η διανυσματική ταχύτητα στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων

Επιπλέον, αν θεωρηθεί ότι η πυκνότητα του ρευστού είναι σταθερή σε όλο τον όγκο του, πράγμα που συμβαίνει στα ασυμπίεστα ρευστά, τότε η εξίσωση λαμβάνει την απλούστερη μορφή:

$$\text{div } u = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

9.2.1.2 Αρχή Διατήρησης της Ορμής

Η αρχή διατήρησης της ορμής σε ένα πεδίο ασυμπίεστης ροής μη μόνιμης ροής προτάσσει ότι ο ρυθμός μεταβολής της ορμής στον όγκο ελέγχου ισούται με τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται στον όγκο ελέγχου. Η συνισταμένη δύναμη χωρίζεται σε επιφανειακές δυνάμεις και δυνάμεις όγκου. Έτσι, οι εξισώσεις της ορμής στις τρεις κατευθύνσεις μπορούν να εκφραστούν σαν συνάρτηση του τανυστή διατμητικών τάσεων. Λαμβάνοντας, υπόψη τα παραπάνω, η εξίσωση για τον ρυθμό μεταβολής της ορμής γράφεται:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \bar{u}) = \frac{\partial(-p + \zeta_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \zeta_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \zeta_{zy}}{\partial z} + S_{Mx}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \bar{u}) = \frac{\partial \zeta_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \zeta_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \zeta_{zy}}{\partial z} + S_{My}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \bar{u}) = \frac{\partial \zeta_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \zeta_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \zeta_{zz})}{\partial z} + S_{Mz}$$

όπου S_{Mx} , S_{My} και S_{Mz} : είναι οι δυνάμεις όγκου, για παράδειγμα η τιμή των δυνάμεων όγκου εξαιτίας του πεδίου βαρύτητας θα είναι $S_{Mx} = 0$, $S_{My} = 0$ και $S_{Mz} = -p \cdot g$,

p : η στατική πίεση και

$\bar{\zeta}$: τανυστής διατμητικών τάσεων

9.2.1.3 Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας λαμβάνεται από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής και προτάσσει ότι ο ρυθμός μεταβολής της ολικής ενέργειας στον όγκο ελέγχου είναι ίσος με το ρυθμό παραγωγής έργου των δυνάμεων που ασκούνται στον όγκο συν τη συνολική ροή ενέργειας μέσα στον όγκο. Ως εκ τούτου η εξίσωση ενέργειας λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \bar{u}) &= -p \text{div} \bar{u} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \zeta_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \zeta_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} \\ &+ \zeta_{zx} \frac{\partial u}{\partial z} + \zeta_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + \zeta_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} + \zeta_{zy} \frac{\partial v}{\partial z} + \zeta_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} \\ &+ \zeta_{yz} \frac{\partial w}{\partial y} + \zeta_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} + S_i \end{aligned}$$

όπου i : η εσωτερική ενέργεια

T : η θερμοκρασία

k : η θερμική αγωγιμότητα

p : η πίεση

u, v και w : οι συνιστώσες της ταχύτητας \bar{u} και

S_i : ένας νέος όρος πηγής $S_i = S_E - \bar{u} S_K$, όπου S_E είναι μία πηγή ενέργειας και S_K είναι μία μηχανική (κινητική) πηγή ενέργειας

9.2.1.3 Εξισώσεις Navier-Stokes

Οι εξισώσεις του τανυστή των διατμητικών τάσεων είναι:

$$\zeta_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div} \bar{u}, \quad \zeta_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div} \bar{u} \quad \zeta_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div} \bar{u}$$

$$\zeta_{xy} = \zeta_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad \zeta_{xz} = \zeta_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \quad \zeta_{yz} = \zeta_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

όπου μ : το δυναμικό ιξώδες, το οποίο αναφέρεται στη γραμμική παραμόρφωση και

λ : ιξώδες, το οποίο αναφέρεται στην ογκομετρική παραμόρφωση

Αντικαθιστώντας, λοιπόν, αυτές τις εξισώσεις του τανυστή των τάσεων, στις εξισώσεις της αρχής διατήρησης της ορμής, προκύπτουν οι εξισώσεις Navier-Stokes:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \bar{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{Mx}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \bar{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{My}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \bar{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz}$$

9.2.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΥΡΒΗΣ

Οι τυρβώδεις ροές χαρακτηρίζονται από "παλλόμενα" πεδία ταχυτήτων. Οι εναλλαγές αυτές αναμιγνύουν μεταφερόμενες ποσότητες όπως η ορμή, η ενέργεια και η συγκέντρωση φάσεων και τις κάνουν και αυτές να είναι εναλλασσόμενες [45]. Εφόσον αυτές οι εναλλαγές μπορεί να είναι μικρού πλάτους και υψηλής συχνότητας, είναι εξαιρετικά "υπολογιστικά δαπανηρό" να προσομοιωθούν άμεσα με πρακτικούς υπολογισμούς της μηχανικής των ρευστών. Αντί αυτού, οι ακριβείς, στιγμιαίες, εξισώσεις ροής, μπορούν να τροποποιηθούν σε "μέσες" εξισώσεις με διάφορους τρόπους. Ο στόχος είναι πάντα να απομακρυνθούν οι στιγμιαίες τιμές και οι τελικές εξισώσεις να είναι δυνατό να επιλυθούν με μικρότερη υπολογιστική ισχύ.

Οι εξισώσεις Navier-Stokes ισχύουν στην περίπτωση της τυρβώδους ροής για στιγμιαίες ταχύτητες και πιέσεις. Οι εξισώσεις αυτές με τις στιγμιαίες πιέσεις δε λύνονται ούτε με υπερσύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έτσι, προέκυψε η ανάγκη για τη δημιουργία ενός συνόλου εξισώσεων, των εξισώσεων Reynolds Averaged Navier Stokes, που θα ισχύουν για τις μέσες ταχύτητες και πιέσεις.

9.2.2.1 Εξισώσεις RANS

Οι εξισώσεις RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) είναι σχέσεις των μέσω όρων μεγεθών όπου η τύρβη κάθε κλίμακας μοντελοποιείται. Αυτή η προσέγγιση, η οποία επιτρέπει επίλυση που λαμβάνει υπόψη μόνο τους μέσους όρους των μεγεθών, μειώνει σημαντικά την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ. Τα πρόσθετα μέρη των εξισώσεων, που προκύπτουν από τις μέσες συνιστώσες της ταχύτητας, είναι τυρβώδεις τάσεις, οι οποίες ονομάζονται τάσεις του Reynolds. Είναι απαραίτητη λοιπόν, η υιοθέτηση μοντέλων τύρβης προκειμένου να προσδιοριστούν οι άγνωστες μεταβλητές συναρτήσει άλλων γνωστών μεγεθών.

Αν η μέση ροή είναι στρωτή, οι εξισώσεις κίνησης δεν θα περιλαμβάνουν παραγώγους ως προς το χρόνο και η λύση σταθερής κατάστασης μπορεί να εξαχθεί με σχετική "οικονομία". Είναι διαθέσιμα και πιο πολύπλοκα μοντέλα RANS, τα οποία επιλύουν μια μεμονωμένη εξίσωση για κάθε μια από τις έξι τυρβώδεις τάσεις του Reynolds απευθείας (Reynolds Stress Models – RSM) συν μια εξίσωση κλίμακας (scale equation, ε-equation ή ω-equation).

Τα μοντέλα RANS είναι κατάλληλα για πολλές εφαρμογές της Μηχανικής και παρέχουν το επίπεδο της ακρίβειας που απαιτείται. Δεδομένου, ότι τα μοντέλα αυτά είναι ευρέως αποδεκτά, πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο μοντέλο για την εκάστοτε περίπτωση [36].

9.2.2.2 Το Μοντέλο k-ε

Το μοντέλο k-ε χρησιμοποιείται ευρέως για την επίλυση προβλημάτων τυρβώδους ροής στον τομέα της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Το μοντέλο k-ε έχει μία εξίσωση για την τυρβώδη κινητική ενέργεια, k, και μία εξίσωση για τον ρυθμό απωλειών της τυρβώδους κινητικής ενέργειας, ε.. Το τυρβώδες ιξώδες αυτού του μοντέλου μπορεί να ληφθεί από την εξίσωση που ακολουθεί:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

όπου $C_\mu = 0.09$ είναι μια αδιάστατη σταθερά, και

k και ε: καθορίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \bar{U}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + P_k - \rho \varepsilon$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon \bar{U}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \text{grad } \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon)$$

όπου U: η μέση συνιστώσα της ταχύτητας
P: η μέση πίεση
Pk: η παραγωγή της τυρβώδους κινητικής ενέργειας και
σ_k, σ_ε, C_{ε1}, C_{ε2} : είναι σταθερές και

λαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές: C_{ε1}=1.44 C_{ε2}=1.92 σ_k=1.0 σ_ε=1.3

Αυτές οι προεπιλεγμένες τιμές χρησιμοποιούνται από τα αποτελέσματα πειραμάτων για τυρβώδεις ροές. Έχει αποδειχθεί ότι δουλεύουν αρκετά σωστά για μεγάλο εύρος ροών τόσο σε κλειστούς αγωγούς όσο και σε ροές μηδενικής διάτμησης.

Η αυτοδυναμία, η οικονομία χρόνου και η ικανοποιητική ακρίβεια για μια μεγάλη κλίμακα τυρβώδων ροών έχει κάνει αυτό το μοντέλο δημοφιλές σε εξομοιώσεις βιομηχανικών ροών και μεταφοράς θερμότητας. Είναι ένα ημιεμπειρικό μοντέλο, που ο σχηματισμός των εξισώσεων βασίζεται σε φαινομενολογικές παραδοχές και εμπειρικά γεγονότα.

9.2.2.3 Το Μοντέλο k-ω

Το μοντέλο k-ω είναι κατάλληλο για τον υπολογισμό της τύρβης κοντά σε τοιχώματα. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μοντέλο εξισώσεων μεταφοράς για την τυρβώδη κινητική ενέργεια, k, και από τον ειδικό ρυθμό απωλειών της τυρβώδους κινητικής ενέργειας, ω. Αυτές οι τιμές εκτιμώνται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \bar{U}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + P_k - \beta' \rho k \omega$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega \bar{U}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \text{grad } \omega \right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2$$

όπου σ_k, σ_ε, α, β και β' είναι σταθερές και λαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές:

$$\sigma_k=1, \sigma_\omega=2, \alpha = \frac{5}{9} \beta=0.075 \text{ και } \beta' = 0.09$$

Επιπλέον, το τυρβώδες ιξώδες του μοντέλου k-ω θα είναι:

$$\mu_t = \rho C \frac{k}{\omega}$$

Το πλεονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι η χρήση της χαμηλής τιμής του αριθμού Reynolds κοντά σε τοιχώματα και η ευκολότερη μοντελοποίηση, η οποία δίνει πιο ακριβή και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Βέβαια, μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η υψηλή ευαισθησία σε συνθήκες ελεύθερης ροής.

9.2.2.4 Το Μοντέλο Shear-Stress Transport (SST)

Το μοντέλο SST βασίζεται στο μοντέλο k- ω και έχει την ίδια αυτόματη συμπεριφορά στα τοιχώματα. Το μοντέλο αποτελεί μίξη των καλών χαρακτηριστικών των μοντέλων k- ω και k- ϵ , το οποίο σημαίνει ότι σε περιοχές κοντά στα τοιχώματα χρησιμοποιείται το μοντέλο k- ω και σε ελεύθερη ροή ρευστού χρησιμοποιείται το μοντέλο k- ϵ για καλύτερη απόδοση [46].

9.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΥΡΒΗΣ

Είναι αναμφισβήτητο γεγονός ότι κανένα μοντέλο τύρβης δεν είναι αποδεκτό καθολικά σαν το καταλληλότερο για όλους τους τύπους των προβλημάτων. Η επιλογή ενός μοντέλου τύρβης εξαρτάται από παράγοντες, όπως το είδος της ροής, η εδραιωμένη πρακτική επίλυσης ενός συγκεκριμένου τύπου προβλημάτων, το επίπεδο της ακρίβειας που επιθυμείται, οι δυνατότητες του υπολογιστικού συστήματος και ο διαθέσιμος συνολικός χρόνος για την εξομοίωση. Για να γίνει η βέλτιστη επιλογή του μοντέλου για μια εφαρμογή, χρειάζεται να κατανοηθούν σε βάθος οι δυνατότητες και οι περιορισμοί των διαφόρων επιλογών.

9.3 ΠΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΤΥΠΟΥ DARRIEUS-SAVONIUS

Το υβριδικό μοντέλο Α/Γ κάθετου άξονα, το οποίο προσομοιώθηκε στο ANSYS, αποτελείται από δύο τύπους Α/Γ σε έναν κοινό άξονα. Το μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία, αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες Savonius, δύο πτερυγίων η έκαστη και μία ανεμογεννήτρια Darrieus, τριών πτερυγίων. Ο σχεδιασμός αυτός εκμεταλλεύεται τα θετικά χαρακτηριστικά και των δύο τύπων Α/Γ. Η υβριδική Α/Γ που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της ροής του ανέμου γύρω από αυτήν, σχεδιάστηκε με βάση το μοντέλο της Α/Γ, DS300 της εταιρείας Hi-VAWT Technology Corp. Οι τεχνικές προδιαγραφές της Α/Γ δίνονται στο Σχήμα 53.



Vertical Axis Wind Turbine Power System
Model number: DS300

PRODUCT SPECIFICATIONS

| General Specifications | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------|
| Rated Power | 300W | Rated Wind Speed | 13.5 m/s |
| Rated Speed | 835 rpm | Cut in Wind Speed | <3 m/s |
| Cut out Wind Speed | 15.5 m/s | Survival Wind Speed | 60 m/s |
| Dimensions/Weight | | | |
| Rotor Diameter | 1.24 m | | |
| Rotor Height | 1.06 m | | |
| Tower Height | 4.00 m (minimum) | | |
| Total Height | 5.06 m (minimum) | | |
| Turbine Weight | 25.5 kg w/o tower | | |
| | | | |
| Rotor Specifications | | | |
| External Darrieus | 3 blades | | |
| Internal Savonius | 2 layers | | |
| Blades Material | Anodized aluminum | | |
| Axis Material | Galvanized steel SS400 | | |
| Generator Specifications | | Power Curve | |
| Generator Type | AC, 3phase, Synchronism PMG | | |
| Rated Output | 300W | | |
| Braking System | | | |
| Automatic | 3-phase short circuit braking system | | |
| Manual | Optional | | |
| Operation Conditions | | | |
| Ambient Temperature | -10~40°C | | |
| Ambient Humidity | 95% max. | | |

Σχήμα 53: Τεχνικές Προδιαγραφές της υβριδικής ανεμογεννήτριας [27]

Η ισχύς αυτού του μοντέλου της Α/Γ δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot (A_s C_{Ps} + (A_d - A_s) C_{Pd})$$

όπου A_s : η επιφάνεια σάρωσης των δύο Α/Γ Savonius

A_d : η επιφάνεια σάρωσης της Α/Γ Darrieus

C_{Ps} : ο βαθμός απόδοσης των Α/Γ Savonius και

C_{Pd} : ο βαθμός απόδοσης της Α/Γ Darrieus

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση της ισχύος και τις τιμές των διαστάσεων και των ταχυτήτων που δίνονται στο φυλλάδιο των τεχνικών προδιαγραφών, προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για τον βαθμό απόδοσης και το λόγο ταχυτήτων:

$$A / \Gamma \text{ Darrieus} : C_{Ps} = 0.18 \text{ και } \lambda = 1$$

$$A / \Gamma \text{ Savonius} : C_{Pd} = 0.40 \text{ και } \lambda = 4$$

Σύμφωνα με το Σχήμα 25, οι Α/Γ λειτουργούν στη βέλτιστη τιμή του λόγου ταχυτήτων ώστε να παράγεται η μέγιστη ισχύς.

Η Α/Γ αυτή λειτουργεί με τη μέθοδο μεταβλητής ταχύτητας, δηλαδή, η ταχύτητα του στροφείου της μεταβάλλεται κατά ελεγχόμενο τρόπο, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Οι ταχύτητες του ανέμου, από τις οποίες προκύπτουν οι γωνιακές ταχύτητες λειτουργίας του δρομέα της Α/Γ είναι:

- Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας $V_{in}=3$ m/s, στην οποία αρχίζει να λειτουργεί η Α/Γ. Για μικρότερες ταχύτητες ανέμου, η Α/Γ δεν περιστρέφεται επειδή οι απώλειες κενού φορτίου (τριβές στον άξονα, μειωτήρα, κ.λπ.) είναι μεγαλύτερες από την παραγόμενη ισχύ της μηχανής.
- Η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας $V_R=13.5$ m/s, όπου είναι η μικρότερη ταχύτητα του ανέμου στη οποία έχουμε ονομαστική ισχύ της μηχανής.
- Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας $V_{out}=15.5$ m/s, για λόγους ασφαλείας της εγκατάστασης επιβάλλεται η διακοπή λειτουργίας της μηχανής σε υψηλότερες ταχύτητες.

Με στόχο τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της μηχανής, η γωνιακή ταχύτητα του στροφείου υπολογίζεται μέσω της σχέσης του λόγου ταχυτήτων για την εκάστοτε ταχύτητα του ανέμου, συνεπώς υπολογίζεται η περιστροφική ταχύτητα και είναι ίση με:

- $\omega_{in}=185$ RPM
- $\omega_R=835$ RPM
- $\omega_{out}=985$ RPM

Στον Πίνακα 12, καταγράφονται οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου και της περιστροφικής ταχύτητας του δρομέα της υβριδικής Α/Γ, που θα χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές στη μοντελοποίηση με το ANSYS Workbench.

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικές ταχύτητες του ανέμου και οι αντίστοιχες περιστροφικές ταχύτητες δρομέα της υβριδικής ανεμογεννήτριας

| Ταχύτητα του Ανέμου (m/s) | Περιστροφική Ταχύτητα του Δρομέα της Α/Γ (RPM) |
|---------------------------|--|
| 3 | 185 |
| 13.5 | 835 |
| 15.5 | 985 |

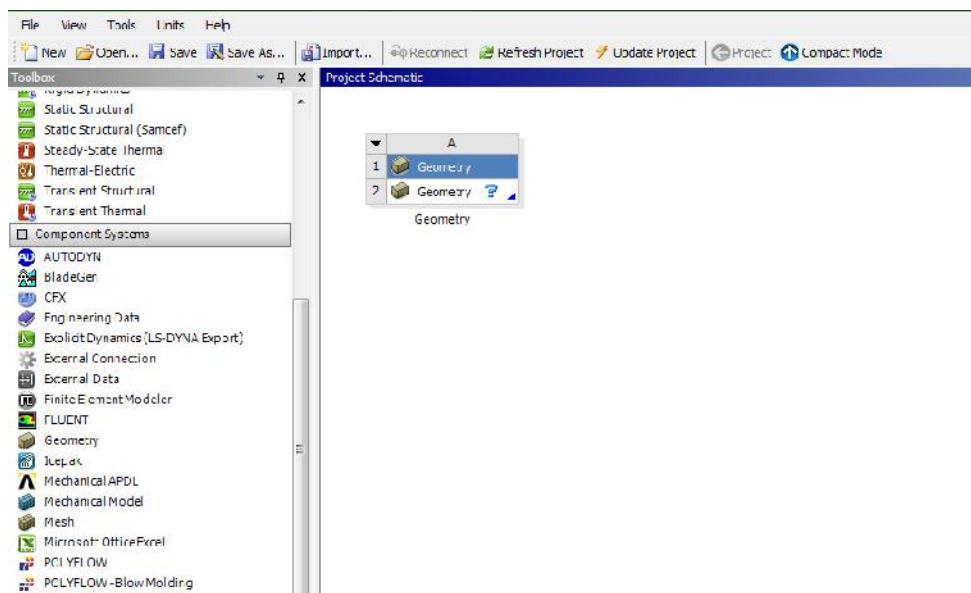
9.4 ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ANSYS WORKBENCH

Για τη χρήση του εργαλείου της υπολογιστικής ρευστομηχανικής στο λογισμικό ANSYS απαιτούνται τα παρακάτω βήματα:

- Σχεδίαση ή εισαγωγή της γεωμετρίας
- Κατασκευή πλέγματος
- Ορισμός οριακών συνθηκών
- Ορισμός ρυθμίσεων επίλυσης
- Επίλυση
- Προεπισκόπηση αποτελεσμάτων

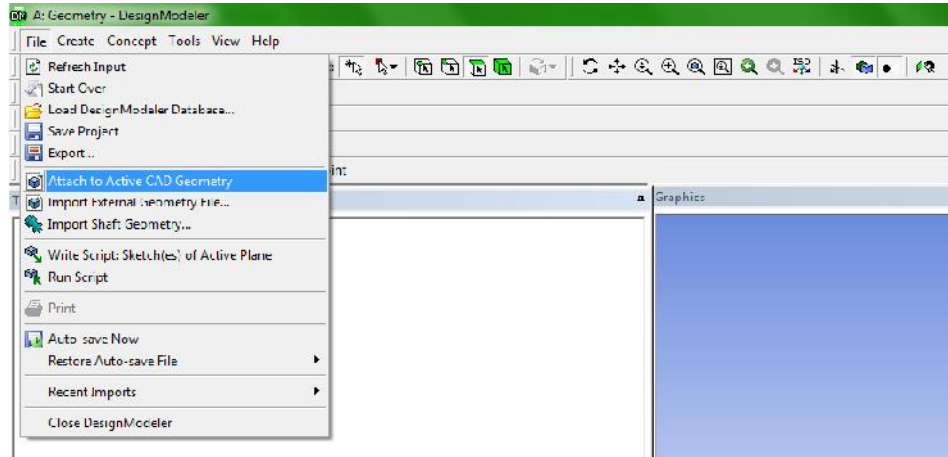
9.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Αρχικά, εκκινεί το περιβάλλον του ANSYS Workbench, και επιλέγεται η χρήση του εργαλείου εισαγωγής της γεωμετρίας του, στο οποίο εισάγεται η γεωμετρία του υπό εξέταση αντικειμένου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 54 που ακολουθεί.



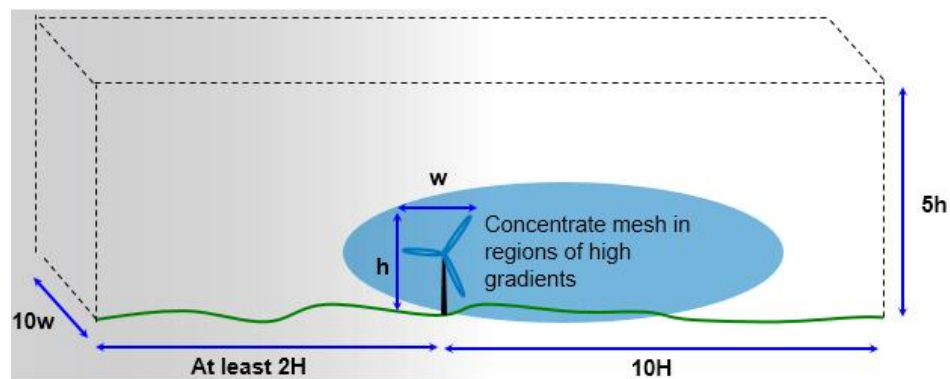
Σχήμα 54: Εισαγωγή εργαλείου γεωμετρίας στο ANSYS Workbench

Έπειτα, αφού εκκινήσει το περιβάλλον σχεδίασης ή εισαγωγής της γεωμετρίας, DesignModeler, εισάγεται το αρχείο της γεωμετρίας που έχει σχεδιαστεί στο λογισμικό Solidworks. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι η "Attach to Active CAD Geometry", όπως φαίνεται στο Σχήμα 55 μιας και τα δύο λογισμικά έχουν άμεση αλληλεπίδραση.



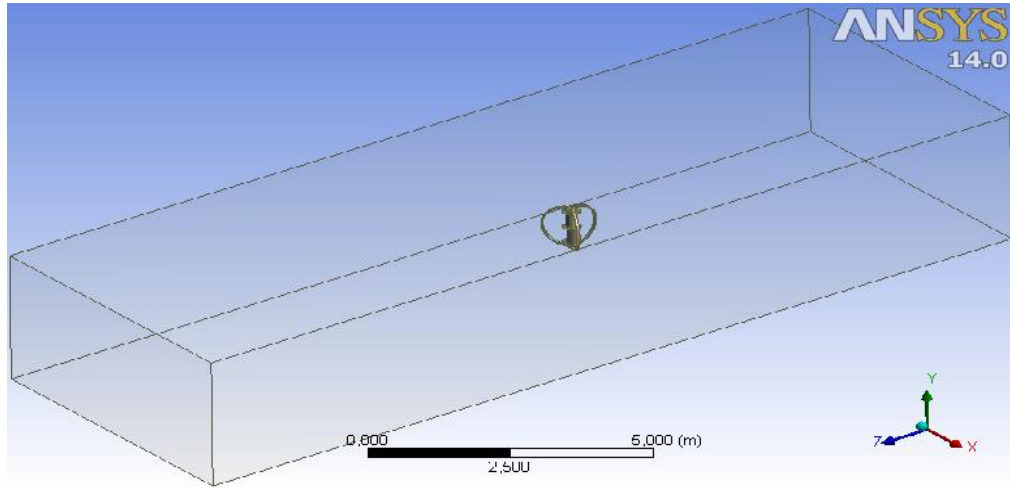
Σχήμα 55: Εισαγωγή γεωμετρίας από το Solidworks

Η γεωμετρία της Α/Γ, ορίζεται ως στερεό (solid), και με τη βοήθεια της εντολής Enclosure σχεδιάζεται το υπολογιστικό χωρίο που θα την περικλείει το οποίο ορίζεται ως ρευστό (fluid). Η σχεδίαση του υπολογιστικού χωρίου του ρευστού γίνεται με βάση τις ελάχιστες διαστάσεις που δίνονται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 56).



Σχήμα 56: Ελάχιστες διαστάσεις υπολογιστικού χωρίου

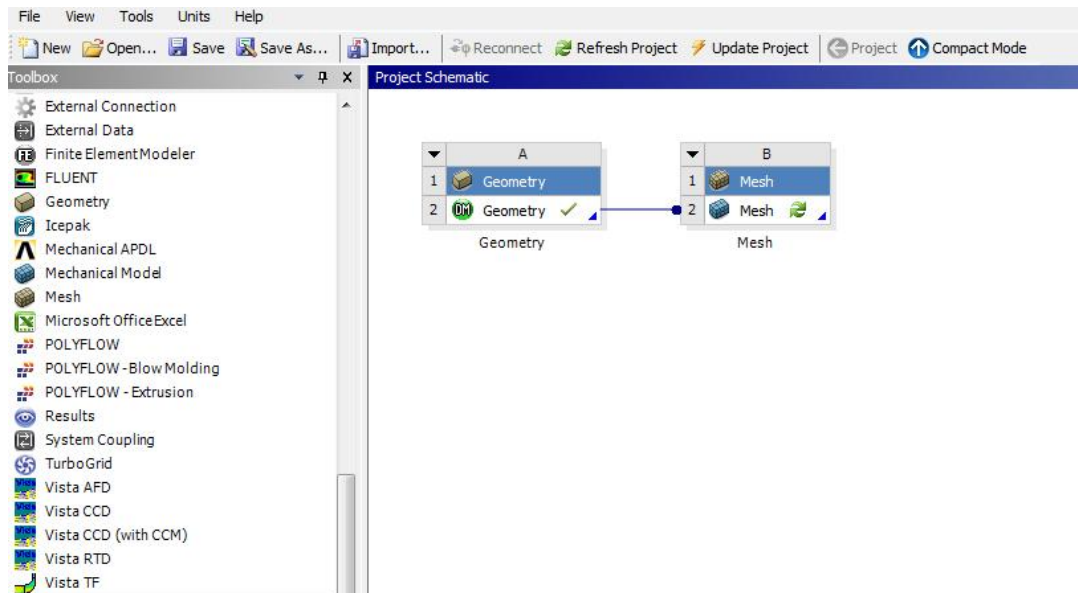
Έτσι, προκύπτει το υπολογιστικό χωρίο αποτελούμενο από το στερεό της ανεμογεννήτριας και το περιβάλλον ρευστό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 57.



Σχήμα 57: Ανεμογεννήτρια και υπολογιστικό χωρίου που επικαλύπτει την ανεμογεννήτρια

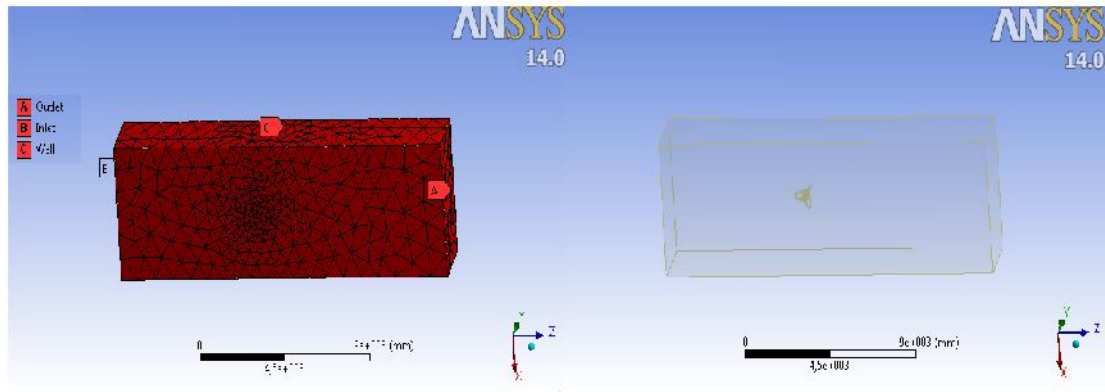
9.4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Ακολουθεί η κατασκευή του κατάλληλου πλέγματος ώστε να γίνει η ρευστοδυναμική επίλυση. Έτσι, εισάγεται το εργαλείο κατασκευής πλέγματος στο περιβάλλον του ANSYS Workbench και συνδέεται με αυτό της εισαγωγής της γεωμετρίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 58).



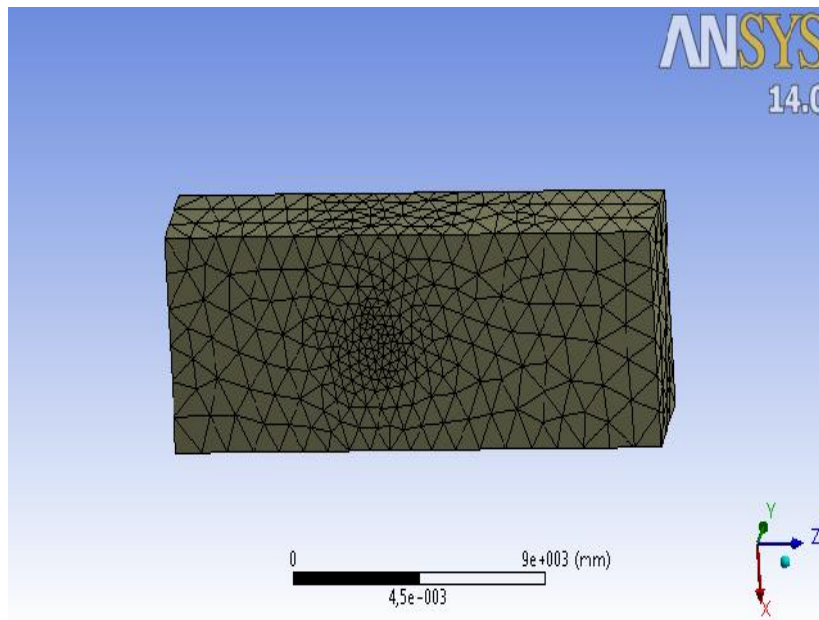
Σχήμα 58: Εισαγωγή μπλοκ πλέγματος στο ANSYS Workbench

Έπειτα, εκκινεί το περιβάλλον κατασκευής πλέγματος, Meshing [ANSYS ICED CFD], όπου απομονώνεται το ρευστό με την εντολή suppress που εφαρμόζεται στο στερεό οπότε ορίζονται οι διεπιφάνειες στερεού – ρευστού. Στη συνέχεια καθορίζονται οι ιδιότητες των ορίων του υπολογιστικού χωρίου του ρευστού, ως είσοδοι (Inlet), έξοδοι (Outlet) και τοιχώματα (Wall), όπως φαίνεται στο Σχήμα 59 που ακολουθεί.



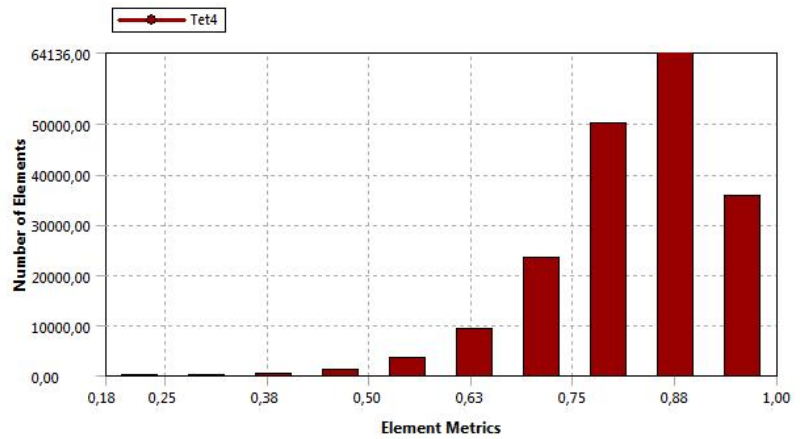
Σχήμα 59: Ορισμός επιφανειών ρευστού και απομόνωση της γεωμετρίας

Τελικά, δημιουργείται το πλέγμα (Σχήμα 60) του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 61. Το πλέγμα αποτελείται από 187208 τετραεδρικά πεπερασμένα στοιχεία (Elements) και 34760 κόμβους (Nodes).



Σχήμα 60: Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων του ρευστού

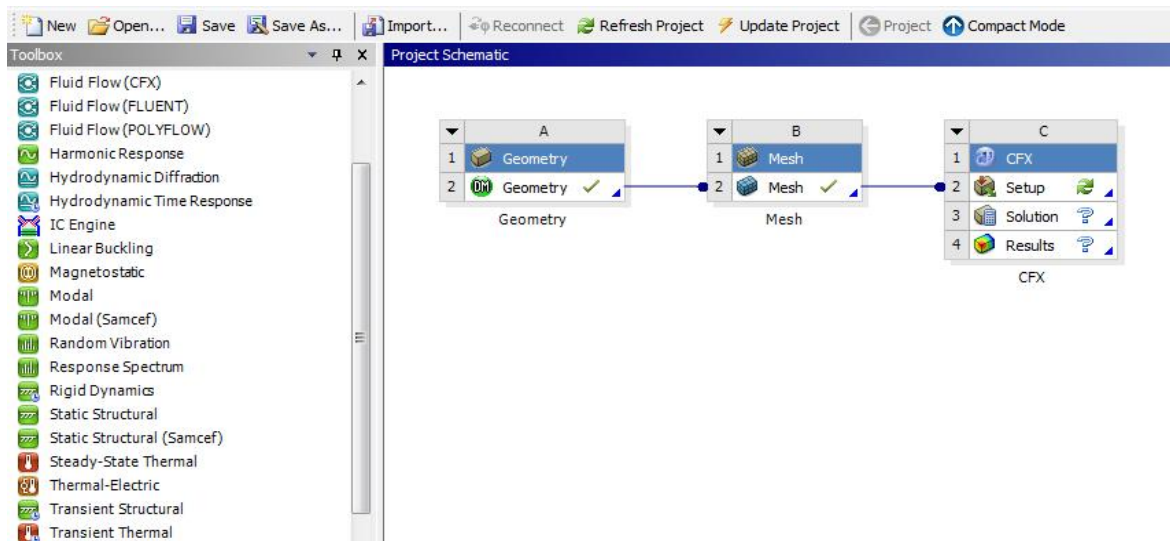
| Details of "Mesh" | |
|--|----------------------|
| Defaults | |
| Physics Preference | CFD |
| Solver Preference | CFX |
| <input type="checkbox"/> Relevance | 0 |
| Sizing | |
| Use Advanced Size Fun... | On: Curvature |
| Relevance Center | Coarse |
| Initial Size Seed | Active Assembly |
| Smoothing | Medium |
| Transition | Slow |
| Span Angle Center | Fine |
| <input type="checkbox"/> Curvature Normal A... | Default (18,0 °) |
| <input type="checkbox"/> Min Size | Default (9,32710 mm) |
| <input type="checkbox"/> Max Face Size | Default (932,710 mm) |
| <input type="checkbox"/> Max Size | Default (1865,40 mm) |
| <input type="checkbox"/> Growth Rate | Default (1,20) |
| Minimum Edge Length | 3,0 mm |
| Inflation | |
| Patch Conforming Options | |
| Advanced | |
| Defeaturing | |
| Statistics | |



Σχήμα 61: Χαρακτηριστικά και στατιστικά στοιχεία του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων του ρευστού

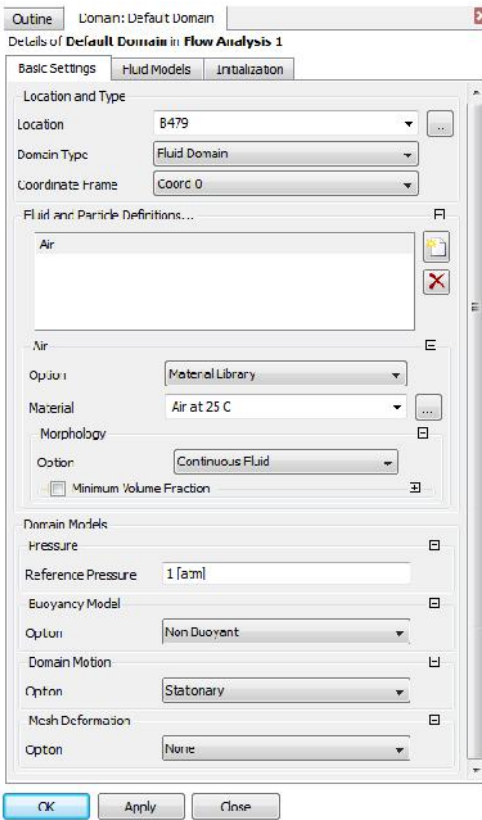
9.4.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΤΟ CFX

Στη συνέχεια, εισάγεται το εργαλείο του CFX στο περιβάλλον του ANSYS Workbench και συνδέεται με το εργαλείο του πλέγματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 62.



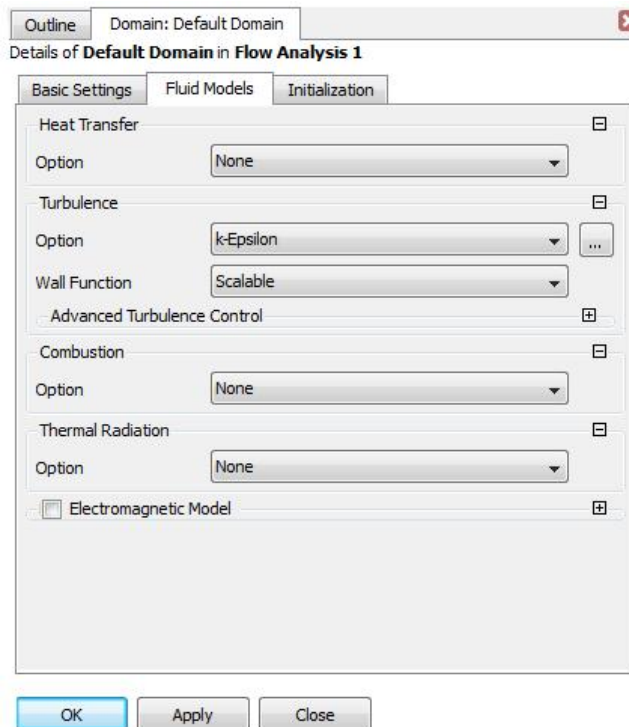
Σχήμα 62: Εισαγωγή εργαλείου CFX στο ANSYS Workbench

Στο περιβάλλον του CFX, ορίζεται αρχικά η περιοχή του ρευστού ως αέρας με πίεση περιβάλλοντος $P = 101325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$ για πίεση αναφοράς. Το παράθυρο στο οποίο γίνονται αυτές οι ρυθμίσεις φαίνεται στο Σχήμα 63.



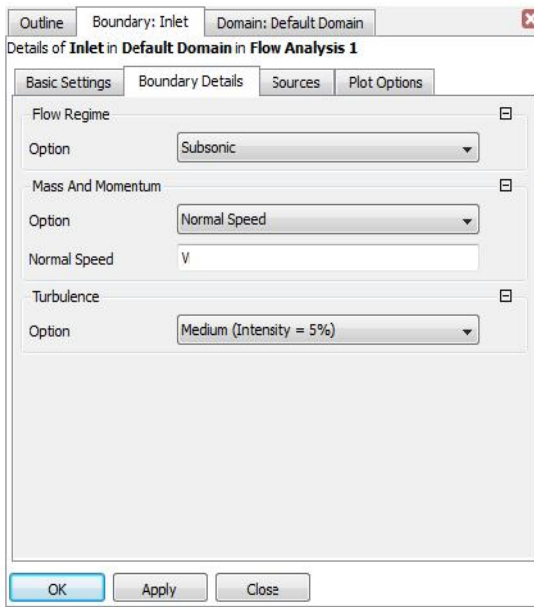
Σχήμα 63: Ορισμός περιοχής ρευστού και επιλογή του αέρα ως το εργαζόμενο ρευστό

Ακολουθεί η μοντελοποίηση της τύρβης με τη χρήση του ενσωματωμένου μοντέλου τύρβης k-Epsilon (k-ε), (Σχήμα 64), που είναι κατάλληλο για αεροδυναμικές ροές.

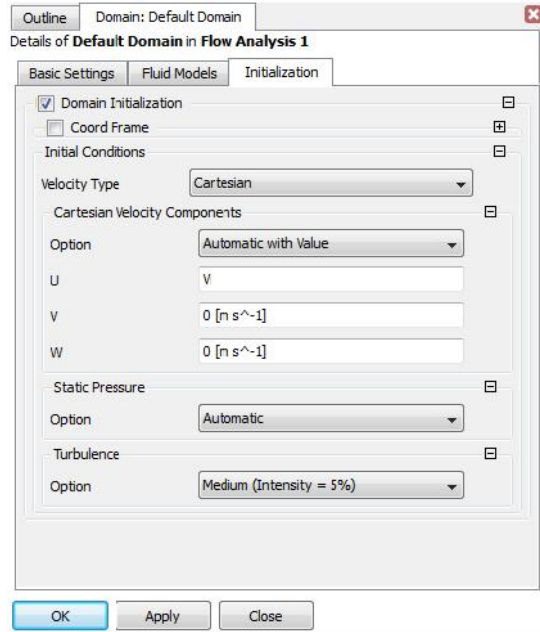


Σχήμα 64: Επιλογή μοντέλου τύρβης

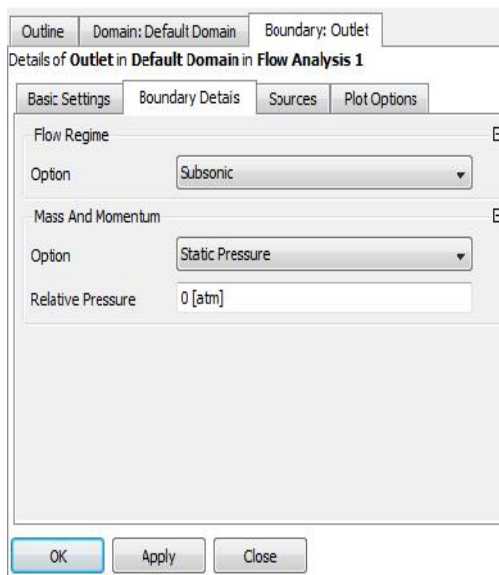
Στη συνέχεια ορίζονται οι οριακές συνθήκες του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, στην επιφάνεια εισόδου της ροής (Inlet), ορίζεται η ταχύτητα της ροής του ανέμου (Σχήμα 65) με ένταση τύρβης 5% και σταθερή ως προς το χρόνο. Επειδή προσομοιώνονται ροές που προκύπτουν από ένα πλήθος τιμών ταχυτήτων εισόδου του ανέμου η ταχύτητα εισόδου ορίζεται παραμετρικά με τη μεταβλητή V . Η V ορίζεται ίση με την αρχική ταχύτητα (Σχήμα 66). Στην επιφάνεια εξόδου της ροής (Outlet), επιλέγεται οριακή συνθήκη σχετικής στατικής πίεσης ίση με 0 atm (Static Pressure με Relative Pressure =0 atm) (Σχήμα 67). Τέλος, στις επιφάνειες που έχουν οριστεί ως τοιχώματα (Wall), ορίζεται απουσία ολίσθησης (No Slip Wall) (Σχήμα 68).



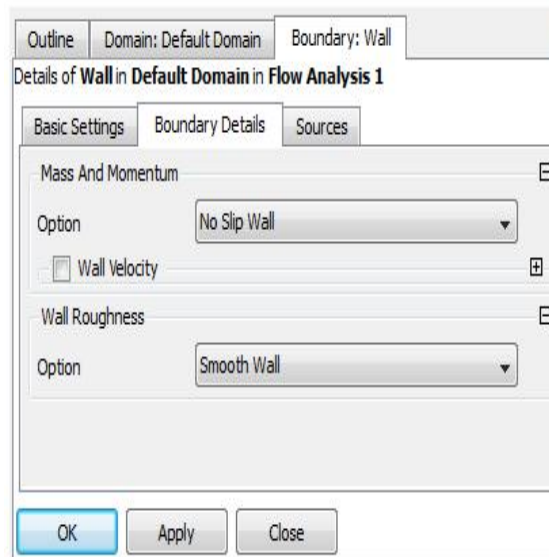
Σχήμα 65: Οριακή συνθήκη στην είσοδο του ρευστού



Σχήμα 66: Ορισμός αρχικών συνθηκών επίλυσης στην είσοδο του ρευστού

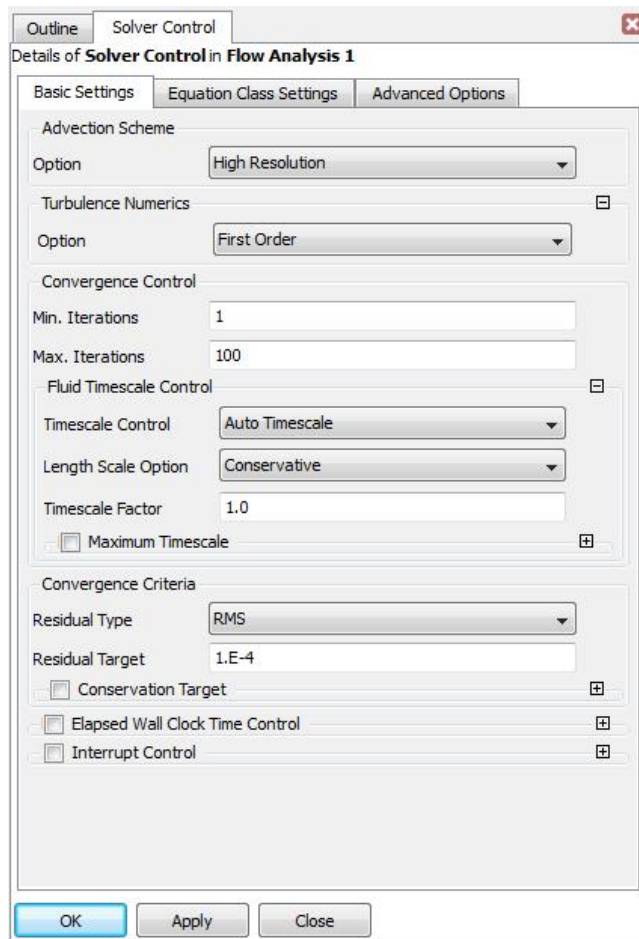


Σχήμα 67: Οριακή συνθήκη στην έξοδο του ρευστού



Σχήμα 68: Οριακή συνθήκη στα τοιχώματα του ρευστού

Ακολουθούν οι ρυθμίσεις επίλυσης, στις οποίες ορίζεται ο αριθμός των κύκλων - επαναλήψεων ίσος με 100 και συμπληρώνεται η επιθυμητή ακρίβεια ως κριτήριο σύγκλισης ίση με 10^{-4} , όπως φαίνεται στο Σχήμα 69.

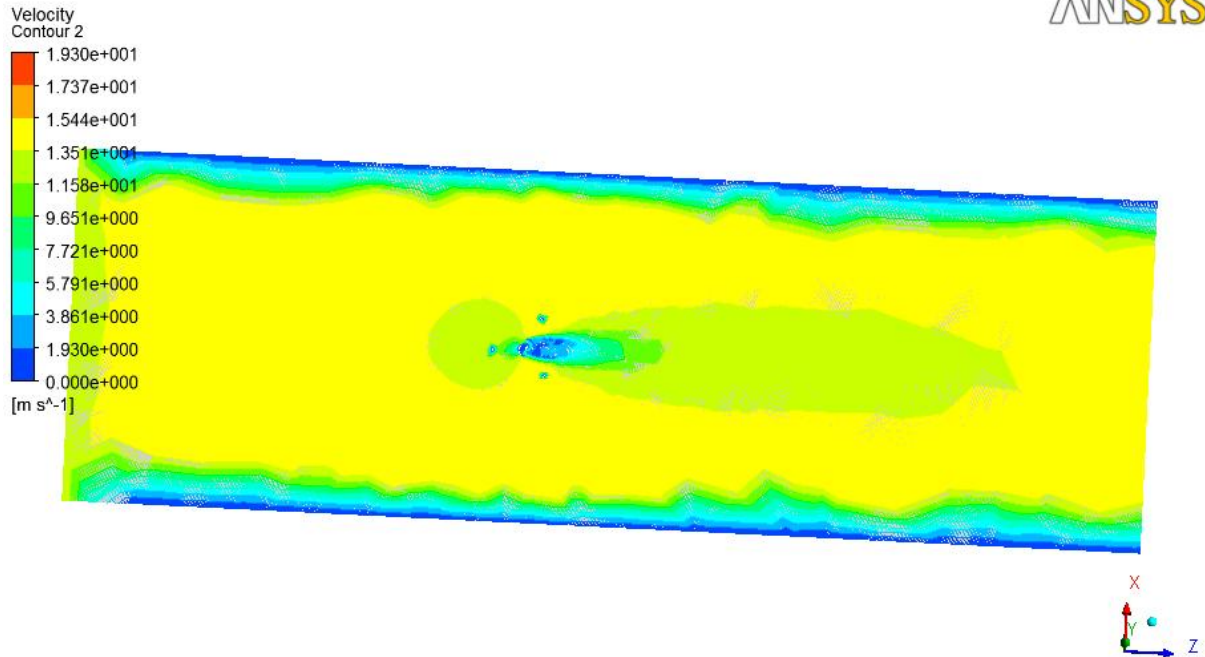


Σχήμα 69: Ορισμός του αριθμού των επαναλήψεων και του κριτηρίου σύγκλισης

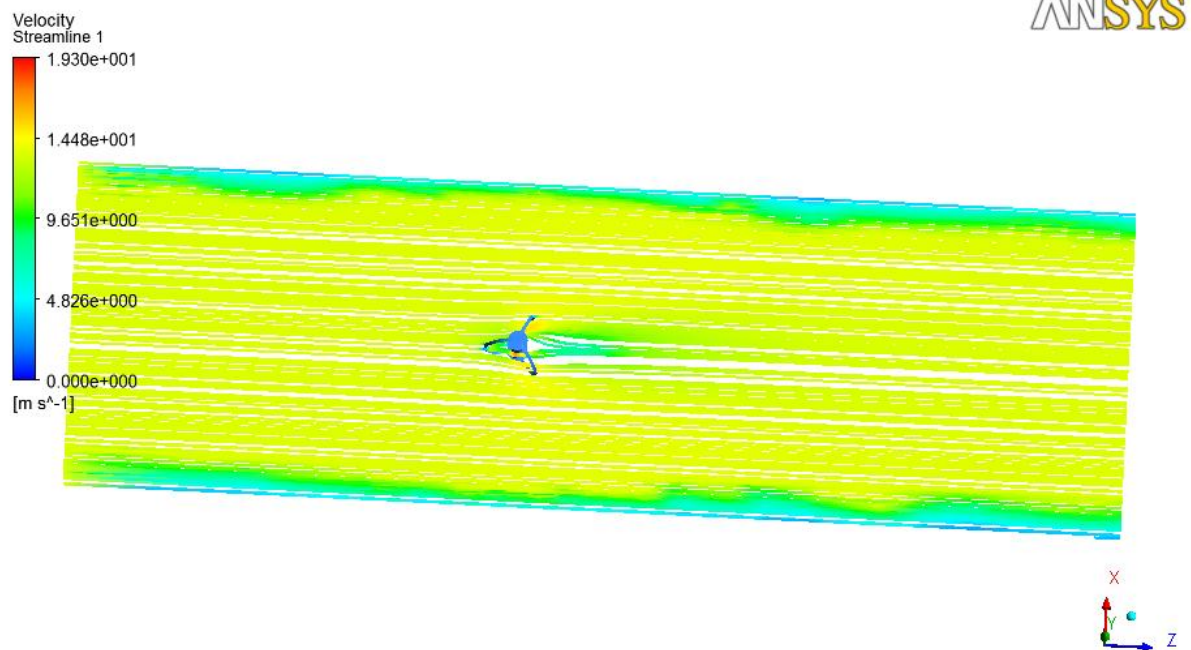
9.4.4 ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ CFX

Στη φάση αυτή γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που είναι διαθέσιμα από την επίλυση του CFX (CFX Post), τα οποία περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη ροή του ανέμου γύρω από την Α/Γ, λαμβάνοντας σταθερή ταχύτητα ανέμου και ίση με τις τιμές που δόθηκαν στον Πίνακα 12.

Στο Σχήμα 70 παρουσιάζεται το περίγραμμα της ταχύτητας του ανέμου σε επιφάνεια κάθετη στον άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα εισόδου ίση με 13.5 m/s.

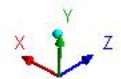
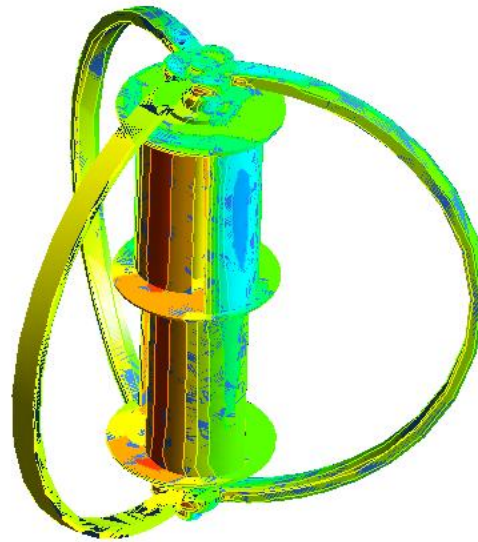
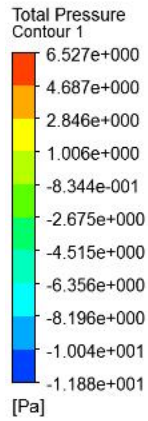


Σχήμα 70: Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου σε επιφάνεια κάθετη του άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα εισόδου 13.5 m/s

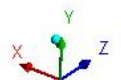
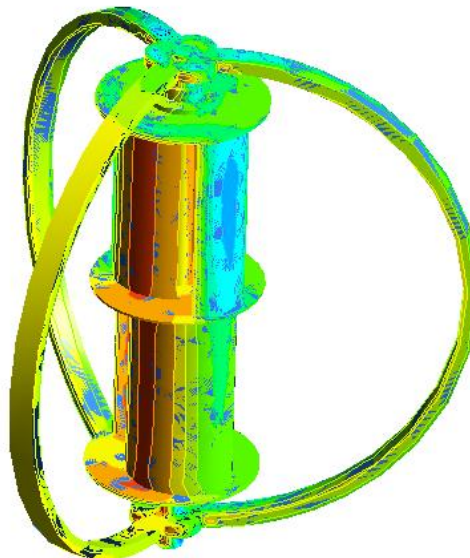
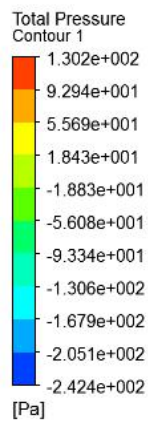


Σχήμα 71: Γραμμές ροής της ταχύτητας του ανέμου σε επιφάνεια κάθετη του άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα εισόδου 13.5 m/s

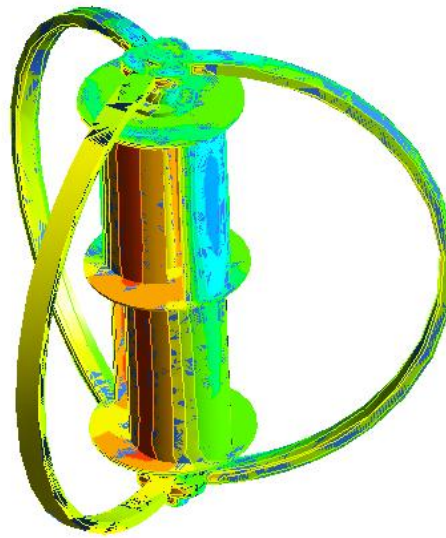
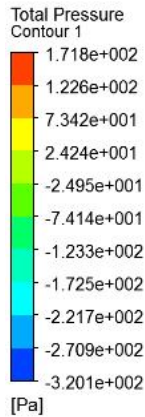
Στα Σχήματα 72,73 και 74, παρουσιάζεται η ολική πίεση που ασκείται στα τοιχώματα της Α/Γ, σε ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 3 m/s, 13.5 m/s και 15.5 m/s.



Σχήμα 72: Κατανομή της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ για ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 3 m/s



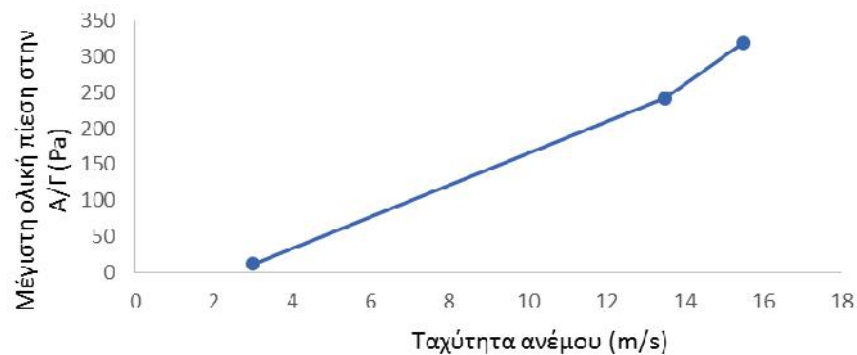
Σχήμα 73: Κατανομή της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ για ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 13.5 m/s



Σχήμα 74: Κατανομή της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ για ταχύτητα ανέμου στην είσοδο ίση με 15.5 m/s

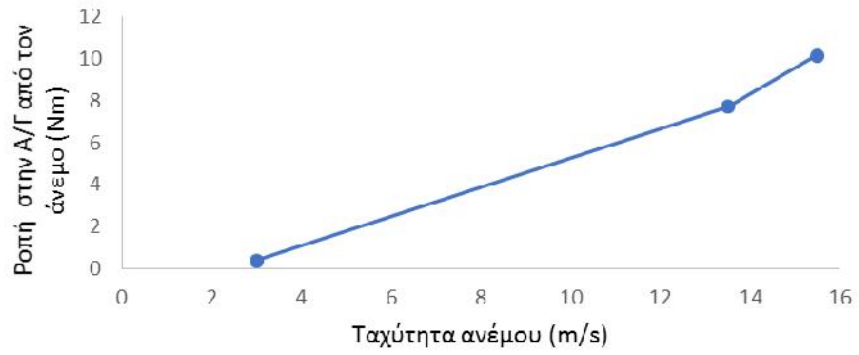
Σύμφωνα με τα παραπάνω Σχήματα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και το πεδίο τιμών της ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ. Βέβαια, η κατανομή της ολικής πίεσης στην Α/Γ είναι ίδια, ανεξάρτητη της ταχύτητας, και πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη θετική ολική πίεση εμφανίζεται στα πτερύγια των Α/Γ Savonius ενώ η μέγιστη αρνητική στον άξονα περιστροφής της Α/Γ.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 75 απεικονίζεται η μεταβολή της μέγιστης ολικής πίεσης που ασκείται στην Α/Γ σε συνάρτηση με την ταχύτητα ανέμου.



Σχήμα 75: Μεταβολή της μέγιστης ολικής πίεσης που ασκείται στην ανεμογεννήτρια συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου

Ακόμη, στο διάγραμμα του Σχήματος 76, παρουσιάζεται η ροπή της Α/Γ εξαιτίας του ανέμου συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 76: Ροπή στην ανεμογεννήτρια από τον άνεμο συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω Σχήματα, η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, οδηγεί σε αύξηση της ολικής πίεσης και της ροπής στην Α/Γ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΥΠΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΕΜΟΥ

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

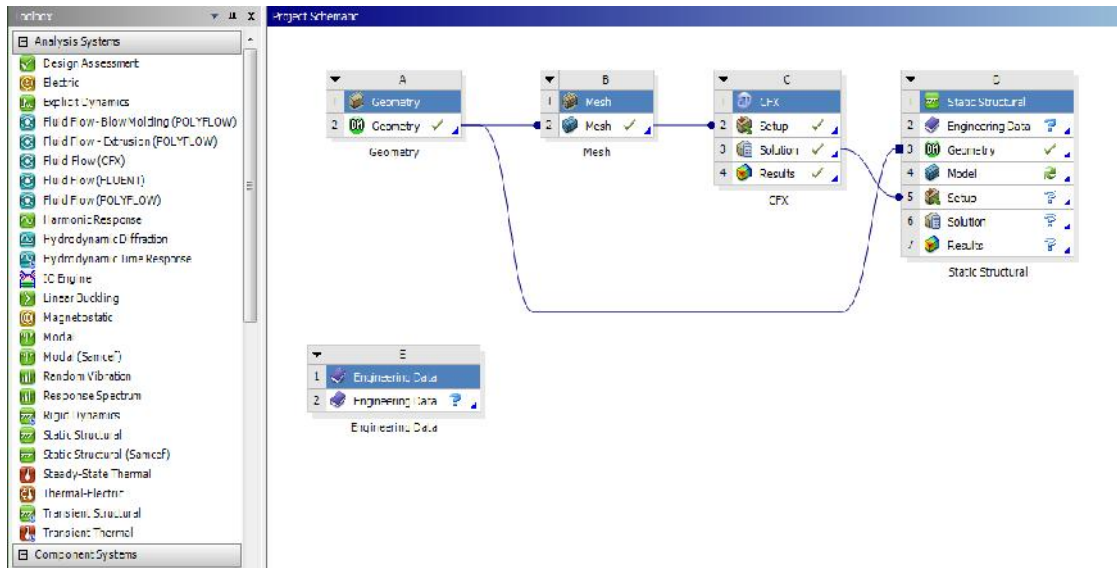
Η μηχανική ανάλυση της Α/Γ αποτελεί πρόβλημα αλληλεπίδρασης ρευστού – στερεού και μπορεί να μελετηθεί με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων του ANSYS. Πιο συγκεκριμένα, αφού έχει υπολογιστεί, από την επίλυση του CFX, η πίεση που ασκεί ο άνεμος στη δομή της Α/Γ, εφαρμόζεται ως φόρτιση στην Α/Γ, όπου μελετάται η μηχανική της ανάλυση με τη χρήση του εργαλείου Static Structural του ANSYS Workbench.

10.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΡΕΥΣΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ANSYS (FSI)

Ένα σύστημα, το οποίο είναι συζευγμένη δομή στερεού και ρευστού, ονομάζεται αλληλεπίδραση ρευστού - στερεού, που σημαίνει ότι το ρευστό επηρεάζει την παραμόρφωση της γεωμετρίας του στερεού και αντίστοιχα, η παραμορφωμένη γεωμετρία αλλάζει τις μεταβλητές του ρευστού. Η αλληλεπίδραση ρευστού - στερεού, Fluid Solid Interaction (FSI), είναι ένα παράδειγμα προβλήματος, όπου ρευστό και στερεό αλληλοεπιδρούν. Υπάρχουν δύο τύποι FSI, οι οποίοι υποστηρίζονται σε μηχανικές εφαρμογές στο ANSYS, μιας κατεύθυνσης FSI και αμφίδρομη FSI. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση CFD εφαρμόζονται ως φορτίο στη μηχανική ανάλυση και αν το αποτέλεσμα της μηχανικής περάσει πίσω στην ανάλυση CFD, τότε υπάρχει αμφίδρομη FSI, διαφορετικά υπάρχει μιας κατεύθυνσεως FSI [43]. Στη μιας κατεύθυνσης FSI, η επίλυση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής γίνεται ανεξάρτητα από την επίλυση της μηχανικής ανάλυσης, ενώ στη αμφίδρομη FSI, οι δύο επιλύσεις πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα επειδή τα αποτελέσματα μεταφέρονται για κάθε βήμα μέχρι τη συνολική ισορροπία μεταξύ της μηχανικής ανάλυσης και της ανάλυσης CFD.

10.2.1 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ STATIC STRUCTURAL ΚΑΙ CFX ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ANSYS WORKBENCH

Στο project, στο οποίο έχει γίνει η επίλυση του CFX, εισάγεται ένα μπλοκ Static Structural στο Workbench. Στο πεδίο Geometry του Static Structural, εισάγεται η γεωμετρία, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στο CFX, και στο πεδίο Setup, η επίλυση του CFX, όπως φαίνεται στο Σχήμα 77.



Σχήμα 77: Το εργαλείο Static Structural και η αλληλεπίδραση με το CFX

10.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η ανάλυση στο Static Structural, θα γίνει για διαφορετικά υλικά της Α/Γ, τα οποία είναι το αλουμίνιο, το πολυμερές με ίνες άνθρακα και, τέλος, το πολυμερές με ίνες γυαλιού, όπου οι ιδιότητές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 13 [47].

Πίνακας 13: Υλικά εφαρμογής στην ανεμογεννήτρια

| Υλικό | Πυκνότητα (Kg/m ³) | Μέτρο Ελαστικότητας (GPa) | Αριθμός Poisson | Όριο Διαρροής (MPa) |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|
| Αλουμίνιο (Series 6000) | 2700 | 69 | 0.33 | 280 |
| Πολυπροπυλένιο (Carbon Fiber) | 997 | 7.27 | 0.35 | 33 |
| Πολυαιθυλένιο (Glass Fiber Filled) | 1150 | 4.5 | 0.38 | 43.5 |

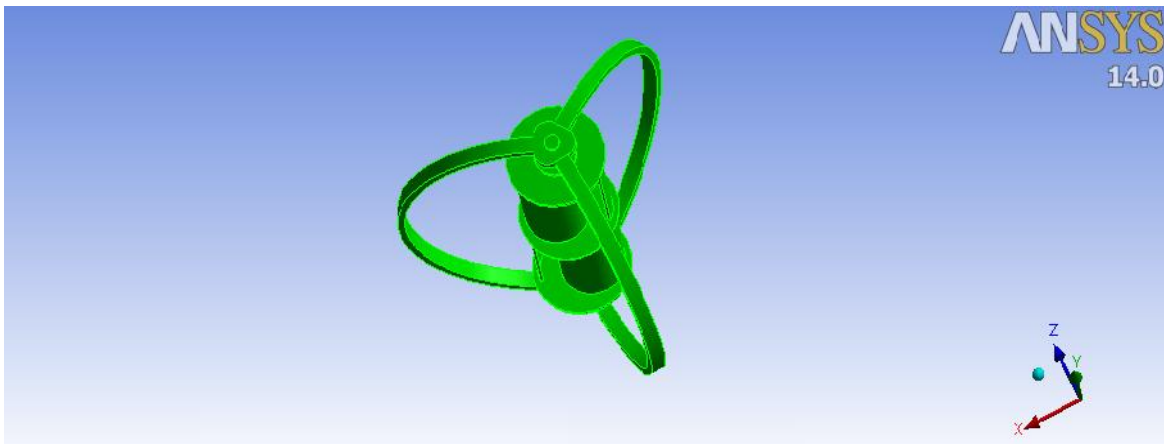
Γίνεται εισαγωγή του μπλοκ Engineering Data και με την επιλογή της εντολής Edit, εισάγονται τα υλικά με τις ιδιότητές τους.

10.4 ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ STATIC STRUCTURAL ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ANSYS WORKBENCH

Με τη βοήθεια του εργαλείου Static Structural, πραγματοποιείται στατική ανάλυση στην Α/Γ που περιστρέφεται με σταθερή περιστροφική ταχύτητα και δέχεται ως φορτίο τη ροή ανέμου και το βάρος της, για διάφορα υλικά.

10.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

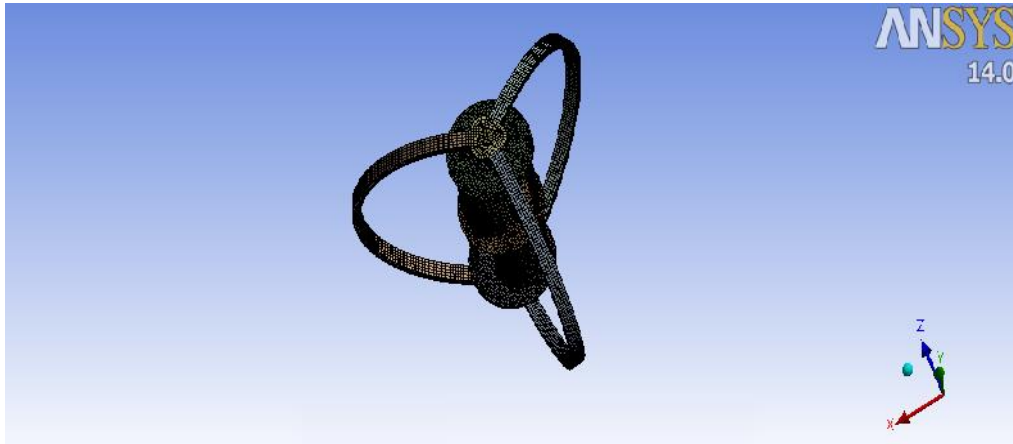
Η γεωμετρία, η οποία εισάγεται, είναι το μπλοκ της γεωμετρίας που χρησιμοποιήθηκε στο CFX (Σχήμα 78). Έτσι αφού ανοίξει η γεωμετρία, χρησιμοποιείται η εντολή unsuppress στο στερεό και η εντολή suppress στο ρευστό, με αποτέλεσμα την απομόνωση του στερεού. Ακολουθείται, δηλαδή, αντίθετη διαδικασία από αυτή που έγινε στο CFX.



Σχήμα 78: Γεωμετρία ανεμογεννήτριας στο Static Structural

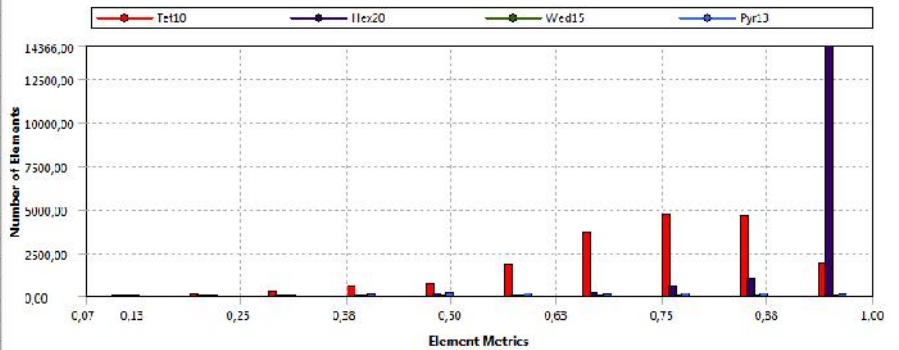
10.4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η κατασκευή του κατάλληλου πλέγματος, ώστε να γίνει η στατική ανάλυση. Στο Σχήμα 79, παρουσιάζεται το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων της Α/Γ ενώ στο Σχήμα 80, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του πλέγματος και τα στατιστικά στοιχεία των πεπερασμένων στοιχείων του.



Σχήμα 79: Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων της ανεμογεννήτριας

| Details of "Mesh" | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Defaults | |
| Physics Preference | Mechanical |
| Relevance | 0 |
| Sizing | |
| Use Advanced Size Function | On: Proximity and Curvature |
| Relevance Center | Coarse |
| Initial Size Seed | Active Assembly |
| Smoothing | Medium |
| Transition | Fast |
| Span Angle Center | Coarse |
| Curvature Normal Angle | Default: (70,3950 °) |
| Proximity Accuracy | 0,5 |
| Num Cells Across: Gap | Default: (5) |
| Min Size | Default: (0,854540 mm) |
| Proximity Min Size | Default: (0,854540 mm) |
| Max Face Size | Default: (5,4540 mm) |
| Max Size | Default: (1,0,910 mm) |
| Growth Rate | Default: (1,850) |
| Minimum: Edge Length | 3,0 mm |
| Inflation | |
| Patch Conforming Options | |
| Advanced | |
| Defaulting | |
| Statistics | |



Σχήμα 80: Χαρακτηριστικά και στατιστικά στοιχεία του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων της ανεμογεννήτριας

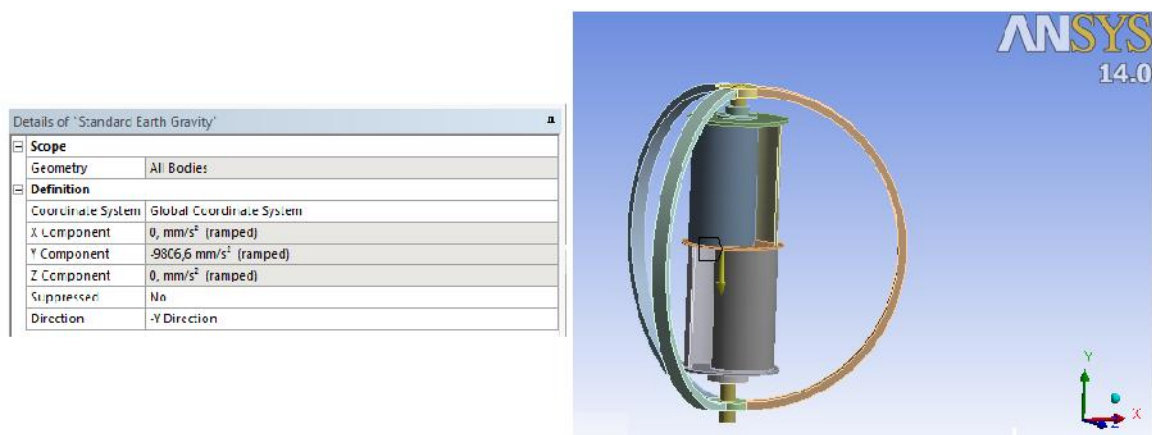
10.4.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΤΗ

Αρχικά, τοποθετείται κυλινδρική στήριξη (Cylindrical Support) στον άξονα της Α/Γ, με ελευθερία κίνησης ως προς την εφαπτομένη (Σχήμα 81).

| Details of "Cylindrical Support" | |
|---|---------------------|
| <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Scope </div> | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | 6 Faces |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Definition </div> | |
| Type | Cylindrical Support |
| Radial | Fixed |
| Axial | Fixed |
| Tangential | Free |
| Suppressed | No |

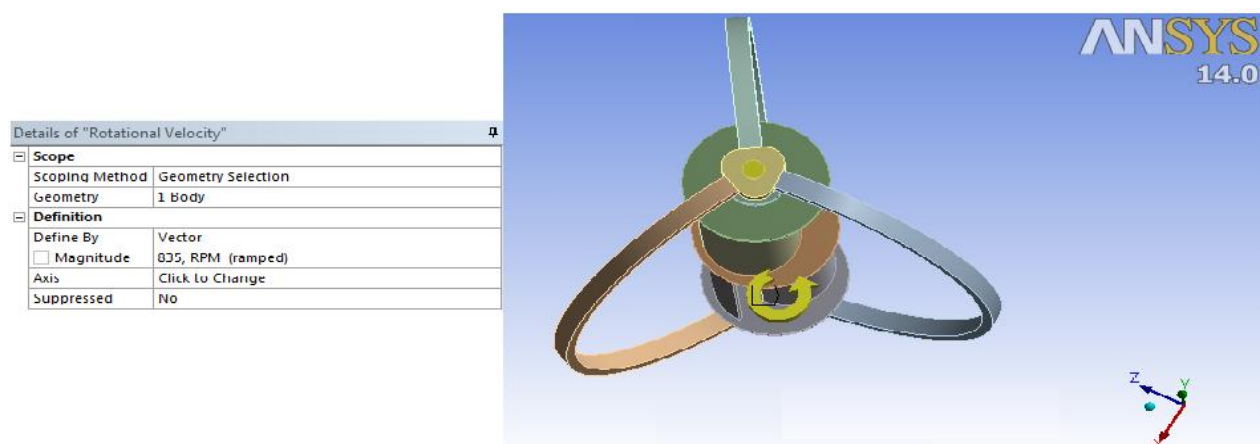
Σχήμα 81: Λεπτομέρειες ορισμού κυλινδρικής πάκτωσης στην ανεμογεννήτρια

Στη συνέχεια, εισάγεται η βαρύτητα (Standard Earth Gravity) (Σχήμα 82).



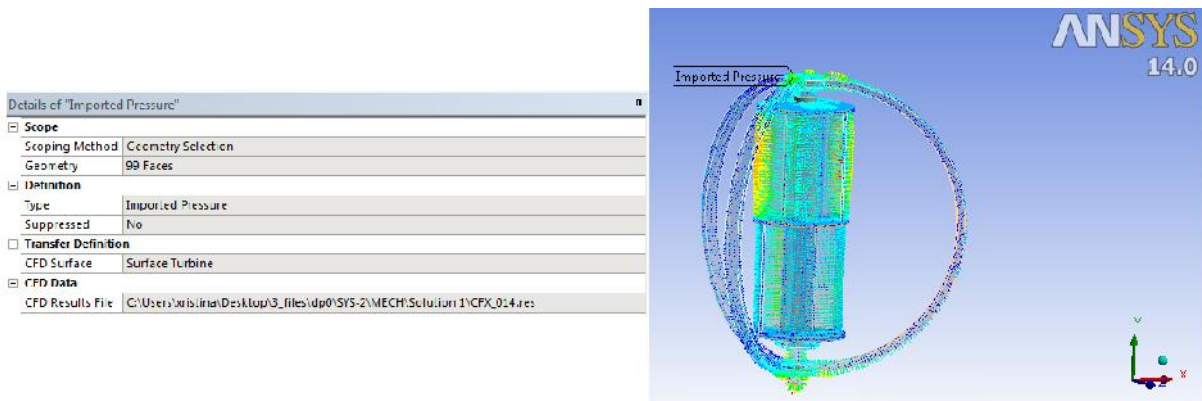
Σχήμα 82: Λεπτομέρειες ορισμού βαρύτητας στην ανεμογεννήτρια

Έπειτα, εισάγεται η περιστροφική ταχύτητα της Α/Γ, με άξονα τον άξονα περιστροφής της Α/Γ (Σχήμα 83).



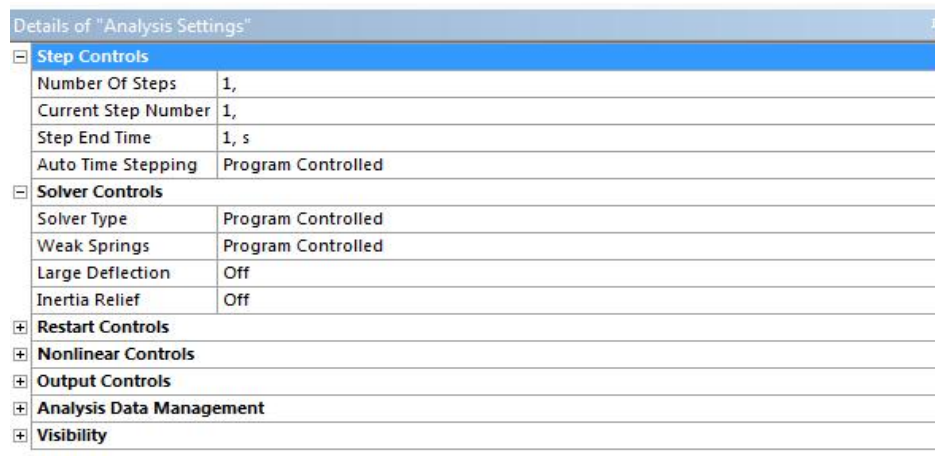
Σχήμα 83: Λεπτομέρειες ορισμού περιστροφικής ταχύτητας στην ανεμογεννήτρια

Ως φόρτιση ορίζεται η πίεση που ασκείται στην Α/Γ από τον άνεμο, όπως έχει υπολογιστεί προηγουμένως από την επίλυση του CFX (Σχήμα 84).



Σχήμα 84: Λεπτομέρειες ορισμού της εισαχθείσας πίεσης από την επίλυση του CFX

Τέλος, ορίζονται οι ρυθμίσεις της ανάλυσης του προβλήματος (Σχήμα 85) και με την εντολή Solve επιλύεται το πρόβλημα.

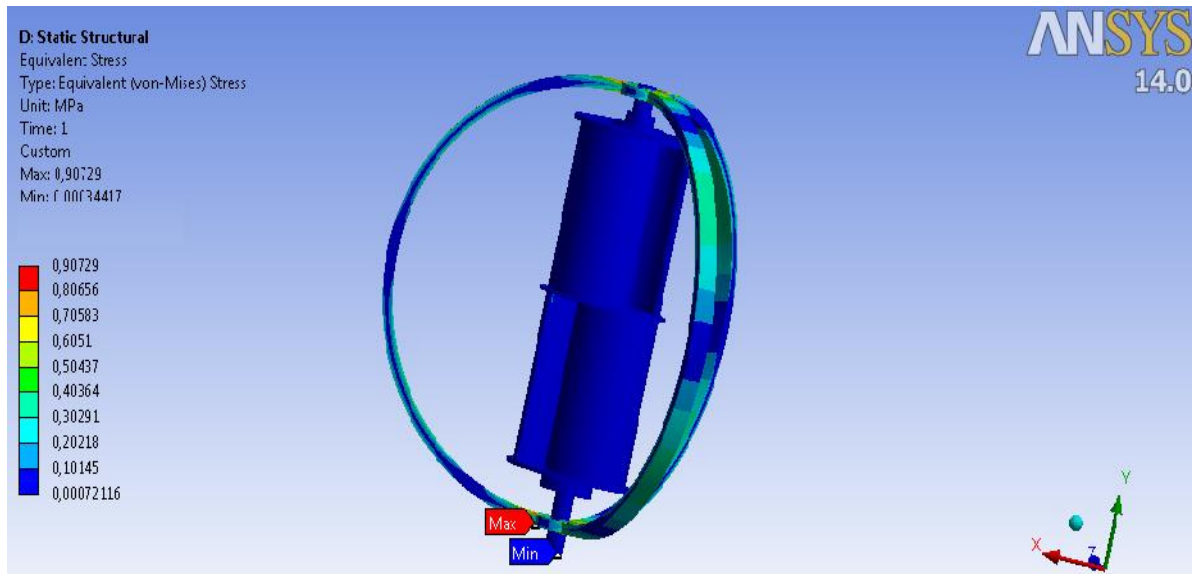


Σχήμα 85: Ρυθμίσεις της ανάλυσης του προβλήματος

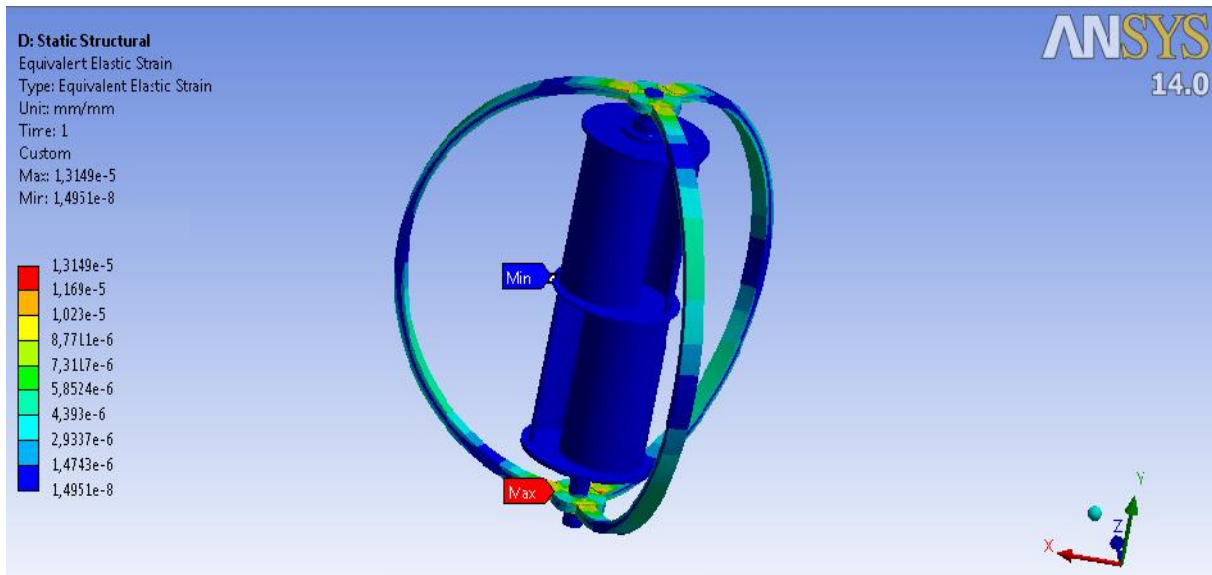
10.4.4 ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ STATIC STRUCTURAL

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που είναι διαθέσιμα από τη στατική ανάλυση της Α/Γ.

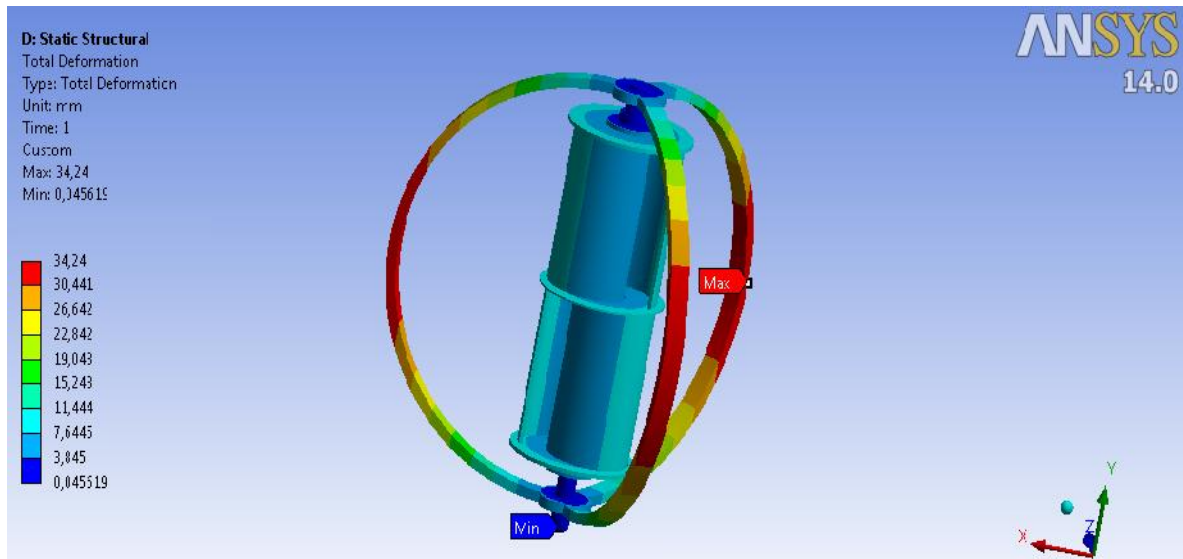
Στα Σχήματα 86, 87 και 88, παρουσιάζονται οι γραφικές απεικονίσεις της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises, της ισοδύναμης παραμόρφωσης κατά von-Mises και της ολικής μετατόπισης της Α/Γ.



Σχήμα 86: Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s και υλικό κατασκευής το αλουμίνιο



Σχήμα 87: Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης παραμόρφωσης κατά von-Mises της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s και υλικό κατασκευής το αλουμίνιο



Σχήμα 88: Γραφική απεικόνιση της συνολικής μετατόπισης της ανεμογεννήτριας για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s και υλικό κατασκευής το αλουμίνιο

Στους Πίνακες 14, 15 και 16, παρατίθενται συγκεντρωτικά οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 3, 13.5 και 15.5 m/s, οι οποίες και παρατηρούνται στα εξωτερικά πτερύγια της Α/Γ.

Πίνακας 14: Οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 3 m/s

| Υλικό | Μέγιστη Ισοδύναμη Τάση (MPa) | Μέγιστη Ισοδύναμη Παραμόρφωση 10⁻⁵ (mm/mm) | Μέγιστη Συνολική Μετατόπιση (mm) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Αλουμίνιο | 1.15 | 1.67 | 4.70 |
| Πολυμερές με ίνες άνθρακα | 0.42 | 5.82 | 44.61 |
| Πολυμερές με ίνες γυαλιού | 0.48 | 1.07 | 72.08 |

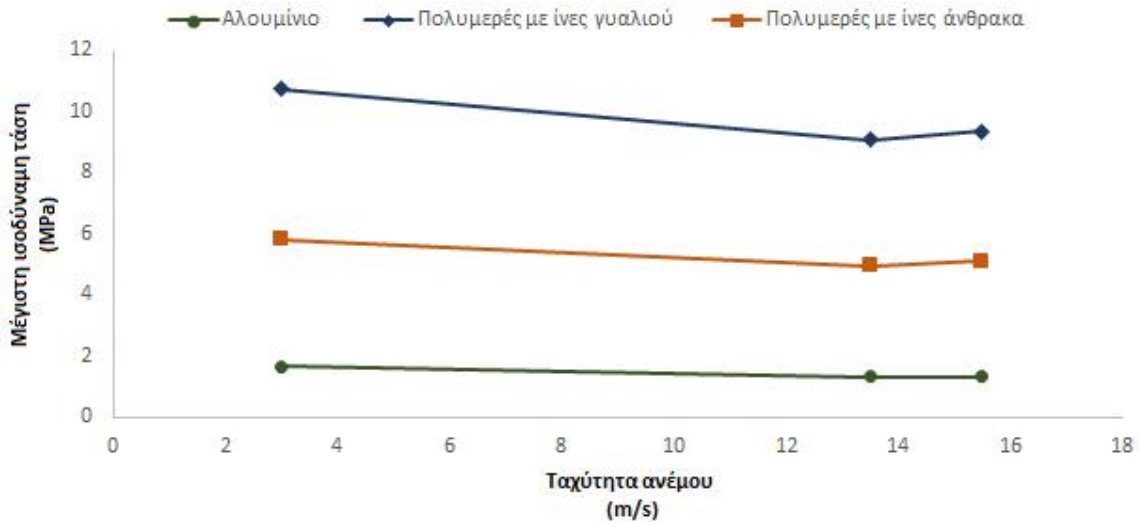
Πίνακας 15: Οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 13.5 m/s

| Υλικό | Μέγιστη Ισοδύναμη Τάση (MPa) | Μέγιστη Ισοδύναμη Παραμόρφωση 10⁻⁵ (mm/mm) | Μέγιστη Συνολική Μετατόπιση (mm) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Αλουμίνιο | 0.91 | 1.31 | 34.24 |
| Πολυμερές με ίνες άνθρακα | 0.36 | 4.94 | 324.98 |
| Πολυμερές με ίνες γυαλιού | 0.41 | 9.06 | 525.02 |

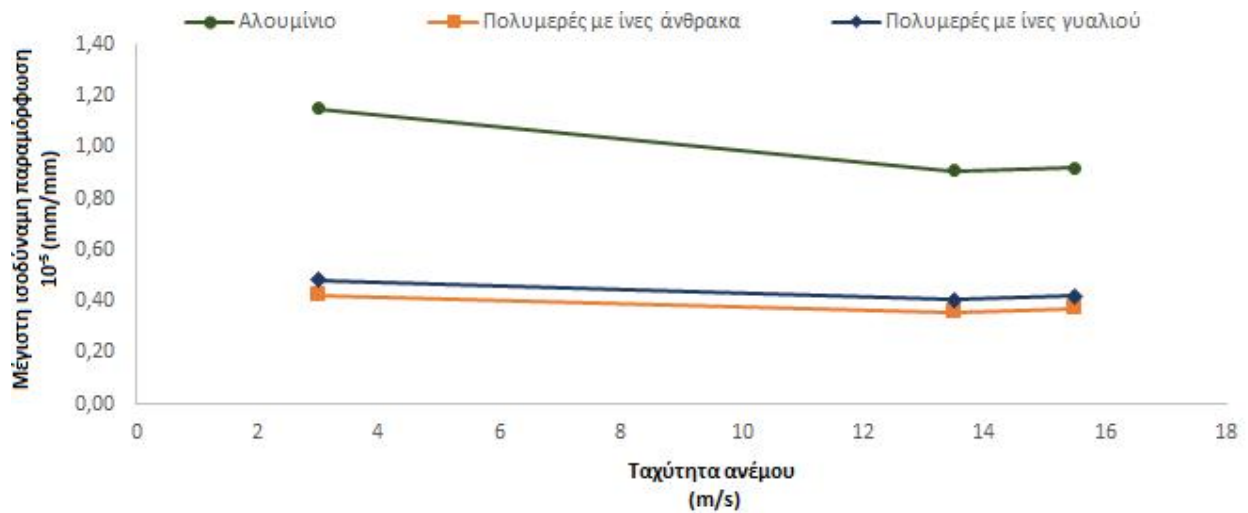
Πίνακας 16: Οι μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων, των ισοδύναμων παραμορφώσεων και των συνολικών μετατοπίσεων της Α/Γ για ταχύτητα ανέμου 15.5 m/s

| Υλικό | Μέγιστη Ισοδύναμη Τάση (MPa) | Μέγιστη Ισοδύναμη Παραμόρφωση 10⁻⁵ (mm/mm) | Μέγιστη Συνολική Μετατόπιση (mm) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Αλουμίνιο | 0.92 | 1.33 | 45.23 |
| Πολυμερές με ίνες άνθρακα | 0.37 | 5.12 | 429.31 |
| Πολυμερές με ίνες γυαλιού | 0.42 | 9.33 | 693.57 |

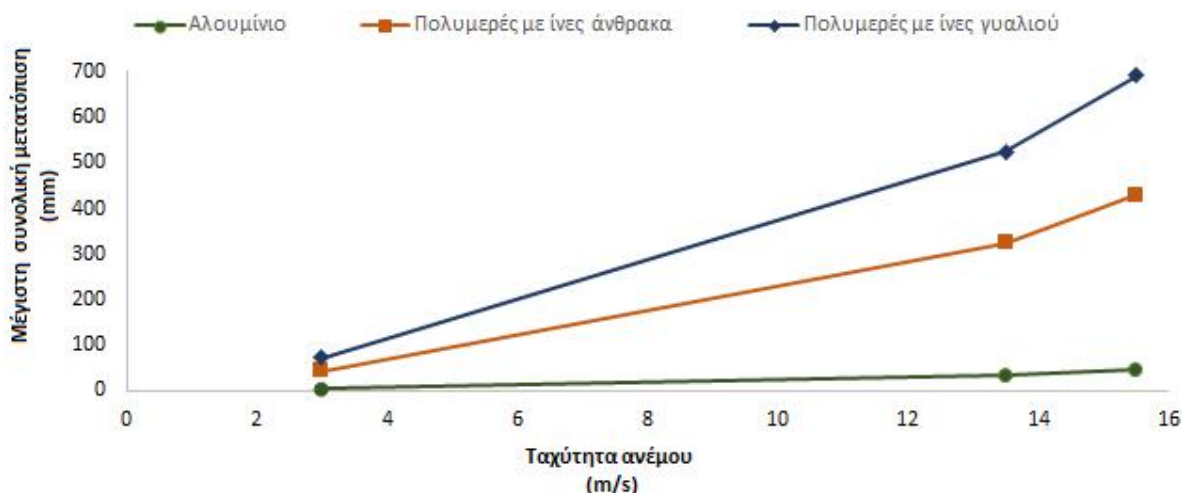
Στα Σχήματα 89, 90 και 91, παρουσιάζονται οι καμπύλες της μέγιστης ισοδύναμης τάσης, της μέγιστης ισοδύναμης παραμόρφωσης και της συνολικής μετατόπισης της Α/Γ για κάθε υλικό συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 89: Καμπύλες μέγιστης ισοδύναμης τάσης της ανεμογεννήτριας ως προς την ταχύτητα του ανέμου



Σχήμα 90: Καμπύλες μέγιστης ισοδύναμης παραμόρφωσης της ανεμογεννήτριας ως προς την ταχύτητα του ανέμου



Σχήμα 91: Καμπύλες μέγιστης συνολικής μετατόπισης της ανεμογεννήτριας ως προς την ταχύτητα του ανέμου

Στους Πίνακες 17, 18 και 19, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη στατική μελέτη για το εκάστοτε υλικό, που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της Α/Γ.

Πίνακας 17: Αναλυτικά αποτελέσματα για το αλουμίνιο, ως υλικό κατασκευής της ανεμογεννήτριας

| Ταχύτητα Ανέμου (m/s) | Μέγιστη Ισοδύναμη Τάση (MPa) | Μέγιστη Ισοδύναμη Παραμόρφωση 10^{-5} (mm/mm) | Μέγιστη Συνολική Μετατόπιση (mm) | Βάρος Ανεμογεννήτριας (Kg) |
|-----------------------|------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------|
| 3 | 1.15 | 1.67 | 4.70 | 43.83 |
| 13.5 | 0.91 | 1.31 | 34.24 | |
| 15.5 | 0.92 | 1.33 | 45.23 | |

Πίνακας 18: Αναλυτικά αποτελέσματα για το πολυμερές με ίνες άνθρακα, ως υλικό κατασκευής της ανεμογεννήτριας

| Ταχύτητα Ανέμου (m/s) | Μέγιστη Ισοδύναμη Τάση (MPa) | Μέγιστη Ισοδύναμη Παραμόρφωση 10^{-5} (mm/mm) | Μέγιστη Συνολική Μετατόπιση (mm) | Βάρος Ανεμογεννήτριας (Kg) |
|-----------------------|------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------|
| 3 | 0.42 | 5.82 | 44.61 | 16.19 |
| 13.5 | 0.36 | 4.94 | 324.98 | |
| 15.5 | 0.37 | 5.12 | 429.31 | |

Πίνακας 19: Αναλυτικά αποτελέσματα για το πολυμερές με ίνες γυαλιού, ως υλικό κατασκευής της ανεμογεννήτριας

| Ταχύτητα Ανέμου (m/s) | Μέγιστη Ισοδύναμη Τάση (MPa) | Μέγιστη Ισοδύναμη Παραμόρφωση 10^{-5} (mm/mm) | Μέγιστη Συνολική Μετατόπιση (mm) | Βάρος Ανεμογεννήτριας (Kg) |
|-----------------------|------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------|
| 3 | 0.48 | 1.07 | 72.08 | 18.67 |
| 13.5 | 0.41 | 9.06 | 525.02 | |
| 15.5 | 0.42 | 9.33 | 693.57 | |

Προκύπτει λοιπόν, ότι και τα τρία υλικά κατασκευής της υβριδικής Α/Γ τύπου Darrieus-Savonius αντέχουν την τάση που αναπτύσσεται σε αυτά, αλλά όχι και τη μετατόπιση για τις ταχύτητες ανέμου που μελετήθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή της ισοδύναμης τάσης που προκύπτει για το κάθε υλικό είναι πολύ μικρότερη από το όριο διαρροής του. Η μέγιστη τιμή της ισοδύναμης τάσης εμφανίζεται στα πτερύγια της Α/Γ Darrieus, ενώ η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στον άξονα περιστροφής της Α/Γ. Ακόμη, το αλουμίνιο εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές ισοδύναμης τάσης, ενώ ακολουθεί το πολυμερές με ίνες γυαλιού και έπειτα το πολυμερές με ίνες άνθρακα.

Αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή της ισοδύναμης παραμόρφωσης που προκύπτει για το κάθε υλικό εμφανίζεται στα πτερύγια της Α/Γ Darrieus, ενώ η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στο δίσκο συγκράτησης μεταξύ των Α/Γ Darrieus. Μικρότερες τιμές ισοδύναμης παραμόρφωσης παρουσιάζει το αλουμίνιο, και μάλιστα μέσα σε ανεκτά όρια, ενώ μεγαλύτερες το πολυμερές με ίνες γυαλιού.

Η συνολική μετατόπιση αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου ενώ η μέγιστη τιμή της για το πολυμερές με ίνες γυαλιού είναι 429.31 mm και για το πολυμερές με ίνες άνθρακα είναι 693.57 mm, οι οποίες υποδηλώνουν ότι η Α/Γ δεν αντέχει τη μετατόπιση που αναπτύσσεται σε αυτά τα δύο υλικά. Η μέγιστη τιμή της ισοδύναμης μετατόπισης εμφανίζεται στα πτερύγια της Α/Γ Darrieus, ενώ η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στον άξονα περιστροφής της Α/Γ.

Το αλουμίνιο παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ισοδύναμης τάσης σε σχέση με τα πολυμερή και μικρότερες τιμές ισοδύναμης παραμόρφωσης και συνολικής μετατόπισης. Επιπλέον, το βάρος της Α/Γ κατασκευασμένη από αλουμίνιο είναι περίπου 2.5 φορές μεγαλύτερο από ότι με το πολυμερές με ίνες άνθρακα και το πολυμερές με ίνες γυαλιού. Βέβαια, το αλουμίνιο είναι πολύ φθηνότερο σε σχέση με τα υλικά με ίνες.

10.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Με βάση αυτή την Μεταπτυχιακή Εργασία, όπου μελετήθηκε η αντοχή της υβριδικής της Α/Γ υπό φορτίο ανέμου, όπως αυτό προέκυψε με χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής και έπειτα διερευνήθηκε η χρήση εναλλακτικών υλικών για την κατασκευή της, αντικείμενο μελλοντικής μελέτης θα μπορούσε να είναι ο υπολογισμός των φορτίων κόπωσης στα εξαρτήματα της Α/Γ. Επίσης, η εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων τύρβης στην προσομοίωση της ροής του ανέμου και η σύγκριση των αποτελεσμάτων αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής μελέτης, όπως επίσης και ο υπολογισμός της επίδρασης της τύρβης και των δυνάμεων του ανέμου στην Α/Γ σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη τροποποίησης του σχήματος των πτερυγίων της Α/Γ και ο υπολογισμός των αεροδυναμικών φορτίων που τις ασκούνται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <http://www.econews.gr>.
- [2] <http://www.wwf.gr>.
- [3] <http://www.in.gr>.
- [4] Βουγιουκλάκης Γ., Κ.Α.Π.Ε., 2010.
- [5] Βουγιουκλάκης Γ, Κ.Α.Π.Ε., 2010 - Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 17/11/2010.
- [6] <http://www.4green.gr>.
- [7] Καβουρίδης-Παυλουδάκης, 2004 / European Commission, 2009.
- [8] Λαμπρίδης Δημήτρης, Ντοκόπουλος Πέτρος, Παπαγιάννης Γρηγόρης, Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας – Τόμος Α, , Εκδόσεις Ζήτη, 2006, Αθήνα.
- [9] <http://www.cres.gr>.
- [10] Dondi Peter, Bayoumi Deia, Haederli Christoph, Danny Julian, Marco Suter, Network integration of distributed power generation, Journal of Power Sources, Vol. 106, (1–2), pp 1–9, 2002.
- [11] Μήλιας - Αργεΐτης Ι, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ΙΙ, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1993, Πάτρα.
- [12] Cardona, E., Piacentino A., Cogeneration: a regulatory framework toward growth, Energy Policy, Vol. 33. (16), pp 2100-2111, 2005.
- [13] Ackermann, T.; Andersson, G. & Söder, L., Distributed Generation: A Definition, Electric Power Systems Research, Vol. 57, (3), pp. 195-204, 2001.
- [14] Pepermans, G., Driesen J., Haeseldonckx, D. Belmans, R. D’haeseleer, W. Distributed generation: definition, benefits and issues, Energy Policy, Vol. 33, (6), pp 787-798, 2005.
- [15] El-Khattam W, Salama M.M.A, Distributed generation technologies, definitions and benefits, Electric Power Systems Research, Volume 71, (2), pp 119-128, 2004.
- [16] <http://www.areimanio.gr/areimanio/aiolikh.htm>.
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbines.
- [18] Αλεξιάκης Αλ., Αιολική Ενέργεια, Εκδόσεις Μιχ. Σιδέρης, 2002, Αθήνα.
- [19] <http://www.cea.org.cy>.
- [20] <http://www.ewea.org>.
- [21] http://www.enermed.cres.gr/Res_Technologies.
- [22] Duchene-Marullaz P. (1975), Turbulence Atmospherique au Voisinage d'une Ville, Rep. 75-2, C.S.T.B., Nantes.
- [23] <http://newenergyandfuel.com>.
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine.
- [25] http://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine.
- [26] <http://www.turbinesinfo.com/innovative-wind-turbines>.
- [27] <http://www.hi-vawt.com>.
- [28] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm.
- [29] <http://www.windipedia.info>.
- [30] Μπεργελές Γ., Ανεμοκινητήρες, Εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα 1995.
- [31] Al-Shemmeri Tarik (2010), Wind Turbines.
- [32] http://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Betz.
- [33] <http://www.eletaen.gr>.
- [34] http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine_design.
- [35] <http://www.rbgrant.co.uk/wind-turbines>.
- [36] <http://electroepistimi.blogspot.gr>.
- [37] Hau E. Wind Turbines, fundamentals, technologies, application, economics, second edition, Springer, 2006.
- [38] <http://www.energotech.gr>.

- [39] www.home-electricity.org.
- [40] www.solidworks.com.
- [41] <http://www.fem-infos.com>.
- [42] Προβατίδης, Χρ.& Κανάραχος, Α., "Πεπερασμένα Στοιχεία στη Μηχανολογία", Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2000, Αθήνα.
- [43] www.ansys.com.
- [44] Προβατίδης, Χρ., Αντωνιάδης Ι. "Υπολογιστικές μέθοδοι στις κατασκευές", Εκδόσεις ΕΜΠ, 2004, Αθήνα.
- [45] J.O. Hinze. Turbulence. McGraw-Hill Publishing Co., New York, 1975.
- [46] Versteeg H. K. and Malalasekera W., An introduction to computational fluid dynamics, Longman Group Ltd, 1995.
- [47] www.matweb.com.