

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1706

Μελέτη Εγκατάστασης Αιολικού Πάρκου
Wind Farm Installation Project

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΤΖΙΑΝΑΒΑΡΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ 6972

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία γίνεται μια προσπάθεια μελέτης ενός αιολικού πάρκου. Αυτή η μελέτη περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την εγκατάσταση και κυρίως στοιχεία των ανεμογεννητριών καθώς αυτές αποτελούν την «καρδιά» ενός αιολικού πάρκου. Αναλύονται επίσης οι παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία των ανεμογεννητριών και γίνεται αναφορά στον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί και τα χαρακτηριστικά του. Τέλος περιγράφονται όλες οι διαδικασίες, από τα έργα οδοποιίας έως και την ανέγερση των ανεμογεννητριών, που απαιτούνται για τον εσωτερικό σχεδιασμό του πάρκου. Η ανάλυση της μελέτης οδηγεί σε συμπεράσματα τα οποία αφορούν τις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή του αιολικού πάρκου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	4
1.1 Ο άνεμος ως πηγή ενέργειας.....	4
1.2 Ιστορική ανάδρομη.....	5
1.3 Τεχνολογία ανεμογεννητριών.....	5
1.4 Βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας.....	7
1.5 Σύγχρονες ανεμογεννήτριες.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΑΝΕΜΩΝ.....	17
2.1 Ο άνεμος.....	18
2.2 Συλλογή ανεμολογικών στοιχείων - εύρεση κατάλληλης περιοχής.....	22
2.3 Χαρακτηριστικά ανέμου περιοχής.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ.....	25
3.1 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους.....	25
3.2 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων.....	25
3.3 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.....	25
3.4 Το αιολικό δυναμικό.....	26
3.5 Δημιουργία αιολικού πάρκου.....	29
3.6 Υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp.....	30
3.7 Ενεργειακή μελέτη αιολικού πάρκου.....	32
3.8 Επιλογή ανεμογεννήτριας.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	39
4.1 Μεθοδολογία χωροθέτησης αιολικού πάρκου.....	39
4.2 Ηχητική όχληση.....	41
4.3 Χρήση γης.....	42
4.4 Μετεωρολογικά προβλήματα.....	43
4.5 Οπτική όχληση.....	43
4.6 Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	47
5.1 Έργα οδοποιίας.....	47
5.2 Διαμόρφωση πλατειών ανέγερσης.....	47
5.3 Θεμελίωση ανεμογεννητριών - Βάσεις πυλώνων.....	47
5.4 Διάνοιξη τάφρων διέλευσης καλωδίων ισχύος και ασθενών ρευμάτων, τοποθέτηση καλωδίων.....	49
5.5 Εσωτερική ηλεκτρομηχανολογική μελέτη αιολικού πάρκου.....	50
5.6 Προδιαγραφές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου.....	58
5.7 Κτιριακές εγκαταστάσεις κέντρου ελέγχου αιολικού πάρκου.....	66
5.8 Ανέγερση ανεμογεννητριών.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Ο άνεμος ως πηγή ενέργειας

Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται "αιολική ενεργεία". Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης προκαλεί την μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη.

Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεδομένου ότι αφενός δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη. Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του, χρησιμοποιώντας για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Άλλες δραστηριότητες όπου χρησιμοποιήθηκε η αιολική ενέργεια ήταν το άλεσμα δημητριακών, αλλά και η άντληση νερού για το πότισμα καλλιεργειών η για την μεταφορά του στη θάλασσα από τις πλημμυρισμένες περιοχές.

Κατά τη διάρκεια του 17^{ου} αιώνα η ανακάλυψη των ανεμοστρόβιλων άρχισε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους, οι οποίοι αποτέλεσαν τον πρόγονο τις ανεμογεννήτριες, ενώ τον επόμενο αιώνα πραγματοποιήθηκε από τους Δανούς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο.

Η ανταγωνιστική θέση των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας ενισχύεται από τα οικονομικά στοιχεία για το κόστος παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα το κόστος αιολικής ΚVH υπολείπεται σημαντικά του κόστους συμβατικών καυσίμου και επιπλέον το κόστος παραγωγής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει, κατά κάποιο τρόπο, μία ύστερη περίοδο ωριμότητας.

Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων που την μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια που την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 1. Ανεμοκινητήρες-Ανεμοστρόβιλοι.

1.2 Ιστορική ανάδρομη

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας με τη χρήση της τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση, καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων. Οι ιστορικές και αρχαιολογικές αναφορές υποστηρίζουν επίσης ότι αιολικές μηχανές (ανεμόμυλοι) χρησιμοποιήθηκαν και από άλλους αρχαίους λαούς, όπως: τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους.

Κύριο υλικό κατασκευής τους ήταν το ξύλο, τα πανιά καθώς και ειδικές λιθόκτιστες κατασκευές. Για παράδειγμα στην Αίγυπτο διατηρούνται οι πέτρινες βάσεις ανεμόμυλων με ηλικία μεγαλύτερη των τριών χιλιάδων ετών, ενώ σύμφωνα με τις ιστορικές μαρτυρίες ήδη τον 7ο π.Χ. αιώνα στη Βαβυλωνία, ανεμόμυλοι έδιναν την απαραίτητη ενέργεια για την άρδευση της Μεσοποταμίας. Λέγεται μάλιστα ότι ο βασιλιάς Χαμουραμί της Βαβυλωνίας, ήδη από τον 17ο αιώνα π.Χ. είχε συλλάβει κάποιο σχέδιο προκειμένου να αρδεύσει την πεδιάδα της Μεσοποταμίας με τη βοήθεια της αιολικής ενέργειας.

Στις αρχές του αιώνα μας πρώτοι οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο, ενώ στην Αμερική ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται επίσης για ηλεκτροδότηση. Έτσι το 1891 λειτούργησε στο Askov της Δανίας πειραματικός ανεμοκινητήρας με δυο ηλεκτρικές γεννήτριες (2x9kW) και διάμετρο 22.8m, κάτω από την επίβλεψη του καθηγητή P. La Cour. Αντίστοιχα τη δεκαετία του 1930 κατασκευάστηκε στη Βαλτική, μηχανή 100kW με σχεδιαστική επίβλεψη των Sabanin και Yuriev.

Τέλος το 1940 κατασκευάζεται στο Vermont των Η.Π.Α. ένας πειραματικός δίπτερος ανεμοκινητήρας (ανεμογεννήτρια) σημαντικής ισχύος. Ο μηχανικός Johannes Juul έφτιαξε το 1950 την πρώτη ανεμογεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης. Στα χρόνια που ακολούθησαν το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η χρήση της ατομικής ενέργειας και οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου περιόρισαν δραστικά το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Όμως η ρύπανση του περιβάλλοντος και οι διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις υποχρέωσαν ξανά τις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες να ενδιαφερθούν έντονα, γι' αυτή την καθαρή και αρχαία ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, τον άνεμο.

1.3 Τεχνολογία ανεμογεννητριών

Τύποι ανεμογεννητριών

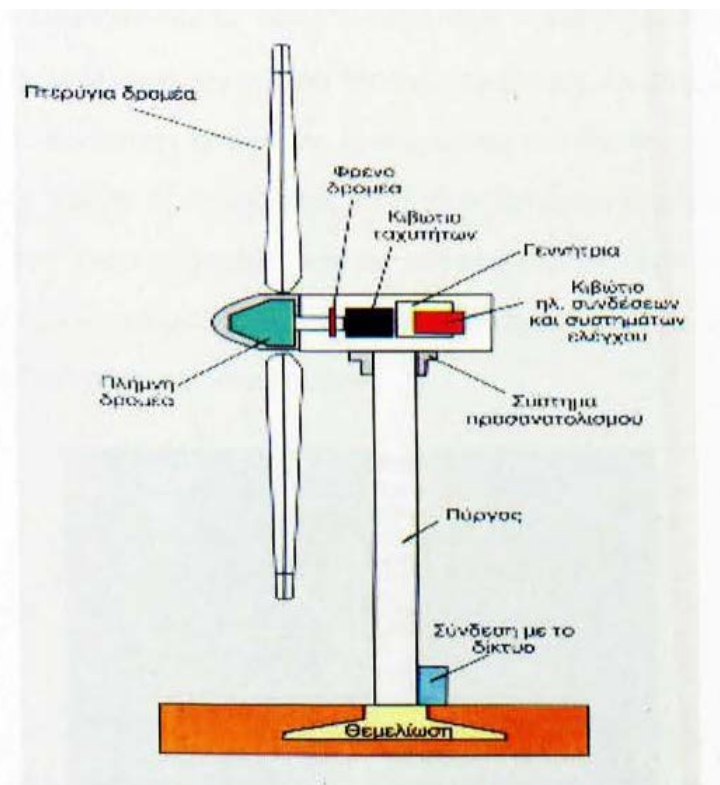
Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία παραγωγής ανεμογεννητριών έχει γνωρίσει μια μεγάλη οικονομική και τεχνολογική άνθηση. Τα αποτελέσματα της άνθησης αυτής είναι να έχουν παρουσιαστεί στην αγορά πολλοί τύποι ανεμογεννητριών που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την τεχνολογία, τα μεγέθη τους και το κόστος τους. Οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου:

- Οριζόντιου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου.

- Οριζόντιου άξονα (Cross - Wind), στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης, αλλά κάθετος στην κατεύθυνση της ροής του ανέμου.
- Καθέτου άξονα στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου.

Τυπικές μορφές ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα

Ο περιστρεφόμενος μηχανισμός τέτοιων μηχανών, που καλείται δρομέας, μπορεί να έχει από ένα πτερύγιο (μονόπτερος) μέχρι 30 ή και περισσότερα (πολύπτερος). Κατά τη διάρκεια των χρόνων ο τύπος μηχανής που επικράτησε ήταν αυτός με τα δύο πτερύγια. Αυτό έγινε διότι κατασκευαστικά ήταν η φθηνότερη λύση με τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας. Μετά όμως από αυτό το στάδιο και αφού πλέον οι ανεμογεννήτριες άρχισαν να προσεγγίζουν οικισμούς, κρίθηκε αναγκαίο να εισάγουν άλλο ένα πτερύγιο. Αυτή η αλλαγή επέφερε μεγάλη μείωση στα επίπεδα θορύβου την μηχανής καθώς και ένα καλό αποτέλεσμα στην παραγωγή και στη αντοχή της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 2. Τυπική μορφή ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα.

Για τη μεγιστοποίηση δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου απαιτείται το επίπεδο του δρομέα του ανεμοκινητήρα να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου. Γι αυτό το λόγο στις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα υπάρχει σερβομηχανισμός ο οποίος με τη βοήθεια ανεμομέτρου, ευθυγραμμίζει τον άξονα του δρομέα προς τη ροή του ανέμου. Οι σύγχρονες μηχανές διαθέτουν και σύστημα περιστροφής των πτερυγίων τους (pitch regulated wind turbines) ώστε να επιτυγχάνουν τη μέγιστη παραγωγή με την οποιαδήποτε δύναμη ανέμου.

Ο πύργος στήριξης του ανεμοκινητήρα μπορεί να είναι σωληνωτού τύπου, τύπου

δικτυώματος ή λεπτής κολώνας. Οι δύο πρώτοι τύποι είναι αυτοστηριζόμενοι, ενώ ο τρίτος απαιτεί πρόσδεση με συρματόσχοινα.

Τυπική μορφή ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα

Οι ανεμοκινητήρες αυτού του τύπου είναι κατασκευαστικά απλούστεροι του ανεμοκινητήρα οριζοντίου άξονα γιατί:

- Δεν απαιτούν πτερύγιο ή σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου.
- Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας βρίσκεται στο έδαφος, στη βάση του ανεμοκινητήρα.

Συνοπτικά οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος. Οι μηχανές αυτού του τύπου έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, ως εκ τούτου αποτελούν και πιο απλές κατασκευές καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου, συνεπώς τα έξοδα αυτοματισμού, συντήρησης ή επισκευών είναι σαφώς μικρότερα σε σύγκριση με τον ανεμοκινητήρα οριζοντίου άξονα.



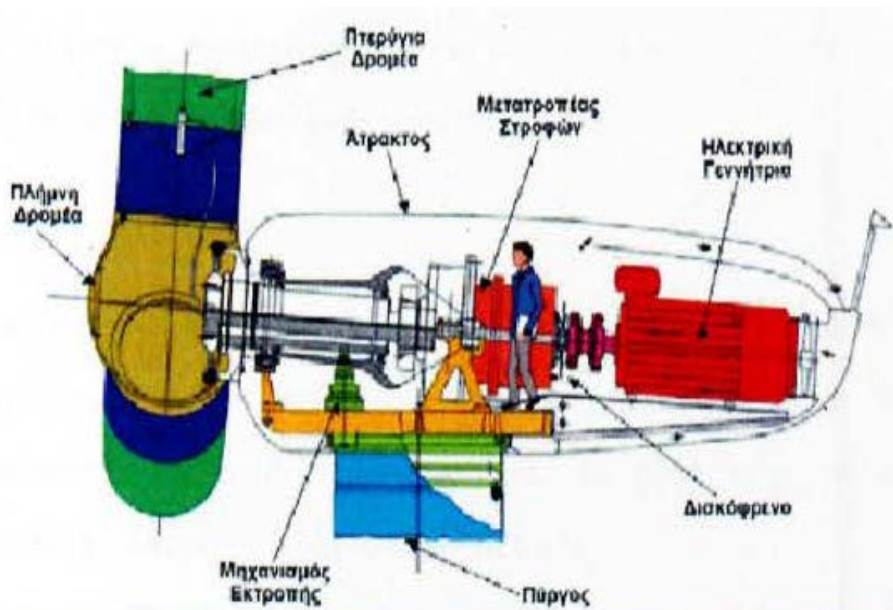
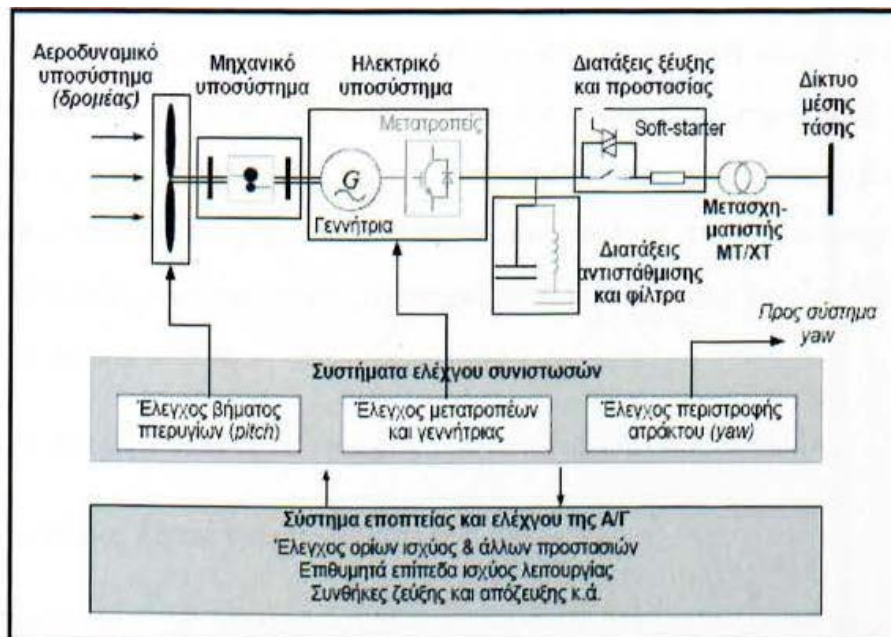
Εικόνα 3. Τυπική μορφή ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα.

1.4 Βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Στην εργασία μας αυτή θα ασχοληθούμε με μια εγκατάσταση η οποία απαιτεί ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα. Με αυτή τη λογική ακολουθεί περιγραφή των βασικών μερών του μοντέλου του οποίου θα επιλέξουμε από τη μεγάλη γκάμα των μηχανών αυτών. Μια ανεμογεννήτρια μπορούμε να πούμε ότι χωρίζεται σε έξι βασικά υποσυστήματα τα οποία μπορούν να μας βάλουν και στη λογική της λειτουργίας της:

1. Αεροδυναμικό υποσύστημα (δρομέας)
2. Μηχανικό υποσύστημα

3. Ηλεκτρικό υποσύστημα
4. Σύστημα ελέγχου
5. Υποσύστημα έδρασης



Εικόνα 4. Βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας.

Αεροδυναμικό υποσύστημα

Δρομέας και πτερύγια

Ο σχεδιασμός του δρομέα αποτελεί ένα από τα πιο βασικά μέρη και ίσως την περισσότερη τεχνογνωσία. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διαφόρων παραμέτρων που συνθέτουν τον δρομέα: ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές, συστροφή, μέσο γεωμετρικό βήμα. Τα κριτήρια επιλογής είναι η

μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της. Η διάμετρος του δρομέα θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα. Η γωνιακή ταχύτητα λειτουργίας του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου (λόγος λ) να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής συντελεστή ισχύος του ανεμοκινητήρα. Η κατανομή του πλάτους των πτερυγίων θα προκύψει από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα ενώ το πλήθος των πτερυγίων (η στερεότητα του δρομέα) θα εξαρτηθεί από το είδος της εφαρμογής του ανεμοκινητήρα.

Ανάλογα με τη μορφή του δρομέα διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τύπους:

α. Δρομείς με πολλά λεπτά πτερύγια (πολυπτέρυγους)

Χαρακτηριστικό των δρομέων αυτών είναι η μικρή διάμετρος, η μικρή περιφερειακή ταχύτητα και η μεγάλη ροπή. Η κατασκευή τέτοιων ανεμοκινητήρων καθώς και η έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή τείνουν να εγκαταλειφθούν για πολλούς λόγους, όπως ο μικρός συντελεστής ισχύος και η μικρή διάμετρος που μπορούν να κατασκευαστούν.

β. Δρομείς με λίγα πτερύγια Οι δρομείς αυτοί έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια (τελευταία κατασκευάστηκαν δρομείς με ένα πτερύγιο, μονόπτερος) . Έχουν τη μορφή των πτερυγίων των ελίκων των αεροσκαφών με αρκετή συστροφή από τη βάση μέχρι το ακροπτερύγιο και μεταβαλλόμενη χορδή με λέπτυνση προς το ακροπτερύγιο.

Η τεχνολογία κατασκευής του είναι παρόμοια με εκείνη των ελίκων αεροπλάνων, δανείζεται δε και μερικά, στοιχεία από εκείνη του δρομέα των ελικοπτέρων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομέα είναι ο μεγάλος συντελεστής ισχύος και η βέλτιστη λειτουργία του σε μεγάλο σχετικά λόγο ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ. Οι παλαιότεροι δρομείς είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ οι σύγχρονοι δρομείς, λόγω αεροδυναμικής βελτιστοποίησης, έχουν λεπτά πτερύγια. Οι αεροτομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πτερυγίων είναι σύγχρονες αεροτομές που παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές σχετικά γωνίες πρόσπτωσης ενώ συγχρόνως διατηρούν χαμηλό συντελεστή αντίστασης σε ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης. Τυπικός εκπρόσωπος τέτοιων αεροτομών είναι η αεροτομή NACA. Οι δρομείς αυτοί είναι πιο ταχύστροφοι από τους πολυπτέρυγους δρομείς και ελαφρώς οικονομικότεροι, παρουσιάζουν δε ευκολία στην επιτόπου συναρμολόγηση του ανεμοκινητήρα.

Γενικά ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% περισσότερο αποδοτικός από τον δίπτερο και τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα. Είναι όμως ακριβότερος. Αντίθετα ο μονόπτερος δρομέας είναι φθηνότερος, έχει 10% μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τον δίπτερο, αλλά έχει θορυβώδη λειτουργία και η ζυγοστάθμιση του παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα.

Η σταθερή μηχανική καταπόνηση που οφείλεται στις φυγόκεντρες δυνάμεις καθώς και αυτή που οφείλεται στις ταλαντώσεις των πτερυγίων, κάνουν το σχεδιασμό των πτερυγίων τον πιο αδύναμο μηχανικό σύνδεσμο του συστήματος.

Η μηχανική καταπόνηση των πτερυγίων σε συνθήκες πολύ υψηλού ανέμου, περιορίζεται σε ανεκτά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής, η οποία περιορίζεται μέσα στα επιθυμητά όρια. Ο έλεγχος αυτός όχι μόνο προστατεύει τα πτερύγια, αλλά και τη χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική γεννήτρια από υπερφόρτιση και υπερθέρμανση.

Τύπος πτερυγίων

α. Πτερύγια με έλεγχο της μεταβολής του βήματος (pitch controlled), που μπορούν να περιστραφούν κατά το διαμήκη άξονά τους. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η γωνία πρόσπτωσης του ανέμου και κατά συνέπεια η προσπίπτουσα σε αυτά αεροδυναμική ισχύς. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του σχήματος είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω του συστήματος ελέγχου τους, αλλά και της χρήσης υδραυλικών και ηλεκτρομηχανικών μέσων για τη στροφή των πτερυγίων.

β. Οι ανεμογεννήτριες με αεροδυναμικό έλεγχο της ροής και ισχύος του δρομέα (stall controlled), διαθέτουν πτερύγια σταθερής κλίσης τα οποία σε υψηλές ταχύτητες ανέμου (χαμηλές τιμές του λ) εμφανίζουν απώλεια αεροδυναμικής στήριξης. Έτσι περιορίζεται η αναπτυσσόμενη ροπή και η παραγόμενη ενέργεια.

γ. Τελευταία παρατηρείται η τάση να χρησιμοποιείται ενεργός έλεγχος του βήματος των πτερυγίων στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες (active stall). Η διαφορά αυτού του τρόπου ελέγχου σε σχέση με τον κλασικό έλεγχο του βήματος των πτερυγίων είναι ότι όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ονομαστική της τιμή, η γωνία pitch μεταβάλλεται αντίθετα, μεγαλώνει δηλαδή η γωνία με τον άνεμο αποκόπτοντας με αυτόν τον τρόπο την περίσσεια αεροδυναμικής ισχύος. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η ισχύς εξόδου της γεννήτριας μπορεί να ελεγχθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και κατά συνέπεια δεν καταπονείται το σύστημα σε περιόδους ριπών ανέμου. Ο ενεργός έλεγχος της γωνίας pitch χρησιμοποιείται σε μεγάλες ανεμογεννήτριες, άνω του 1 MW.

Οι ανεμογεννήτριες με σύστημα ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου παρουσιάζουν τεχνολογική πολυπλοκότητα στο ρυθμιστικό μηχανισμό και τα πτερύγια είναι σαφώς ακριβότερα και βαρύτερα. Παρουσιάζουν όμως καλή ρύθμιση ισχύος, μειωμένα αεροδυναμικά φορτία, ευκολία στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας και συγχρόνως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πέδηση .

Οι ανεμογεννήτριες με πτερύγια σταθερού βήματος είναι απλούστερες τεχνολογικά και φυσικά φθηνότερες, έχουν όμως περίπου 5-10% μικρότερη παραγωγή ενέργειας, μεγαλύτερα φορτία καταπόνησης και απαιτούν δισκόφρενα ασφάλειας αστοχίας ή αεροπέδες.

Μηχανικό υποσύστημα

Άξονας χαμηλής ταχύτητας

Ο άξονας αυτός συνδέει το κιβώτιο ταχυτήτων με το δρομέα. Σκοπός του είναι να μεταφέρει την ροπή από το σύστημα του δρομέα στο κιβώτιο ταχυτήτων. Σε μία ανεμογεννήτρια ο δρομέας περιστρέφεται σχετικά αργά. Λόγω όμως των υψηλών φορτίων ροπής ο άξονας χαμηλής ταχύτητας είναι επιρρεπής σε αστοχία κόπωσης.

Κιβώτιο ταχυτήτων

Το κιβώτιο ταχυτήτων αναφέρεται και σαν σύστημα αύξησης στροφών του δρομέα ώστε να προσαρμοστεί ο δρομέας στις στροφές της γεννήτριας. Μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τον άξονα της ανεμογεννήτριας στην ηλεκτρική γεννήτρια μέσω οδοντωτών τροχών. Η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας είναι 1000 - 1500 rpm και η ταχύτητα του δρομέα μικρότερη από 50 rpm. Η σχέση μετάδοσης του κιβωτίου είναι από 20 έως 50 και περιλαμβάνει δύο με τρεις βαθμίδες οδοντωτών τροχών.

Υπάρχουν δύο τύποι κιβωτίων ταχυτήτων: α) παράλληλων αξόνων και β) πλανητικού τύπου.

Άξονας υψηλής ταχύτητας

Είναι ο άξονας που περιστρέφεται περίπου με 1500 rpm και καθοδηγεί την ηλεκτρική γεννήτρια. Πάνω του είναι προσαρτημένο ένα μηχανικό δισκόφρενο σε περίπτωση που αποτύχει το αεροδυναμικό φρένο να τεθεί σε λειτουργία ή σε περίπτωση επισκευής της ανεμογεννήτριας.

Σύστημα πέδησης άξονα δρομέα

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα ενός ανεμοκινητήρα.

- Μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή και ενεργοποίηση της αεροπέδησης στο ακροπτερύγιο.
- Στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει παράλληλα προς τον άνεμο.
- Αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με την ενεργοποίηση της αεροπέδησης.
- Πέδηση του άξονα.

Είναι φανερό ότι ο καλύτερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων στη μηχανή με παράλληλη αύξηση της αντίρροπης. Με τον τρόπο αυτό δεν αναπτύσσονται κρουστικά φορτία τα οποία σε βάθος χρόνου αποφέρουν φθορά στους άξονες και το κιβώτιο ταχυτήτων των αιολικών μηχανών. Σε περίπτωση αστοχίας βέβαια του συστήματος αυτού, υπάρχει ένα δισκόφρενο υδραυλικού τύπου που είναι τοποθετημένο πάνω στον άξονα.

Ηλεκτρικό υποσύστημα

Ηλεκτρική γεννήτρια

Τόσο η ασύγχρονη όσο και η σύγχρονη γεννήτρια χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες, η κάθε μία για διαφορετικό λόγο. Η γεννήτρια επαγωγής με δρομέα κλωβού χρησιμοποιείται σε σχετικά μικρά μεγέθη ανεμογεννητριών, ενώ αυτή με τον τυλιγμένο δρομέα και δακτυλίους συναντάται σε ανεμογεννήτριες μέσου και μεγάλου μεγέθους.

Η σύγχρονη γεννήτρια χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για μέσου και μεγάλου μεγέθους ανεμογεννήτριες, οι οποίες μπορούν να διακριθούν σε ηλεκτρικά διεγερόμενες και με μόνιμους μαγνήτες. Πλεονέκτημα των πρώτων είναι η δυνατότητα ελέγχου της διεγέρσεως και συνεπώς της παραγωγής έργου ισχύος, όμως η ανάγκη να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο δημιουργεί προβλήματα όταν η ανεμογεννήτρια είναι μεγάλης ισχύος. Οι γεννήτριες με μόνιμους μαγνήτες αν και απλούστερες στην κατασκευή, χρησιμοποιούνται λιγότερο και κύριος λόγος είναι ο σταδιακός απομαγνητισμός των μόνιμων μαγνητών λόγω της λειτουργίας τους μέσα σε ισχυρά μαγνητικά πεδία.

Μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης

Οι μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης εγκαθίσταται στην έξοδο της ηλεκτρικής γεννήτριας έτσι ώστε να επιτύχουμε ανύψωση της τάσης τέτοια ώστε να μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χωρίς προβλήματα.

Άλλα υποσυστήματα

Υδραυλικό σύστημα

Χρησιμεύει για να μηδενίζει το αεροδυναμικό φρένο.

Σύστημα ψύξης

Αποτελείται από έναν ανεμιστήρα για να ψύχει την γεννήτρια. Υπάρχουν περιπτώσεις που αποτελείται από μια μονάδα λαδιού για να ψύχει το λάδι του κιβωτίου ταχυτήτων και άλλες φορές που η ψύξη είναι υδρόψυκτη.

Σύστημα ελέγχου λειτουργίας

Χρησιμοποιούνται για να στέλνουν τα σήματα στον ηλεκτρονικό ελεγκτή.

Συστήματα ελέγχου

Συνολικό σύστημα εποπτείας

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ο οποίος αποτελείται από έναν υπολογιστή που επιβλέπει κάθε στιγμή τόσο την ανεμογεννήτρια όσο και τον μηχανισμό περιστροφής της.

Επιμέρους συστήματα ελέγχου

1) Κλίσης πτερυγίων (Pitch control)

ΥΠΕΡ:

- Καλύτερη απόδοση σε χαμηλό άνεμο (χωρίς διακοπή της λειτουργίας).
- Δυνατότητα περιορισμού της ισχύος.
- Χαμηλότερα φορτία σε πτερύγια και δομικό σύστημα Α/Γ.

ΚΑΤΑ:

- Πολυπλοκότητα και ανάγκη συντήρησης.
- Διακυμάνσεις ισχύος σε υψηλό άνεμο.
- Κόπωση πτερυγίων λόγω αδρανειακής φόρτισης.

2) Μετατροπέων ισχύος και γεννήτριας

Ο έλεγχος μετατροπέων ισχύος και γεννήτριας αφορά κυρίως τις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών.

3) Περιστροφής της ατράκτου

Ο μηχανισμός περιστροφής και προσανατολισμού, συνεχώς στρέφει την έλικα προς την κατεύθυνση του ανέμου ώστε να ευθυγραμμιστούν και έτσι να εξαχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη από την κινητική ενέργεια του ανέμου. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλες Α/Γ με ανάντη δρομείς. Θεωρητικές μελέτες υπαγορεύουν τον ελεύθερο ρυθμό περιστροφή της έλικας, όσο το δυνατόν περισσότερο. Από την άλλη μεριά όμως, τα στρεφόμενα πτερύγια έχοντας μεγάλες σταθερές αδράνειας παράγουν υψηλές γυροσκοπικές ροπές κατά τη διάρκεια του προσανατολισμού, που συχνά έχουν ως αποτέλεσμα υψηλό θόρυβο.

Πολύ γρήγορος προσανατολισμός, μπορεί να προκαλέσει θόρυβο που να υπερβαίνει τα τοπικά αποδεκτά όρια. Συνεπώς ένας ελεγχόμενος ρυθμός προσανατολισμού συχνά απαιτείται και είναι και αυτός που εφαρμόζεται συχνά την πράξη.

4) Έλεγχος ταχύτητας

Η ταχύτητα του δρομέα πρέπει να ελέγχεται για τρεις λόγους:

- Μέγιστη απόληψη ισχύος από τον άνεμο.
- Προστασία του δρομέα, της γεννήτριας και των ηλεκτρικών ισχύος από υπερφόρτιση σε συνθήκες υψηλού ανέμου.
- Προστασία του δρομέα από υπερταχύτητα κατά τη διάρκεια αποσύνδεσης 'η άλλου φαινομένου.

Μπορούν να διακριθούν οι εξής περιοχές για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου:

- Την ταχύτητα σύνδεσης της ανεμογεννήτριας (cut-in speed), στην οποία αρχίζει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ.
- Την περιοχή βέλτιστου αεροδυναμικού συντελεστή (constant maximum C_p region), όπου η ταχύτητα περιστροφής μεταβάλλεται ανάλογα με τη ταχύτητα του ανέμου έτσι ώστε η απόληψη ισχύος από τον άνεμο να βελτιστοποιείται.
- Την περιοχή σταθερής ισχύος εξόδου (constant power output region).
- Την ταχύτητα αποσύνδεσης (cut-out speed).

1.5 Σύγχρονες ανεμογεννήτριες

Τα κύρια κριτήρια για το διαχωρισμό των ανεμογεννητριών της εποχής μας είναι τρία:

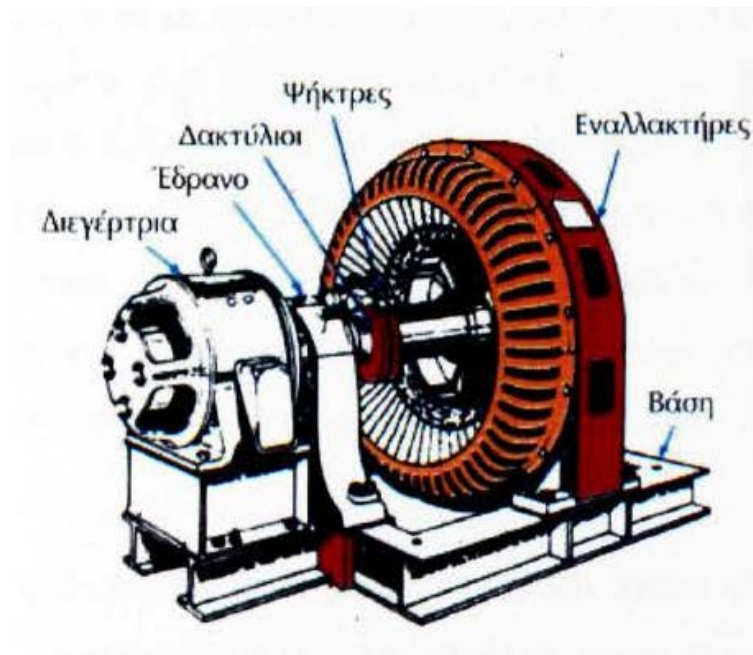
- Η λειτουργία με σταθερές ή μεταβλητές στροφές.
- Το είδος της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής γεννήτριας (ασύγχρονη, σύγχρονη, συνεχούς ρεύματος).
- Ο τύπος των πτερυγίων.

Λειτουργία σταθερών στροφών

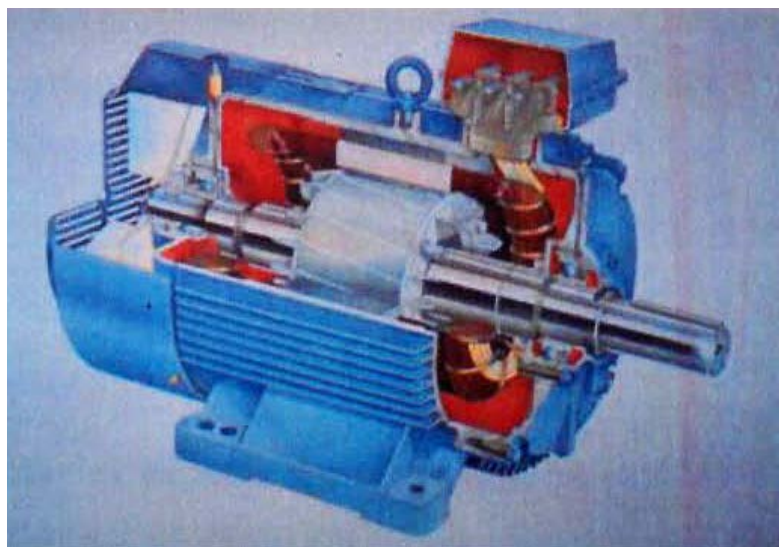
Οι ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών αποτελούν τις συμβατικές ανεμογεννήτριες του παρελθόντος που όμως ακόμα και σήμερα αποτελούν το σημαντικότερο κομμάτι από τις ήδη λειτουργούσες ανεμογεννήτριες.

Επιλογή τύπου γεννήτριας

Μπορούν να χρησιμοποιούν είτε γεννήτριες επαγωγής είτε σύγχρονες γεννήτριες, με τις πρώτες όμως να χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά (κυρίως τύπου κλωβού) λόγω σημαντικών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι δεύτερες, όπως η ιδιαίτερα αυξημένη ταλαντωτικότητα της απόκρισης τους σε συνθήκες μεταβαλλόμενου ανέμου και το αυξημένο κόστος και βάρος τους.



Εικόνα 5. Σύγχρονη γεννήτρια.



Εικόνα 6. Ασύγχρονη γεννήτρια σε τομή.

Οι γεννήτριες επαγωγής χρωσάνε τη μεγάλη εξάπλωση τους κυρίως στο μικρό τους κόστος, αφού για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο δε χρειάζεται να περιβάλλονται ηλεκτρονικοί μετατροπείς, των οποίων το κόστος είναι πολύ σημαντικό. Η σύνδεση αυτή γίνεται απευθείας, με αποτέλεσμα η ταχύτητα του δρομέα να είναι σταθερή και πρακτικά ίση με τη σύγχρονη, με αποκλίσεις της τάξης περίπου του 1 %, δηλαδή όσο και η ολίσθηση της ονομαστικής λειτουργίας. Επίσης, οι ανεμογεννήτριες αυτού του είδους παρουσιάζουν και τα πλεονεκτήματα της εξαιρετικής απλότητας, της εξαιρετικής αξιοπιστίας, της καλύτερης ποιότητας ισχύος, καθώς και των μηδενικών αναγκών συντήρησης τους αφού έχει μειωμένες μηχανικές καταπονήσεις. Παράλληλα όμως, η λειτουργία των σταθερών στροφών παρουσιάζει και κάποια πολύ σημαντικά μειονεκτήματα, τα σημαντικότερα από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Λειτουργία με μη βέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή.

- Αυξημένη μεταβλητότητα ισχύος εξόδου.
- Μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης και ζεύξης – απόζευξης.
- Χαμηλός συντελεστής ισχύος εξόδου (κατανάλωση άεργου ισχύος).
- Ανάγκη για παραγωγή άεργης ισχύος με πυκνωτές (αντιστάθμιση) ή με μετατροπείς.

Όλα τα προαναφερθέντα σημαντικά προβλήματα, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη στροφή τόσο του επιστημονικού ενδιαφέροντος όσο και των κατασκευαστών προς τις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών, οι οποίες φαίνονται να δίνουν εάν όχι ριζική, τουλάχιστον ικανοποιητική λύση σε πολλά από τα παραπάνω.

Λειτουργία μεταβλητών στροφών

Η ιδέα των μεταβλητών στροφών, στηρίζεται στις αρχές λειτουργίας ενός σφονδύλου. Όταν παρατηρείται αύξηση της αεροδυναμικής ισχύος, μέρος της μετατρέπεται σε κινητική αποκόπτοντας με αυτόν τον τρόπο τις γρήγορες μεταβολές της. Η αντίστροφη λειτουργία συμβαίνει κατά την μείωση της ταχύτητας του ανέμου.

Για να είναι η απόδοση της ανεμογεννήτριας βέλτιστη, πρέπει η ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων να είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής των πτερυγίων. Κάτι τέτοιο πήγε παλαιότερα να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους, όπως με χρήση υδραυλικών συστημάτων ή κιβωτίων ταχυτήτων μεταβαλλόμενου λόγου, αλλά αργότερα οι μέθοδοι αυτοί εγκαταλείφθηκαν.

Τη θέση των παραπάνω μεθόδων πήρανε τα συστήματα ηλεκτρονικών μετατροπέων συχνότητας τα οποία έχουνε λίγες απώλειες και είναι αρκετά αξιόπιστα. Τα συστήματα αυτά παρεμβάλλονται ανάμεσα στο δίκτυο και στην ηλεκτρική γεννήτρια και έτσι η ταχύτητα περιστροφής αποδεσμεύεται από την σταθερή συχνότητα του δικτύου και είναι δυνατή η μεταβολή της εντός ευρέων ορίων.

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών έχουν αρχίσει να κυριαρχούν στην αγορά λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν, μερικά εκ των οποίων παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας.
- Εξομάλυνση της μεταβλητότητας των μηχανικών ροπών.
- Περιορισμός καταπονήσεων-μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Μείωση τυχαίας μεταβλητότητας της ισχύος εξόδου.
- Περιορισμός ταχέων διακυμάνσεων της τάσης.
- Δυνατότητα μείωσης ενεργού άεργου ισχύος εξόδου.
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου.
- Διευκόλυνση διαδικασιών εκκίνησης.
- Δυνατότητα απαλοιφής του κιβωτίου ταχυτήτων.
- Προσαρμογή της Α/Γ στις τοπικές ανεμολογικές συνθήκες.
- Δυνατότητα ρύθμισης τάσης (σε ασθενή δίκτυα) και συχνότητας (σε αυτόνομα συστήματα).

Τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών, μπορούν να τοποθετηθούν κυρίως στον οικονομικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρονικά ισχύος που είναι απαραίτητα για τη σύνδεση τέτοιου τύπου ανεμογεννητριών στο δίκτυο, επιβαρύνουν κατά πολύ το κόστος του, μιας και αυτά αντιπροσωπεύουν από οικονομικής μειονεκτήματα της λειτουργίας των μεταβλητών στροφών, κρίνεται απαραίτητο να σταθούμε και σε μερικά ακόμη πιο ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω:

- Αυξημένη πολυπλοκότητα.

- Έγχυση αρμονικών συχνοτήτων στο δίκτυο.
- Εγκατάσταση φίλτρων.
- Παραμόρφωση ρευμάτων γεννήτριας-αύξηση απωλειών.

Όμως, τα παραπάνω προβλήματα καθώς και το πρόβλημα του κόστους, αναμένεται να επιλυθούν σε σημαντικό βαθμό τα επόμενα χρόνια χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος, η οποία θα επιτρέψει τόσο τη σταδιακή μείωση του κόστους τους, όσο και τη βελτίωση των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΑΝΕΜΩΝ

Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας στην ατμόσφαιρα που κυρίως προκαλείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα μπορούμε να πούμε ότι είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω του γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης. Οι διαφορετικές γεωγραφικές θερμοκρασίες οφείλονται κυρίως στην υψομετρική διαφορά δύο σημείων και στη διαφορετική φύση της επιφάνειας (έδαφος ή νερό).

Οι άνεμοι που δημιουργούνται λόγω διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους είναι φαινόμενα σχεδόν σταθερά ή μεταβλητά με μεγάλη περίοδο μεταβολής (εποχιακά). Το φαινόμενο της μετακίνησης μεγάλης ατμοσφαιρικής μάζας έχει άμεση σχέση με την περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της. Οι άνεμοι που οφείλονται στη διαφορετική φύση της επιφάνειας χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια και παρατηρούνται είτε κοντά σε ορεινούς όγκους, σε κοιλάδες, λεκανοπέδια, είτε σε περιοχές κοντά σε θάλασσα ή λίμνη που υπάρχει διαφορετικός ρυθμός θέρμανσης ή ψύξης του εδάφους και του υδάτινου όγκου.

Στην Ελλάδα και λόγω της μορφολογίας της Βαλκανικής Χερσονήσου, τη χειμερινή περίοδο επικρατούν Βόρειοι-Βορειοανατολικοί άνεμοι η ένταση των οποίων είναι μέση έως ισχυροί, την άνοιξη γίνονται Νότιων διευθύνσεων, ισχυρής επίσης έντασης και το καλοκαίρι η ένταση των ανέμων πέφτει με αποτέλεσμα την ύπαρξη κάποιων ημερών με νηνεμία. Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου έχει επικρατήσει από τους μετεωρολόγους να περιγράφεται στη κλίμακα Beaufort αντί του σωστού m/s. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η αντιστοιχία κλίμακας ταχυτήτων ανέμου σε Beaufort σε m/s.

ΚΛΙΜ. BEAUFORT	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΥ	ΣΕ M/SEC	ΣΕ KM/H	ΚΟΜΒΟΙ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΑ
0	ΑΠΝΟΙΑ CALM	0 - 0.2	1	<1	Ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα
1	Σχεδόν Απνοια Light Air	0.3 – 1.5	1,5	<1	Η διεύθυνση του ανέμου φαίνεται από τον καπνό και όχι από τον ανεμοδείκτη
2	Πολύ ασθενής Light breeze	1.6 – 3.3	6 - 11	4-6	Άνεμος αισθητός στο πρόσωπο. Τα φύλλα των δένδρων θροίζουν και ο ανεμοδείκτης κινείται
3	Ασθενής Gentle Breeze	3.4 – 5.4	12 – 19	7-10	Τα φύλλα και τα μικρά κλωνάρια των δένδρων βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Ο άνεμος τεντώνει μικρή σημαία
4	Σχεδόν μέτριος Moderate breeze	5.5 – 7.9	20- 28	11-16	Ο άνεμος σηκώνει σκόνη και φύλλα χάρτου. κινεί μικρά δένδρα
5	Μέτριος	8.0 – 10.7	29 – 38	17-21	Μικρά δένδρα με φύλλα αρχίζουν να κινούνται .

	Fresh Breeze				Σχηματίζονται κυματίδια σε λίμνες
6	Ισχυρός Strong breeze	10.8 – 13.8	39 – 49	22-27	Κινούνται μεγάλα κλαδιά δένδρων. Ακούγεται συριγμός στα τηλεγραφικά σύρματα .Οι ομπρέλες χρησιμοποιούνται με δυσκολία
7	Σχεδόν Θυελλώδης Near Gale	13.9 – 17.1	50 – 61	28-33	Τα δένδρα κινούνται ολόκληρα. Το αντίθετο στον άνεμο βάδισμα γίνεται δύσκολα
8	Θυελλώδης Gale	17.2 – 20.7	62 – 74	34-40	Θραύει μικρά κλωνάρια δένδρων. Γενικά εμποδίζει το αντίθετο στον άνεμο βάδισμα
9	Πολύ θυελλώδης Strong Gale	20.8 – 24.4	75 – 88	41-47	Προκαλούνται μικρές ζημιές σε κατασκευές. Αναρπάζονται πήλινοι καπνοδόχοι και κεραμίδια
10	Θύελλα Strom	24.5 – 28.4	89 – 102	48-55	Σπάνια παρατηρείται στο εσωτερικό της ξηράς. Ξεριζώνει δένδρα και προξενεί μεγάλες ζημιές σε κατασκευές
11	Ισχυρή θύελλα Violent Storm	28.5 – 32.6	103-117	56-63	Πολύ σπάνια παρατηρείται. Γίνονται πολύ μεγάλες ζημιές
12	Τυφώνας Hurricane	32.7 και περισσότερο	>= 118	>=64	

2.1 Ο άνεμος

Η όποια αισθητική οριζόντια κίνηση του αέρα ονομάζεται άνεμος. Οι μετακινήσεις του αέρα, άνεμος, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές, από τόπο σε τόπο, τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης, Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας), της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο.

Η περιστροφή της Γής, γύρω από τον άξονα της, η ανομοιογένεια του γήινου ανάγλυφου και η ηλιακή ενέργεια που προσλαμβάνει τόσο η ατμόσφαιρα όσο και η επιφάνεια της γης, είναι οι βασικοί παράγοντες που συμβάλουν έτσι ώστε ο ατμοσφαιρικός αέρας, που περιβάλλει την γη να βρίσκεται διαρκώς σε κίνηση. Οι σπουδαιότερες όμως δυνάμεις που δημιουργούν και διαμορφώνουν τους ανέμους είναι η δύναμη βαροβαθμίδας η οποία οφείλεται στη διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο περιοχών, η οριζόντια εκρεπτική δύναμη (Coriolis) η οποία οφείλεται στη περιστροφή της γης, η κυκλοστροφική δύναμη (φυγόκεντρος) η οποία εμφανίζεται όταν ο άνεμος στρέφεται γύρω από ένα κέντρο και η δύναμη τριβής, η οποία παρατηρείται εντός του οριακού στρώματος και οφείλεται στην ανομοιογένεια του

γήινου ανάγλυφου και στην τριβή των κινούμενων μορίων του αέρα με την επιφάνεια.

Προσδιορισμός της διεύθυνσης και της έντασης του ανέμου

Ο άνεμος χαρακτηρίζεται από δύο στοιχεία, την διεύθυνση και την ένταση του. Διεύθυνση του ανέμου είναι η διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος. Η διεύθυνση του ανέμου ταλαντώνεται συνεχώς γύρω από μία θέση εμφανίζοντας όμως μικρότερες διακυμάνσεις από την ταχύτητα του ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου εξαρτάται από τους προσανατολισμούς των τοποθεσιών, από τη βλάστηση και τα χαρακτηριστικά του εδάφους (λόφοι, βουνά, κοιλάδες, κτίρια). Η τεχνική προσδιορισμού του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής εξαρτάται από την ένταση και διεύθυνση του ανέμου.

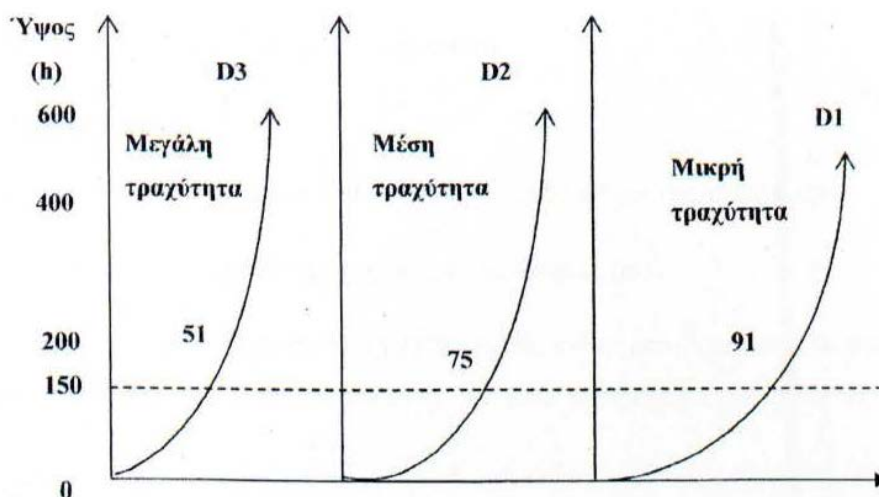
Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό της δυνατότητας και γενικά της ποιότητας του ανέμου προκειμένου η ενεργεία του να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Το φυσικά διαθέσιμο αιολικό δυναμικό μιας τοποθεσίας χαρακτηρίζεται συνήθως από τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (σε m/s). Αυτό όμως μπορεί να διαφέρει μέχρι και 20% από χρόνο σε χρόνο και για τον λόγο αυτό μια πλήρης εικόνα του ανέμου απαιτεί μετρήσεις τουλάχιστον τριών ετών. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δεδομένα ενός χρόνου για μία πρώτη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού.

Για την μέτρηση του ανέμου και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές (ανεμογράφοι), που μετρούν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου. Οι μετρήσεις γίνονται ανά ένα sec και ολοκληρώνονται ανά δέκα λεπτά η και μία ώρα, οπότε αποθηκεύονται σαν μέσες δεκάλεπτες η ωριαίες τιμές.

Τα μεγέθη που μετρά ο ανεμογράφος είναι:

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά χρονική περίοδο 10 λεπτών, μίας ώρας η και λιγότερο ανάλογα με την ακρίβεια που απαιτείται.
- Η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου στη περίοδο αυτή.
- Η μέση τιμή της ταχύτητας στην περίοδο.
- Η διεύθυνση της μέσης ταχύτητας.
- Η μέγιστη τυπική απόκλιση της ταχύτητας.
- Η μέγιστη τυπική απόκλιση της διεύθυνσης (προαιρετικά).

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το ύψος. Στο σχήμα φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος και την τραχύτητα του εδάφους.



Σχήμα 1. Μεταβολή της ταχύτητας του αέρα (%) σε συνάρτηση με το ύψος και την τραχύτητα του εδάφους.

Το ύψος στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου είναι το 99,8% της ταχύτητας στο άπειρο λέγεται πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. (Το άπειρο ορίζεται σε περιπτώσεις καμπύλου εδάφους, βουνών κλπ. Σε σχέση με την μη ιζώδη ροή που θα αναπτυσσόταν). Ο G. Hellman στις αρχές του αιώνα πρότεινε την παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου:

$$U_h = 10^{-3} U_{10} [233,7 + 656 \log(h+4,75)]$$

Όπου,

U_h : η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h (m/sec)

h : το ύψος (m)

U_{10} : η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος $h=10$ m (m/sec)

Σύμφωνα όμως με νεότερες έρευνες έχει βρεθεί ότι για ύψη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σύμφωνα με την σχέση:

$$V_h = \left(\frac{U}{K}\right) \left[\ln\left(\frac{h}{z}\right) - \varphi\left(\frac{h}{k}\right) \right]$$

όπου,

V_h : η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος h

U : η ποσότητα που σχετίζεται με την αντίσταση

k : μια σταθερά ($\approx 0,4$)

$\varphi(h/k)$: η εμπειρική σταθερά που περιγράφει τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας

z : συντελεστής που εκφράζει την τραχύτητα του εδάφους (m)

Στην πράξη δεχόμαστε $\varphi(h/k)=0$, αφού αν η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι μικρότερη από 1°C ανά 100m, τότε $\varphi(h/k) \sim 0$. Τότε ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$V_h = \left(\frac{U}{K}\right) \ln\left(\frac{h}{z}\right)$$

με τη βοήθεια της οποίας για δύο ύψη h_1 και h_2 γίνεται:

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)}$$

(Σημείωση: Ο πιο πάνω τύπος ισχύει για ύψη μέχρι 60m από το έδαφος για τα Ελληνικά νησιά $Z_0=0,3$ m).

Μια άλλη σχέση της ταχύτητας του ανέμου σχετικά με το ύψος είναι η:

$$\frac{U_{h_2}}{U_{h_1}} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^a$$

όπου,

U_{h1} : η ζητούμενη ταχύτητα τον ανέμου σε ύψος h_1 (m/sec)

U_{h2} : η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_2 (m/sec)

h_2 : συνήθως 10m

α : εκθέτης που εξαρτάται από την φύση του εδάφους της τοποθεσίας μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου. Συνήθως είναι:

$$\frac{1}{7} \leq \alpha \leq \frac{1}{4}$$

Στον πίνακα δίνονται διάφορες τιμές του συντελεστή (α) για τις αντίστοιχες τραχύτητες του εδάφους.

Μορφή εδάφους	Τραχύτητα	Συντελεστής (α)
Πεδινό	0-20	0,08-0,12
Μικρές ανωμαλίες	20-200	0,13-0,16
Δασώδες	1000-1500	0,20-0,23
Μεγάλες ανωμαλίες	1500-4000	0,25-0,4

Στην πράξη παίρνουμε:

1. Για ελεύθερα πεδία ροής αέρα, όπως είναι οι περιοχές των θαλασσών και αεροδρομίων $\alpha=0,17$.

2. Για περιοχές μικρών πόλεων με μικρές κατασκευές $\alpha=0,20$.

3. Για πυκνοκατοικημένες πόλεις μεγάλων κτηρίων $\alpha=0,25$.

Χρονικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου

Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώμη της μέσης ταχύτητας του ανέμου της περιοχής, αλλά μας χρειάζονται αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των διαστημάτων νηνεμίας καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων.

Για το σκοπό αυτό και πριν να πάρουμε την τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή είναι απαραίτητο να συγκεντρώσουμε τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, να επεξεργαστούμε στατιστικά και να δημιουργήσουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα πυκνότητας και διάρκειας των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και άπνοιας (δηλ $V \leq V_c$) οπότε και η ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Στις χρονικές αυτές περιόδους πρέπει να αναζητήσουμε άλλες πηγές ενέργειας, γεγονός που επηρεάζει ταυτόχρονα και την καταπόνηση των συσσωρευτών αποθήκευσης ενέργειας.

Όπως καταλαβαίνουμε για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ασφαλή αποτελέσματα απαιτούνται μακροχρόνιες και αναλυτικές μετρήσεις. Όμως το σημαντικό κόστος μετρήσεων αλλά και η αναπόφευκτη καθυστέρηση σε συνδυασμό με την έλλειψη κατά κανόνα μακροχρόνιων μετρήσεων στις συγκεκριμένες ενδιαφέρουσες περιοχές, μας υποχρεώνει να καταφύγουμε σε ημιεμπειρικά αναλυτικά μοντέλα, που περιγράφουν το τοπικό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής βάσει του μικρού αριθμού παραμέτρων. Οι χρησιμοποιούμενες αυτές σχέσεις πέρα από τα προβλήματα ακριβείας που παρουσιάζουν, εμφανίζουν και επιπλέον προβλήματα ακριβείας που

παρουσιάζουν, εμφανίζουν και επιπλέον προβλήματα αξιοπιστίας σε τοπικό επίπεδο για μια συγκεκριμένη περιοχή .

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες αναλυτικές διανομές πιθανότητας είναι η διανομή Weibull και η διανομή Rayleigh. Η διανομή που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος. Η εν λόγω διανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας V βάσει δύο μόνο παραμέτρων, την παράμετρο C (σε m/s) και την παράμετρο k (καθαρός αριθμός). Τέλος είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστές οι κύριες διευθύνσεις που πνέουν οι άνεμοι γιατί βάση αυτών γίνεται ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών. Οι συχνές και απότομες μεταβολές της διεύθυνσης μειώνουν την απόδοση των ανεμογεννητριών, γιατί δεν είναι δυνατή η ακαριαία προσαρμογή τους στις νέες διευθύνσεις.

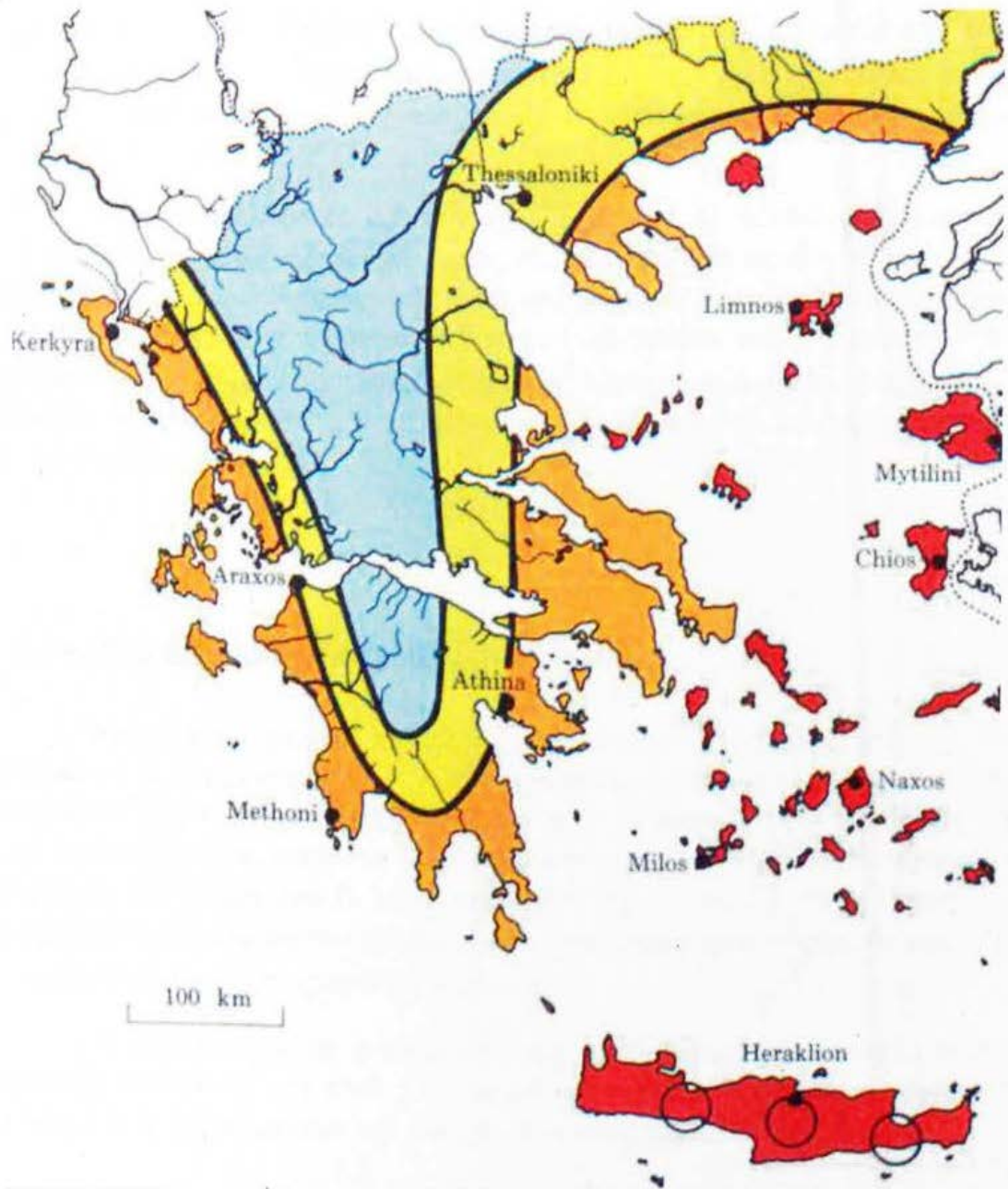
2.2 Συλλογή ανεμολογικών στοιχείων – εύρεση κατάλληλης περιοχής

Ενδείξεις για την ύπαρξη κατάλληλων χώρων για την εγκατάσταση εργοστασίων αιολικής ενέργειας μπορούν επίσης να προκύψουν με τη βοήθεια του Wind Atlases που δημιουργήθηκε από το Ris National Laboratory. Αυτοί οι χάρτες αιολικών πόρων παρέχουν ένα μέσο για την εκτίμηση του καθεστώτος της αιολικής ενέργειας σε ένα ύψος 50 μέτρων πάνω από το έδαφος για πέντε διαφορετικές τοπογραφικές συνθήκες: προστατευόμενα εδάφη, επίπεδες εκτάσεις υπαίθριων καλλιεργειών, παραθαλάσσιες, σε ανοιχτή θάλασσα, καλά εκτεθειμένων λόφων και κορυφογραμμών.

Πρέπει να τονιστεί ότι το αναφερόμενο εύρος της αιολικής ενέργειας προέρχεται από τυπικές εκτιμήσεις και μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά ανάλογα με τα τοπικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι χάρτες του Rise γενικά δεν αναπαράγουν αυτές τις διαφοροποιήσεις, αλλά μαζί με τη γνώση της τοπικής τοπογραφίας μπορούν να συνεισφέρουν εντοπισμό θέσης περιοχών με υψηλό δυναμικό αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές τοποθεσίες με συγκεκριμένη μορφολογία εδάφους και επιφανειακές θερμοκρασίες όπου θα μπορούσαν να προκύψουν τοπικά αιολικά συμπλέγματα. Τέτοιου είδους περιοχές με χαρακτηριστικά πιθανώς υψηλής αιολικής ενέργειας υποδεικνύονται με μικρούς κύκλους (αν και δεν είναι αντικειμενικά εφόσον υπάρχει έλλειψη λεπτομερών στοιχείων).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αιολικοί πόροι μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ακόμη και σε μικρή απόσταση και ότι μόνο οι τοπικές συνθήκες είναι στην πραγματικότητα υπεύθυνες για το κλίμα του ανέμου σε κάθε περιοχή, πολύ αξιόπιστοι χάρτες είναι αναγκαίοι για τη διεξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Παρόλα αυτά οι wind Atlases συνιστούν μία πρώτη πιλοτική έρευνα, καθώς ψάχνουν για υποψήφιους χώρους αιολικών πάρκων.

Παρατηρώντας τον Wind Atlas της Ελλάδας, φαίνεται ότι το νησί της Κρήτης είναι προικισμένο με υψηλές ταχύτητες ανέμου και αποτελεί μία ιδανική τοποθεσία για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Από όλη την Ευρώπη μόνο η βόρεια πλευρά της μαζί με την Ιρλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τις νότιες ακτές της Γαλλίας παρουσιάζουν τέτοια δυνατότητα αιολικής ενέργειας. Το κόκκινο χρώμα στην Κρήτη δείχνει ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου περίπου 10 m / s για τις περιοχές με λόφους και κορυφογραμμές. Επιπλέον, υπάρχουν τρεις κύκλοι του νησιού που οι οποίοι συνεπάγονται την ύπαρξη περιφερειών με ενδεχομένως έντονα τοπικά συστήματα αιολικής ενέργειας, που παράγουν υψηλή συγκέντρωση της αιολικής ενέργειας.



Wind resources at 50 metres above ground level for five different topographic conditions									
Sheltered terrain		Open plain		At a sea coast		Open sea		Hills and ridges	
ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²
> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400
○ Regions where local concentration effects may occur									

Εικόνα 7. Χάρτες αιολικής ενέργειας της Ελλάδας που δημιουργήθηκαν από το ΚΑΠΕ.

Μια πιο αναλυτική περιγραφή της εκτιμώμενης αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα έχει παραχθεί από το ΚΑΠΕ, το Ελληνικό Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Οι αιολικοί χάρτες που έχουν παραχθεί περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με την αναμενόμενη μέση ταχύτητα ανέμου συνοδευόμενα από τεχνικούς και

χωροταξικούς περιορισμούς, μακροσκοπικούς υπολογισμούς της μέγιστης ισχύς και προοπτικής της ενέργειας σε συνδυασμό με τις εκτιμήσεις που αναφέρονται στο κόστος παραγωγής ενέργειας σε κάθε μέρος της Ελλάδας.

Όλοι οι υπολογισμοί αφορούν προβλέψεις στα 40m ύψος πάνω από το έδαφος. Μετρήσεις που καταγράφηκαν σε ιστούς που εξαπλώνονται σε όλη τη χώρα έχουν υποστεί επεξεργασία χρησιμοποιώντας αναλυτικούς μαθηματικούς τύπους που δημιουργήθηκαν από το ΚΑΠΕ. Το πλέγμα της ταχύτητας του ανέμου αποτελείται από ένα τετράγωνο πλέγμα 150 μέτρων που χρησιμοποιείται με τα αντίστοιχα παρεχόμενα ψηφιακά στοιχεία του τύπου του εδάφους με μία ανάλυση των 30 μέτρων και επεξεργασία με τη χρήση Πληροφοριών των Γεωγραφικών Συστημάτων.

2.3 Χαρακτηριστικά ανέμου περιοχής

Βασικό βήμα προ της κατασκευής του αιολικού πάρκου και αφού έχει επιλεγεί η κατάλληλη περιοχή εγκατάστασης, είναι η τοποθέτηση ενός ανεμολογικού ιστού 30m ώστε να μετρηθούν τα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής. Τα ανεμολογικά στοιχεία που συλλέγονται από τον ιστό μας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον για ένα έτος και θα αφορούν μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου ανά 10 λεπτά και διεύθυνσης του ανέμου. Αυτές οι μετρήσεις θα μας βοηθήσουν να αξιολογήσουμε εύκολα το πόσο οικονομικά προσοδοφόρο θα είναι η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου στο σημείο ενδιαφέροντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

3.1 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

Είναι συνηθισμένο το φαινόμενο της μέτριας λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας αν και έχει εγκατασταθεί σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό. Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις αυτές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής. Η εμφάνιση υψηλής τύρβης εξαρτάται από τις γενικές ατμοσφαιρικές συνθήκες τόσο από την ύπαρξη μεμονωμένων κτηρίων ή άλλων εμποδίων και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής.

3.2 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή.

3.3 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

Οι αναλυτικές σχέσεις που περιγράφουν τη διανομή ταχύτητας ισχύουν με μαθηματική ακρίβεια μόνο σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως 'επίπεδες επιφάνειες'. Όμως η πλειοψηφία των περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό χαρακτηρίζονται από έντονο ανάγλυφο. Συνεπώς, επειδή η διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας επηρεάζεται μεν από την τραχύτητα του εδάφους και τα επιφανειακά εμπόδια, πιθανής όμως μεγαλύτερη επίδραση έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες στην περιοχή της πιθανής θέσης εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής, είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ορισμένα προκαταρκτικά στοιχεία, που αφορούν την παρουσία λοφοσειρών και μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική διανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει η διαμόρφωση του εδάφους δεδομένου ότι η παρουσία εμποδίων, στεγανώσεων ή ανοιγμάτων τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Αν και υπάρχουν αρκετές αναλυτικές ημιεμπειρικές σχέσεις που προτείνουν διορθώσεις της ταχύτητας του ανέμου παρουσία εμποδίων ή λόγω της τραχύτητας του εδάφους, ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν με την αριθμητική προσομοίωση της υπό εξέταση περιοχής και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τέλος σαν γενικός κανόνας να βρίσκεται έξω από τη ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται ανάντη της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τύρβη.

3.4 Το αιολικό δυναμικό

Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια επίπονη διαδικασία που στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία έχουν ακριβή αποτελέσματα μόνο σε επίπεδα εδάφη. Επειδή όμως η συντριπτική πλειοψηφία των περιοχών που είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη αιολικών είναι περιοχές με έντονη ορογραφία, βασιζόμαστε στα μαθηματικά μοντέλα που υπάρχουν και μεριμνούμε έτσι ώστε οι μετρήσεις που έχουμε για την περιοχή να είναι σε σχέση με την περιοχή ενδιαφέροντος. Είναι κοινά αποδεκτό ότι σε μια περιοχή περίπου 10 χιλιόμετρα γύρω από τον ανεμογράφο, μπορούμε να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου.

Οι μετρήσεις

Οι μετρήσεις λαμβάνονται από ιστούς, οι οποίοι χωροθετούνται κοντά στη περιοχή και κατά προτίμηση στην ψηλότερη κορυφή, έτσι ώστε να μην έχουμε παρεμπόδιση των ανέμων από ενδεχομένως ψηλότερες κορυφές. Οι ιστοί στήνονται σε ύψος τουλάχιστον 10 μέτρων από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια, όπου αυτό είναι εφικτό. Σ' αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος έως και 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10μ, 30μ, 60μ). Με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της πτερωτής της Α/Γ που είναι συνήθως πάνω από τα 50 μέτρα. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.

Οι μετρητικές διατάξεις που τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια, έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί, να έχουμε ενδείξεις από το άλλο. Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) το οποίο παίρνει μετρήσεις από τα όργανα, μέσα από τις ρυθμίσεις του καταγραφικού, ορίζουμε το διάστημα δειγματοληψίας για τις μετρήσεις. Για εφαρμογές όπως η ανέγερση ενός Α/Π, οι μετρήσεις γίνονται ανά 14 δευτερόλεπτο και η ολοκλήρωση των μετρήσεων γίνεται κάθε 10 λεπτά. Έτσι έχουμε 10λεπτες τιμές για την ταχύτητα και την διεύθυνση.



Εικόνα 8. Data logger.

Η τεχνική προσδιορισμού του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής

Ένταση του ανέμου

Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από τη ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα

τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Για τη καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

Επιπλέον των προαναφερομένων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου laser, κύρια σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακρίβειας, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση μελέτης του ομόρου ανεμογεννήτριας μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα.

Από τα κλασσικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πιο γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Αυτά αποτελούνται από έναν κατακόρυφο άξονα στη κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη. Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

α. Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή ενάρξεως λειτουργίας του οργάνου.

β. Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.

γ. Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει τη περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.

δ. Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

Μέχρι σήμερα έχουν αναφερθεί αρκετές προσπάθειες συσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου 'V' με τη γραμμική συχνότητα 'υ' περιστροφής των κυπέλλων, πράγμα που εάν

επιτευχθεί θα διευκολύνει τη βαθμονόμηση των ανεμομέτρων. Εν γένει, ο λόγος V/ν δεν είναι σταθερός, ομαλότερη δε συμπεριφορά παρουσιάζουν ανεμόμετρα με:

α. Τρία κύπελλα αντί τεσσάρων, δεδομένου ότι η στρεπτική ροπή συστήματος με τρία κύπελλα είναι πιο ομοιόμορφη για όλο το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου, ενώ εμφανίζει και μεγαλύτερες τιμές στρεπτικής ροπής ανά μονάδα βάρους,

β. Κωνικά κύπελλα έναντι σφαιρικών.

γ. Στρογγυλεμένα χείλη των κυπέλλων, δεδομένου ότι είναι λιγότερο ευαίσθητα στις αναταράξεις του αέρα από ότι τα έχοντα αιχμηρά χείλη.

Ένα βασικό μειονέκτημα των ανεμόμετρων αυτού του τύπου είναι το γεγονός ότι δεν έχουν συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή μείωση της έντασης του ανέμου, δεδομένου ότι τα κύπελλα του οργάνου εξακολουθούν λόγω αδράνειας να περιστρέφονται ακόμα και όταν ο άνεμος σταματήσει. Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις του οργάνου είναι μεγαλύτερες από τη πραγματική ένταση του ανέμου.

Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομοιογενή περιοχή (η οποία εκτείνεται 300 μέτρα γύρω από το όργανο), ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 10 μέτρα από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Σε μια τοποθεσία με ομοιόμορφη κατανομή εμποδίων με μέσο ύψος εμποδίων 'H', το όργανο πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος $10+H$ μέτρων από το έδαφος, όπου $H_{max}=12$

μέτρα. Στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων γύρω από το όργανο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εύρεση της βέλτιστης θέσης του οργάνου οι διαστάσεις των εμποδίων, εφόσον είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις στη περιοχή αυτή. Αντίστοιχες διορθώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη στη περίπτωση υποχρεωτικής τοποθέτησης του ανεμομέτρου σε ειδικές θέσεις, όπως για παράδειγμα στη κορυφή ενός κτιρίου, δεδομένου ότι το ίδιο το κτίριο διαταράσσει τη ροή του ανέμου.

Διεύθυνση του ανέμου

Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς βορρά, και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια χρησιμοποιούνται 8, 12, 16 ή 32 τομείς.

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε 'πολικό διάγραμμα' (ή ροζέτα) τις συχνότητες (%), σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα είναι δυνατό να παρασταθεί και η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση. Επιπλέον για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατός ο υπό κλίμακα σχεδιασμός ώστε να εμφανίζονται και τα διαστήματα έντασης του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Τέλος στο κέντρο του πολικού διαγράμματος και σε ειδικό κύκλο κατάλληλης ακτίνας καταγράφεται το ποσοστό της νηνεμίας.

Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, χαρακτηρίζουμε σαν κύρια διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι διαφορετικές για κάθε τοποθεσία, δεδομένου ότι ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών και των κοιλάδων, η υπάρχουσα βλάστηση καθώς και η ύπαρξη κτηρίων ανάμεσα στα άλλα επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου.

Η διεύθυνση του ανέμου η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ονομάζεται επικρατούσα διεύθυνση. Η επικρατούσα διεύθυνση μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου. Τέλος ο χώρος μεταξύ του σημείου το οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα, από το οποίο πνέει συνήθως ο άνεμος, μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή. Αντίστοιχα, η υπήνεμη περιοχή είναι αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο (περιοχές που εκτίθεται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης) και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής.

Στον Ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου, χωρίς την βέβαια να αποκλείονται περιπτώσεις σε περιοχές με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

Μέτρηση διεύθυνσης του ανέμου

Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια των ανεμοδεικτών. Ο ανεμοδείκτης από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δυο ελάσματα στο ένα άκρο του. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπεί και από τις δυο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος. Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

α. Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του με ελάχιστες τριβές.

β. Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.

γ. Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.

δ. Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.

ε. Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι επειδή η διεύθυνση του ανέμου μετρείται συναρτήσει του αληθούς βορρά, το όργανο πρέπει να προσανατολισθεί με τη βοήθεια της χαραγής που υπάρχει επάνω του.

Για μικρογραφίες κυρίως εφαρμογές χρησιμοποιούνται πλέον εξελιγμένοι τύποι ανεμογράφων. Ο τριαξονικός ανεμογράφος, χρησιμοποιείται για να καταγράψει και τις τρεις συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου, δηλαδή μας δίνει ταυτόχρονα την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου.

Ο τριαξονικός ανεμογράφος αποτελείται από ένα κατακόρυφο άξονα που στην κατακόρυφη του έχει ένα σύστημα τριών κάθετων ανά δυο μεταξύ τους. Στην άκρη του κάθε άξονα στρέφεται μια έλικα αποτελούμενη από τέσσερα ελάσματα. Ο αριθμός των περιστροφών στη μονάδα του χρόνου καταγράφεται υπό τη μορφή ηλεκτρικών παλμών. Οι άξονες του οργάνου μπορεί να προσανατολισθούν προς το βορρά, προς την ανατολή και προς το ζενίθ του τόπου. Με τον τρόπο αυτό ο ανεμογράφος αυτός μετράει τις τρεις ορθογώνιες συνιστώσες του διανύσματος της ταχύτητας του ανέμου. Με κατάλληλο προγραμματισμό είναι δυνατό να καταγράφονται οι στιγμιαίες και οι μέσες τιμές του διανύσματος της ταχύτητας. Οι ανεμογράφοι του τόπου αυτού θεωρούνται υψηλής ακρίβειας και δεν επηρεάζονται από την αύξηση ή την μείωση της ταχύτητας του ανέμου.

3.5 Δημιουργία αιολικού πάρκου

Ο αιολικός χάρτης είναι ένας χάρτης όπου σημειώνεται το αιολικό δυναμικό. Είναι ένα σημαντικό εργαλείο του μελετητή μηχανικού για μια αξιόπιστη και άρτια οικονομοτεχνική μελέτη αιολικού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προσδιοριστεί, η διαθέσιμη ενέργεια του ανέμου για μετατροπή σε άλλη μορφή ενέργειας, ζητούμενη για την ανάπτυξη ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Ο αιολικός χάρτης δημιουργείται ανεμολογικά δεδομένα ανεμογράφων οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι σε διάφορα μέρη της υποψήφιας περιοχής. Τα μεγέθη που μετρά ένας ανεμογράφος είναι:

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά χρονική περίοδο 10 λεπτών, μιας ώρας ή και λιγότερο με την ακρίβεια που απαιτείται.
- Η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου στη περίοδο αυτή.
- Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας στην περίοδο.
- Η διεύθυνση της μέγιστης ταχύτητας.
- Η μέση τυπική απόκλιση της ταχύτητας (Standard Deviation).
- Η μέση τυπική απόκλιση της διεύθυνσης (προαιρετικά).

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται (ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες) πρέπει να είναι βαθμονομημένα από το ΚΑΠΕ και φέρου τα κατάλληλα πιστοποιητικά. Οι μετρήσεις θα πρέπει να καλύπτουν όσο είναι το δυνατόν περισσότερο χρονικό διάστημα (1-2 χρόνια) και το ύψος του ιστού αρκετά μετρά από το έδαφος λόγω του μεγάλου ύψους των Α/Γ που εγκαθίστανται σήμερα.

Ο αιολικός χάρτης αποτελεί πολύτιμο εργαλείο με ποικίλες εφαρμογές και μπορεί να

συνδυαστεί εύκολα με πληροφορίες αναλόγου χαρακτήρα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ουσιαστικά είναι μια προσομοίωση της πνοής του ανέμου εκφρασμένη σε μέσες ετήσιες στατιστικές παραμέτρους της στο χώρο μεταξύ του εδάφους και μιας επιφάνειας που απέχει από το έδαφος 250 περίπου μέτρα. Οι παράμετροι που δίδονται από τον αιολικό χάρτη είναι:

- Η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου.
- Η μέση τιμή της ταχύτητας ανά διεύθυνση.
- Η κατανομή της πιθανότητας της μέσης πιθανότητας της μέσης δεκάλεπτης ταχύτητας ανά διεύθυνση.
- Το ροδόγραμμα του ανέμου.

Οι παραπάνω παράμετροι δίδονται σε κάθε σημείο ευθείας κάθετης στο επίπεδο θάλασσας και σε σημεία ορθοκανονικού κάρναβου με βήμα ανάλογο της διακριτότητας που επιθυμείται.

Αριθμητικές μέθοδοι για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού

Στόχος της εκτίμησης του Αιολικού δυναμικού, για ενεργειακές εφαρμογές, σε ορισμένο σημείο είναι:

- Η αποτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του ανέμου σε ετήσια βάση.
- Η πρόβλεψη της τύρβης.
- Η παράβλεψη ρίπων, ικανών να καταστρέψουν ή να βλάψουν, γενικότερα, τεχνικά έργα, όπως και η κατανομή της ταχύτητας στο χώρο κατά την εμφάνιση αυτών των ρίπων.

Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών αυτών σε ευρύτερες του ενός σημείου περιοχές οδηγεί στην κατάστρωση του Αιολικού χάρτη της περιοχής. Ο υπολογισμός του αιολικού χάρτη γίνεται σε κάρναβο, συνήθως ορθοκανονικό, με βήμα ανάλογο της απαιτούμενης διακριτότητας και ακρίβειας των υπολογισμών. Για τον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη:

- Η ορογραφία ευρύτερης περιοχής.
- Εμπόδια χαρακτηριστικής διάστασης μεγαλύτερης του 1/6 του ύψους μέτρησης από την στάθμη του εδάφους.
- Η τραχύτητα του εδάφους.
- Η περιστροφική κίνηση της γης.

3.6 Υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μπορεί να γίνει με την βοήθεια του διεθνώς, αναγνωρισμένου λογισμικού ανάπτυξης αιολικού Άτλαντα Wasp του εθνικού εργαστηρίου της Δανίας.

Το λογισμικό Wasp χρησιμοποιεί ως αρχικά δεδομένα τις μετρήσεις ανεμογράφων και την ορογραφία του εδάφους σε ψηφιακή μορφή (ψηφιακός τοπογραφικός χάρτης).

Η ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:5000 της γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού γίνεται με την χρήση digitizer. Στο digitizer τοποθετούμε τον χάρτη και μέσω του προγράμματος AutoCAD, μεταφέρουμε την μορφολογία του εδάφους σε τρισδιάστατη μορφή. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης είναι χρονοβόρα γιατί πρέπει να περιγράψουν οι ισοϋψείς καμπύλες ανά 20 μέτρα και με πολύ μεγάλη ακρίβεια για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια κατά τον υπολογισμό του αιολικού

δυναμικού της περιοχής. Η αξιοπιστία των υπολογισμών αυτών εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Την αξιοπιστία των ανεμολογικών μετρήσεων οι οποίες εξαρτώνται από την θέση και την τεκμηρίωση του ανέμου, την διαθεσιμότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε κτλ.
- Τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων.
- Την απόσταση του σημείου των μετρήσεων από την περιοχή.
- Την σωστή τοποθέτηση του ανεμογράφου στον ψηφιακό χάρτη πριν την έναρξη των υπολογισμών (πρέπει να ληφθεί υπόψη η ακρίβεια της περιγραφής του ανάγλυφου).
- Την σωστή εκτίμηση των χαρακτηριστικών του εδάφους δηλ. της τραχύτητας.
- Την μορφολογία του εδάφους της περιοχής στην οποία γίνεται ο υπολογισμός όσο πιο έντονη τόσο μεγαλύτερο ποσοστό σφάλματος υπάρχει.

Η δομή του Wasp

Το Wasp αποτελείται από τέσσερα κυρίως υπολογιστικά μέρη δηλαδή τέσσερις κυρίως λειτουργίες.

- Ανάλυση και επεξεργασία γεωγραφικών χαρτών. Αυτή η επιλογή δίνει την δυνατότητα ανάλυσης κάθε είδους χάρτη
- Δημιουργία των δεδομένων αιολικού Άτλαντα. Τα αναλυμένα ανεμολογικά δεδομένα μπορούν να μετατραπούν σε ένα σετ δεδομένων για τους ανεμολογικούς χάρτες. Σε ένα τέτοιο σετ, οι πληροφορίες από τις παρατηρήσεις ρου ανέμου έχουν « καθαριστεί » από τις ιδιομορφίες της εξεταζόμενης περιοχής και ανάγονται σε σταθερές συνθήκες.
- Εκτίμηση του κλίματος του ανέμου. Χρησιμοποιώντας το σετ δεδομένων που παρέχει ένας ανεμολογικός άτλαντας, το πρόγραμμα μπορεί να δώσει μια εκτίμηση του κλίματος του ανέμου στη συγκεκριμένη περιοχή, κάνοντας τους αντιστρόφους υπολογισμούς μ' αυτούς που χρησιμοποιεί για την δημιουργία του Άτλαντα.
- Εκτίμηση δυνατοτήτων παραγωγής ισχύος. Το αιολικό αποτέλεσμα του μέσου ανέμου υπολογίζεται από το Wasp. Επιπλέον, αν δοθεί στο Wasp η καμπύλη ισχύος της Α/Γ που θα χρησιμοποιηθεί, αυτό μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας.

Ανάλυση του Αιολικού Άτλαντα

Ο στόχος του Wasp είναι διπλός. Πρώτον, χρησιμοποιεί ρουτίνες για να διορθώσει τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουν μετρηθεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο και να τα μετατρέψει σε ένα σύνολο που να περιγράφει το ανεμολογικό κλίμα μιας περιοχής, τον αποκαλούμενο Αιολικό Άτλαντα. Δεύτερον, χρησιμοποιεί αυτά τα σύνολα δεδομένων ώστε να εκτιμήσει τις ανεμολογικές συνθήκες σε οποιαδήποτε συγκεκριμένο σημείο και ύψος στην περιοχή, χρησιμοποιώντας κυρίως τις ίδιες ρουτίνες ή μοντέλα. Η δημιουργία Αιολικού Άτλαντα με το Wasp ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Τα υπάρχοντα μετεωρολογικά δεδομένα, είτε σε μορφή χρονοσειρών είτε σε μορφή κλιματολογικό πίνακα μεταφέρονται σε ένα φάκελο δίσκου.
2. Η περιγραφή του μετεωρολογικού σταθμού μπορεί να εισαχθεί απευθείας από το πληκτρολόγιο ή με ψηφιοποίηση που μπορεί μετά να αποθηκευτεί για αναφορά αργότερα. Η περιγραφή, το ύψος του ανεμομέτρου, την τραχύτητα του εδάφους γύρω από τον σταθμό και πιθανόν την παρουσία εμποδίων κοντά στο σταθμό. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις επηρεάζονται και από την ορογραφία, οι πληροφορίες που απαιτούνται από το μοντέλο του πολύπλοκου εδάφους πρέπει επίσης να δοθούν.
3. Οι πληροφορίες που δίνονται στα παραπάνω σημεία χρησιμοποιούνται σαν βάση για να υπολογίσει το Wasp την τάξη ταχύτητας του ανέμου σε ιστόγραμμα, την αντίστοιχη διεύθυνση και τη ταχύτητα του ανέμου πιο ψηλά από το ανεμόμετρο και όλα για κάθε περιοχή. Σ' αυτή την διαδικασία οι πληροφορίες φιλτράρονται από τα αποτελέσματα εμποδίων, της ανομοιογένειας της τραχύτητας και τις διαταράξεις αναφέρεται στο πρόγραμμα ως «κατακόρυφη μετατόπιση».
4. Χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές μεταξύ του ανέμου πάνω από ομοιογενές έδαφος δεδομένα και την υποτιθέμενη μεγάλη ή συνοπτική διαβάθμιση του ανέμου, τα δεδομένα προσεγγίζονται για να αναλογούν στο γεωγραφικό κλίμα της περιοχής. Αυτό είναι ανεξάρτητο από τις ειδικές συνθήκες στη επιφάνεια. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται στο πρόγραμμα ως «κατακόρυφη μετατόπιση».
5. Οι αντίστροφοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για να δώσουν το αιολικό δυναμικό σε ορισμένα ύψη, και σε διάφορες τραχύτητες τους εδάφους.
6. Τελικά αυτά τα δεδομένα αναλύονται σε όρους κατανομής Weibull. Οι παράμετροι Weibull αποτελούν τον αιολικό άτλαντα της περιοχής και είναι η αρχή των υπολογισμών για την τοποθέτηση συστημάτων αιολικής ενέργειας.

3.7 Ενεργειακή μελέτη αιολικού πάρκου

Όπως είναι λογικό η ισχύς που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη, αφού εξαρτάται από την ένταση του ανέμου που πνέει ανά πάσα στιγμή. Πιο συγκεκριμένα η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στην θέση όπου βρίσκεται η ανεμογεννήτρια.
- Η κατανομή αυτή θεωρείται ότι περιγράφεται από την θεωρητική κατανομή Weibull με αρκετή αξιοπιστία, μέσω των παραμέτρων κλίμακας (C) και μορφής (k).
- Την καμπύλη παραγωγής της ανεμογεννήτριας, η οποία εκφράζει την αναμενόμενη παραγόμενη ισχύ της ανεμογεννήτριας για κάθε ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης και για δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Την διαθεσιμότητα του Α/Π που καθορίζεται από το πρόγραμμα συντήρησης και από τον εμφανιζόμενο ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της ανεμογεννήτριας.

Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες και κατ' επέκταση όλου του αιολικού πάρκου είναι το φαινόμενο της σκίασης η οποία αναλύεται παρακάτω.

Όπως είναι λογικό η συνολική απώλεια ενέργειας που εμφανίζει ένα Α/Π και είναι της τάξεως 10 - 15% είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών που εμφανίζει κάθε

A/Γ για όλες τις κατευθύνσεις του ανέμου και με δεδομένη των χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

Τέλος, απώλειες για ένα A/Π θεωρούνται και οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτουν από τις εσωτερικές συνδέσεις των A/Γ αλλά και της σύνδεσης του A/Π με το δίκτυο της ΔΕΗ. Οι απώλειες αυτές σε γενικές γραμμές εξαρτώνται από τα μήκη των καλωδίων σύνδεσης των ανεμογεννητριών εντός του αιολικού πάρκου και τον τρόπο σύνδεσης με το δίκτυο.

Κατόπιν των προαναφερθέντων η χωροθέτηση των A/Γ σε ένα αιολικό μπάρκο θα πρέπει να γίνεται έχοντας όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες καθώς και πλήρωση των περιορισμών οπτικής και ηχητικής όχλησης.

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης ετήσιας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται διάφορα στοιχεία που προκύπτουν από τις ανεμολογικές μετρήσεις καθώς και από τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Δηλαδή:

- Το επιλυμένο πεδίο ροής του ανέμου στην περιοχή.
- Το ράβδο του ανέμου.
- Την καμπύλη παραγωγής της A/Γ.
- Την μέση ετήσια θερμοκρασία στο επίπεδο της θάλασσας, καθώς και το μέσο υψόμετρο του γηπέδου ανάπτυξης του A/Π.
- Την καμπύλη του συντελεστή ώσης της ανεμογεννήτριας.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της A/Γ.

Ο υπολογισμός της ενέργειας για κάθε ανεμογεννήτρια λαμβάνει υπόψη, με χρήση κατάλληλων αλγορίθμων, τα παρακάτω:

- Την επίδραση της τοπογραφίας και της εδαφοκάλυψης στο πεδίο ταχυτήτων του ανέμου.
- Την σκίαση που προκαλείται σε κάθε A/Γ από τις υπόλοιπες, για την συγκεκριμένη χωροθέτηση.
- Την πυκνότητα του αέρα.

Η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή περιλαμβάνει:

- Την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας ανά ανεμογεννήτρια.
- Την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας ανά κατεύθυνση του ανέμου, καθώς και την επίδραση της τοπογραφίας και της σκίασης σε αυτή.
- Την μέση ετήσια καθώς και την παράμετρο μορφής της κατανομής Weibull.

3.8 Επιλογή ανεμογεννήτριας

Για την επιλογή του τύπου των A/Γ που θα απαρτίζουν ένα A/Π λαμβάνονται υπ' όψιν οι εξής παράγοντες:

1. Χαρακτηριστική εξόδου κάθε τύπου A/Γ.
2. Η αναγωγή ταχύτητας ανέμου καθ' ύψος.
3. Ο υπολογισμός αναμενόμενης παραγόμενης ενέργειας.

Χαρακτηριστική εξόδου κάθε τύπου A/Γ

Η ισχύς εξόδου μιας A/Γ εξαρτάται από:

- Την ταχύτητα του προσπίπτοντος ανέμου V .
- Την πυκνότητα του αέρα ρ .

- Την επιφάνεια προσβολής A.
- Τον συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης C_p .

Η στιγμιαία ισχύς που μεταφέρει ο άνεμος όταν πνέει με ταχύτητα V δίνεται από τη σχέση:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Όπου:

P : η πυκνότητα του αέρα.

A : η επιφάνεια σάρωσης.

Αν στο ροή του ανέμου τοποθετήσουμε ένα ανεμοκινητήρα με επιφάνεια προσβολής A_T και συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης C_p , η ισχύς που δεσμεύεται από τον ανεμοκινητήρα δίνεται από την σχέση :

$$P_{AG} = \frac{1}{2} \rho A_T C_p V^3$$

Η μέγιστη τιμή του C_p είναι 16/67. Το όριο αυτό καλείται όριο του Betz.

Επίδραση της πυκνότητας του αέρα

Η πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας και για κανονικές συνθήκες είναι: $\rho_0 = 1.255 \text{ kg/m}^3$.

Η πυκνότητα του αέρα σε μεγαλύτερα ύψη μειώνεται και, κατά συνέπεια, μειώνεται και η διαθέσιμη ισχύς. Η επίδραση αυτή μπορεί να επιφέρει μείωση στην παραγωγή ισχύος των Α/Γ σε ψηλά βουνά κατά τουλάχιστον 40% έναντι της ισχύος που θα μπορούσε να παραχθεί με τις ίδιες ταχύτητες ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται αντίστροφα από τη θερμοκρασία, οπότε οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν πυκνότητες του αέρα και την μεγαλύτερη παραγωγή αιολικής ισχύος.

Ακόμα, η επίδραση της πυκνότητας του αέρα ρ στην αναμενόμενη παραγόμενη, ενέργεια μιας Α/Γ μπορεί να είναι σημαντική ιδιαίτερα για Α/Γ με αεροδυναμικό έλεγχο. Με βάση το πρότυπο IEC61400-1 2 προτείνονται οι εξής διορθώσεις:

Για Α/Γ με μεταβλητό βήμα πτερυγίων (pitch).

Διορθώνεται η ταχύτητα ανέμου με βάση τη σχέση:

$$V^M = V \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/3}$$

Όπου

ρ : η μέση πυκνότητα αέρα στο ύψος της πλήμνης.

Για Α/Γ με αεροδυναμικό έλεγχο (stall).

Διορθώνεται η χαρακτηριστική της Α/Γ θέτοντας ως ονομαστική ισχύ:

$$V_G^M = P_G \frac{\rho_0}{\rho}$$

Όπου

ρ : η μέση πυκνότητα αέρα στο ύψος της πλήμνης.

Χαρακτηριστικά της Α/Γ

- Τύπος Α/Γ (pitch ή Stall).
- Ονομαστική ισχύς (P_G).

- Ταχύτητα έναρξης (cut-in speed) (V_c).
- Ταχύτητα αποκοπής (furling speed) (V_p).
- Ονομαστική ταχύτητα (rated speed) (V_R).
- Ετήσια διαθεσιμότητα ($t\%$).
- Ύψος ρότορα (H_r).
- Διάμετρος ρότορα (D).
- Η χαρακτηριστική καμπύλη της μηχανής σύμφωνα με το πρότυπο IEC 1400 δηλ ισχύς παραγωγής (K_w) για κάθε ακέραια τιμή της ταχύτητας του ανέμου (bin).

Αναγωγή ταχύτητας ανέμου καθ' ύψους

Η ενεργειακή παραγωγή μιας Α/Γ εξαρτάται σημαντικά από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου αλλά και από την πυκνότητα του αέρα, το μέγεθος του δρομέα και τον τεχνικό σχεδιασμό. Ειδικά όμως, το ύψος του πύργου επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος επάνω από το επίπεδο του εδάφους, φαινόμενο γνωστό ως διάτμηση του ανέμου. Ο βαθμός της διάτμησης του ανέμου εξαρτάται από δυο παράγοντες, την ατμοσφαιρική μίξη και την τραχύτητα του εδάφους.

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 ανοιχτοί αγροί. Η διάτμηση του ανέμου μπορεί να ελαττωθεί πολύ ή να επαλειφθεί όπου υπάρχει μια απότομη αλλαγή στο ύψος του πεδίου, όπως μια απότομη ακρογιαλιά ή κορυφογραμμή.

Δοθείσας της ταχύτητας ανέμου V_m σε ένα ύψος μέτρησης H_m , η αντίστοιχη τιμή της V στο ύψος H , του δρομέα της Α/Γ μπορεί να υπολογισθεί με καλή ακρίβεια από τη σχέση :

$$V = V_m \frac{\ln\left(\frac{H}{a}\right)}{\ln\left(\frac{H_m}{a}\right)}$$

Όπου a : η παράμετρος τραχύτητας εδάφους (m) που εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους.

Η ατμοσφαιρική μίξη συνήθως ακολουθεί κύκλο οδηγούμενο από την ηλιακή θέρμανση. Στο ύψος της πλήμνης μια Α/Γ ο κύκλος αυτός προκαλεί συχνά αύξηση της ταχύτητας του ανέμου την ημέρα και την μείωση της την νύχτα. Εντούτοις, το εύρος της μεταβολής μεταξύ νύχτας και ημέρας εν γένει μειώνεται καθώς αυξάνει το ύψος της πλήμνης. Σε ύψος περίπου 10 μέτρων η ημερήσια μεταβολή να είναι πολύ έντονη, αλλά καθώς αυτό αυξάνεται στα 50 μέτρα εξασθενεί ή μπορεί ακόμη και να εξαφανιστεί.

Υπολογισμός αναμενόμενης παραγόμενης ενέργειας

Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας σε ένα διάστημα ενέργειας χρόνου T_a , εξαρτάται από την στατική του ανέμου στο διάστημα T , τη χαρακτηριστική της Α/Γ και τη διαθεσιμότητα της t .

Ο υπολογισμός της αναμενόμενης παραγόμενης ενέργειας στα πλαίσια του έργου γίνεται σε ετήσια βάση. Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, η ταχύτητα ανέμου

θεωρείται σα μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί τη θεωρητική κατανομή Weibull με μέση τιμή V παράμετρο μορφής k .

Κατανομή Weibull

Όπως είναι γνωστό, η στατιστική κατανομή της ταχύτητας v , του ανέμου σε μια συγκεκριμένη θέση περιγράφεται συνήθως από την πυκνότητας πιθανότητας Weibull:

$$H(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, \text{ για } 0 \leq v \leq \alpha$$

Όπου k είναι η παράμετρος μορφής της κατανομής και c , η παράμετρος κλίμακας. Εξ' ορισμού, η τιμή $h(v)dv$ ισούται με τη πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ v και $v+dv$, οπότε:

$$\int_0^{\infty} h(v)dv = 1$$

Η πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται εντός συγκεκριμένου διαστήματος τιμών υπολογίζεται από τη αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας:

$$H(v) = P(v \leq V) = \int_0^V h(v)dv$$

η οποία για την κατανομή Weibull δίνεται από την σχέση:

$$H(V) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}, \text{ για } 0 \leq v \leq \infty$$

Συνεπώς προκύπτει άμεσα ότι :

$$P(V_1 \leq v \leq V_2) = H(V_2) - H(V_1) = e^{-\left(\frac{V_1}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{V_2}{c}\right)^k}$$

Παράμετρος μορφής, k

Η μορφή της συνάρτησης $h(v)$ καθορίζεται από την τιμή της παραμέτρου μορφής k . Αύξηση της τιμής του k προκαλεί αύξηση του ύψους της κατανομής, καθώς και περιπτώσεις με ενδιαφέρον είναι οι ακόλουθες:

- Για $k=1$ προκύπτει η εκθετική κατανομή:

$$H(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

- Για $k=2$ προκύπτει η κατανομή Rayleigh:

$$H(v) = \frac{2}{c^2} v e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

- Για $k>3$ Η κατανομή προσεγγίζει την κανονική κατανομή (Gauss).

Συνήθεις τιμές της παραμέτρου k είναι μεταξύ 1.5 και 2.5, ενώ πολύ συχνά λαμβάνεται $k=2$, δηλαδή χρησιμοποιείται η κατανομή Rayleigh. Στον Ελλαδικό χώρο συνήθως λαμβάνονται τιμές μεταξύ 1.5 και 2.0.

Παράμετρος κλίμακας, c

Για δεδομένη τιμή της παραμέτρου μορφής, η παράμετρος κλίμακας ο καθορίζει τη μέση τιμή ταχύτητας στη θέση που εξετάζεται, όπως φαίνεται στο διάγραμμα παρακάτω :

Όπου $k=2$ (κατανομή Rayleigh). Αύξηση του c προκαλεί μετατόπιση της κατανομής σε υψηλότερες ταχύτητες.

Μέση ταχύτητα

Η τιμή της μέσης ταχύτητας σε μια συγκεκριμένη θέση υπολογίζεται από την κατανομή Weibull:

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} v h(v) dv = c \Gamma(1 + \frac{1}{k})$$

Όπου με Γ συμβολίζεται η συνάρτηση Γάμμα:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$$

Ειδικά για την κατανομή Rayleigh η παραπάνω σχέση απλοποιείται στη συχνά χρησιμοποιούμενη $V = c \Gamma(1.5) \sim 0.90 c$.

Συνεπώς, με γνωστή τη τιμή της ταχύτητας του ανέμου σε μια θέση (πράγμα σύνηθες, δεδομένου ότι οι θέσεις χαρακτηρίζονται από τη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου). Μια πραγματική προσέγγιση της αντίστοιχης στατιστικής κατανομής είναι:

$$H(v) = \frac{1.6v}{v^2} e^{-1.6(\frac{v}{\bar{v}})^2}$$

Όπου έχει υποτεθεί κατανομή Rayleigh ($k=2$).

Ταχύτητα μέγιστης πιθανότητας

Εφόσον ο άνεμος ακολουθεί την κατανομή Weibull, η ταχύτητα με τη μέγιστη πιθανότητα εμφάνισης (γνωστή στη βιβλιογραφία ως V_{mode} δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dh}{dv} = 0 \Rightarrow V_{mode} = c \left(\frac{k-1}{k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

και είναι μικρότερη της μέσης ταχύτητας.

Εκτίμηση ενεργειακής απόδοσης χωρίς περιορισμούς λειτουργίας

Ο όρος «χωρίς περιορισμούς λειτουργίας» αναφέρεται στη περίπτωση όπου η ανεμογεννήτρια συνδέεται σε σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο είναι πάντοτε σε θέση να απορροφήσει την ισχύ που αυτή κατά κανόνα αφορά τη σύνδεση ανεμογεννητριών στο διασυνδεδεμένο σύστημα (υπό την προϋπόθεση πάντοτε ότι η αιολική διεύθυνση αιολικής ισχύος σε επίπεδο συστήματος παραμένει σχετικά χαμηλή).

Στην περίπτωση αυτή, η αναμενόμενη ενεργειακή σε ετήσια βάση μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας:

- Την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας.
- Την στατική κατανομή του ανέμου στη θέση εγκατάστασης.
-

Συγκεκριμένα, η παραγόμενη ενέργεια σε χρονικό T είναι:

$$E = \int_0^T P(t) dt = T \left(\int_0^T P(t) dt \right) = T \bar{P}$$

Όπου $P(t)$ η στιγμιαία και P η μέση ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας. Η τελευταία δίνεται από τη σχέση :

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} h(v)P(v)dv$$

Όπου $P(v)$ είναι η αναλυτική έκφραση της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας, συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος της πλήμνης. Συνεπώς:

$$E = T \int_0^{\infty} h(v)P(v)dv$$

Το χρονικό διάστημα T λαμβάνεται συνήθως ίσο με ένα έτος (8760 ώρες).

Μειώσεις απόδοσης

Η συνολική ενεργειακή απόδοση, ιδιαίτερα στην περίπτωση αιολικών πάρκων, είναι αρκετά χαμηλότερη από τη θεωρητικά σύμφωνα με τα προηγούμενα, εξαιτίας των διαφορών απωλειών και άλλων της πραγματικής παραγωγής (φαινόμενα σκίασης, αποκλίσεις από τη θεωρητική καμπύλη απόδοσης, διαθεσιμότητα μηχανών και δικτύου, ηλεκτρικές απώλειες κλπ). Τυπικές τιμές συντελεστή μείωσης της απόδοσης για αιολικά πάρκα είναι 85%-90%.

Συντελεστής χρησιμοποίησης c.f.

Με δεδομένη την ετήσια ενεργειακή απόδοση μιας ανεμογεννήτριας ή αιολικού πάρκου, ο συντελεστής χρησιμοποίησης ή συντελεστής εκμετάλλευσης (Capacity Factor) ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παράγει η μηχανή ή το πάρκο αν λειτουργούσε συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ:

$$C.F = \frac{E}{8760 * P_R} = \frac{\bar{P}}{P_R}$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς σχετίζεται με τη βιωσιμότητα μιας ενεργειακής επένδυσης. Συνήθεις τιμές του είναι μεταξύ 0.25 και 0.35, χωρίς να αποκλείονται και υψηλότερες τιμές. Προφανώς είναι υψηλός σε θέση με μεγάλη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, αλλά η τιμή του εξαρτάται επίσης από τη μορφή της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας και από τη διαθεσιμότητα της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

4.1 Μεθοδολογία χωροθέτησης αιολικού πάρκου

Γενικά τα κριτήρια που υπεισέρχονται για την επιλογή μιας περιοχής για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι:

- Εξασφάλιση κατάλληλης έκτασης γηπέδου εγκατάστασης, ανάλογης της επιθυμητής ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου και του μοντέλου της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας.
- Μορφολογία της περιοχής εγκατάστασης (προσβασιμότητα, ήπιες κλίσεις).
- Δυνατότητα επίλυσης θεμάτων ιδιοκτησίας θέσης εγκατάστασης.
- Περιορισμός οχλήσεων και συμμόρφωση σύμφωνα με το χωροταξικό Α.Π.Ε. (περιοχές ΝΑ ΤΥΡΑ, οπτική, ακουστική όχληση).
- Διαθεσιμότητα καλού αιολικού δυναμικού.

Παρακάτω αναφερόμαστε αναλυτικά για το καθένα.

1. Η έκταση και η μορφή του γηπέδου

Η έκταση του γηπέδου εξαρτάται από αριθμό των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν στην περιοχή και από το μοντέλο της ανεμογεννήτριας.

2. Ιδιοκτησιακό της περιοχής

Το ιδιοκτησιακό σε πολλές περιπτώσεις αιολικών πάρκων είναι πολύ μπερδεμένο μεταξύ των Δήμων και των φερόμενων ως ιδιοκτητών. Και ο λόγος που αυτό συμβαίνει είναι ότι οι συνήθεις περιοχές που μελετούνται για κατασκευή αιολικού πάρκου βρίσκονται σε βουνά, στα οποία οι εκτάσεις δεν είναι ξεκαθαρισμένες και δε υπάρχουν συμβόλαια.

Μεθοδολογία χωροθέτησης

Η χωροθέτηση ενός Αιολικού Πάρκου απαιτεί την επιτόπια εξέταση των χαρακτηριστικών της περιοχής και ακριβή μελέτη εφαρμογής έτσι ώστε να λαμβάνονται υπ' όψιν όλα τα ιδιαίτερα τοπογραφικά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Η μεθοδολογία χωροθέτησης Α/Π που υλοποιείται στα πλαίσια του έργου γίνεται χονδρικά και στα πλαίσια της ακρίβειας γεωγραφικών δεδομένων του συστήματος με σκοπό τη ρεαλιστικότερη απεικόνιση του τεχνικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού μιας περιοχής.

Κατά την χωροθέτηση Α/Π σε μια περιοχή θεωρείται ότι σε ολόκληρη την υπό εξέταση περιοχή επικρατεί η ίδια συχνότητα ταχυτήτων ανέμου και συνεπώς το ίδιο ροδόγραμμα.

Οι περιορισμοί που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τη χωροθέτηση ενός Α/Π περιλαμβάνουν:

- Σκίαση που προκαλεί κάθε Α/Γ.
- Κλίσεις εδάφους.
- Υψόμετρο.

Όλοι οι παραπάνω περιορισμοί πλην της σκίασης λαμβάνονται υπ' όψιν σε προηγούμενο βήμα για τον καθορισμό του διαθέσιμου δυναμικού. Στο βήμα αυτό χωροθετούνται οι Α/Γ σε ένα Α/Π έτσι ώστε να αποφεύγεται η τοποθέτηση Α/Γ σε περιοχή σκίασης των υπολοίπων.



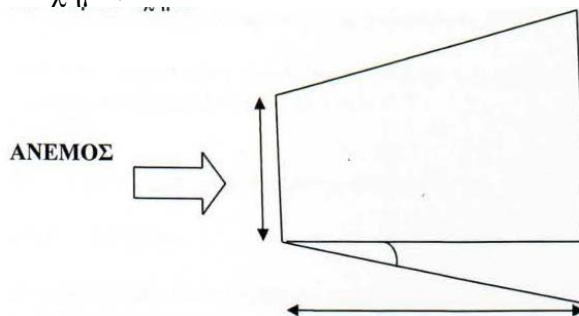
Εικόνα 9. Χωροθέτηση Α/Γ.

Θεωρητική προσέγγιση

Η περιοχή σκίασης μιας Α/Γ κατά τη διέλευση του ανέμου από το ρότορά της χαρακτηρίζεται από:

- Μείωση της ταχύτητας του ανέμου.
- Υψηλή τύρβη.

Στην περιοχή αυτή δεν συνίσταται η τοποθέτηση άλλων Α/Γ. Η περιοχή αυτή φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 10. Η περιοχή σκίασης Α/Γ.

Οι ανεμογεννήτριες λόγω της δέσμευσης ενέργειας από τον άνεμο, επιβραδύνουν την ροή του ανέμου με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες ανεμογεννήτριες που πιθανόν να βρίσκονται πίσω από την πρώτη να μην λαμβάνουν άνεμο τόσο 'δυνατό', ίσο εξέλαβε η πρώτη ανεμογεννήτρια.

Η απόσταση L στην οποία ο άνεμος ανακτά τα αρχικά του χαρακτηριστικά έχει εκτιμηθεί από πειραματικά δεδομένα ότι είναι στην περιοχή $8D$ έως $10D$, όπου D η διάμετρος του ρότορα της Α/Γ. Από πειραματικά δεδομένα επίσης έχει προκύψει ότι η γωνία B κυμαίνεται από $11,5^\circ$ έως $12,5^\circ$.

Για το υπό ανάπτυξη σύστημα οι προτεινόμενες (default) τιμές είναι:

$$L=10D$$

$$\delta=12^\circ$$

Η περιοχή όπως διαμορφώνεται για τις προτεινόμενες τιμές είναι ένα τραπέζιο, όπως φαίνεται στην εικόνα 10, με:

Ύψος L
Μικρή βάση D
Μεγάλο βάση $D+2L \cdot \epsilon\phi 12^\circ$

Το πρόβλημα της μακροσκοπικής χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή συνίσταται στην βέλτιστη τοποθέτηση των Α/Γ του, βασιζόμενοι στην σκίαση που προκαλεί μια Α/Γ στην περιοχή, δεδομένων του ροδογράμματος στην περιοχή και της Α/Γ.

Καθορισμός περιοχής σκίασης-τοποθέτηση Α/Γ

1° βήμα: Καθορισμός της περιοχής σκίασης.

Κατά το βήμα αυτό αποκλείονται για κάθε κατεύθυνση ανέμου με συχνότητα μεγαλύτερη από μια συχνότητα κατωφλίου f_{\min} , οι περιοχές σκίασης που παριστάνονται για κάθε Α/Γ.

2° βήμα: Τοποθέτηση των Α/Γ στην διαθέσιμη περιοχή.

Η τοποθέτηση των Α/Γ ενός Α/Π σε μια περιοχή καθορίζεται από τον αριθμό των Α/Γ. Το σύστημα επιλύει την χωροθέτηση ενός Α/Π για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. Μεγιστοποίηση του αριθμού των Α/Γ που μπορούν να τοποθετηθούν στην περιοχή.
2. Μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας του Α/Π, δεδομένου του αριθμού των προς εγκατάσταση Α/Γ.

Υπολογισμός αναμενόμενης παραγωγής Α/Π

Μετά την χωροθέτηση του Α/Π η αναμενόμενη παραγωγή του υπολογίζεται σαν το άθροισμα της αναμενόμενης παραγωγής από κάθε Α/Γ.

$$E_{\text{ΑΠ}} = \sum E_i$$

όπου (E_i) η αναμενόμενη παραγωγή κάθε Α/Γ.

Δεδομένα

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την χωροθέτηση Α/Π περιλαμβάνουν:

- Ροδόγραμμα συχνότητων ανέμου ανά κατεύθυνση.
- Αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας από μία Α/Γ σε κάθε κελί (kWh).
- Κατώφλι ποσοστού συχνότητας ανέμου (f_{\min}), με προτεινόμενη default τιμή 10%.
- m: Μέγιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των Α/Γ (m).
- I_m : Ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των Α/Γ στην κύρια κατεύθυνση του ανέμου (ακέραιο πολλαπλάσιο της διαμέτρου του ρότορα D).
- I_n : Ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των Α/Γ στην κάθετη στην κύρια κατεύθυνση του ανέμου (ακέραιο πολλαπλάσιο της διαμέτρου του ρότορα D).
- Ο αριθμός των Α/Γ που θα εγκατασταθούν στην περιοχή (n_i) (εναλλακτικά).

Επιπλέον περιορισμοί που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τη χωροθέτηση ενός Α/Π είναι και οι παρακάτω.

4.2 Ηχητική όχληση

Ο θόρυβος που εκπέμπουν οι ανεμογεννήτριες σε κάποια απόσταση από αυτές δεν είναι σημαντικής και καλύπτεται από το θόρυβο που προκαλεί ο ίδιος ο άνεμος.

Εξάλλου οι ανεμογεννήτριες συνήθως εγκαθίστανται σε περιοχές που πνέουν ισχυροί άνεμοι και για μεγάλη χρονική διάρκεια, και κατά πλειονότητα μακριά από κατοικίες όπου ο θόρυβος θα ήταν ενοχλητικός. Τον θόρυβο που εκπέμπουν οι ανεμογεννήτριες μπορούμε να διαχωρίσουμε σε αεροδυναμικό και μηχανικό θόρυβο.

Αεροδυναμικός θόρυβος

Ο αεροδυναμικός θόρυβος εξαρτάται από την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου και την αεροδυναμική των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Ο θόρυβος που οφείλεται στον άνεμο αποτελείται από το θόρυβο περιστροφής και το θόρυβο τύρβης και πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά τη διάρκεια σχεδίασης και κατασκευής της μηχανής. Ο ήχος εκ περιστροφής περιλαμβάνει όλους τους ήχους οι οποίοι έχουν διακριτές συχνότητες της διέλευσης των πτερυγίων, (δηλαδή το γινόμενο του αριθμού των πτερυγίων επί την τιμή της ταχύτητας). Η ένταση του ήχου περιστροφής μεγαλώνει με τη διάμετρο, την ελάττωση του αριθμού των πτερυγίων, την αύξηση της ταχύτητας των ακροπτερυγίων και την αεροδυναμική φόρτιση τους.

Ο θόρυβος τύρβης συσχετίζεται με το στροβιλισμό στο άκρο των πτερυγίων αλλά και με το ολικό πεδίο τύρβης πίσω από τη πτερωτή. Για να ελαττωθεί ο θόρυβος τύρβης πρέπει να μειωθεί η ταχύτητα των πτερυγίων που θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ωφελούμενης αιολικής ισχύς.

Τα τελευταία χρόνια οι μηχανικοί έχουν επικεντρωθεί στη σχεδίαση των πτερυγίων των ανεμογεννητριών έτσι ώστε να μειωθεί ο θόρυβος που προκαλούν αλλά όχι η ισχύ που αποδίδουν. Αναφέρουμε χαρακτηριστικά ότι οι ανεμογεννήτριες τελευταίας γενιάς είναι κατά ένα μεγάλο ποσοστό πιο αθόρυβες από αυτές της πρώτης (δεκαετία 1980).

Μηχανικός θόρυβος

Ο Μηχανικός θόρυβος, προκαλείται από τα κινούμενα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας. Συνηθέστερες αιτίες θορύβου είναι το κιβώτιο μετάδοσης, η ηλεκτρογεννήτρια και τα έδρανα στήριξης. Η μείωση του μηχανικού θορύβου γίνεται στα μηχανικά μέρη που αναφέρθηκαν (κιβώτιο, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα) ή στη διαδρομή του. Ο μηχανικός θόρυβος μειώνεται επεμβαίνοντας στα στοιχεία που θορυβούν για παράδειγμα τοποθετώντας οδοντωτούς τροχούς στο κιβώτιο μετάδοσης με πλάγια οδόντωση αντί ευθείας οδόντωσης ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο εσωτερικό της κατασκευής.

Ακόμα, ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του χρησιμοποιώντας τόσο ηχομονωτικά καλύμματα όσο και αντικραδαμική βάση στήριξης. Τέλος, σημαντικό ρόλο στην ένταση του θορύβου διαδραματίζει και η παρουσία ή μη πολλαπλασιαστή στροφών, δηλαδή με την απουσία του μειώνεται ο ηλεκτρομηχανολογικός θόρυβος.

4.3 Χρήση γης

Όταν προσπαθούμε να βρούμε κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, πρέπει να έχουμε υπόψη μας κανονισμούς και νόμους που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση γης για εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών. Τέτοιοι νόμοι μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων.

4.4 Μετεωρολογικά προβλήματα

Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών 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 ανεμογεννήτριας με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα η επικάλυψη στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα συστήματα της ανεμογεννήτριας 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 σταματάμε τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και να καθαρίζουμε τα πτερύγια.

Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχουμε επιλέξει εμφανίζει συχνά φαινόμενο παγετού. Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης ανεμογεννήτριας 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 ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

4.5 Οπτική όχληση

Για την άδεια ανέγερσης Α/Π σε κάποια περιοχή απαιτείται μελέτη για την οπτική όχληση καθώς και φωτορεαλιστική απεικόνιση της περιοχής του θα λάβει χώρα το έργο. Έτσι, ασχολούμαστε με τα εξής στοιχεία:

1. Γενικά στοιχεία για την οπτική όχληση που προκαλείται από την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, (οπτική αρμονία).
2. Απεικόνιση σε χάρτες 1 :50.000 των περιοχών από όπου είναι θεατές οι ανεμογεννήτριες του Α/Π.
3. Φωτορεαλιστική απεικόνιση του Α/Π από τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, (φωτογραφίες από διάφορες λήψεις).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χάρτες & οι φωτογραφίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να πλησιάζουν στην μετά την εγκατάσταση πραγματικότητα, αφού τα στοιχεία που θα αξιοποιούνται δεν θα είναι ενδεικτικά 'αλλά πραγματικά. (Ψηφιοποιημένο ανάγλυφο της περιοχής, ακριβής χωροθέτηση των ανεμογεννητριών, γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν).

Οπτική αρμονία

Τα Αιολικά Πάρκα θα πρέπει να κατασκευάζονται σε ανοιχτές περιοχές για να αποδίδουν ισχύ (εμπορικά βιώσιμα). Επομένως οι περιοχές αυτές θα είναι ορατές. Η αντίδραση στη θέα των Αιολικών Πάρκων είναι υποκειμενική. Πολλοί βλέπουν με

συμπάθεια τη Αιολική ενέργεια ως σύμβολο της καθαρής ενέργειας όχι όμως και το τοπίο τοποθέτησης. Αυτή η υποκειμενική φύση της αντίδρασης φαίνεται από την αποτυχία της μελέτης ExtenE που υπολόγισε το εξωτερικό κόστος σε σχέση με τις οπτικές συνέπειες. Σε έρευνα που έγινε από το ΑΚΡ στη Γερμανία ερευνήθηκε το κόστος της ηχητικής και οπτικής επίδρασης που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες, το ελάχιστο είναι 0.000 I 2 €ανά kW παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η έρευνα έγινε σε δείγμα 342 ατόμων τα οποία ζούσαν κοντά σε ανεμογεννήτριες και οι οποίοι ρωτήθηκαν πόσο πρόθυμοι θα ήταν να πληρώσουν για να μετακινηθούν οι ανεμογεννήτριες. Η κατανόηση των ευρύτερων περιβαλλοντολογικών ωφελειών της αιολικής ενέργειας τείνει να μειώσει τη δημόσια αντίδραση για τα Αιολικά Πάρκα.

Η μεγάλη πλειοψηφία των επισκεπτών των Αιολικών Πάρκων ενθουσιάζονται υπέρ αυτών. Διάφορες έρευνες μας δείχνουν τους φόβους των ντόπιων κατοίκων που υπήρχαν στο στάδιο του σχεδιασμού αλλά τώρα έχουν αλλάξει και δείχνουν την υποστήριξη τους προς τα Αιολικά Πάρκα, αλλά και έρευνες από άλλες Ευρωπαϊκές χώρες δείχνουν τα ίδια επίπεδα υποστήριξης.

Είναι γνωστό ότι οι Ανεμογεννήτριες προκαλούν αμελητέες επιδράσεις στο περιβάλλον. Αυτό μάλιστα γίνεται σαφέστερο, όταν αναλογισθούμε τις επιδράσεις των αντίστοιχων θερμοηλεκτρικών ή πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα οικοσυστήματα μιας περιοχής.

Παρόλα αυτά σε μεμονωμένες περιπτώσεις αναφέρονται ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις των Αιολικών Μονάδων στο περιβάλλον όπως:

Η οπτική αισθητική επίδραση, η οποία είναι κάπως έντονη σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων ανεμογεννητριών μεγάλων διαστάσεων (άνω των 500 kW ύψος 50 μέτρα, διάμετρος πτερωτής 35 μέτρα) σε σχετικά κλειστές περιοχές. Αντίθετα, η εγκατάσταση μηχανών ή και ενός αιολικού πάρκου σε ανοικτές περιοχές δε φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την οπτική αισθητική της περιοχής.

Επειδή στο θέμα αυτό έχει δοθεί υπερβολική δημοσιότητα τα τελευταία χρόνια είναι δυνατό να συνοψίσουμε, εν συντομία, τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών.

Πράγματι, η χρησιμοποίηση απλών σωληνωτών πύργων σε χρωματισμό που συμφωνεί με το περιβάλλον φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη οπτική αποδοχή από τη χρησιμοποίηση δικτυωτού πύργου που θυμίζει πυλώνες Υ /Τ.

Παράλληλα, η επίτευξη οπτικής ομοιομορφίας έχει αποδειχθεί ότι δεν διαταράσσει την αρμονία της περιοχής. Η οπτική ομοιομορφία περιλαμβάνει ομοιότητα διαστάσεων δρομέα και υπέρ κατασκευής (όχι αναγκαστικά ίδιου τύπου μηχανές), καθώς και ύψους πύργου στήριξης.

Τέλος, όταν οι ανεμογεννήτριες περιστρέφονται, το ανθρώπινο μάτι τις θεωρεί, χρήσιμες με αποτέλεσμα, να γίνονται ευκολότερα οπτικά αποδεκτές, καθώς φαίνεται να εξυπηρετούν κάποιο σκοπό.

Αντίθετα, όταν σημαντικός αριθμός ανεμογεννητριών δεν δουλεύει ενώ πνέουν άνεμοι, η προσδοκία του παρατηρητή για χρησιμότητα Αιολικών Μηχανών παραβιάζεται. Για το λόγο αυτό, θεωρείται σκόπιμη η διατήρηση περιστροφής των δρομέων για το μεγαλύτερο δυνατό διάστημα, ενώ οι ιδιοκτήτες των Αιολικών Πάρκων θα πρέπει να συντηρούν τακτικά τις μηχανές τους και να αντικαθιστούν το γρηγορότερο τυχόν κατεστραμμένα τμήματα, ώστε να αυξηθεί η δημόσια αποδοχή των εγκαταστάσεων τους. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες που διαθέτουν τρία πτερύγια δίνουν ένα αισθητικά αρμονικότερο αποτέλεσμα, ενώ ο χρωματισμός των πύργων στήριξης και των πτερυγίων διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ομαλή ενσωμάτωση των μηχανών στον περιβάλλοντα χώρο, με επικρατέστερη επιλογή το λευκό χρώμα και σαν εναλλακτική λύση το γκρι.

Οι οδοποιίες είναι επιθυμητό να σχεδιαστούν ακολουθώντας το φυσικό ανάγλυφο χωρίς να το αλλοιώνουν αισθητά με υπερεκσκαφές, τοίχους στήριξης και μεγάλα επιχώματα.

Το κτίριο ελέγχου συνήθως κατασκευάζεται σε μικρό ύψος, εναρμονισμένο στο τοπίο της περιοχής με πολύ υψηλής στάθμης αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και από φυσικά υλικά.

Φωτορεαλιστική απεικόνιση Α/Π

Απεικόνιση σε χάρτες 1:50.000 των περιοχών από όπου είναι θεατές οι ανεμογεννήτριες του Α/Π. Η μελέτη για την οπτική όχληση θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

1. Ψηφιοποιημένο ανάγλυφο της περιοχής.
2. Ακριβής χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.
3. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν.
4. Απόσπασμα ψηφιοποιημένου χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50.000 και τουριστικού χάρτη που παρουσιάζουν την περιοχή του γηπέδου.

Μεγαλύτερη βαρύτητα στη μελέτη της οπτικής όχλησης πρέπει να δοθούν στις παρακάτω περιοχές:

1. Στους γειτονικούς οικισμούς.
2. Στις τουριστικές περιοχές.
3. Στο οδικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής.

Η μελέτη πρέπει να λάβει χώρα σε συγκεκριμένες αποστάσεις από την περιοχή του γηπέδου (συνήθως γίνεται 5 χιλιόμετρα από το κέντρο του αιολικού πάρκου, σε μεγαλύτερη απόσταση η μελέτη δεν κρίνεται σκόπιμη αφού οι ανεμογεννήτριες σε μεγαλύτερες αποστάσεις είναι δυσδιάκριτες).

Εκτός από την ακτίνα μελέτης θα πρέπει να θεωρηθεί και ένα συγκεκριμένο ύψος θέασης που συνήθως ορίζουμε περίπου το ύψος των 2 μέτρων (λίγο πάνω από το ύψος του θέα).

4.6 Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση

Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται λόγω της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια του δρομέα της ανεμογεννήτριας. Σε μια καλή και προσεκτική μελέτη Αιολικού Πάρκου δεν πρέπει σε καμία περίπτωση οι ανεμογεννήτριες να δημιουργούν παρενοχλήσεις στα συστήματα τηλεπικοινωνίας.

Τα ραδιοκύματα και μικροκύματα χρησιμοποιούνται ευρέως για την επικοινωνία, και κάθε μεγάλη κινούμενη μάζα μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις (EMI). Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν EMI με αντανάκλασεις σημάτων από τις πτερωτές. Έτσι,, ο κοντινός παραλήπτης λαμβάνει και το άμεσο και το ανακλώμενο σήμα. Η παρεμβολή συμβαίνει επειδή το ανακλώμενο σήμα εμποδίζεται και από τη διαφορά της απόστασης (αλλά και επανέρχεται εξαιτίας της κίνησης της πτερωτής). Η EMI είναι πιο έντονη στα μεταλλικά φτερά γιατί έχουν μεγαλύτερη αντανάκλαση Και μικρότερη στα ξύλινα και γενικότερα στα μη αγωγικά υλικά φτερά τα οποία είναι ιδιαίτερα διαπερατά. Το GRP πλαστικό με ίνες γυαλιού που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες πτερωτές, είναι διαπερατό στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δεν έχει ιδιαίτερα αποτελέσματα στο EMI.

Στη χώρα μας το θέμα έχει αντιμετωπιστεί και νομοθετικά καθώς για την έκδοση άδειας εγκατάστασης από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Απαιτείται, είτε βεβαίωση της αρμόδιας Νομαρχίας ότι η αιολική εγκατάσταση απέχει τουλάχιστον 1 ΚΜ από αναμεταδότες της τηλεόρασης (ΕΡΤ) και πομπούς της τηλεφωνίας (ΟΤΕ) ή έγγραφη συναίνεση των οργανισμών αυτών για μικρότερες αποστάσεις.

Τελειώνοντας να αναφέρουμε 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 ανεμογεννητριών.

Θα πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας ότι υπάρχει πάντα το στοιχείο του ρίσκου στην εκλογή θέσεων ανεμογεννητριών. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα βρίσκονται σε μία κατάσταση διαρκούς μεταβολής. Όσο προσεκτικές μετρήσεις και αν έχουμε πάρει, 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. Η πιθανότητα όμως αυτή είναι μικρή, σκοπός μας δεν είναι να την εξαλείψουμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

5.1 Έργα οδοποιίας

Για την κατασκευή του Α/Π πρέπει να διαμορφωθούν δρόμοι για την πρόσβαση των οχημάτων μεταφοράς των διαφορών μερών της Α/Γ, καθώς και για την πρόσβαση οχημάτων απαραίτητων για την εγκατάσταση. Οι βασικές τεχνικές προδιαγραφές των δρόμων πρόσβασης είναι:

- Ομαλές κλίσεις οδοστρώματος (10 έως 12 μοίρες).
- Πλάτος οδοστρώματος 5-6 μέτρα.
- Ακτίνα καμπυλότητας δρόμου μεγαλύτερη από 20 μέτρα.
- Κατασκευή έργων για την απορροή όμβριων υδάτων.

5.2 Διαμόρφωση πλατειών ανέγερσης

Σε κάθε θέση ανέγερσης Α/Γ διαμορφώνεται κατάλληλος επίπεδος χώρος (πλατεία) κατάλληλων διαστάσεων για την συναρμολόγηση των διαφόρων τμημάτων των Α/Γ (πύργος, γεννήτρια, υποσυστήματα, κλπ) και την ευκολία χειρισμών των οχημάτων ανύψωσης των Α/Γ.

Τυχόν ανωμαλίες του εδάφους θα πρέπει αποκατασταθούν με επιχώσεις και κατάλληλη συμπίεση ώστε να επιτευχθεί μια σχετικά επίπεδη επιφάνεια.



Εικόνα 11. Δημιουργία πλατείας.

5.3 Θεμελίωση ανεμογεννητριών - Βάσεις πυλώνων

Για την κατασκευή των θεμελίων, εκπονείται, αρχικά γεωτεχνική μελέτη σε κάθε θέση των ανεμογεννητριών που θα περιλαμβάνει συνήθως και δοκιμαστικές διατρήσεις, σε κατάλληλα σημεία της επιφάνειας του πέδου με, βάση τη στατική μελέτη. Αν από τα αποτελέσματα της γεωλογικής έρευνας προκύψει αναγκαιότητα

επανεξέτασης των στατικών μελετών (τέτοιοι λόγοι μπορεί να είναι η ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης, η αλλαγή του αντισεισμικού κανονισμού) ακολουθείται η εφαρμογή της νέας μελέτης από την οποία πιθανόν να προκύψει μεταβολή του όγκου του οπλισμένου σκυροδέματος. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής, τα χαρακτηριστικά του πύργου της Α/Γ, το είδος του εδάφους έδρασης και την σεισμικότητα της περιοχής εγκατάστασης.



Εικόνα 12. Κατασκευή θεμελίων.

Συνήθως η κάθε βάση-θεμέλιο των πυλώνων των ανεμογεννητριών είναι κυκλικής κάτοψης σχήματος πεπλατυσμένου κώλου, αποτελείται δε από έναν δίσκο σκυροδέματος καθαριότητας κατάλληλης διαμέτρου. Στο πέδιλο ενσωματώνονται οι θεμελιακές γειώσεις που συνίστανται από χαλύβδινη ταινία η οποία τοποθετείται σε δύο ομόκεντρους κύκλους, ο ένας περιφερειακά στο πέλιμα του θεμελίου και ο άλλος περιφερειακά της μεταλλικής στεφάνης αγκυρώσεως. Πλέον της θεμελιακής γειώσεως τοποθετούνται 7, κατ' ελάχιστο, πάσσαλοι γειώσεως που θα έχουν κεφαλή από πλάκα χαλκού και οι οποίοι συνδέονται μεταξύ των με επικασσιτερωμένη χάλκινη ταινία κατάλληλης διατομής σε ακτινική και περιμετρική διάταξη. Συνήθως στην υπόβαση του πέδιλου, δηλαδή εντός του σκυροδέματος καθαριότητας ενσωματώνονται πλαστικές σωληνώσεις που οδηγούν τις καλωδιώσεις που μεταφέρουν τις πληροφορίες ελέγχου των ανεμογεννητριών, μέσω τηλεπικοινωνιακού καλωδίου και δια μέσου οπής καθέτου στο μέσον του πέδιλου στο κεντρικό ελεγκτή κάθε μηχανής. Στο εξωτερικό δακτύλιο πακτώνονται περιμετρικά τα ειδικά μπουλόνια (βλήτρα) που συνδέουν τη βάση του πύργου της κάθε ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 13. Τοποθέτηση σκυροδέματος.

Όλα τα κατασκευαστικά πέδιλα επικαλύπτονται με σκληρυντική κατ' εξοχήν στεγανωτική χημική ουσία κατάλληλου τύπου π.χ. ΧΥΡΕΧ για την προστασία του υποκείμενου οπλισμού από την διάβρωση.

Η κατασκευή του θεμέλιου κάθε ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει κατά σειρά τις εξής εργασίες:

- Από 3-6 δοκιμαστικές διατρήσεις στην επιφάνεια εκσκαφής για έλεγχο υπεδάφους.
- Εκσκαφή.
- 7 κατ' ελάχιστον διατρήματα συνήθως περιφερειακά και στο κέντρο της επιφάνειας μετά την εκσκαφή.
- Τοποθέτηση των ράβδων γειώσεως και του περιμετρικού και ακτινικού, αγωγού χαλκού.
- Συγκόλληση των αγωγών μετά τις ράβδους γειώσεως.
- Εκσκαφή τάφρου ενταφιασμού σωλήνων για καλώδια ισχύος και ελέγχου.
- Τοποθέτηση εντός της τάφρου εντός μεταλλικών μανδύων των σωλήνων για τα καλώδια.
- Ενταφιασμός των μεταλλικών μανδύων μετά των σωλήνων με σκυρόδεμα C 8/12.
- Σκυροδέτηση σκυροδέματος καθαριότητας C 8/12.
- Τοποθέτηση των υλικών αγκυρώσεως.
- Τοποθέτηση του σιδηρού οπλισμού.
- Εγκατάσταση θεμελιακής γείωσης.
- Τοποθέτηση μεταλλότυπου καλουπιού.
- Σκυροδέτηση πέδιλου με σκυρόδεμα C 20/25.
- Τοποθέτηση υλικού στεγανοποίησης στην επιφάνεια του σκυροδέματος του θεμελίου.
- Επιχωμάτωση.

5.4 Διάνοιξη τάφρων διέλευσης καλωδίων ισχύος και ασθενών ρευμάτων, τοποθέτηση καλωδίων

Για την ηλεκτρολογική διασύνδεση των ανεμογεννητριών, κατασκευάζεται υπόγειο δίκτυο από το οποίο οδεύουν καλώδια μέσης τάσης, καλώδια ασθενών ρευμάτων και

το δίκτυο γείωσης. Το κανάλι καλωδίων συνήθως γίνεται παράλληλα με τους εσωτερικούς δρόμους του αιολικού πάρκου και σε απόσταση περίπου 1-2 μέτρα από αυτούς όπου αυτό είναι εφικτό, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο την πρόσθετη αλλαγή της επιφάνειας του εδάφους. Το πλάτος του καναλιού θα είναι περίπου 0,6 μέτρα, ενώ το βάθος της εκσκαφής θα είναι περίπου 1 μέτρο, όπως προβλέπεται και από τους ηλεκτρολογικούς κανονισμούς, για καλωδιώσεις Μέσης Τάσης.

Στις εργασίες κατασκευής των καναλιών των καλωδιώσεων, συμπεριλαμβάνεται και η επιχωμάτωση αυτών με δύο στρώσεις 20 εκατοστών καταλλήλου άμμου ή και καταλλήλου λεπτοκόκκου χώματος με καλή αγωγιμότητα για την προστασία των καλωδιώσεων αλλά και την βελτίωση των γειώσεων, ήτοι:

- στρώση άμμου ύψους 20 εκατοστών επί του πυθμένα του καναλιού.
- εναπόθεση καλωδίων.
- στρώση άμμου ύψους 20 εκατοστών μετά την ολοκλήρωση των ηλεκτρολογικών εργασιών.

Μετά το πέρας των εργασιών τοποθέτησης των καλωδίων γίνεται η επιχωμάτωση και συμπύκνωση των καναλιών με προϊόντα εκσκαφής καθαρισμένα από πέτρες μέχρι την στάθμη του φυσικού εδάφους.

Το υπόγειο κανάλι θα καταλήγει σε κάθε ανεμογεννήτρια σε φρεάτιο 1.20 μέτρων πλάτους 1 μέτρου μήκους και 1 μέτρου βάθους, Ανά 60 μέτρα καλό είναι να κατασκευάζεται φρεάτιο για την πιο εύκολη πρόσβαση στις καλωδιώσεις.



Εικόνα 14. Διάνοξη τάφρων διέλευσης καλωδίων.

5.5 Εσωτερική ηλεκτρομηχανολογική μελέτη αιολικού πάρκου

Συνήθως οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν συνήθως σε ονομαστική τάση 0,4 - 0,7 kV. Για να γίνει δυνατή η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας και συμβατή με το δίκτυο της Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) της ΔΕΗ χρησιμοποιούνται υποσταθμοί Χ.Τ./Μ.Τ οι οποίοι εγκαθίστανται σε ειδικό και ανεξάρτητο χώρο στη βάση του πύργου κάθε Α/Γ. Από τον ελεγκτή της Α/Γ στη βάση του πυλώνα, συνήθως υπάρχει καλώδιο ισχύος χαλκού κατάλληλης διατομής, το οποίο συνδέει την Α/Γ με την πλευρά Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.) του υποσταθμού Χ.Τ./Μ.Τ. Το καλώδιο ισχύος Μ.Τ. δια μέσου σωλήνων PVC οδεύει υπόγεια σε κατάλληλο κανάλι διέλευσης καλωδίων (χαντάκι), μέχρι την είσοδο του στον υποσταθμό Χ.Τ./Μ.Τ.

Σύστημα Γείωσης Α/Γ και Υ/Σ 0,4/20 kV

Στη βάση της Α/Γ εγκαθίσταται συνήθως θεμελιακή γείωση η οποία περιλαμβάνει ταινία κατάλληλης διατομής και υλικού (πχ. ταινία γαλβανισμένου χάλυβα), ακτινικά και περιμετρικά της βάσης θεμελίωσης της ανεμογεννήτριας και ηλεκτροσυγκολλημένη με τον σιδερένιο οπλισμό της. Σημειώνεται ότι η διατομή της ταινίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 τ.χιλ με ελάχιστο πάχος 3 χιλιοστά (πχ. 30 χ 3,5 τ.χιλ.). Η θεμελιακή γείωση της Α/Γ ενισχύεται και με δύο τουλάχιστον ηλεκτρόδια γείωσης.



Εικόνα 15. Τοποθέτηση κεντρικής βάσης.

Οι θεμελιακές γειώσεις της Α/Γ και του Υ/Σ διασυνδέονται με αγωγούς γείωσης χαλκού κατάλληλης διατομής. Οι αγωγοί γείωσης καταλήγουν σε εξωτερικό κοινό σύστημα γείωσης. Η επιλογή της διατομής των αγωγών γείωσης και του είδους του εξωτερικού συστήματος γείωσης γίνεται ύστερα από ειδική μελέτη, με βάση κυρίως την ειδική αντίσταση του εδάφους (βραχώδες, αμμώδες έδαφος κτλ.), ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή της αντίστασης γείωσης (σύμφωνη με προδιαγραφές ΔΕΗ). Το σύστημα γείωσης του Α/Π σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχεται ασφάλεια στο προσωπικό σε κάθε σημείο του πάρκου' όπου υπάρχει πρόσβαση.

Η τιμή της αντίστασης γείωσης πρέπει να είναι μικρότερη από 1 Ω, ώστε να συνδεθεί στο ίδιο σύστημα γείωσης τόσο η γείωση λειτουργίας, όσο και η γείωση προστασίας. Στην περίπτωση αυτή, στο σύστημα γείωσης της Α/Γ και του αντίστοιχου Υ/Σ Χ.Τ./Μ.Τ. θα συνδεθεί ο παρακάτω εξοπλισμός:

- Τα κελύφη των Μ/Σ ανυψώσεως από χαμηλή σε μέση τάση και των διακοπών ισχύος και φορτίου.
- Ο ουδέτερος των τυλιγμάτων Χ.Τ. των Μ/Τ ανυψώσεως 20 kV.
- Οι μεταλλικές βάσεις των μονωτήρων.
- Οι μανδύες των καλωδίων Μέσης Τάσης.
- Οτιδήποτε μεταλλικό μέσα στο κτίριο του Υ/Σ και του πύργου της Α/Γ, όπως μεταλλικά περιβλήματα πινάκων, πόρτες, παράθυρα, ιστία λαμπτήρων κτλ.

Τα συστήματα γείωσης των Α/Γ και των αντίστοιχων Υ/Σ Χ.Τ./Μ.Τ. διασυνδέονται μεταξύ τους μέσω του μανδύα των καλωδίων 20 kV και αγωγού χαλκού κατάλληλης διατομής τουλάχιστον 95 τ.χιλ. Ο μανδύας των καλωδίων 20 kV συνήθως γειώνεται και στα δύο άκρα (αναχώρηση και άφιξη σε κάθε Υ/Σ Χ.Τ./Μ.Τ.).

Στο Κτήριο Ελέγχου συνήθως τοποθετείται ισοδυναμικό πλέγμα εντός του δαπέδου, με σύρματα διαμέτρου 5 χιλ. τουλάχιστον και διαστάσεων ανοιγμάτων το πολύ 300χ300 τ.χιλ., πάνω στο οποίο συνδέεται περιμετρική ταινία γαλβανισμένου χάλυβα. Πάνω στην ταινία συνήθως συνδέονται με πολύκλωνους χάλκινους αγωγούς όλα τα

μεταλλικά μέρη του κτηρίου (πόρτες, παράθυρα κτλ). Η ταινία συνδέεται με το ζυγό γείωσης του Κτηρίου Ελέγχου, πάνω στον οποίο συνδέονται τα κελύφη των αποξευκτών, διακοπών ισχύος, φορτίου, των μεταλλοεπενδυμένων πινάκων, των Μ/Σ υπηρεσίας κτλ.

Υποσταθμός Χ.Τ./Μ.Τ. Α/Γ

Μετασχηματιστής Υ/Σ

Ο Υποσταθμός (Υ/Σ) Χ.Τ./Μ.Τ της κάθε Α/Γ συνήθως στεγάζεται και εγκαθίσταται σε ειδικό διαμέρισμα στη βάση του πύργου κάθε Α/Γ. Ο Υ/Σ περιλαμβάνει μετασχηματιστή ανύψωσης στα 20 kV, τύπου ελαίου χαμηλών απωλειών. Τα καλώδια του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή εισέρχονται από το κάτω μέρος της βάσης. Στη βάση στήριξης του υποσταθμού προβλέπεται λεκάνη περισυλλογής του λαδιού. Ακόμη, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την ύπαρξη κατάλληλων ανοιγμάτων για την διέλευση των καλωδίων ισχύος Χ.Τ. καθώς και Μ.Τ. προς και από τον υποσταθμό, σύμφωνα και με τις οδηγίες του κατασκευαστικού οίκου του. Η ονομαστική τάση του τυλίγματος Χ.Τ είναι 0,4 - 0,7 kV ενώ στην πλευρά της Μ.Τ. θα υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της τάσης σε βήματα 0%, $\pm 2.5\%$ και $\pm 5\%$ (tappings). Η τάση του τυλίγματος Μ.Τ. είναι 20 kV. Ο μετασχηματιστής συνήθως είναι κατάλληλος για λειτουργία σε υψόμετρο μέχρι 100 μέτρα και μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι 45 °C.

Συγκρότημα πινάκων ΥΔΕ

Ο διακοπτικός εξοπλισμός της πλευράς Μ. Τ. του Μ/Σ Χ.Τ./Μ.Τ. της κάθε Α/Γ περιλαμβάνει:

- Τριπολικό Αποξεύκτη (ΑΠΖ) κατάλληλης ονομαστικής τάσης (π.χ. 24 kV), κατάλληλης ονομαστικής έντασης συνήθως 630 A και γειωτή ο οποίος είναι μηχανικά μανδαλωμένος με τον αποξεύκτη.
- Τριπολικό αυτόματο Διακόπτη Ισχύος (ΔΙ), ονομαστικής τάσης 24 kV κατάλληλης ονομαστικής έντασης (π.χ. 630 A), με ικανότητα διακοπή βραχυκυκλώματος συνήθως 16 ΚΑ. Ο διακόπτης ισχύος ελέγχεται από ηλεκτρονόμο (H/N) υπερφορτίσεως, υπερεντάσεως και γης. Πέρα από τις απαραίτητες βοηθητικές επαφές για τα κυκλώματα ελέγχου και λειτουργίας, ο

Διακόπτης Ισχύος πρέπει να εφοδιάζεται με τουλάχιστον τρεις (3) εφεδρικές επαφές "κανονικά κλειστές" και τρεις (3) "κανονικά ανοικτές" για βοηθητικά κυκλώματα, ώστε να μπορεί να συνεργάζεται με άλλα μέσα προστασίας.

Στην πλευρά Χ.Τ. του Μ/Σ υπάρχει τετραπολικός Διακόπτης Φορτίου και ασφάλειες Χ.Τ. Οι ονομαστικές εντάσεις του διακόπτη φορτίου και των ασφαλειών είναι της τάξης των 900 A. Η σύνδεση των δύο (2) υπογείων καλωδίων Μ.Τ. (άφιξης και αναχώρησης) στο ζυγό Μ.Τ. του Υ/Σ γίνεται μέσω Διακόπτη Φορτίου (ΔΦ) Μέσης Τάσης, ονομαστικής τάσης 24 kV ονομαστικής έντασης 630 A. Για κάθε υπόγειο καλώδια υπάρχει επίσης γειωτής και και χωρητικοί καταμεριστές τάσης με ενδεικτικά.

Το συγκρότημα πινάκων του Υ/Σ Χ.Τ./Μ.Τ. της ανεμογεννήτριας αποτελείται από τους παρακάτω πίνακες:

- Πίνακας εισόδου/εξόδου υπογείου καλωδίου Μ.Τ. (άφιξη καλωδίου από προηγούμενη Α/Γ και αναχώρηση καλωδίου για επόμενη Α/Γ). Ο πίνακας

αυτός περιλαμβάνει Διακόπτη Φορτίου Μ.Τ. γειωτή και χωρητικούς καταμεριστές τάσης με ενδεικτικά.

- Πίνακας Διακόπτη Ισχύος και Αποζεύκτη Μ.Τ. Ο πίνακας αυτός συνδέει την πλευρά Μ.Τ. του Μ/Σ ανυψώσεως στα 20 kV με το ζυγό Μ.Τ. του Υ/Σ , μέσω του Αποζεύκτη και του Διακόπτη Ισχύος. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει επίσης γειωτή και χωρητικούς καταμεριστές τάσης με ενδεικτικά.
- Πίνακας Χ.Τ. (άφιξη καλωδίου Χ.Τ. από Α/Γ). Ο πίνακας συνήθως περιλαμβάνει το Διακόπτη Φορτίου, τις ασφάλειες Χ.Τ. και τα όργανα μέτρησης (αμπερόμετρα, βολτόμετρα, κτλ.) στην πλευρά Χ.Τ.

Στους πίνακες Μ.Τ. πρέπει να προβλέπονται όλες οι απαραίτητες αλληλασφαλίσεις (μανδαλώσεις) μεταξύ των χειριστηρίων και της πόρτας εισόδου στο χώρο των διακοπών. Οι πίνακες Μ.Τ. πληρούν τις προδιαγραφές ΔΕΗ/ΔΝΕΜ.

Διασύνδεση Μ.Τ. Α/Γ με το ζυγό του Α/Π

Γενική διάταξη

Οι Α/Γ συνδέονται σε ακτινικά δίκτυα τα οποία καταλήγουν στον κεντρικό ζυγό Μ.Τ. του Α/Π. κάθε Ανεμογεννήτρια συνδέεται ηλεκτρικά με την επόμενη της μέσω υπογείου καλωδίου. Οι Α/Γ Συνήθως συγκροτούνται σε ομάδες ανάλογα με τον αριθμό και τη διάταξη τους. Τα υπόγεια καλώδια σύνδεσης της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών συνδέονται στον κεντρικό ζυγό του Αιολικού Πάρκου (Α/Π) μέσω αυτόματων Διακοπών Ισχύος (ΔΙ) και Αποζευκτών (ΑΠΖ).

Καλώδια Μέσης Τάσης, Επικοινωνιών και Αγωγός Γείωσης

Η ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των Α/Γ της κάθε ομάδας γίνεται με υπόγεια μονοπολικά καλώδια Μέσης Τάσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΙΕΟ 502/83. Η ικανότητα φόρτισης του καλωδίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 320 Α σε ονομαστικές συνθήκες (20°C, συντελεστής φόρτισης $M = 0.7$, ειδική θερμική αντίσταση εδάφους $\sigma = 1,2 \text{ Km/W}$).

Η διατομή του καλωδίου προσδιορίζεται με βάση:

1. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης κάθε γραμμής, όπως αυτό καθορίζεται από τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των Α/Γ.
2. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως για βραχυκύκλωμα κοντά στο ζυγό των 20 kV του Α/Π.
3. Τις Πτώσεις τάσεως στο δίκτυο Μ.Τ. του αιολικού πάρκου.
4. Τις απώλειες ενεργού ισχύος στο δίκτυο Μ.Τ. του Α/Π.

Το καλώδιο Μ.Τ. συνδέει την πλευρά Μ.Τ. του Υποσταθμού της κάθε Α/Γ (πίνακας εξόδου), με την πλευρά Μ.Τ. του Υποσταθμού της επόμενης Α/Γ (πίνακας εισόδου).

Κανάλια καλωδίων

Τα καλώδια Μ.Τ. για την διασύνδεση της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών (οι Α/Γ κάθε ομάδας συνδέονται στην ίδια γραμμή Μ.Τ.) συνήθως οδεύουν σε υπόγειο κανάλι μέσα σε πλαστικούς σωλήνες (για πρόσθετη μηχανική αντοχή) και βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο σε απόσταση 20 εκ. περίπου μεταξύ τους. Για κάθε γραμμή Μ.Τ. οδεύουν 4 καλώδια Μ.Τ. (τρία για τις φάσεις του δικτύου και ένα εφεδρικό), έτσι ώστε αν υπάρξει σφάλμα σε κάποιο καλώδιο να μη διακοπεί η λειτουργία του Αιολικού Πάρκου για τοποθέτηση νέου.

Τα κανάλια όδευσης των καλωδίων ανοίγονται κατά τη φάση των χωματουργικών εργασιών και περιέχουν (εκτός από τα καλώδια Μ.Τ.) τις ακόλουθες κατηγορίες καλωδίων:

- Καλώδια επικοινωνιών (π.χ. του συστήματος SCADA) μεταξύ του επεξεργαστή κάθε ανεμογεννήτριας και κάθε μετεωρολογικού ιστού και του κέντρου ελέγχου του Αιολικού Πάρκου.
- Αγωγό γείωσης του Αιολικού Πάρκου.

Τα κανάλια καλωδίων συνήθως οδεύουν πλησίον των εσωτερικών δρόμων του αιολικού πάρκου, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο την πρόσθετη αλλαγή της επιφάνειας του εδάφους, σε κατάλληλη απόσταση περίπου 1-2 μέτρων από την άκρη της εσωτερικής οδοποιίας, όπου αυτό είναι εφικτό.

Τοποθέτηση των καλωδίων

Κατά την τοποθέτηση των διαφόρων καλωδίων τηρούνται όλες οι προβλεπόμενες προδιαγραφές της ΔΕΗ και των άλλων κανονισμών. Δηλαδή, το ύψος των καναλιών οφείλει να είναι περίπου 1 μέτρο. Η βάση του καναλιού θα επιστρωθεί με άμμο, σε ύψος 10 εκ. περίπου. Στην στάθμη αυτή να τοποθετηθούν τα καλώδια ισχύος 20 kV. Ο αγωγός γείωσης τοποθετείται 20 εκ. περίπου ψηλότερα από τη στάθμη των καλωδίων Μ.Τ. Ο ενδιάμεσος χώρος ανάμεσα στα καλώδια Μ.Τ. και τον αγωγό γείωσης επιστρώνεται με άμμο. Στη στάθμη αυτή συνήθως επιστρώνεται ειδική πλαστική ταινία για τον εντοπισμό των καλωδίων και αποφυγή πληγώματος τους σε περίπτωση μελλοντικής εκσκαφής. Στη συνέχεια επακολουθήσει στρώμα άμμου, στο μέσον του οποίου θα τοποθετηθεί το καλώδιο επικοινωνίας των Ανεμογεννητριών με το Κέντρο Ελέγχου του Αιολικού Πάρκου.

Στην κορυφή της στρώσης αυτής τοποθετούνται πρόσθετες ειδικές πλαστικές ταινίες εντοπισμού καλωδίων ή ειδικές πλάκες τύπου πεζοδρομίων (οι λεγόμενες πλάκες ΔΕΗ). Η τελική στρώση του καναλιού καλωδίων γίνεται με επεξεργασμένα υλικά εκσκαφής πάχους 30 εκ. περίπου μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Επισημαίνεται ότι για τα καλώδια που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο στάθμης, τηρούν τις προβλεπόμενες μεταξύ τους οριζόντιες αποστάσεις, σύμφωνα με τους κανονισμούς (περίπου 20 εκ. για τα καλώδια Μ.Τ.). Σε περιπτώσεις όδευσης του καναλιού καλωδίων κάτω από δρόμους διέλευσης βαρέων οχημάτων λαμβάνεται πρόσθετη μέριμνα για την ενίσχυση της μηχανικής αντοχής των με την χρήση χαλυβδοσωλήνων ή πλαστικών σωλήνων από PVC, υψηλής αντοχής οι οποίοι για διάμετρο καλωδίου μέχρι και 65 χιλ. πρέπει να έχουν ελάχιστη εσωτερική διάμετρο 100 χιλιοστά. Για διάμετρο καλωδίου μεγαλύτερη από 65 χιλ. η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα πρέπει να είναι 125 χιλιοστά. Για την επιτρεπόμενη ένταση φόρτισης ισχύουν οι αντίστοιχες τιμές των καλωδίων για εγκατάσταση στο έδαφος μειωμένες όμως κατά 15%. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή θα δίνεται στις κάμψεις των καλωδίων κατά τη διαδρομή τους ώστε να είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών του κατασκευαστή.

Συνδέσεις-διακλαδώσεις καλωδίων Μέσης Τάσης

Σύνδεση δυο καλωδίων δηλαδή οι μούφες ή διακλαδώσεις στο έδαφος πρέπει να αποφεύγονται, γιατί είναι σημεία υψηλού κινδύνου (εκεί συνήθως καταστρέφεται το καλώδιο).

Σε περίπτωση σύνδεσης ή διακλάδωσης ενός καλωδίου, πρέπει να εξασφαλιστεί η στεγανότητα στην είσοδο υγρασίας ή νερού και η αντοχή στην τάση. Στην μέση τάση χρησιμοποιούνται μούφες κατασκευασμένες από ρητίνη δηλαδή γίνεται η σύνδεση

και ακολούθως εκχύνονται οι ρητίνες σε ειδικά καλούπια που περιβάλλουν τον σύνδεσμο, όπου γίνεται η σταθεροποίηση. Συνδέσεις καλωδίων Μέσης Τάσης έχουμε επίσης στις αφίξεις των γραμμών μεταφοράς από τις ανεμογεννήτριες και στις αναχωρήσεις των γραμμών μεταφοράς για τον υποσταθμό υψηλής τάσης οι οποίες είναι ακροκεφαλές από πορσελάνη κατάλληλες για εξωτερικά χώρο. Η πορσελάνη είναι γεμισμένη από μονωτική μάζα για καλύτερη προστασία.

Αντικεραυνική Προστασία

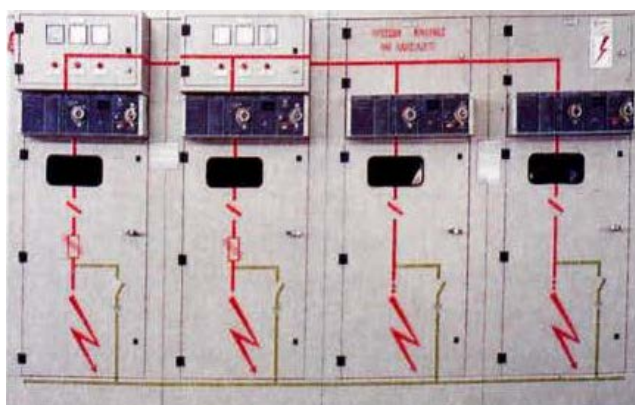
Παλαιότερα η πτώση κεραυνών ήταν κύρια αιτία καταστροφής των Α/Γ και αυτό γιατί δεν δινόταν ιδιαίτερη προσοχή στο ότι τα μέρη που εγκαθίστανται τα Α/Π είναι τα βραχύδη και η αντίσταση γείωσης είναι μεγάλη. Έτσι οι Α/Γ προστατεύονται από την πτώση κεραυνών με ειδικά αντικεραυνικά συστήματα. Τα συνημμένα τεχνικά φυλλάδια των Α/Γ περιγράφουν λεπτομερεστέρα το σύστημα αντικεραυνικής της προστασίας.

Όσον αφορά το ηλεκτρικό δίκτυο Μ.Τ. του Α/Π, εγκαθίστανται κατάλληλοι απαγωγείς υπερτάσεων 10 KA, προδιαγραφών ΔΕΗ:

- Στον πίνακα αναχώρησης του καλωδίου Μ.Τ. από το ζυγό του Α/Π προς τη ΔΕΗ.
- Στους πίνακες άφιξης των καλωδίων Μ.Τ. σύνδεσης των Α/Γ στο ζυγό του Α/Π. Ένα τουλάχιστον αλεξικέραυνο επίσης συνδέεται πριν το σημείο σύνθεσης της μετρητικής διάταξης (προς τη μεριά του δικτύου της ΔΕΗ).

Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός κέντρου ελέγχου

Το υπόγειο καλώδιο ισχύος Μ.Τ. της κάθε ομάδας του Αιολικού Πάρκου συνήθως καταλήγει εντός του κτιρίου του Κέντρου Ελέγχου δια μέσου καταλλήλων καναλιών διέλευσης καλωδίων, τα οποία προβλέπονται στο δάπεδο του κτιρίου. Τα καλώδια εισέρχονται σε καταλλήλους μεταλλοενδεδυμένους πίνακες.



Εικόνα 16. Διακόπτες Μέσης Τάσης.

Ο διακοπτικός εξοπλισμός των καλωδίων Μ.Τ. άφιξης από τις ανεμογεννήτριες αποτελείται συνήθως από δύο (2) αυτόματους Διακόπτες Ισχύος (ΔΙ) με ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος κατάλληλης ηλεκτρικής έντασης και δύο (2) Αποζεύκτες (ΑΠΖ) και γειωτές οι οποίοι μανδάλωνονται μηχανικά με τους αντίστοιχους αποζεύκτες. Ο διακοπτικός εξοπλισμός του καλωδίου Μ.Τ. αναχώρησης προς τη ΔΕΗ αποτελείται από:

- Τριπολικό Απαζεύκτη (ΑΠΖ) συνήθως ονομαστικής τάσης 24 kV και ονομαστικής έντασης 630 A και γειωτή ο οποίος είναι μηχανικά μανδαλωμένος με τον αποζεύκτη.
- Ένα τριπολικό αυτόματο Διακόπτη Ισχύος (ΔΙ), τα τελευταία χρόνια συνήθως εξαφθοριούχου θείου (SF6), ονομαστικής τάσης 24 kV, ονομαστικής έντασης 630 A, με ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος 16 KA. Ο διακόπτης ισχύος ελέγχεται από ηλεκτρονόμο (H/N) υπερφορτίσεως, υπερεντάσεως και γης.

Ο εξοπλισμός του συγκροτήματος πινάκων περιλαμβάνει επίσης μονοπολικά ακροκιβώτια για τις συνδέσεις των καλωδίων στους πίνακες καθώς και τον βοηθητικό εξοπλισμό όπως μετασχηματιστές τάσης και έντασης, διάφορες μετρητικές διατάξεις, όργανα ένδειξης πίνακα, λυχνίες ένδειξης, μπουτόν κλπ.

Από το ζυγό του πάρκου, ο οποίος συνήθως βρίσκεται μέσα στο συγκρότημα πινάκων του κέντρου Ελέγχου, οδεύει ένα υπόγειο καλώδιο, με αγωγούς χαλκού, κατάλληλης διατομής μέχρι το κέντρο ελέγχου ως το σημείο των στύλων ανύψωσης της γραμμής και από εκεί εναέρια με μία απλή γραμμή Μ.Τ. μέχρι την άφιξη των γραμμών διασύνδεσης στον υποσταθμό 150/20 kV.

Ο χώρος του κέντρου ελέγχου από όπου θα αναχωρεί η εναέρια γραμμή Μ.Τ. πρέπει να είναι κατάλληλα προφυλαγμένος σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές.

Επίσης προβλέπεται πίνακα; τροφοδοσίας Μετασχηματιστή υποβιβασμού 20/0,4 kV, κατάλληλης ονομαστικής ισχύος και τύπου ελαίου, ο οποίος χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων του Κέντρου Ελέγχου του Α/Π. Ο πίνακας διαθέτει Διακόπτη Φορτίου και ασφάλειες Μ.Τ. ονομαστικής έντασης της τάξεώς των 6 A. Από την πλευρά της Χ.Τ. υπάρχει επίσης Διακόπτης Φορτίου και ασφάλειες Χ.Τ. για την προστασία των καταναλωτών χαμηλής τάσης καθώς και για την απομόνωση του μετασχηματιστή.

Εντός του κτιρίου του Κέντρου Ελέγχου του Αιολικού Πάρκου και σε ειδικό χώρο τοποθετείται ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει το συγκρότημα πινάκων Μ.Τ., τα Μ/Σ τροφοδοσίας των βοηθητικών καταναλώσεων, μονάδα UPS, πίνακες Χ.Τ. .

Το συγκρότημα πινάκων Μ.Τ. του κέντρου ελέγχου του Α/Π αποτελείται από τους παρακάτω πίνακες:

- Πίνακες άφιξης καλωδίων Μ.Τ. των γραμμών σύνδεσης των Α/Γ. Κάθε πίνακας θα περιλαμβάνει και τον αντίστοιχο διακοπτικό εξοπλισμό (αυτόματος διακόπτης ισχύος, αποζεύκτης, γειωτής).
- Πίνακας αναχώρησης καλωδίων Μ.Τ. προς ΔΕΗ. Ο πίνακας περιλαμβάνει τον αντίστοιχο διακοπτικό εξοπλισμό (αυτόματος διακόπτης ισχύος, αποζεύκτης, γειωτής) και απαγωγέα υπερτάσεων κατάλληλης εντάσεως προδιαγραφών ΔΕΗ.
- Πίνακας μετρητικών οργάνων. Ο πίνακας περιλαμβάνει ψηφιακά βολτόμετρα και αμπερόμετρα.
- Πίνακας Βοηθητικών καταναλώσεων. Ο πίνακας αυτός τροφοδοτεί Μ/Σ χαμηλών απωλειών, για την εξυπηρέτηση των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων (τροφοδοσία UPS, μετατροπέων, φωτιστικών σωμάτων, πρίζες για τις γενικές ανάγκες των τεχνικών, ηλεκτρολογική εγκατάσταση χώρου προσωπικού κτλ.).

Σημειώνεται ότι οι πίνακες Μ.Τ. πληρούν προδιαγραφές ΔΕΗ.

Εκτός από τους πίνακες Μ.Τ. ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός του κέντρου ελέγχου οφείλει να περιλαμβάνει:

- Μονάδα UPS για την τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων (π.χ. μονάδα Η/Υ, φώτα ασφαλείας, κλπ).

- Πίνακες Χ.Τ. υπηρεσιών κτιρίου (για την ηλεκτρική τροφοδότηση των εγκαταστάσεων κλιματισμού, πυρασφάλειας, συναγερμού, φωτισμού, ρευματοδοτών κλπ).

Σύστημα συλλογής μετρήσεων και δίκτυο επικοινωνιών

Στο αιολικό πάρκο εγκαθίσταται πλήρες Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων (SCADA-supervisory control and data acquisition), το οποίο περιλαμβάνει κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτυπωτή, modem, interface κλπ., περιφερειακά και περιφερειακές μονάδες με επεξεργαστή (HTP) σε κάθε ανεμογεννήτρια και στον μετεωρολογικό ιστό του Α/Π και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων. Το σύστημα SCADA αποτελείται από τα εξής 3 επί μέρους τμήματα:

- Κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι συνήθως εγκατεστημένος στο Κέντρο Ελέγχου τού αιολικού πάρκου.
- Περιφερειακές μονάδες με μικροεπεξεργαστή ο οποίος εγκαθίσταται σε κάθε ανεμογεννήτρια και σε κάθε μετεωρολογικό ιστό για τον έλεγχο των βασικών λειτουργιών τους καθώς επίσης και για την συλλογή και αποστολή (μετάδοση) των μετρήσεων προς κεντρική μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Ειδικό λογισμικό με την βοήθεια του οποίου γίνεται δυνατός ο έλεγχος επί αρκετών λειτουργιών της κάθε Α/Γ όπως π.χ. θέση εντός και θέση εκτός (START-STOP), reset, προγραμματισμός διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας των ανεμογεννητριών κλπ. Επιπλέον γίνεται σε συνεχή ροή η αποθήκευση και αρχειοθέτηση των τιμών των περισσοτέρων παραμέτρων της κάθε ανεμογεννήτριας στον σκληρό δίσκο ηλεκτρονικού υπολογιστή που καταγράφονται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου από αντίστοιχα όργανα μέτρησης εγκατεστημένα στο μετεωρολογικό ιστό του Αιολικού Πάρκου.

Η μετάδοση των πληροφοριών των διαφόρων παραμέτρων των ανεμογεννητριών, καθώς επίσης στοιχείων για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου από τους μετεωρολογικούς ιστούς του αιολικού πάρκου, γίνεται μέσω του υπογείου δικτύου επικοινωνιών του αιολικού πάρκου το οποίο αποτελείται από καλώδια τηλεφωνικού τύπου με συνεστραμμένα ζεύγη (UTP). Για κάθε ομάδα ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται συνήθως ένα καλώδιο δυναμικότητας 4 ζευγών.

Επικοινωνία με το κέντρο κατανομής φορτίου

Το Α/Π πρέπει να έχει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με το Κέντρο Κατανομής Φορτίου. Για το σκοπό αυτό εγκαθίσταται κατάλληλο Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου, με το οποίο αποστέλλονται Κ(σε 24ωρη βάση), ενδείξεις, σημάνσεις και αναλογικά λειτουργικά μεγέθη του Α/Π προς το ΚΚΦ. Συγκεκριμένα, εγκαθίστανται περιφερειακές Μονάδες (RTUs = REMOTE TERMINAL UNITS), φερέσυχα και τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός. Το Α/Π πρέπει να έχει την ικανότητα να δέχεται εντολές από το ΚΚΦ οι οποίες καταγράφονται στους κεντρικούς υπολογιστές του για την παρακολούθηση της λειτουργίας του Α/Π. Από το Α/Π αποστέλλονται συνήθως οι εξής πληροφορίες:

- Στιγμιαία αποδιδόμενη ενεργός ισχύς του Α/Π (MW).
- Στιγμιαία απορροφούμενη άεργος ισχύς του Α/Π (MY Ah).
- Τάση στο ζυγό Μ.Τ. του Α/Π (kW).

- Μέγιστη ικανότητα παραγωγής ισχύος (MW) που μπορεί να αποδώσει το Α/Π βάσει των επικρατουσών "συνθηκών και της τεχνικής καταστάσεως του.
- Κατάσταση διακοπτών ισχύος και αποζευκτών 20 kV του Α/Π.

5.6 Προδιαγραφές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου

Για την επιλογή του ενεργειακού εξοπλισμού, λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες του τόπου εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες θα λειτουργήσει (ανεμολογικά στοιχεία, γεωγραφική θέση, πρόσβαση στην περιοχή, ηλεκτρικό δίκτυο, κτλ.).

Πίνακες 20 kV Υ/Σ Αιολικού Πάρκου

Γενικά χαρακτηριστικά

Η εν λόγω προδιαγραφή αφορά πίνακα εσωτερικού χώρου, που αποτελείται από βιομηχανοποιημένες, κυψέλες μεταλλοενδεδυμένες, κατάλληλες για αυτοστήρικτη επίτοιχη τοποθέτηση.

Ο πίνακας είναι κατάλληλος για σύνδεση με το τριφασικό δίκτυο 20 kV, της ΔΕΗ με ισχύ βραχυκύκλωσης συνήθως 250 MVA στα 20 kV.

- Διακοπτικό μέσο κυψελών: αέριο SF6 ή κενό ή αέρας.
- Μονωτικό μέσο ζυγών: συνήθως αέρας.
- Βαθμός προστασίας: IP2XO.

Γενικά όλες οι εργασίες για τους χειρισμούς και την εγκατάσταση γίνονται από την μπροστινή πλευρά των κυψελών.

Στην πρόσοψη τους συνήθως υπάρχει ισχυρό διαφανές κάλυμμα για την ορατή επαλήθευση της θέσης των κύριων επαφών των διακοπτών φορτίου ή των αποζευκτών. Εναλλακτικά είναι αποδεκτό αξιόπιστο μιμικό διάγραμμα στην πρόσοψη που αποδίδει πιστά την κατάσταση των διακοπτών φορτίου ή των αποζευκτών (θέση ΑΝΟΙΧΤΟΣ " ή θέση ΚΛΕΙΣΤΟΣ" ή θέση "ΓΕΙΩΜΕΝΟΣ"). Οι κυψέλες θα πρέπει να περιλαμβάνουν εξοπλισμό σταθερού τύπου.

Γενικές απαίτησης αρχικά με τον σχεδιασμό και την κατασκευή του πίνακα

Είναι επιθυμητό οι κυψέλες που απαρτίζουν τον πίνακα του υποσταθμού του πάρκου να πληρούν τα παρακάτω κριτήρια:

- Ευκολία στην εγκατάσταση.
- Απλοί και εύκολοι χειρισμοί λειτουργίας.
- Συνεπτυγμένες κατά τον δυνατόν διαστάσεις.
- Ανάγκη για ελάχιστη συντήρηση.
- Δυνατότητα για μελλοντική επέκταση.

Κατασκευή του πίνακα

Ο πίνακας απαρτίζεται από χωριστές, βιομηχανοποιημένες κυψέλες που περιλαμβάνουν διακόπτες φορτίου και αποζεύκτες στηριγμένους σε οριζόντια θέση, ενώ οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος είναι στηριγμένοι κάθετα.

Δύο διαδοχικές κυψέλες πρέπει να έχουν μεταλλικό χώρισμα που διατρέχει όλο το ύψος των κυψελών πλην των ζυγών. Το περίβλημα κάθε κυψέλης κατασκευάζεται συνήθως από λαμαρίνα πάχους 2 χιλ. και χρησιμοποιείται εποξειδική βαφή και το πάχος της βαφής είναι τουλάχιστον 50 χιλ. από κάθε πλευρά. Οι κυψέλες σχεδιάζονται για έδραση σε δάπεδο από τσιμέντο, απευθείας ή επάνω σε βάθρα μεταλλικά. Η πρόσβαση στο εσωτερικό κάθε κυψέλης είναι δυνατή ή μέσω πόρτας με δύο (2) ισχυρούς μεντεσέδες ή με μπροστινό κάλυμμα μηχανικά μανδαλωμένου με τον γειωτή της αντίστοιχης κυψέλης. Ος ελάχιστα αποδεκτό πλάτος κάθε κυψέλης είναι τα 500 χιλιοστά.

Γείωση μεταλλικών μερών

Τα μεταλλικά μέρη κάθε κυψέλης καταλήγουν σε ζυγό γείωσης από χαλκό. Η διατομή του χαλκού θα είναι τέτοια που θα αντέχει το ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEO 129.

Γείωση του κυκλώματος ισχύος

Γείωση των καλωδίων ισχύος γίνεται, όπου εφαρμόζεται, με γειωτή που είναι επιθυμητό να έχει αντίστοιχη ικανότητα ζεύξης ζ στο βραχυκύκλωμα κατά IEO 129. Ο χειρισμός του γειωτή αυτού είναι μηχανικά μανδαλωμένος με τον διακόπτη φορτίου ή τον αποζεύκτη, Δηλαδή ο χειρισμός του γειωτή πρέπει είναι δυνατός μόνο όταν ο αντίστοιχος διακόπτης φορτίου ή αποζεύκτης είναι στη θέση «ΑΝΟΙΧΤΟΣ». Η λειτουργία του γειωτή είναι εξαρτημένη χειροκίνητη.

Διακόπτες φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου είναι κατάλληλοι για ζεύξη-απόζευξη ρευμάτων μέχρι το ονομαστικό τους ρεύμα. Επίσης μπορούν να κάνουν ζεύξη σε βραχυκυκλώματα (making capacity). Οι διακόπτες φορτίου μπορούν να φέρουν και ασφάλειες μέσης τάσης (ασφαλειοδιακόπτες φορτίου) και γειωτή. Η επιλογή τους γίνεται με βάση:

1. Το ονομαστικό τους ρεύμα (π. χ. 400 A ή 630 A).
2. Την ονομαστική τάση (π.χ. 20/24 kV).
3. Ικανότητα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα (making capacity) (π.χ. 40 kA).
4. Αντοχή για 1 580 (π.χ. 16 kA).

Ο διακόπτης φορτίου με αέρα ως μονωτικό μέσο πρέπει να έχει στιβαρότητα, ευκολία και ακρίβεια χειρισμών και ελάχιστη συντήρηση.

Ο διακόπτης φορτίου με αέριο που είναι συνήθως SF6 ή κενό θα βρίσκεται σε κλειστό ερμητικά κέλυφος, και το SF6 ή το κενό θα είναι χαμηλής σχετικής πίεσης για τριάντα (30) χρόνια κανονικής λειτουργίας, χωρίς ανάγκη για συντήρηση και επαναπλήρωση αερίου SF6 ή αντίστοιχη αποκατάσταση του κενού. Η μηχανική αντοχή θα περιλαμβάνει τουλάχιστον 1000 χειρισμούς. Ο χειρισμός του διακόπτη φορτίου γίνεται ανεξάρτητα χειροκίνητα, με χειριστήριο που επεμβαίνει στο μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη φορτίου στη πρόσοψη της αντίστοιχης κυψέλης. Είναι επιθυμητό τα χειριστήρια των διακοπών φορτίου να είναι το ίδιο και για τους αποζεύκτες και τους γειωτές του πίνακα Υποσταθμού.

Πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα προσθήκης τυποποιημένων μανδαλώσεων με κλειδιά και λουκέτα, για λειτουργικές αλληλομανδαλώσεις.

Αυτόματοι διακόπτες ισχύος

Η επιλογή τους · γίνεται με βάση τις προδιαγραφές που θέτουμε, οι κυριότερες των οποίων είναι:

1. Ονομαστική τάση (π.χ. 24 kV).
2. Ονομαστικό ρεύμα (π.χ. 630 A).
3. Ονομαστικό ρεύμα απόζευξης σε βραχυκύκλωμα (π.χ. 20 kA).
4. Τρόπος λειτουργίας (χειροκίνητος ή με ηλεκτρικό κινητήρα).
5. Τρόπος ενεργοποίησης (τοπικά ή με τηλεχειρισμό). Για την λειτουργία με τηλεχειρισμό απαιτούνται βοηθητικές συσκευές για άμεση ή έμμεση ζεύξη /απόζευξη.

Ο Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος (Α.Δ.Ι), συνήθως είναι αερίου 3P6, όπου ο κάθε πόλος θα είναι ερμητικά κλεισμένος οι κέλυφος από εποξειδική χυτορυτίνη για τριάντα (30) χρόνια κανονικής λειτουργίας, χωρίς ανάγκη για επαναπλήρωση αερίου και με ελάχιστη ανάγκη για συντήρηση.

Η μηχανική και ηλεκτρική αντοχή είναι τουλάχιστον 10.000 χειρισμοί. Ο μηχανισμός λειτουργίας του Α.Δ.Ι θα περιλαμβάνει:

- Μπουτάν για άνοιγμα και κλείσιμο του Α.Δ.Ι.
- Κινητήρα οπλισμού του ελατηρίου.
- Μηχανικές ενδείξεις "ΑΝΟΙΧΤΟΣ-ΚΛΕΙΣΤΟΣ".
- Ένδειξη για την μηχανική κατάσταση του ελατηρίου οπλισμού.
- Δυνατότητα για ανεξάρτητα χειροκίνητο οπλισμό του ελατηρίου οπλισμού, με την χρήση κατάλληλου χειριστηρίου στην πρόσοψη Α.Δ.Ι.

Ο Α.Δ.Ι είναι μηχανικά μανδαλωμένος (με ή χωρίς κλειδιά) με τον αντίστοιχο αποζεύκτη της κυψέλης.

Αποζεύκτες

Οι αποζεύκτες προσφέρουν μια οπτική αναγνώριση της απόζευξης του δικτύου. Μπορούν να χειριστούν μεγάλα ρεύματα μόνο όταν δεν υπάρχει διαφορά τάσης π.χ. μεταξύ δύο ζυγών που λειτουργούν παράλληλα. Συνήθως οι αποζεύκτες συνοδεύονται από γειωτές σε κοινό πλαίσιο και αποτελούν μια αυτοτελή κατασκευή.

Ο αποζεύκτης επιλέγεται με βάση:

1. Την ονομαστική τάση π.χ. 20/24 kV.
2. το ονομαστικό ρεύμα π.χ. 400 A ή 630 A.
3. Την αντοχή σε ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Τέλος οι αποζεύκτες μπορούν να λειτουργήσουν είτε χειροκίνητα είτε με κινητήρα.

Ασφάλειες Μέσης Τάσης

Οι ασφάλειες μέσης τάσης χρειάζονται προστατεύουν σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Σε περίπτωση ενεργοποίησης της ασφάλειας υπάρχει μηχανική ή ηλεκτρική ένδειξη μέσω βοηθητικού διακόπτη. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ενεργοποίησης του μηχανισμού απόζευξης του ασφαλειοδιακόπτη φορτίου που φέρει την ασφάλεια. Οι ασφάλειες λόγω του τρόπου κατασκευής τους έχουν την ικανότητα να μειώσουν το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Όταν χρησιμοποιούνται για προστασία του μετασχηματιστή, η επιλογή τους γίνεται με βάση την τάση λειτουργίας και την ισχύ του μετασχηματιστή.

Κύριοι ζυγοί

Οι κύριοι ζυγοί διατρέχουν στο πάνω μέρος των κυψελών και αποτελούνται συνήθως από ηλεκτρολυτικό χαλκό. Είναι επιθυμητό να υπάρχει μονωτικό πλαστικό για την κάλυψη των ζυγών από υλικό επιβραδυντικό της φλόγας (PVO). Είθισται οι ζυγοί είναι απομονωμένοι σε ξεχωριστό χώρο, χωρίς την δυνατότητα εύκολης πρόσβασης.

Συνδέσεις καλωδίων ισχύος

Προβλέπεται η σύνδεση καλωδίων ισχύος ξηρού τύπου με πλαστική μόνωση (XLPE) στο κάτω μέρος των αντίστοιχων κυψελών, έως 240 mm².

Η μηχανική μανδάλωση (χωρίς κλειδιά) εξασφαλίζει πρόσβαση στο χώρο συνθέσεις των καλωδίων ισχύος μόνο στη περίπτωση που ο αντίστοιχος γειωτής της κυψέλης είναι κλειστός (θέση ON).

Διαμέρισμα Χ.Τ.

Σε κάθε κυψέλη, όπου είναι εφαρμόσιμο, πρέπει να υπάρχει διαμέρισμα Χ.Τ στο επάνω μέρος. Πρέπει περιέχει τα διάφορα υλικά Χ.Τ. απαραίτητα για την λειτουργία κινητήρων οπλισμού ελατηρίου και λοιπού βοηθητικού εξοπλισμού, των προστασιών κ.λ.π. σύμφωνα με τα αντίστοιχα σχέδια. Γενικά αναφορικά με τα βοηθητικά ρελέ γίνεται πρόβλεψη για μελλοντική προσθήκη νέων υλικών κατά 1 0%.

Μετασχηματιστές Εντάσεως

Συνήθως κατασκευάζονται από εποξειδική χυτορητίνη και έχουν πινακίδα με τα κύρια χαρακτηριστικά:

- Τύπος, κατασκευή και δοκιμές κατά ιεε 165.
- Χαρακτηριστικό συνεχές θερμικό ρεύμα: 1,2 φορές το ρεύμα πρωτεύοντος.
- Για τύλιγμα μέτρησης θα αντιστοιχεί ισχύς εξόδου 15 VA και για τύλιγμα προστασίας 7,5 VA.
- Συντελεστής ασφάλειας οργάνων (Fs): < 10.
- Απαίτηση σε μερικές εκκενώσεις : 50 ρε.

Μετασχηματιστές Τάσεως

Οι μετασχηματιστές τάσεως κατασκευάζονται συνήθως από εποξειδική χυτορητίνη και έχουν πινακίδα με τα κύρια χαρακτηριστικά.

- Τύπος, κατασκευή και δοκιμές κατά IEC 166.
- Χαρακτηριστική συντελεστής τάσης 1,2.
- Κλάση ακριβείας 0,5.
- Απαίτηση σε μερικές εκκενώσεις : 50 ρε.

Απαιτήσεις για τα κυκλώματα Χ.Τ.

Οφείλουν να πληρούν τους όρους της παραγράφου 5.4 του κανονισμού IEC 296. Τα καλώδια Χ.Τ. είναι αυτοσβεννημένου τύπου, με στάθμη μόνωσης τα 1000 V.

Κάθε άκρη καλωδίου πρέπει να έχει σήμανση , σε πλήρη αντιστοιχία με τα τριγραμμικά σχέδια για εύκολη επιβεβαίωση σε περίπτωση συντήρησης ή εκτέλεσης άλλων εργασιών.

Η σήμανση αποτελείται από συνδυασμό πλαστικών δακτυλίων ή από θερμοσυστελόμενο πλαστικό κατάλληλου μήκους.

Όλα τα ενδεικτικά όργανα, τα βοηθητικά ρελέ και οι ηλεκτρονόμοι (H/N) προστασίας περιλαμβάνονται στο διαμέρισμα Χ.Τ.

Δοκιμές σειράς

Στην βιομηχανική εγκατάσταση του προμηθευτή, όπου γίνεται η παραγωγή του εξοπλισμού, γίνονται παρουσία του πελάτη οι παρακάτω δοκιμές σειράς, σύμφωνα με IEC 298:

- Διηλεκτρικές δοκιμές 50 kV/15 MIN και 2 KV/15 MIN.
- Μέτρηση αντίστασης του κύριου κυκλώματος.
- Μηχανικές δοκιμές λειτουργίας.
- Δοκιμές στα όργανα Χ.Τ. και τους Η/Ν προστασίας.
- Λειτουργικές δοκιμές στα κυκλώματα Χ.Τ., κατ' αντιστοιχία με τα τριγραμμικά σχέδια.

Σχετική γραπτή ειδοποίηση για την αναγγελία δοκιμών σειράς γίνεται στον Μηχανικό σύμφωνα με τους όρους της Γενικής Συγγραφής Υποχρεώσεων.

Δοκιμές Τύπου

Εφόσον υπάρχουν τα σχετικά πιστοποιητικά διαθέσιμα από ανεξάρτητο εγκεκριμένο εργαστήριο δεν απαιτείται η εκτέλεση των αντίστοιχων δοκιμών τύπου κατά IEC 298 και IEC 694.

Σε διαφορετική περίπτωση οι δοκιμές τύπου πιθανόν να ζητηθεί να γίνουν σε αναγνωρισμένο εργαστήριο με έξοδα του Εργολάβου και παρουσία εκπροσώπου του Εργοδότη.

Η/Ν Προστασίας

Οι Η/Ν είναι συνήθως ψηφιακού τύπου και υπάρχει η πρόβλεψη για τηλεμετάδοση των δεδομένων τους σε κεντρικό Σύστημα Ελέγχου.

Σε περίπτωση απομάκρυνσης του Η/Ν από την θέση του Επιβάλλεται να γίνεται άμεση μηχανική βραχυκύκλωση των δευτερευόντων των Μ/Σ έντασης.

Οι Η/Ν περιλαμβάνουν σύστημα εσωτερικού αυτοελέγχου και παρέχουν προστασία από ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή κατά JEC 601.

Συνήθως υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερα ρελέ εξόδων με δυνατότητα προγραμματισμού της λειτουργίας τους σε συνάρτηση με συγκεκριμένη προστασία.

Στην πρόσοψη του Η/Ν συνήθως υπάρχουν ενδεικτικές λυχνίες καλής λειτουργίας του Η/Ν, παρουσίας βοηθητικής τάσης και μπουτόν επαναφοράς.

Σε εμφανές σημείο του Η/Ν θα υπάρχει η σήμανση "CE". Είναι επιθυμητό ο Η/Ν να έχει αυτονομία τροφοδοσίας κατά την διακοπή της βοηθητικής τάσης, τουλάχιστον για την υλοποίηση μιας εντολής TRIP από τον Η/Ν ελλείψεως τάσεως.

Γενική περιγραφή πινάκων

Οι πίνακες των προδιαγραφών είναι πίνακες που έχουν σαν κύριο διηλεκτρικό μεταξύ των υπό τάση τμημάτων τον ατμοσφαιρικό αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση. Οι πίνακες πρέπει να έχουν τις παρακάτω μέγιστες διαστάσεις.

- α) Πλάτος προσόψεως 1100 χιλιοστά.
- β) Ύψος συγκροτήματος 2300 χιλιοστά.
- γ) Βάθος συγκροτήματος 2150 χιλιοστά.

Η όλη εγκατάσταση οφείλει να εξασφαλίζει την άνετη λειτουργικότητα των πινάκων και λόγους συντηρήσεως και εκμεταλλεύσεως.

Οι πίνακες περιλαμβάνουν τριπολικές μπάρες χαλκού τουλάχιστον 630 A και εξασφαλίζονται οι παρακάτω αλληλομανδαλώσεις:

- Μεταξύ διακόπτη φορτίου ή αποζεύκτη, γειωτή και πόρτας ή μπροστινού καλύμματος.
- Μεταξύ Α.Δ.Ι. , αποζεύκτη, γειωτή και πόρτας ή μπροστινού καλύμματος.

Μετασχηματιστές Διολικού Πάρκου

Κανονισμοί

Οι μετασχηματιστές και τα επιμέρους στοιχεία τους κατασκευάζονται και συναρμολογούνται σύμφωνα με τις υποδείξεις της προδιαγραφής αυτής και των Διεθνών Προτύπων IEC 76.

Η προδιαγραφή αυτή βασίζεται κυρίως στα παραπάνω Διεθνή Πρότυπα. Σε σημεία που δεν καλύπτονται από τα πρότυπα αυτά η προδιαγραφή βασίζεται σε άλλα Πρότυπα, τα οποία αναφέρονται στο κείμενο.

Σε περίπτωση ασυμφωνίας οι απαιτήσεις της προδιαγραφής αυτής υπερισχύουν.

Περιγραφή

Απαιτήσεις κατασκευής

Οι μετασχηματιστές πρέπει να είναι τέτοιας κατασκευής ώστε να υπάρχει εναλλαξιμότητα εξαρτημάτων και μερών τους. Δεν επιτρέπεται οποιαδήποτε αλλαγή στην κατασκευή των Μ/Σ κατά την εκτέλεση της συμβάσεως, χωρίς προηγούμενη έγκριση του εργοδότη.

Η κατασκευή των μετασχηματιστών οφείλει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η εύκολη μεταφορά τους, προκειμένου κατά την άφιξη τους στα εργοτάξια να μπορούν να τεθούν αμέσως σε μόνιμη λειτουργία χωρίς να απαιτηθεί προηγουμένως καμία εργασία συναρμολογήσεως.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι μετασχηματιστές πρέπει να έχουν τα χαρακτηριστικά που προδιαγράφονται στην παρούσα Προδιαγραφή. Τα μεγέθη αυτά θα αποτελούν τη βάση της εγγυήσεως του κατασκευαστή για ότι αφορά τη λειτουργία των Μ/Σ:

- Φάσεις: 3.
- Τρόπος Ψύξης: ONAN.
- Ονομαστικής ισχύς: 1000 KV A.
- Μέγιστη υπερύψωση θερμοκρασίας:
 - Λαδιού (μετρούμενη με θερμομόετρο στο ανώτερο στρώμα του): 60°C.
 - Τυλιγμάτων (μετρούμενη με την μέθοδο της μεταβολής της αντίστασης): 65°C.
- Ζεύξη (συνδεσμολογία) - φασική απόκλιση: Dyn 11.
- Τάση βραχυκυκλώσεως (στους 75°C): 4% ελάχιστη, 6% μέγιστη.

Προστασία μετασχηματιστή

Οι μετασχηματιστές συνήθως είναι εφοδιασμένοι με τικτά ή διακόπτες στην πλευρά Μ.Τ. Το ασφαλιστικό αυτό σύστημα είναι ικανό να προστατεύσει τον μετασχηματιστή από τα σφάλματα μέσα στον μετασχηματιστή και στα καλώδια Χ.Τ. Δυνατότητες αποσύνδεσης και τερματικά καλωδίου Μ.Τ.

Διατάξεις διαχωριζόμενου συνδέσμου ή θερμοσυστελλόμενα ή συνθετικά βύσματα που είναι αποδεκτά από την ΔΕΗ. Στην παράδοση περιλαμβάνονται και όλα τα απαραίτητα στηρίγματα ή εξαρτήματα που εξασφαλίζουν ότι τα καλώδια Μ.Τ. στηρίζονται ικανοποιητικά είτε είναι συνδεδεμένα ή αποσυνδεδεμένα.

Είναι φρόνιμο να υπάρχει διάταξη που την γειώνει κάθε εισερχομένου καλωδίου Μ.Τ. Επίσης είναι δυνατόν να συνδέονται εξοπλισμός δοκιμών σε κάθε εισερχόμενο καλώδιο Μ.Τ. και στον Μετασχηματιστή.

Τα δοχεία των μετασχηματιστών πρέπει να μπορούν να κυλίνουν και θα έχουν τους κατάλληλους για αυτό κρίκους. Οι μετασχηματιστές πρέπει να έχουν δοχείο διαστολής. Ο όγκος και η θέση του δοχείου διαστολής πρέπει να είναι τέτοια ώστε η στάθμη του λαδιού στους 20 °C να είναι υψηλότερη κατά 3 εκατοστά τουλάχιστον από την βαλβίδα εξαερώσεως των μονωτήρων διελεύσεως Μ.Τ. και στους 100°C να μην παρατηρείται υπερχειλίση από το δοχείο διαστολής.

Εξαρτήματα Μετασχηματιστή

- Μεταγωγέας.
- Ηλεκτρονόμο προστασίας BUCHOLZ με δύο επαφές.
- Λουκέτα μεταγωγέων, με πανομοιότυπα κλειδιά για όλους τους μετασχηματιστές.
- Στόμιο και πώμα πλήρωσης του Μ/Σ που βρίσκεται πάνω στο δοχείο διαστολής.
- Κρουνό εκκενώσεως με σύστημα διηθήσεως και δειγματοληψίας.
- Ενδεικτικές πινακίδες.
- Κρίκους ανάρτησης και κύλισης.
- Βάση κατάλληλη για κύλιση.
- Δείκτη στάθμης λαδιού.
- Θερμόμετρο τύπου πίνακα (DIAL. TYPE) με κλίμακα 0 °C έως 120 °C και διάμετρο τουλάχιστον 10 εκατοστά με μέγιστο δείκτη για την μέτρηση της θερμοκρασίας του λαδιού.

Λοιπά στοιχεία

Στην Μ.Τ. οι μετασχηματιστές συνήθως είναι εφοδιασμένοι με ειδικά βύσματα στα οποία συνδέονται τα καλώδια Μ.Τ. για την τροφοδότηση τους. Το λάδι των Μ/Σ ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της προδιαγραφής BS 148. Οι μονωτήρες διελεύσεως Χ.Τ. του Μ/Σ πρέπει να είναι κατασκευασμένοι συνήθως από πορσελάνη άριστης ποιότητας και να έχουν εφυάλωση χρώματος καφέ.

Ο Μετασχηματιστής πρέπει είναι εφοδιασμένος με τις ακόλουθες ενδεικτικές πινακίδες κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα.

- Πινακίδα χαρακτηριστικών μετασχηματιστή.
- Πινακίδα ασφαλείας μεταγωγέα.
- Πινακίδα χειρισμού μεταγωγέα.
- Επισήμανση των φάσεων στην βάση των μονωτήρων.

Δοκιμές

Γενικά

Γίνονται όλες οι δοκιμές σειράς που προβλέπονται στα Διεθνή Πρότυπα IEO 76. Επίσης σε όλους τους μετασχηματιστές σαν δοκιμή σειράς, γίνεται η κρουστική δοκιμή. Η δοκιμή αυτή που γίνεται σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα IEO 76 περιλαμβάνει και δοκιμή με αποκομμένο κύμα. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της κρουστικής δοκιμής, ο κάθε μετασχηματιστής υποβάλλεται δύο φορές στις δοκιμές επαγόμενης και εφαρμοζόμενης τάσης βιομηχανικής συχνότητας, όπως καθορίζονται στις δοκιμές σειράς, μία φορά πριν και μία φορά μετά την κρουστική δοκιμή. Αν ο μετασχηματιστής δεν αντέξει επιτυχώς τις δοκιμές αυτές, θεωρείται ότι η δοκιμή σε κρουστική τάση απέτυχε.

Δοκιμή ανύψωσης της θερμοκρασίας γίνεται σε έναν μετασχηματιστή, σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα IEO 76. Πριν την εκτέλεση της δοκιμής αυτής, ο μεταγωγέας του μετασχηματιστή θα υποστεί 200 πλήρεις κύκλους μεταγωγής.

Δοκιμή δυναμικής αντοχής σε βραχυκύκλωμα γίνεται σε ένα μετασχηματιστή εφ' όσον δεν υπάρχουν πιστοποιητικά για όμοιο μετασχηματιστή, από αναγνωρισμένο εργαστήριο.

Δοκιμές σε βύσματα Μ.Τ. και μονωτήρες Χ.Τ. γίνονται εκτός εάν υπάρχουν πιστοποιητικά δοκιμών σε ταυτόσημα υλικά.

Μελέτη, Σχέδια, Οδηγίες Συντηρήσεως

Ο κατασκευαστής πριν από την έναρξη της πρώτης τμηματικής παραδόσεως οφείλει να υποβάλει στον Εργοδότη σε 3 φωτοαντίγραφα τα ακόλουθα:

- Διαγράμματα συνδεσμολογίας και διανυσματικά διαγράμματα τάσεων και τυλιγμάτων.
- Κατασκευαστικά σχέδια των τυλιγμάτων Μ.Τ. και Χ.Τ. στα οποία να αναγράφονται οι διαστάσεις των πηνίων, οι διατομές των χρησιμοποιημένων αγωγών, το βάρος τους, ο αριθμός των σπειρών, το είδος και οι διαστάσεις των μονωτικών υλικών και η ποιότητα τους.
- Σχέδια των μεταγωγέων και μεταλλακτών καθώς και των χειριστηρίων τους με τα εξαρτήματα τους.

Όλα αυτά τα σχέδια είναι στην τελική τους μορφή και να φέρουν υπογραφή του κατασκευαστή. Οδηγίες συντηρήσεως και λειτουργίας των Μ/Σ παραδίδονται σε 5 αντίγραφα.

Καλώδια ισχύος

Καλώδια 12/20 kV

Μονοπολικά καλώδια με χάλκινους αγωγούς.

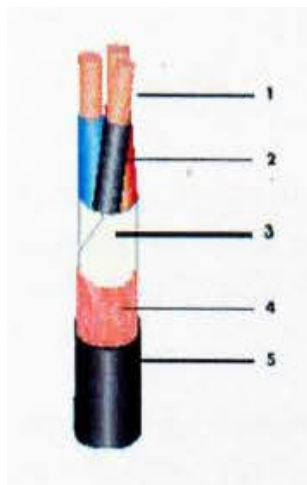
Τύπος καλωδίου : Συνήθως N2XS(Y) (XLPE).

Ονομαστική τάση: 12/20 kV.

Προδιαγραφή κατασκευής : IEC 502.

Οι αγωγοί είναι πολύκλωνοι στρογγυλοί. Υπάρχει εσωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE πάνω από τους αγωγούς. Μετά ακολουθεί στρώμα μόνωσης με XLPE και νέο στρώμα εξωτερικό με ημιαγώγιμο XLPE. Κατόπιν υπάρχει ηλεκτρική θωράκιση από

σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς και συγκροτούμενα από χάλκινη ταινία. Πριν τον εξωτερικό μανδύα PVC υπάρχει πλαστική ταινία.



Εικόνα 17. Καλώδιο ισχύος.

Καλώδια 0.6/1 Kv

A. Καλώδια PVC

Καλώδια ισχύος με μόνωση και μανδύα από PVC.

Τύπος καλωδίου: J I VV-R (πολύκλωνός στρογγυλός αγωγός).

Ονομαστική τάση: 600/1000 V.

Προδιαγραφή : IEC 502. ΕΛΟΤ 843.

Ο κάθε αγωγός περιβάλλεται από μόνωση με PVC. Πριν τον εξωτερικό μανδύα από PVC υπάρχει εσωτερική επικάλυψη. Για καλώδιο $1 \times 500 \text{MM}^2$ η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση στο έδαφος να είναι περίπου 800A.

B. Καλώδιο XLPE

Καλώδια ισχύος με μόνωση XLPE και μανδύα από PVC.

Τύπος καλωδίου: XLPE/PVC.

Ονομαστική τάση: 600/1000 V.

Προδιαγραφή: IEC 502.

Ο κάθε αγωγός περιβάλλεται από μόνωση με XLPE εφ' όσον ζητηθεί μπορεί να υπάρχει και οπλισμός πριν τον εξωτερικό μανδύα από PVC. Για καλώδιο $1 \times 500 \text{MM}^2$ η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση στο έδαφος να είναι περίπου 850A.

5.7 Κτιριακές εγκαταστάσεις κέντρου ελέγχου αιολικού πάρκου

Το κεντρικό κτήριο (ελέγχου) είναι συνήθως μικρό και ανεγείρεται σε στρατηγική θέση του αιολικού πάρκου. Στο κτήριο αυτό βρίσκονται το σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων του αιολικού πάρκου, χώροι αποθήκευσης των απαραίτητων εργαλείων, αναλώσιμων και ανταλλακτικών και να παρέχει τις απαραίτητες διευκολύνσεις για την παραμονή των τεχνικών συντήρησης και λειτουργίας.

Το κτήριο είναι κατάλληλα διαχωρισμένο για να ανταποκρίνεται στους κανονισμούς καθώς και στις λειτουργικές απαιτήσεις του αιολικού πάρκου και περιλαμβάνει τους εξής ανεξάρτητους χώρους:

- Χώρος πινάκων μέσης τάσης.
- Χώρος επισκευών.
- Γραφείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, όπου θα εγκατασταθεί και ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής του συστήματος SCADA.
- Αποθήκη για εργαλεία, ανταλλακτικά και αναλώσιμα, τα οποία είναι απαραίτητα για την λειτουργία του αιολικού πάρκου.
- W.C. και αποδυτήρια.

Ο χώρος που εγκαθίσταται ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής του συστήματος SCADA του αιολικού πάρκου πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη κατά το δυνατόν οπτική επισκόπηση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου και ο χώρος να έχει προς τούτο αρκετή επιφάνεια υαλοπινάκων. Η παροχή νερού γίνεται συνήθως με την βοήθεια δεξαμενής νερού και η αποχέτευση με την κατασκευή κατάλληλου σηπτικού βόθρου.

Στο χώρο του κτιρίου υπάρχουν :

- Πεδία άφιξης καλωδίων ΜΤ. (20 kV) της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών.
- Πεδία αναχώρησης καλωδίων Μ.Τ. (20 kV) της κάθε ομάδος προς τον Υ/Σ 20/150Kv.
- Πεδία πινάκων Μ.Τ. του Αιολικού Πάρκου.
- Υποσταθμός Μ.Τ./Χ.Τ. με μετασχηματιστή τύπου λαδιού 50 KVA, 20 kV/400 V χαμηλών απωλειών, για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων (για την ηλεκτρική τροφοδότηση των εγκαταστάσεων κλιματισμού, πυρασφάλειας/πυρόσβεσης/πυρανίχνευσης, συναγερμού, φωτισμού και ρευματοδοτών, θερμοσίφωνα, την τροφοδοσία του συστήματος UPS, φωτιστικών σωμάτων κλπ).
- Μονάδα UPS για την τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων (π.χ. μονάδα ΗΝ, σύστημα SCADA, φώτα ασφαλείας κλπ).
- Πίνακας Χ.Τ. υπηρεσιών κτιρίου.

Στον οικίσκο του κέντρου ελέγχου του αιολικού πάρκου εγκαθίσταται σύστημα κλιματισμού, για τις ανάγκες της απρόσκοπτης λειτουργίας του εξοπλισμού του κεντρικού ηλεκτρονικού υπολογιστή του συστήματος SCADA καθώς και για βελτίωση των συνθηκών εργασίας του τεχνικού προσωπικού. Το σύστημα κλιματισμού συνήθως είναι διαιρούμενου τύπου (split system) με τοπικές μονάδες για κάθε κύριο χώρο. Η τροφοδοσία του συστήματος κλιματισμού παρέχεται από τον Γενικό Πίνακα Χ.Τ. του κτιρίου (ο οποίος όπως αναφέρθηκε προηγουμένα θα τροφοδοτείται δια μέσου μετασχηματιστή των βοηθητικών κυκλωμάτων).

Επιπλέον, στο κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου εγκαθίστανται:

- Σύστημα πυρασφαλείας / πυρόσβεσης / πυρανίχνευσης. Το σύστημα μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής για να παρέχει και αυτόματη ειδοποίηση της τοπικής Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.
- Σύστημα συναγερμού σε όλους τους χώρους του κτιρίου για την έγκαιρη προειδοποίηση του προσωπικού.

5.8 Ανέγερση ανεμογεννητριών

Για την ανέγερση των ανεμογεννητριών απαιτούνται τα ακόλουθα ανυψωτικά μηχανήματα:



Εικόνα 18. Γερανός 300 τόνων.



Εικόνα 19. Βοηθητικός γερανός Ανύψωση ατράκτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης Αιολικών Πάρκων. Τα Αιολικά Πάρκα όπως και κάθε είδους επιχειρηματική δραστηριότητα έχουν ως άμεσο σκοπό το κέρδος. Για να πραγματοποιηθεί η κατασκευή ενός τόσο πολύπλοκου και πολυδάπανου έργου αρχικά θα πρέπει να εκδηλωθεί το ενδιαφέρον επενδυτών ώστε να υπάρχει το απαιτούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια ανατίθεται σε ειδικούς μηχανικούς η εύρεση του κατάλληλου χώρου ο οποίος θα πρέπει να πλήρη τις προϋποθέσεις εκείνες που θα εξασφαλίσουν το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος με όσος το δυνατό μικρότερο κόστος.

Η δημιουργία ενός Α/Π χρίζει ιδιαίτερης προσοχής η διεξαγωγή των απαραίτητων μελετών. Η μεγαλύτερη δυσκολία συναντάτε στην εύρεση του κατάλληλου χώρου κατασκευής του πάρκου. Ο χώρος αυτός πρέπει να είναι της τάξης των 300 m² και άνω, να έχει εύκολη πρόσβαση, να βρίσκεται κοντά σε δίκτυο της ΔΕΗ, να μην παρουσιάζει προβλήματα οπτικής, ακουστικής και ηλεκτρομαγνητικής όχλησης, να είναι σχετικά μακριά από οικισμούς να έχει χαμηλό κόστος και κυρίως να παρουσιάζει υψηλό αιολικό δυναμικό. Επίσης, η έκδοση της άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας του πάρκου απαιτεί πολύ χρόνο αφού στη διαδικασία αυτή εμπλέκονται πολλοί δημόσιοι φορείς (Υπουργείο Ανάπτυξης, Πολεοδομία, Πολεμική Αεροπορία, Εφορία, Δημοτικές Αρχές, Υπουργείο Γεωργίας, Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΔΕΣΜΗΕ, ΚΑΠΕ).

Η κατασκευή Αιολικών Πάρκων εκτός από μια επικερδή επιχείρηση είναι και μια σημαντική λύση στο ενεργειακό πρόβλημα της Ελλάδος στην οποία οι κλιματολογικές συνθήκες έχουν μείνει ανεκμετάλλευτες σε σχέση με τα άλλα Ευρωπαϊκά κράτη. Ακόμα η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον, πράγμα που αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την περαιτέρω αξιοποίησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

- [1] Cowgill R., Fouts J., Wind Turbine Rotor Design-Final Design Report, 2000.
- [2] Correia P.F., Ferreira de Jesus J. M., Simulation of correlated wind speed and power variates in wind parks, Lisbon, 2012.
- [3] Holttinen H., A Multi-Turbine Power Curve Approach, RISO National Laboratory, Denmark, 2014.
- [4] Lundberg S., Wind Farm Configuration and Energy Efficiency Studies- Series DC versus AC Layouts, Sweden, 2006.
- [5] Albadi M.H., El-Saadany E.F., Overview of wind power intermittency impacts on power systems, Dept of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Canada, 2014.
- [6] Politis S., Karga I., Wind Farm Layout Optimization and Annual Energy Production study, Athens, 2008.
- [7] Μπινόπουλος Ε., Χαβιαρόπουλος Π., Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων: ‘Μύθος και πραγματικότητα’, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
- [8] Μπεργελές Γ., Ανεμοκινητήρες, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα, 1995.

Διαδίκτυο:

- [9] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
<http://www.cres.gr/>
- [10] Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤ ΑΕΝ)
<http://www.eletaen.gr>
- [11] European Wind Energy Association (EWEA)
<http://www.ewea.org/>
- [12] Global Wind Energy Council (GWEC)
<http://www.gwec.net>
- [13] Wind Turbines and Windfarms Database .
http://www.thewindpower.net/index_en.php
- [14] Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)
<http://www.wasp.dk/ondex.htm>
- [15] Εταιρία ανεμογεννητριών
www.vestas.com