



**ΤΕΙ Κρήτης**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ»**

**ΑΓΡΙΟΓΙΑΝΝΗΣ – ΤΣΑΦΑΡΑΣ ΗΛΙΑΣ**

**A.M. 4692**

**ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ : ΚΟΝΤΑΞΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2018**



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	1
Abstract	3
Ευχαριστίες	5
Κεφάλαιο 1	
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Έλεγχος εξοπλισμού	7
1.2.1 Ανεμόμετρο (ταχύτητα ανέμου)	7
1.2.2 Κατεύθυνση ανέμου	13
1.2.3 Θερμοκρασία αέρα	13
1.2.4 Σύστημα συλλογής δεδομένων	13
1.2.5 Τροφοδοσίες ισχύος	13
1.2.6 Πύργοι και υλικά στήριξης αισθητήρων	14
1.2.7 Γείωση και αντικεραυνική προστασία	15
1.3 Προδιαγραφές διαδικασίας μετρήσεων	17
1.3.1 Αρχική επίσκεψη και τοποθέτηση συστήματος μέτρησης ανέμου	
1.3.2 Προετοιμασία για μετρήσεις δυναμικού ανέμου	24
1.3.3 Εγκατάσταση εξοπλισμού μετρήσεων ανέμου	24
1.3.4 Θέση σε λειτουργία (commissioning)	31
1.3.5 Συντήρηση και βαθμονόμηση ανεμομέτρου	32
1.4 Έλεγχοι λειτουργίας σταθμού	34
1.4.1 Επιθεωρήσεις της εγκατάστασης	35
1.4.2 Διαδικασίες λειτουργίας και συντήρησης	35
1.4.3 Λειτουργικοί έλεγχοι εξοπλισμού	37

1.5 Συλλογή δεδομένων και επεξεργασία	38
1.5.1 Συλλογή δεδομένων	38
1.5.2 Μετάδοση, προστασία και αποθήκευση δεδομένων	40
1.5.3 Αξιολόγηση δεδομένων μετρήσεων ανέμου	41
1.5.4 Απόρριψη δεδομένων	49
1.5.5 Αβεβαιότητα	49
1.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων βαθμονόμησης πεδίου	49
<b>Κεφάλαιο 2</b>	
2.1 Περιγραφή λογισμικού WINDROSE	51
2.2 Παρουσίαση-ανάλυση αποτελεσμάτων	51
<b>Κεφάλαιο 3</b>	
3.1 Επιλογή τοποθεσίας δοκιμής	75
3.2 Απαιτήσεις σχετικά με την γειτνίαση για την λειτουργία της ανεμογεννήτριας	78
3.3 Απαιτήσεις σχετικά με τα εμπόδια	81
3.4 Διαδικασία βαθμονόμησης θέσης (site calibration procedure)	83
3.5 Ρύθμιση της δοκιμής βαθμονόμησης θέσης	83
3.6 Ανάκτηση και ανάλυση δεδομένων	84
3.7 Επιλογή του τελικού τομέα μέτρησης	85
3.8 Επαλήθευση των αποτελεσμάτων	86
3.9 Εξαιρούμενοι και μη εξαιρούμενοι τομείς	86



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή τη πτυχιακή εργασία γίνεται παρουσίαση διαδικασιών βαθμονόμησης ανοιχτού πεδίου μετρήσεων ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου. Η παρουσίαση αυτή βασίζεται σε μετρήσεις που εφαρμόστηκαν σε μια ανεμογεννήτρια κατά την περίοδο 3/3/2011 έως 9/8/2016.

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στον έλεγχο του εξοπλισμού, όπου αναφέρονται τα όργανα και οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για τη σωστή συλλογή των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις. Στο τέλος, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων βαθμονόμησης του πεδίου.

Ακολούθως, στο κεφάλαιο 2, γίνεται περιγραφή του λογισμικού Windrose, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος, στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στη διαδικασία βαθμονόμησης θέσης-τοποθεσίας (site calibration), όπου αναφέρονται κάποιες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται για την ορθή εκτέλεση των μετρήσεων. Ακόμα, αναφέρονται οι εξαιρούμενοι και μη εξαιρούμενοι τομείς.



## **ABSTRACT**

In this dissertation we present open-field site calibration procedures for wind's speed and direction. This presentation is based on measurements applied to a wind turbine during the period 3/3/2011 to 9/8/2016.

More specifically, Chapter 1 refers to equipment testing, which mentions the instruments and procedures to be followed for the proper collection of measurement results. Finally, the site calibration results are presented.

Then, Chapter 2 describes the Windrose software, which was used in this thesis, and analyzes the results. Finally, chapter 3 refers to the site calibration process, which mentions some requirements that need to be met for the correct execution of the measurements. In addition, the excluded and non-excluded sectors are mentioned.





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον Δρ. Κωνσταντίνο Κονταξάκη, για την κατανόησή του και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου αυτή την διπλωματική εργασία, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη συγγραφή της. Επιπροσθέτως, αξίζει ένα μεγάλο ευχαριστώ στο προσωπικό του αιολικού εργαστηρίου, το οποίο σε όλη της διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας, συνέβαλε με το δικό του τρόπο να γίνει πιο γρήγορα η συγγραφή. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους και την οικογένειά μου, που σε όλη αυτή τη διάρκεια που γινόταν η συγγραφή της εργασίας, ο καθένας με την κατανόησή και τη ενθάρρυνση του προς τα εμένα, έβαλε το δικό του λιθαράκι για να βγει αυτό το αποτέλεσμα.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μετρήσεις αιολικού δυναμικού αφορούν κυρίως στην ταχύτητα ανέμου, την κατεύθυνση ανέμου και τη θερμοκρασία αέρα (επίβλεψη για περίοδο έξι ή δώδεκα μηνών). Το πρότυπο IEC 61400-12-1:2005(E) σχετικά με τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού εφαρμόζεται τόσο για σύνδεση σε δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος όσο και σε περίπτωση χρήσης συσσωρευτών.

Παράμετροι προς μέτρηση	Υψόμετρα επίβλεψης
Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	10m, 20m, 40m, 60m, 80m
Διεύθυνση Ανέμου (μοίρες)	8.5m, 18.5m, 38.5m, 58.5m, 78.5m
Θερμοκρασία (°C)	4m

Εικόνα 1: Βασικές Μετρήσεις Αιολικού Δυναμικού

## 1.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

### 1.2.1 Ανεμόμετρο (Ταχύτητα ανέμου)

Οι μετρήσεις ταχύτητας ανέμου πρέπει να πραγματοποιούνται με κυπελλοφόρο ανεμόμετρο (cup anemometer) που εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις του Παραρτήματος I του προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E). Βασικές παράμετροι επίδρασης των κυπελλοφόρων ανεμομέτρων είναι η τύρβη, η θερμοκρασία αέρα, η πυκνότητα αέρα και η γωνία κλίσης μέσης ροής. Η κατηγοριοποίηση καθορίζεται από τον αριθμό κλάσης και τον τύπο της κλάσης πχ 1,7A για αριθμό κλάσης 1,7 και τύπο κλάσης A. Το πρότυπο παρουσιάζει τρεις κλάσεις ανεμομέτρων (Κλάση A, Κλάση B και Κλάση S). Ο αριθμός κλάσης k ορίζεται ως η μέγιστη απόκλιση απόκρισης ανεμομέτρου (από την είσοδο οριζόντιας ταχύτητας ανέμου) στο εύρος ταχύτητας ανέμου σύμφωνα με τον τύπο:

$$w_i = 5m/s + 0,5 \cdot U_i$$
$$k = 100 \cdot \max |e_i / w_i|$$

όπου  $\epsilon_i$  η απόκλιση για κάθε ομάδα (bin) ταχύτητας ανέμου και  $w_i$  συνάρτηση βαρύτητας.

Η κλάση A συσχετίζεται με εδάφη που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Β του προτύπου, ενώ η κλάση Β με εδάφη που δεν τις ικανοποιούν. Τα εύρη των παραμέτρων επίδρασης για τις δύο αυτές κλάσεις (για μέσους όρους 10 λεπτών) παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα:

	Κλάση Α Εδάφη που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Β		Κλάση Β Εδάφη που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Β	
	Min	Max	Min	Max
Εύρος ταχύτητας ανέμου [m/s]	4	16	4	16
Ένταση τύρβης	0,03	0,12 + 0,48/V	0,03	0,12 + 0,96/V
Δομή της τύρβης $\sigma_u/\sigma_v/\sigma_w$	1/0,8/0,5 (μη ισοτροπική τύρβη)		1/1/1 (ισοτροπική τύρβη)	
Θερμοκρασία αέρα (°C)	0	40	-10	40
Πυκνότητα αέρα (kg/m <sup>3</sup> )	0,9	1,35	0,9	1,35
Γωνία κλίσης μέσης ροής (°)	-3	3	-15	15

**Εικόνα 2: Κλάσεις ανεμομέτρων και εύρη παραμέτρων**

Σε περιπτώσεις όπου το έδαφος δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Β του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E), προτείνεται επίσης η χρήση μίας κλάσης από τον Πίνακα 4.7 του RISO National Laboratory (RISO-R-1556/2006).

Η κλάση S συσχετίζεται με καθορισμένη ακρίβεια (που θέτει και τα εύρη των παραμέτρων επίδρασης), με εύρη που δεν καλύπτονται από τις κλάσεις Α και Β ή και με περιπτώσεις όπου τα εύρη εξακριβώνονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων απόδοσης ισχύος. Πριν τη χρήση ενός ανεμομέτρου προτείνεται να ελεγχθεί η γεωμετρία του ως προς την περιγραφή τύπου που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση. Σημειώνεται ότι, η προς μέτρηση ταχύτητα του ανέμου ορίζεται ως το μέτρο της οριζόντιας συνιστώσας του διανύσματος της στιγμιαίας ταχύτητας, περιλαμβάνοντας μόνο τη διαμήκη και εγκάρσια συνιστώσα της τύρβης.

Θα πρέπει να λάβει χώρα έλεγχος για την ύπαρξη κατάλληλης στήριξης (ευθυγράμμιση οργάνου) καθώς και επιθεώρηση του ανεμομέτρου για παραμόρφωση του κυπέλλου.

Το ανεμόμετρο θα πρέπει να διακριβωθεί και να επιβεβαιωθεί ότι διατηρεί τη διακρίβωσή του κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης. Η διακρίβωση του ανεμομέτρου θα πρέπει να

πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τη διαδικασία του Παραρτήματος F του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E). Συγκεκριμένα, οι γενικές απαιτήσεις για τη βαθμονόμηση ανεμομέτρου είναι:

- Όλοι οι μετατροπείς (transducers) και ο εξοπλισμός μέτρησης πρέπει να έχουν ιχνηλάσιμη βαθμονόμηση (πιστοποιητικά και αναφορές).
- Οι χρησιμοποιούμενοι σωλήνες Pitot πρέπει να είναι βαθμονομημένοι για κατάλληλα εύρη ταχύτητας ανέμου
- Πριν από κάθε κύκλο βαθμονόμησης πρέπει να εξακριβώνεται η ακεραιότητα της πειραματικής διάταξης μέσω σύγκρισης με “ανεμόμετρο αναφοράς”
- Διεξαγωγή μέτρησης ποιότητας ροής
- Εξακρίβωση της επαναληψιμότητας της βαθμονόμησης
- Η βαθμονόμηση του ανεμομέτρου θα πρέπει να συνοδεύεται από μία διεξοδική αξιολόγηση της βαθμονόμησης
- Υπολογισμός αβεβαιότητας, σύμφωνα με τις οδηγίες ISO.

Η αεροδυναμική σήραγγα θα πρέπει να είναι κατάλληλα εξοπλισμένη, ενώ η παρουσία του ανεμομέτρου δε θα πρέπει να επηρεάζει το πεδίο ροής. Ο λόγος του εμβαδού μετωπικής επιφάνειας (συμπεριλαμβανομένου του συστήματος στήριξης) προς το συνολικό εμβαδόν διατομής δε θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0,1 για ανοιχτή διατομή ελέγχου και 0,05 για κλειστή διατομή ελέγχου. Η ροή στη διατομή που καλύπτει το ανεμόμετρο πρέπει να είναι ομοιόμορφη με μέγιστη διαφορά της ταχύτητας μεταξύ δύο σημείων ίση με 0,2% (μέτρηση με σωλήνες Pitot, ταχύμετρα λέιζερ και Doppler σε διαμήκη, εγκάρσια και κάθετη κατεύθυνση). Οι μελέτες αυτές πραγματοποιούνται μια φορά για κάθε σήραγγα και επαναλαμβάνονται σε κάθε τροποποίηση των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών της σήραγγας.

Τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε οριζόντιους διατμητικούς ανέμους (horizontal wind gradients). Ο οριζόντιος διατμητικός άνεμος μπορεί να ελεγχθεί με δύο ίδιους σωλήνες Pitot τοποθετημένους ακριβώς στη θέση που θα τοποθετηθεί το ανεμόμετρο και τις κεφαλές τους να καλύπτουν την περιοχή σάρωσης των περιστρεφόμενων κυπέλλων. Πραγματοποιείται σειρά μετρήσεων και υπολογίζεται η

γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των δυναμικών πιέσεων που μετρήθηκαν από τους δύο σωλήνες. Η διαφορά θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,2 %. Η ένταση αξονικής τύρβης στη θέση του ανεμομέτρου θα πρέπει να είναι μικρότερη από 2 %. Ο συντελεστής βαθμονόμησης της αεροδυναμικής σήραγγας (που δίνει τη σχέση μεταξύ των συνθηκών στη θέση αναφοράς και στη θέση του ανεμομέτρου) πρέπει να εκτιμηθεί με χρήση των σωλήνων Pitot. Η εξέταση επαναληψιμότητας περιλαμβάνει τουλάχιστον 5 βαθμονομήσεις του ανεμομέτρου αναφοράς (υπό διάφορες ατμοσφαιρικές συνθήκες). Η μέγιστη διαφορά μεταξύ των βαθμονομήσεων πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5% για ταχύτητα ανέμου 10 m/s. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να επαναληφθεί σε οποιαδήποτε τροποποίηση ή επαναβαθμονόμηση. Η μέση τιμή της βαθμονόμησης του ανεμομέτρου αναφοράς, όπως αυτή ορίστηκε προηγουμένως, θα πρέπει να συμφωνεί με τη μέση τιμή βαθμονομήσεων άλλων εγκαταστάσεων εντός του 1% για εύρος από 4 m/s έως 16 m/s.

Εξοπλισμός εξωτερικών σημάτων (όπως μετατροπείς συχνότητας σε τάση) θα πρέπει να βαθμονομούνται απομονωμένα ως προς από το ανεμόμετρο. Η ανάλυση του συστήματος συλλογής δεδομένων πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,02 m/s. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί και σε αναλογικά όργανα τάσης για να αποφευχθεί εξασθένιση του σήματος λόγω του εξοπλισμού καταγραφής. Κατά τη διακρίβωση, το ανεμόμετρο θα πρέπει να στηριχθεί σε σχηματισμό κατακόρυφου σωλήνα, ιδίων διαστάσεων με εκείνον που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δυναμικού του ανέμου. Η διάταξη στήριξης μπορεί να επηρεάσει ιδιαίτερα την ευαισθησία του οργάνου, ειδικά αν ο λόγος της διαμέτρου του σωλήνα προς τη διάμετρο του δρομέα έχει υψηλή τιμή. Σε περίπτωση εμφάνισης φαινομένων επίδρασης του κυρίου ανεμομέτρου στο σωλήνα Pitot (ή το ανεμόμετρο αναφοράς) και αντίστροφα, θα πρέπει να αλλάξει η θέση του ανεμομέτρου και στη συνέχεια και η θέση του σωλήνα Pitot. Προκειμένου να αφαιρεθεί η αβεβαιότητα, προτείνεται να επαναληφθεί η διαδικασία ορισμένες φορές. Οι σωλήνες Pitot πρέπει να τοποθετηθούν στη διατομή ελέγχου κάθετα στο πεδίο ροής της ανεμοσήραγγας με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια (μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση 1°). Αντίστοιχη πρέπει να είναι και η θέση εγκατάστασης του ανεμομέτρου. Τέλος, κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης θα πρέπει να εξεταστεί το σήμα εξόδου του ανεμομέτρου ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν υπόκειται σε παρεμβολές ή θόρυβο.

Το ανεμόμετρο θα πρέπει να λειτουργεί για περίπου 5 λεπτά προτού ξεκινήσει η διαδικασία βαθμονόμησης προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση μεγάλων θερμοκρασιακών μεταβολών στη μηχανική τριβή των εδράνων κύλισης του ανεμομέτρου. Η

βαθμονόμηση πρέπει να πραγματοποιηθεί τόσο για αύξουσες όσο και για φθίνουσες ταχύτητες ανέμου στο εύρος από 4m/s μέχρι 16 m/s με διάστημα 1m/s ή λιγότερο (καθορισμός περιπτώσεων εμφάνισης φαινομένων υστέρησης). Η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 Hz και το διάστημα δειγματοληψίας τουλάχιστον 30 s (ο χρόνος αυτός αυξάνεται για ανεμόμετρα χαμηλής ανάλυσης). Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι οι μετρήσεις ταχύτητας ανέμου ανεμομέτρου και αναφοράς εκτείνονται στην ίδια χρονική περίοδο.

Πριν ξεκινήσει η συλλογή δεδομένων σε κάθε ταχύτητα ανέμου, θα πρέπει να παρέλθει κατάλληλος χρόνος ώστε να επιτευχθούν σταθερές συνθήκες ροής (συνήθως απαιτείται 1 λεπτό αλλά το απαιτούμενο διάστημα μεταβάλλεται από εγκατάσταση σε εγκατάσταση). Θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί ευστάθεια αν οι μέσοι όροι δύο επιτυχημένων μετρήσεων 30 δευτερολέπτων διαφέρουν όχι περισσότερο από 0,05 m/s.

Η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου προέρχεται από τέσσερις πηγές όπως παρουσιάζει και ο ακόλουθος Πίνακας (Πίνακας D.1 του Παραρτήματος D του προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E)):

Μετρούμενη παράμετρος	Στοιχείο αβεβαιότητας	Κατηγορία αβεβαιότητας
Ηλεκτρική ισχύς	Μετασχηματιστές έντασης	B
	Μετασχηματιστές τάσης	B
	Μετατροπέας ισχύος και συσκευή μέτρησης ισχύος	B
	Σύστημα συλλογής δεδομένων	B
	Μεταβλητότητα ηλεκτρικής ισχύος	A
Ταχύτητα ανέμου	Βαθμονόμηση ανεμομέτρου	B
	Λειτουργικά χαρακτηριστικά	B
	Επίδραση στήριξης	B
	Σύστημα συλλογής δεδομένων	B
	Παραμόρφωση ροής λόγω εδάφους	B
Θερμοκρασία αέρα	Αισθητήρας θερμοκρασίας	B
	Προστασία έναντι ακτινοβολίας	B
	Επίδραση στήριξης	B
	Σύστημα συλλογής δεδομένων	B
Πίεση αέρα	Αισθητήρας πίεσης	B
	Επίδραση στήριξης	B
	Σύστημα συλλογής δεδομένων	B
Σύστημα συλλογής δεδομένων	Μετάδοση σήματος	B
	Ακρίβεια συστήματος	B
	Επεξεργασία σήματος	B

**Εικόνα 3: Μετρούμενες παράμετροι και αβεβαιότητα**



Η κατηγορία Α περιλαμβάνει αβεβαιότητες το μέγεθος των οποίων μπορεί να εξαχθεί από τις μετρήσεις ενώ η κατηγορία Β αναφέρεται σε αβεβαιότητες που υπολογίζονται με άλλους τρόπους. Συνοπτικά, οι βασικές αιτίες εισαγωγής αβεβαιότητας είναι:

- διακρίβωση οργάνου
- λειτουργικά χαρακτηριστικά ανεμομέτρου
- παραμόρφωση ροής λόγω στήριξης του οργάνου
- λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος συλλογής δεδομένων (data acquisition system)

Η αβεβαιότητα λόγω διακρίβωσης προκύπτει από το Παράρτημα F του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E). Συγκεκριμένα, η αβεβαιότητα λόγω διακρίβωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τα ακόλουθα:

- αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας ροής (σωλήνες Pitot, μετατροπείς, εκτίμηση πυκνότητας αέρα)

- μετρήσεις συχνότητας

- βαθμονόμηση ανεμοσήραγγας

- μεταβλητότητα ροής στην περιοχή γύρω από το ανεμόμετρο

Για κάθε παράγοντα που εισάγει αβεβαιότητα, υπολογίζεται η τιμή της αβεβαιότητας με την οποία συμμετέχει στη συνολική (γινόμενο αβεβαιότητας με συντελεστή ευαισθησίας όπως παρουσιάζει ο Πίνακας F.1 του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E)). Η συνδυασμένη αβεβαιότητα προκύπτει ως η μέση τετραγωνική τιμή (ενεργός τιμή-RMS) των τιμών συμμετέχουσας αβεβαιότητας (contributory uncertainty) κάθε παράγοντα.

Η αβεβαιότητα λόγω λειτουργικών χαρακτηριστικών μπορεί να εξαχθεί από το Παράρτημα I του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E). Η τυπική αβεβαιότητα λόγω λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός κυπελλοφόρου ανεμομέτρου υπολογίζεται βάσει της κατηγοριοποίησης των ανεμομέτρων από τον τύπο:  $u_{v2,i} = (0,05 m/s + 0,005 \cdot U_i) \cdot k / \sqrt{3}$

Η επίδραση της στήριξης στην αβεβαιότητα της μέτρησης προκύπτει από το Παράρτημα G του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E).

Τα ανεμόμετρα πρέπει να ελέγχονται ως προς τη διατήρηση της διακρίβωσής τους κάθε τρεις (3) μήνες.

Σε περίπτωση που τα ανεμόμετρα παρέχονται από τον πελάτη, θα πρέπει να συνοδεύονται από σχετικά έγγραφα διακρίβωσης εγκεκριμένα από εξουσιοδοτημένο οργανισμό διαπίστευσης.

#### 1.2.2 Κατεύθυνση ανέμου

Η κατεύθυνση του ανέμου μπορεί να μετρηθεί με έναν ανεμοδείκτη (wind vane), ο οποίος θα βρίσκεται σε βραχίονα (boom) στηριγμένο σε μετεωρολογικό ιστό (meteorological mast), όπως περιγράφεται στο Παράρτημα G του προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E). Όσον αφορά στη μέτρηση κατεύθυνσης ανέμου, η συνδυασμένη αβεβαιότητα λόγω διακρίβωσης, λειτουργίας και προσανατολισμού θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5°. Οι αισθητήρες κατεύθυνσης θα πρέπει να ελεγχθούν πριν την εγκατάσταση, ακολουθώντας τη διαδικασία O 1001.01 – Direction sensor testing procedure του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων (ΤΕΙ Κρήτης).

#### 1.2.3 Θερμοκρασία αέρα

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα θα πρέπει να στηριχθεί στα 4m πάνω από το επίπεδο του εδάφους.

#### 1.2.4 Σύστημα Συλλογής Δεδομένων

Η συλλογή των μετρήσεων και η αποθήκευση δεδομένων πριν την επεξεργασία, προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ψηφιακού συστήματος συλλογής δεδομένων που να διαθέτει ρυθμό δειγματοληψίας ανά κανάλι τουλάχιστον 1 Hz.

Η ακρίβεια του συστήματος δεδομένων (εκπομπή, κατάσταση σήματος και καταγραφή δεδομένων) θα πρέπει να εξακριβωθεί με εισαγωγή σημάτων στα άκρα του μετατροπέα και σύγκριση των εισόδων αυτών σε σχέση με τις καταγεγραμμένες τιμές. Η αβεβαιότητα του συστήματος καταγραφής δεδομένων θα πρέπει να είναι αμελητέα συγκρινόμενη με την αβεβαιότητα των αισθητήρων....

#### 1.2.5 Τροφοδοσίες ισχύος

Εκτός από την κύρια πηγή ισχύος θα πρέπει να περιλαμβάνεται και εφεδρική (backup) πηγή ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα απώλειας δεδομένων λόγω απώλειας ισχύος.

Οι πιθανές τροφοδοσίες ισχύος παρουσιάζονται ακολούθως:

### **α. AC ισχύς**

Η ισχύς AC (μέσω μετασχηματιστή ισχύος) θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως άμεση πηγή ισχύος του συστήματος μόνο σε περίπτωση όπου είναι διαθέσιμοι εφεδρικοί συσσωρευτές. Θα πρέπει να εγκατασταθεί συσκευή καταστολής υπερτάσεων (surge/spike) ώστε να προστατευθεί το σύστημα από ηλεκτρικά μεταβατικά φαινόμενα. Επιπρόσθετα, θα πρέπει και τα δύο συστήματα να είναι κατάλληλα συνδεδεμένα σε κοινή γείωση.

### **β. Συσσωρευτές μολύβδου οξέος (Lead acid battery)**

Προτιμώμενη πηγή ισχύος αποτελεί ένας συστοιχία συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτισης, μολύβδου οξέος τύπου γέλης (gel) καθώς παρέχει επίσης μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με συσσωρευτές υγρού τύπου.

### **γ. Φόρτιση από φωτοβολταϊκό πάνελ**

Η επιλογή συσσωρευτών θα πρέπει να έχει γίνει έτσι ώστε η τελευταία να διαθέτει εφεδρική χωρητικότητα ικανή να τροφοδοτήσει τουλάχιστον για μία εβδομάδα ολόκληρο το σύστημα (χωρίς επαναφόρτιση). Θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το φωτοβολταϊκό πάνελ είναι προστατευμένο έναντι ανάστροφης φόρτισης μέσω διόδου που αποτρέπει την ροή ισχύος από τους συσσωρευτές κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιπρόσθετα, το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να διαθέτει ρυθμιστή φόρτισης ώστε να παρέχει τάση συμβατή με τους συσσωρευτές, καθώς και να αποφευχθεί η υπερφόρτιση. Σε υψηλούς πύργους (>30m) θα πρέπει να τοποθετηθεί φωτεινή σήμανση (top light).

## **1.2.6 Πύργοι και υλικά στήριξης αισθητήρων**

### **Πύργοι**

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πύργων στήριξης αισθητήρων: σωληνοειδής και δικτυωτός. Και για τους δύο τύπους είναι διαθέσιμες ανακλινόμενες (tilt-up), τηλεσκοπικές και σταθερές εκδοχές (με αντηρίδες ή αυτό-στηριζόμενες). Οι πύργοι πρέπει να:

- διαθέτουν ύψος ικανό να προσεγγίσει τη μέγιστη στάθμη μέτρησης
- αντέχουν τα μέγιστα φορτία ανέμου και πάγου ανάλογα με την τοποθεσία
- είναι στιβαροί κατασκευαστικά ώστε να ελαχιστοποιούνται οι κραδασμοί λόγω ανέμου

- διαθέτουν αντηρίδες με κατάλληλο τύπο αγκύρωσης, που θα αντιστοιχεί στον τύπο του εδάφους
- είναι εξοπλισμένοι με αντικεραυνική προστασία (βέργες, καλώδια κλπ)
- είναι ασφαλισμένοι έναντι βανδαλισμού και εισόδου μη εξουσιοδοτημένων ατόμων
- έχουν ευκρινώς σημειωμένα όλα τα στοιχεία που βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους προκειμένου να αποφευχθεί κίνδυνος σύγκρουσης
- είναι προστατευμένοι έναντι οξείδωσης από περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εμφανίζονται σε θαλάσσιο περιβάλλον
- είναι προστατευμένοι από ζώα πχ βοοειδή

### **Υλικά στήριξης αισθητήρων**

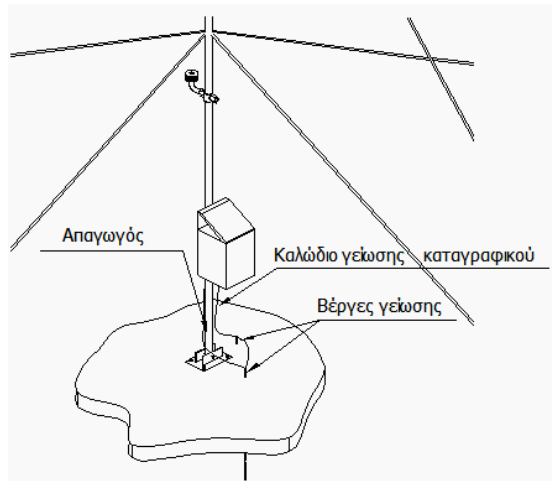
Περιλαμβάνουν τους ιστούς (κατακόρυφους) και τους βραχίονες στήριξης (οριζόντιους). Και οι δύο θα πρέπει να τοποθετούν τους αισθητήρες μακριά από τον πύργο στήριξης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί κάθε επίδραση του τελευταίου στις μετρούμενες παραμέτρους. Τα υλικά στήριξης αισθητήρων θα πρέπει να:

- αντέχουν τα μέγιστα φορτία ανέμου και πάγου ανάλογα με την τοποθεσία
- είναι στιβαρά κατασκευαστικά ώστε να ελαχιστοποιούνται οι κραδασμοί λόγω ανέμου
- είναι κατάλληλα προσανατολισμένα στον επικρατούντα άνεμο και ασφαλή
- είναι προστατευμένοι έναντι οξείδωσης από περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εμφανίζονται σε θαλάσσιο περιβάλλον
- μη φράζουν την οπή αποχέτευσης της θέσης εγκατάστασης των αισθητήρων.

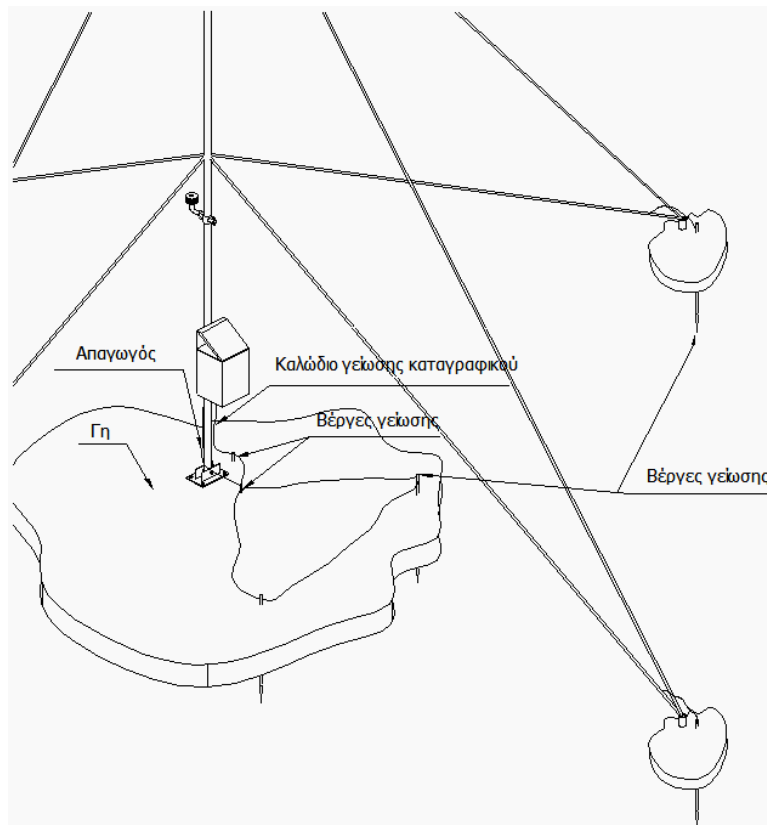
### 1.2.7 Γείωση και αντικεραυνική προστασία

Ο εξοπλισμός γείωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά καταγραφικά και αισθητήρες καθώς επηρεάζει την απρόσκοπτη συλλογή δεδομένων. Διαφορετικές περιοχές επίβλεψης διαθέτουν και διαφορετικές απαιτήσεις.

Όσον αφορά το αλεξικέραυνο θα πρέπει να ικανοποιείται η εξής συνθήκη: να τοποθετείται στην κορυφή με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει στα ανεμόμετρα που βρίσκονται στην κορυφή του ιστού μία ομπρέλα προστασίας 60°.



**Εικόνα 4: Γείωση ενός σημείου**



**Εικόνα 5: Γείωση πολλαπλών σημείων**

Το σύστημα γείωσης ενός σημείου, που παρουσιάζεται στο πρώτο σχήμα, είναι ο προτεινόμενος σχηματισμός, καθώς προσφέρει ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ανάπτυξης αντισταθμιστικής τάσης μετατόπισης (offset voltage) μέσω βρόχου. Στο εν λόγω

σύστημα, το καλώδιο του απαγωγού (διατομής  $\geq 25 \text{ mm}^2$ ) συνδέεται απευθείας στη γείωση, μέσω βέργας, δακτυλίου ή ελάσματος γείωσης (ή μέσω συνδυασμού αυτών). Ο σωλήνας και τα καλώδια μόνωσης του αισθητήρα είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα στην ίδια γείωση μέσω της κοινής μπάρας γείωσης του καταγραφικού.

#### **α. Γείωση καταγραφικών και αισθητήρων**

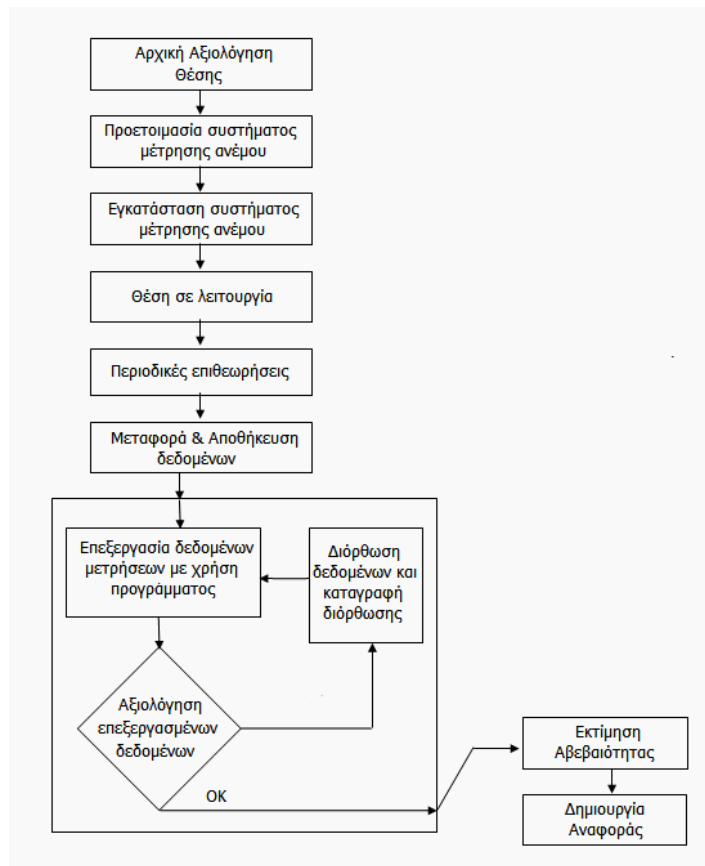
Συσκευές αντικεραυνικής προστασίας, όπως απαγωγοί με διάκενο σπινθήρα (spark gaps), και απαγωγοί από βαρίστορ οξειδίου μετάλλου (MOV) θα πρέπει να ενσωματωθούν στα ηλεκτρονικά του συστήματος καταγραφής για πρόσθετη γείωση.

#### **β. Γείωση πύργου**

Στον πύργο θα πρέπει να εγκατασταθεί επίσης εξοπλισμός αντικεραυνικής προστασίας και να συνδεθεί στην κοινή γείωση. Ένα παράδειγμα εξοπλισμού αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από ακίδα (air terminal) με γυμνό καλώδιο χαλκού (χωρίς μόνωση) διατομής  $\geq 10 \text{ mm}^2$  συνδεδεμένο στη γη με βέργα ή βρόχο όπως δείχνουν τα δύο ανωτέρω σχήματα.

### **1.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Η διαδικασία των μετρήσεων πρέπει να είναι καταγεγραμμένη, ώστε να μπορεί να επανεξεταστεί και εφόσον είναι απαραίτητο να επαναληφθεί. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης, τα δεδομένα θα πρέπει να ελέγχονται περιοδικά ώστε να διασφαλιστεί η υψηλή ποιότητα.



**Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας μετρήσεων**

### 1.3.1 Αρχική επίσκεψη και τοποθέτηση συστήματος μέτρησης ανέμου

Η αρχική επίσκεψη οδηγεί σε μία πρώτη εκτίμηση της τοποθέτησης της εγκατάστασης ανάλογα με τους σκοπούς της μέτρησης ανέμου. Καθορίζονται οι ακόλουθοι στόχοι:

- Χωροθέτηση (Micrositing)
- Εκτίμηση αιολικού δυναμικού
- Αξιολόγηση μετρήσεων
- Έρευνα

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την αρχική επίσκεψη θα πρέπει να επεξεργαστούν από πιστοποιημένο και ειδικευμένο πρόσωπο το οποίο θα καθορίσει κατάλληλη τοποθεσία για τον ιστό.

### **Τοποθεσία μέτρησης αιολικού δυναμικού**

Η τοποθεσία μέτρησης του δυναμικού του ανέμου θα πρέπει να εξεταστεί ως προς τις πηγές παραμόρφωσης της ροής με σκοπό να:

- επιλεγθεί η θέση του μετεωρολογικού ιστού
- εκτιμηθούν κατάλληλοι συντελεστές διόρθωσης παραμόρφωσης της ροής
- υπολογιστεί η αβεβαιότητα λόγω της παραμόρφωσης της ροής του ανέμου

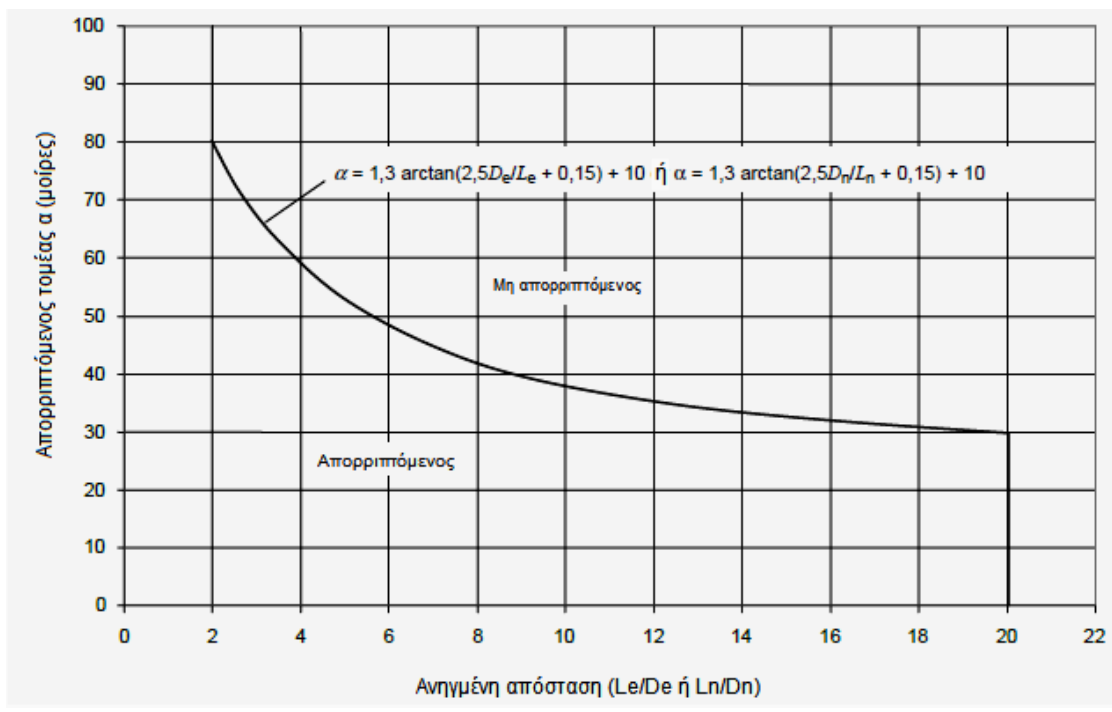
Παράδειγμα παραγόντων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι τοπογραφικές μεταβολές και τα εμπόδια (κτίρια, δέντρα, κλπ).

Ο μετεωρολογικός ιστός πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση 2 έως 4 φορές τη διάμετρο  $D$  του δρομέα (συστήνεται η τιμή 2,5) της ανεμογεννήτριας. Σε περίπτωση ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα, η διάμετρος  $D$  υπολογίζεται ισοδύναμα βάσει του τύπου:  $2\sqrt{A/\pi}$  (όπου  $A$  η επιφάνεια σάρωσης του δρομέα) ενώ η απόσταση καθορίζεται ως  $L+0,5D$  (όπου  $L$  η απόσταση μεταξύ του πυλώνα της γεννήτριας και του ιστού μίας ισοδύναμης ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα). Σύμφωνα με το Παράρτημα A του προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E), η ελάχιστη απόσταση της υπό έλεγχο ανεμογεννήτριας (και του μετεωρολογικού ιστού) από γειτονική ανεμογεννήτρια υπό λειτουργία είναι δύο φορές τη διάμετρο του δρομέα της γειτονικής ανεμογεννήτριας ή δύο φορές τη διάμετρο της υπό έλεγχο ανεμογεννήτριας (εφόσον είναι μεγαλύτερη). Κανένα σημαντικό εμπόδιο (κτίριο, δέντρα, ανεμογεννήτρια εκτός λειτουργίας) δεν πρέπει να βρίσκεται εντός του τομέα μέτρησης. Κριτήριο για να χαρακτηριστεί ένα εμπόδιο ως σημαντικό είναι η ροή να επηρεάζεται κατά 1% ή περισσότερο μεταξύ της θέσης του στροβίλου στο ύψος πλήμνης και του μετεωρολογικού ιστού (στο ίδιο ύψος) για οποιαδήποτε κατεύθυνση ανέμου. Σε περίπτωση ύπαρξης εμποδίου ή γειτονικής ανεμογεννήτριας υπό λειτουργία θα πρέπει να αφαιρεθεί ένα τμήμα από τον τομέα μέτρησης. Τα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζουν τον τρόπο υπολογισμού του τομέα που πρέπει να αφαιρεθεί καθώς και παράδειγμα υπολογισμών. Για τον υπολογισμό της ισοδύναμης διαμέτρου του εμποδίου  $D_e$  χρησιμοποιείται ο τύπος:

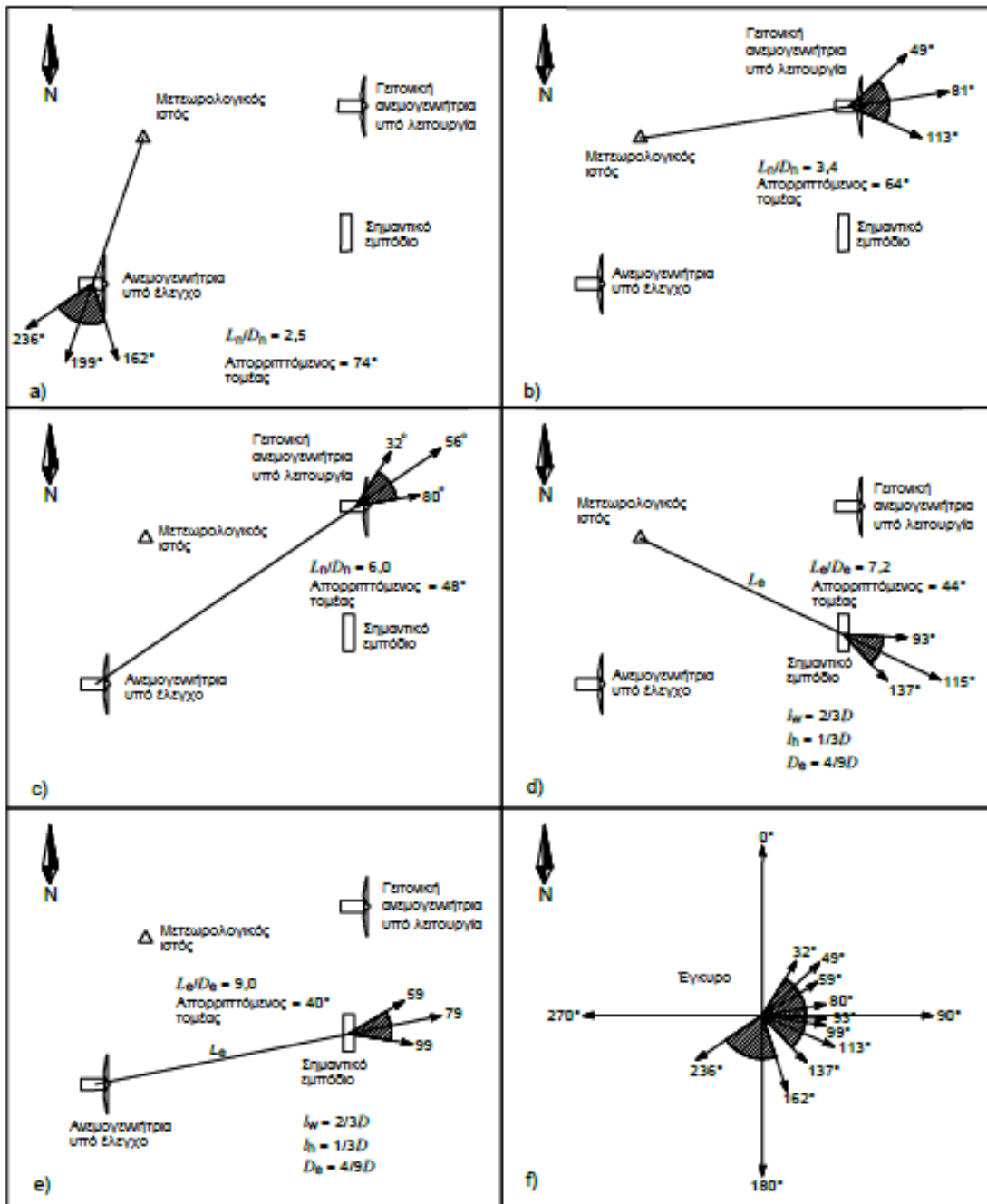


$$D_e = \frac{2l_h l_w}{l_h + l_w}$$

,όπου  $l_h$  το ύψος και  $l_w$  το πλάτος του εμποδίου.

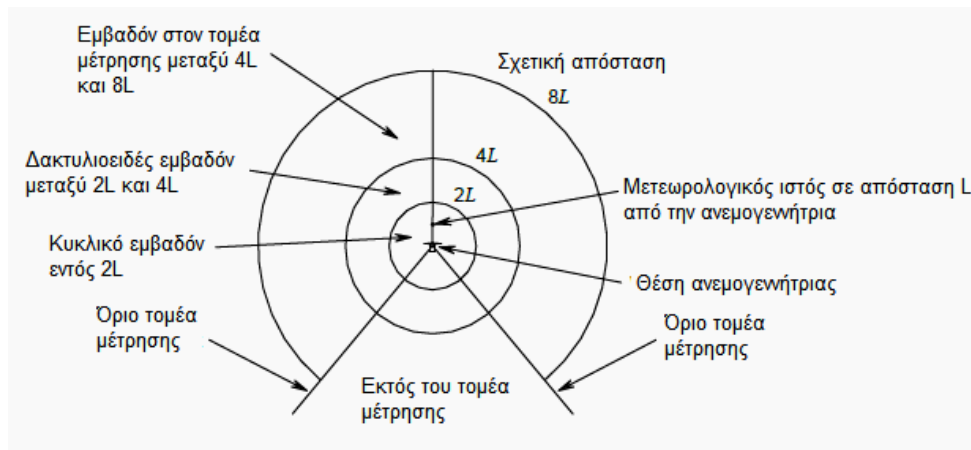


**Εικόνα 7: Απόρριψη τομέα πεδίου συναρτήσει ανηγμένης απόστασης**



Εικόνα 8: Παράδειγμα υπολογισμού έγκυρου τομέα μετρήσεων

Παραμόρφωση της ροής μπορεί να προκληθεί και λόγω τοπογραφικών μεταβολών. Το Παράρτημα Β του προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E) καθορίζει τις απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται ώστε να μη χρειάζεται βαθμονόμηση της θέσης εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, οι περιοχές ελέγχου και οι αντίστοιχες απαιτήσεις παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα:



Εικόνα 9: Περιοχές ελέγχου τοπογραφικών μεταβολών

Απόσταση	Τομέας	Μέγιστη κλίση %	Μέγιστη διαφοροποίηση εδάφους από το επίπεδο
$< 2 L$	360°	$< 3^*$	$< 0,04 (H+D)$
$\geq 2 L$ και $< 4 L$	Τομέας Μέτρησης	$< 5^*$	$< 0,08 (H+D)$
$\geq 2 L$ και $< 4 L$	Εκτός τομέα μέτρησης	$< 10^{**}$	Μη εφαρμόσιμο
$\geq 4 L$ και $< 8 L$	Τομέας Μέτρησης	$< 10^*$	$< 0,13(H+D)$

\* Η μέγιστη κλίση του επιπέδου, που εφαρμόζει καλύτερα στο έδαφος του τομέα και περνάει από τη βάση του πύργου  
 \*\* Η γραμμή της πιο απότομης κλίσης που συνδέει τη βάση του πύργου σε μεμονωμένα σημεία του εδάφους εντός του τομέα

Εικόνα 10: Απαιτήσεις περιοχών ελέγχου

Σημειώνεται ότι αν τα χαρακτηριστικά του εδάφους βρίσκονται εντός ενός επιπρόσθετου 50% των ορίων των μέγιστων κλίσεων που παρουσιάζει ο παραπάνω πίνακας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο ροής για τον καθορισμό της ανάγκης για βαθμονόμηση. Αν το μοντέλο ροής εμφανίσει διαφορά ταχύτητας ανέμου μεταξύ της θέσης του ανεμομέτρου και της πλήμνης του στροβίλου μικρότερη από 1% στα 10 m/s δεν απαιτείται βαθμονόμηση της θέσης εγκατάστασης.

Σε περιπτώσεις που δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες, ή είναι επιθυμητή μικρότερη αβεβαιότητα λόγω παραμόρφωσης της ροής, κρίνεται αναγκαία η βαθμονόμηση της εγκατάστασης. Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος ώστε να εξαχθεί πίνακας που θα περιλαμβάνει τους συντελεστές διόρθωσης της ταχύτητας του ανέμου για κάθε κατεύθυνση του τομέα μέτρησης. Επίσης, θα πρέπει να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα των εν λόγω συντελεστών διόρθωσης.

Πριν την εγκατάσταση ή μετά την απομάκρυνση υπάρχουσας ανεμογεννήτριας θα πρέπει να ανεγερθούν δύο μετεωρολογικοί ιστοί. Ο ένας ιστός λειτουργεί ως θέση αναφοράς (χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο απόδοσης ισχύος) ενώ ο δεύτερος ιστός βρίσκεται στη θέση της ανεμογεννήτριας. Ο έλεγχος απαιτεί δύο ανεμόμετρα, ένα ανεμοδείκτη και ένα σύστημα επεξεργασίας/καταγραφής δεδομένων. Το ανεμόμετρο αναφοράς και ο ανεμοδείκτης θα τοποθετηθούν στον ιστό που χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο απόδοσης ισχύος. Το δεύτερο ανεμόμετρο θα τοποθετηθεί σε προσωρινό ιστό όσο πιο κοντά στη θέση που πρόκειται να τοποθετηθεί (ή προϋπήρχε) η πλήμνη του στροβίλου. Το ανεμόμετρο αυτό πρέπει να είναι εντός του 2,5% του ύψους πλήμνης και ο ιστός όσο πιο κοντά είναι εφικτό στην κεντρική γραμμή του πύργου της ανεμογεννήτριας (αλλά όχι σε απόσταση μεγαλύτερη από 0,2H από την κεντρική γραμμή, όπου H το ύψος πλήμνης του στροβίλου). Στον προσωρινό αυτό ιστό μπορεί να τοποθετηθεί και δεύτερος ανεμοδείκτης ο οποίος θα παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες για την παραμόρφωση ροής στην εγκατάσταση. Τα ανεμόμετρα θα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου, με ίδια λειτουργικά χαρακτηριστικά και να έχουν βαθμονομηθεί με κοινή διαδικασία. Τα όργανα του μετεωρολογικού ιστού θα πρέπει να είναι ίδια για τη μέτρηση καμπύλης ισχύος και τη βαθμονόμηση της εγκατάστασης. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη επιπρόσθετη αβεβαιότητα.

#### ***Έγγραφα για την εγκατάσταση***

Ένα πλήρες και λεπτομερές αντίγραφο όλων των χαρακτηριστικών της τοποθεσίας θα πρέπει να διατηρείται βάσει της φόρμας E1001.01 Wind Measurement System Preliminary Sitting Documentation. Προκειμένου να περιγραφεί η τοποθεσία και οι απαιτήσεις εγκατάστασης χρειάζεται να συμπεριληφθούν τα ακόλουθα:

- μια μοναδική αρίθμηση της τοποθεσίας
- αντίγραφο επίσημου χάρτη που να παρουσιάζει την τοποθεσία και τα υψόμετρα
- γεωγραφικό πλάτος και μήκος (μέσω λήπτη GPS). Οι συντεταγμένες πρέπει να εκφραστούν με ακρίβεια μικρότερη από 0,1 λεπτό (τουλάχιστον 100m) σε πλάτος και μήκος και 10m σε υψόμετρο.
- φωτογραφίες της τοποθεσίας
- λεπτομερής περιγραφή του εδάφους ώστε να καθοριστεί η θεμελίωση
- μέθοδος μεταφοράς
- εκτίμηση του ανθρώπινου δυναμικού που απαιτείται για την εγκατάσταση

### 1.3.2 Προετοιμασία για μετρήσεις αιολικού δυναμικού

#### **Σχέδιο μετρήσεων αιολικού δυναμικού**

Το σχέδιο θα πρέπει να καθορίζει και να προετοιμάζει τις ακόλουθες παραμέτρους μετρήσεων:

- ύψος και τύπος ιστού
- τύπος εξοπλισμού, ποιότητα
- αριθμός και θέση σταθμών επίβλεψης
- ύψη αισθητήρων μέτρησης
- ελάχιστη ακρίβεια μέτρησης, διάρκεια και ανάκτηση δεδομένων
- δειγματοληψία δεδομένων και διαστήματα καταγραφής
- μορφή (format) αποθήκευσης δεδομένων
- μέτρα ελέγχου ποιότητας
- μέτρα ασφαλείας

Είναι απαραίτητη η επικοινωνία με τις τοπικές αρχές ή/και πιθανούς βοηθούς για το σχέδιο εγκατάστασης, προκειμένου να εξασφαλιστεί το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό, ο εξοπλισμός, τα υλικά και εργαλεία.

Τα υλικά για την εγκατάσταση των αισθητήρων θα πρέπει να παραληφθούν σε στεγανή συσκευασία από προσωπικό του εργαστηρίου. Μετά την παραλαβή, ο εξοπλισμός αισθητήρα πρέπει να είναι απακετάριστος και ελεγμένος για ακεραιότητα και κατάλληλη λειτουργία. Στη συνέχεια, ο εξοπλισμός αισθητήρων θα πρέπει να επανασυσκευαστεί κατάλληλα και να αποσταλεί στην εγκατάσταση μέτρησης ανέμου.

Όλες οι δράσεις και σχετικές πληροφορίες αναφορικά με την προετοιμασία θα πρέπει να καταγραφούν σε ένα έντυπο (φόρμα), όπως το έντυπο E1001.02 – Wind measurement system preparation, που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

### 1.3.3 Εγκατάσταση εξοπλισμού μετρήσεων ανέμου

#### **Καθορισμός του μαγνητικού βορρά**

Ο καθορισμός του μαγνητικού βορρά, κι επομένως του προσανατολισμού του εργοταξίου, είναι καθοριστικός για τον προσανατολισμό των αισθητήρων. Είναι επίσης χρήσιμος κατά

τη διάρκεια εγκατάστασης του πύργου. Η αβεβαιότητα στον καθορισμό του μαγνητικού βορρά θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5 μοίρες.

### **Εγκατάσταση πύργου**

Αν η ανέγερση πραγματοποιείται σε δασώδη περιοχή, θα πρέπει να υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος για τις αντηρίδες.

Ύψος Πύργου	[m]	10	20	40	60	80
Ακτίνα <u>αγκύρωσης</u> αντηρίδων	[m]	5.5	11	22	40	50

**Εικόνα 11: Απαιτούμενη ακτίνα αγκύρωσης συναρτήσει του ύψους πύργου**

Τα αγκύρια των αντηρίδων θα πρέπει να τοποθετηθούν σε κάθε μία από τις τέσσερις βασικές κατευθύνσεις και ο πύργος θα πρέπει να ανεγερθεί σε μία από αυτές τις κατευθύνσεις, κατά προτίμηση όσο πιο κοντά στην κατεύθυνση του επικρατούντα ανέμου.

Οι ανακλινόμενοι πύργοι ασφαλιζονται και ελέγχονται με σύστημα αγκύρωσης και ισοδύναμα ελεγχόμενο εφελκυσμό στις αντηρίδες. Τα αγκύρια θα πρέπει να είναι προσεκτικά επιλεγμένα και εγκατεστημένα ώστε να διασφαλίζεται η ευστάθεια.

**Επιλογή αγκύρωσης:** Η επιλογή του συστήματος αγκύρωσης (βιδωτό, τύπου βέλους ή αγκύρια βράχου) εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους (συμπαγής άμμος, πετρώδες έδαφος, συμπαγής βράχος κλπ).

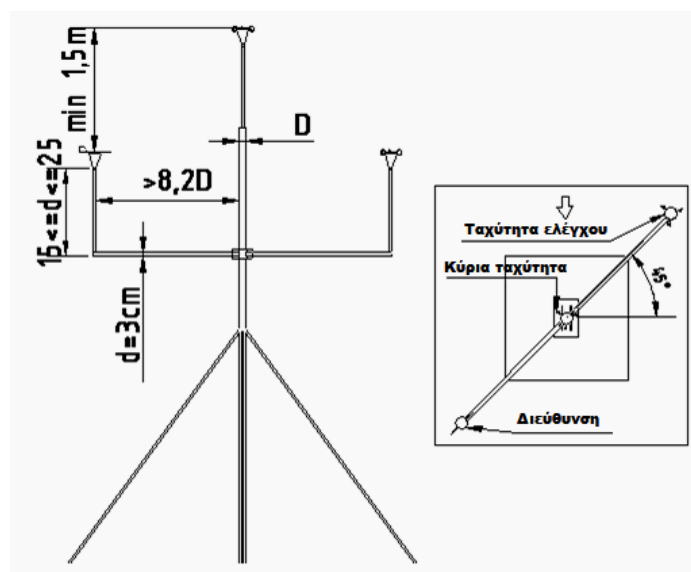
**Εγκατάσταση αγκύρωσης:** Η εγκατάσταση κάθε αγκυρίου θα πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο σύστημα αγκύρωσης που αναλαμβάνει την ανέγερση του πύργου. Το ανυψωτικό σύστημα αγκύρωσης θα πρέπει να ασφαρίζεται με τουλάχιστον διπλάσια αγκύρια σε σχέση με το σύστημα αγκύρωσης του πύργου.

**Αντηρίδες:** Υπό κατάλληλες εφελκυστικές δυνάμεις οι αντηρίδες διατηρούν το σύστημα του πύργου σε κάθετη θέση (κατάλληλη ευθυγράμμιση αισθητήρων ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου). Θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι όλα τα προσαρμοστικά εφελκυσμού των αντηρίδων έχουν ρυθμιστεί αντίστοιχα, με κατάλληλη προσοχή και ότι ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή. Προτείνεται η ευκρινής σήμανση κάθε σταθμού αγκύρωσης

με ανακλαστικό υλικό και η περίφραξη για την προστασία του συστήματος αγκύρωσης και του πύργου (π.χ λόγω ζώων).

### **Στήριξη αισθητήρων και εξοπλισμού**

Οι αισθητήρες ανέμου πρέπει να τοποθετούνται στον πύργο με κατάλληλα υλικά και με τρόπο που να ελαχιστοποιεί κάθε επίδραση στις μετρούμενες παραμέτρους. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί ακολουθώντας τις παρακάτω οδηγίες, τις συστάσεις των κατασκευαστών και τα παραδείγματα εγκατάστασης που παρουσιάζει το παρακάτω σχήμα:



**Εικόνα 12: Προδιαγραφές εγκατάστασης αισθητήρων**

#### **α. Αισθητήρες ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου**

- Σε κάθε στάθμη μέτρησης θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας ανέμου.
- Οι αισθητήρες της ανώτερης στάθμης πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον 0.75m υψηλότερα από την κορυφή του πύργου σύμφωνα με το Παράρτημα G.2 του προτύπου IEC 61400-12-1:2005.
- Οι αισθητήρες πρέπει να τοποθετούνται σε ανεξάρτητους βραχίονες στήριξης. Για αισθητήρες που τοποθετούνται σε απόσταση από τον κατακόρυφο άξονα του πύργου (Παράρτημα G.3 του προτύπου IEC 61400-12-1:2005) πρέπει να χρησιμοποιηθεί οριζόντια θέση και επαρκής εξοπλισμός στήριξης, έτσι ώστε ο αισθητήρας να τοποθετηθεί σε απόσταση τουλάχιστον 8,2 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο του σωληνοειδούς πύργου (όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω

σχήμα). Σε τριγωνικούς δικτυωτούς πύργους, ως πλάτος του πύργου ορίζεται το μήκος του ενός μετώπου.

- Τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα πρέπει να τοποθετούνται πάνω από το βραχίονα σε απόσταση τουλάχιστον 15 φορές (οριζόντια) τη διάμετρο του βραχίονα, συνίσταται πάντως η απόσταση αυτή να είναι 25 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο (όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα). Τα δύο ανεμόμετρα στην κορυφή θα πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 1.5m και όχι περισσότερο από 2.5m. Τα υπόλοιπα όργανα θα πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον 1.5m χαμηλότερα από τα ανεμόμετρα της κορυφής. Η ίδια διάταξη προτείνεται για όλες τις στάθμες μέτρησης. Ο ανεμοδείκτης πρέπει να βρίσκεται στο ύψος πλήμνης με απόσταση εντός του 10%, ο αισθητήρας θερμοκρασίας να είναι μονωμένος ενώ ο αισθητήρας πίεσης να βρίσκεται σε προστατευτικό στεγανό κουτί.
- Οι αισθητήρες ταχύτητας ανέμου που τοποθετούνται σε απόσταση από τον πύργο πρέπει να εγκαθίστανται σε γωνία  $45^\circ$  ως προς την διεύθυνση του επικρατούντα ανέμου, ή, σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες από μία κυρίαρχες διευθύνσεις, σε διεύθυνση που θα ελαχιστοποιεί φαινόμενα σκίασης του πύργου και των αισθητήρων.
- Ο ανεμοδείκτης πρέπει να έχει προσανατολισμό τέτοιο ώστε η θέση νεκρής ζώνης (dead band) να μην ευθυγραμμίζεται με τον επικρατούντα άνεμο. Η νεκρή ζώνη θα πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον  $90^\circ$  μακριά από τη διεύθυνση του επικρατούντα ανέμου, κατά προτίμηση σε μία από τις βασικές κατευθύνσεις. Ο προσανατολισμός νεκρής ζώνης πρέπει να είναι γνωστός και καταγεγραμμένος στο καταγραφικό (data logger) ή στο λογισμικό ανάλυσης ώστε να εξαχθεί η σωστή κατεύθυνση του ανέμου. Τέλος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις του κατασκευαστή του καταγραφικού για την αναφορά της νεκρής ζώνης (όπως παρουσιάζει το ακόλουθο σχήμα).
- Η θέση νεκρής ζώνης του ανεμοδείκτη θα πρέπει να καθοριστεί κατά την ανύψωση του πύργου. Αν έχει ευθυγραμμιστεί με το βραχίονα στήριξης, ο καθορισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί, με υψηλό βαθμό ακρίβειας, με τη βοήθεια πυξίδας.

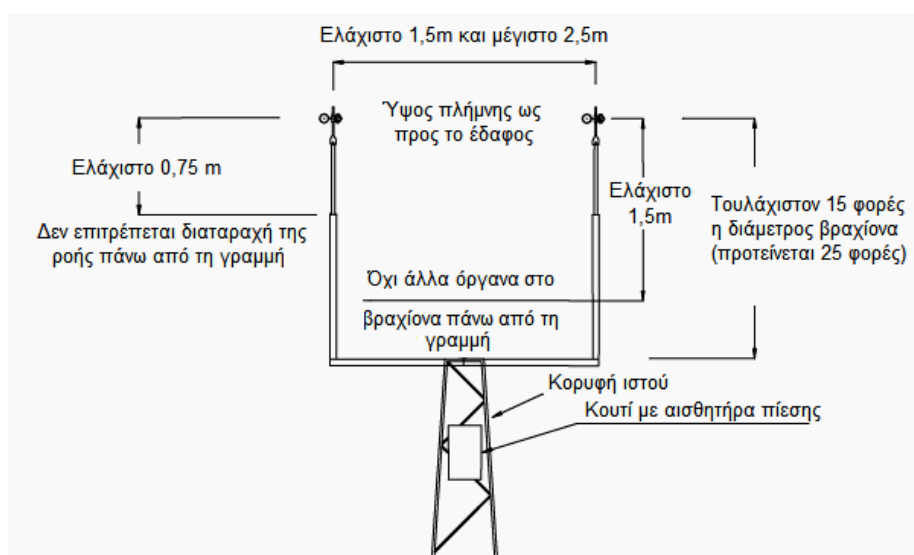
Ελάχιστη παραμόρφωση ροής ενός ανεμομέτρου επιτυγχάνεται στηρίζοντας το ανεμόμετρο στην κορυφή του μετεωρολογικού ιστού. Αν τοποθετηθούν τα ανεμόμετρα σε βραχίονα στήριξης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η παραμόρφωση ροής τόσο από τον ιστό όσο και



από το βραχίονα. Άλλα όργανα του ιστού θα πρέπει να στηριχθούν κοντά στο ύψος πλήμνης αλλά με τρόπο τέτοιο ώστε να αποφεύγεται η αλληλεπίδραση με το ανεμόμετρο.

Το ανεμόμετρο πρέπει να στηρίζεται σε κυλινδρικό κάθετο σωλήνα ίδιας εξωτερικής διαμέτρου με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε κατά τη βαθμονόμηση, ενώ το καλώδιο του ανεμομέτρου τοποθετείται εντός του σωλήνα. Η απόκλιση γωνίας από την κατακόρυφη θέση πρέπει να είναι μικρότερη από  $2^\circ$  (προτείνεται η χρήση κλινομέτρου) Ο σωλήνας δεν πρέπει να έχει διάμετρο μεγαλύτερη από το σώμα του ανεμομέτρου ενώ πρέπει να στηρίζει τα κύπελλα του ανεμομέτρου τουλάχιστον 0,75 m πάνω από τον μετεωρολογικό πύργο και κάθε άλλη διαταραχή ροής. Ο βραχίονας που συνδέει το ανεμόμετρο στον κάθετο ιστό πρέπει να είναι συμπαγής, λείος και συμμετρικός. Για στιβαρότερη κατασκευή ο κάθετος σωλήνας μικρής διαμέτρου μπορεί να στηρίζεται σε άλλο σωλήνα μεγαλύτερης διαμέτρου προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κανένα τμήμα του μετεωρολογικού ιστού δεν εκτείνεται πέρα από έναν κώνο 1:5 με την κορυφή του στο ύψος των κυπέλλων του ανεμομέτρου. Τα υπόλοιπα όργανα και οι αντίστοιχοι οριζόντιοι βραχίονες μπορούν να εκτείνονται πέρα από τον κώνο.

Προκειμένου να επιτευχθεί μικρή αβεβαιότητα στη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου μπορούν να εξεταστούν και εναλλακτικές μέθοδοι στήριξης των ανεμομέτρων όπως παρουσιάζει το ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 13: Εναλλακτική μέθοδος στήριξης ανεμομέτρων

### **β. Αισθητήρας θερμοκρασίας**

- Ο μονωμένος αισθητήρας τοποθετείται κατ' ελάχιστο μία διάμετρο του πύργου μακριά από τον πύργο ώστε να ελαχιστοποιηθούν φαινόμενα θερμότητας.
- Ο αισθητήρας προσανατολίζεται στον πύργο με στόχο τη μέγιστη έκθεση στην κατεύθυνση του επικρατούντα ανέμου προκειμένου να εξασφαλιστεί ο απαραίτητος εξαερισμός.

### **γ. Καταγραφικό και σχετικός εξοπλισμός**

- Το καταγραφικό, καθώς και οι συνδέσεις καλωδίων, ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός, κλπ τοποθετούνται σε IP65 προστατευτικό κουτί προκειμένου να διασφαλιστεί προστασία έναντι καιρικών συνθηκών και ασφάλεια.
- Το προστατευτικό κουτί τοποθετείται σε ένα ικανοποιητικό ύψος του πύργου ώστε να επιτρέπει βάθος χιονιού πάνω από το μέσο όρο και να αποτρέπει το βανδαλισμό.
- Εάν χρησιμοποιείται, το ηλιακό πάνελ τοποθετείται πάνω από το προστατευτικό κουτί ώστε να αποφευχθεί η σκίαση, με νότιο προσανατολισμό και σχεδόν κάθετα προκειμένου να ελαχιστοποιείται η συσσώρευση ακαθαρσιών και να μεγιστοποιείται η ισχύς το χειμώνα όπου εμφανίζεται μικρή γωνία του ηλίου.
- Κάθε καλωδίωση που εισέρχεται στο προστατευτικό κουτί πρέπει να διαθέτει βρόχο αποστράγγισης (drip loop).
- Κάθε άνοιγμα στο προστατευτικό κουτί, πρέπει να στεγανοποιείται προκειμένου να αποφευχθεί καταστροφή λόγω απροσεξίας ή εντόμων και τρωκτικών.
- Εάν χρησιμοποιείται, η κεραία κινητής τηλεφωνίας τοποθετείται σε εύκολα προσβάσιμο ύψος.

### **δ. Συνδέσεις και καλωδίωση αισθητήρων**

- Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι οδηγίες του κατασκευαστή για κατάλληλη διάταξη καλωδίων αισθητήρων και καταγραφικού.
- Τα τερματικά άκρα των αισθητήρων πρέπει να έχουν στεγανοποιηθεί με στεγανωτικό υλικό σιλικόνης και να προστατεύονται με ελαστική επένδυση.
- Η καλωδίωση των αισθητήρων τοποθετείται εντός του πύργου.

## ε. Σύστημα γείωσης

Βασικές οδηγίες:

- Μελέτη της κεραυνικής δραστηριότητας στην τοποθεσία εγκατάστασης. Σε περιοχές υψηλής συχνότητας, απαιτείται εφαρμογή συντηρητικής προσέγγισης και αύξηση των δυνατοτήτων του συστήματος γείωσης.
- Σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις πύργων, συνδέεται η γείωση του καταγραφικού στο σύστημα γείωσης (εφόσον κρίνεται ικανοποιητική).
- Εγκατάσταση ενός αλεξικέραυτου (air terminal) πάνω από την κορυφή του πύργου και σύνδεσή του μέσω καλωδίου στη γείωση.
- Επιβεβαίωση ότι ο γυμνός χάλκινος μονόκλωνος αγωγός είναι  $\geq 10\text{mm}^2$ . Συστήνεται αγωγός διατομής  $35\text{mm}^2$ .
- Επιβεβαίωση ότι η/οι ράβδος/οι γείωσης είναι ελεύθερη/ες από μη αγώγιμες επενδύσεις, όπως βαφή.
- Χρήση τουλάχιστον μίας ράβδου γείωσης διαμέτρου 16mm, μήκους 1.6m ώστε να παρέχεται η ελάχιστη επιφάνεια επαφής με το έδαφος.
- Κοινή καλωδίωση όλων των ράβδων γείωσης ώστε να προκύπτει ηλεκτρική συνέχεια.
- Οδήγηση όλων των ράβδων γείωσης κάτω από την επιφάνεια. Όπου συναντάται πέτρα, η ράβδος πρέπει να οδηγείται με γωνία  $45^\circ$ , ή να θάβεται εντός χάνδακος σε βάθος τουλάχιστον 0,6m. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η μεγιστοποίηση της επιφάνειας επαφής με το έδαφος.
- Προστασία του άκρου της ράβδου που βρίσκεται πάνω από το έδαφος και της σύνδεσής του με τον ηλεκτρικό αγωγό έναντι καταστροφής.
- Σε περιπτώσεις όπου το έδαφος μπορεί να παγώσει, οι ράβδοι γείωσης πρέπει να οδηγούνται χαμηλότερα από το βάθος στο οποίο το νερό του εδάφους αναμένεται να παγώσει (frost line).
- Χρήση συστήματος γείωσης ενός ή πολλαπλών σημείων όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Καθορισμός τύπου εδάφους και υπολογισμός της αντίστασής του. Γενικά, όσο χαμηλότερη είναι η αντίσταση τόσο καλύτερη γείωση επιτυγχάνεται.
- Διασφάλιση ότι η αντίσταση μεταξύ συστήματος γείωσης και γης είναι μικρότερη από 100 Ω.

- Εφαρμογή αντιοξειδωτικού παράγοντα σε όλες τις συνδέσεις γείωσης.

#### **Έγγραφα εγκατάστασης συστήματος μέτρησης ανέμου**

Ένα πλήρες και λεπτομερές αντίγραφο των χαρακτηριστικών του συστήματος μέτρησης ανέμου, (π.χ. πληροφορίες καταγραφικού, αισθητήρων και υλικού υποστήριξης) θα πρέπει να διατηρείται στη φόρμα E1001.03 – Wind Measurement Installation Report.

#### 1.3.4 Θέση σε Λειτουργία (Commissioning)

Ο εξοπλισμός θα πρέπει να ελεγχθεί για κατάλληλη λειτουργία στον πύργο πριν από την ανέγερσή του, ή κατά τη διάρκεια που το προσωπικό παραμένει επάνω στον πύργο. Οι συγκεκριμένες λειτουργικές δοκιμές θα πρέπει να επαναληφθούν όταν η εγκατάσταση θα έχει ολοκληρωθεί. Η διαδικασία θέσης σε λειτουργία θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Διασφάλιση ότι όλοι οι αισθητήρες καταγράφουν λογικές τιμές για τουλάχιστον μία ώρα μετά την έναρξη λειτουργίας.
- Επιβεβαίωση ότι όλες οι πηγές τροφοδοσίας του συστήματος λειτουργούν κανονικά.
- Επιβεβαίωση όλων των εισόδων προγραμματισμού του καταγραφικού, περιλαμβανομένου του αριθμού θέσης, ημερομηνία, ώρα και τιμές κλίσης και αντιστάθμισης αισθητήρα.
- Επαλήθευση της διαδικασίας ανάκτησης δεδομένων. Για συστήματα κινητής τηλεφωνίας, πραγματοποιείται μια επιτυχής λήψη δεδομένων με έναν απομακρυσμένο υπολογιστή και ακολουθεί σύγκριση των απεσταλμένων τιμών με τις τιμές που εμφανίζονται επί τόπου (on site).
- Επιβεβαίωση ότι το καταγραφικό βρίσκεται στον κατάλληλο τρόπο λειτουργίας για ισχύ μακράς διάρκειας.
- Ασφάλιση του εξοπλισμού σε κλειστό κουτί και χρήση λουκέτου.
- Ο χρόνος έναρξης καταγραφών και όλες οι σχετικές παρατηρήσεις θα πρέπει να αναφερθούν.
- Έλεγχος της προέντασης των αντηρίδων.
- Επιθεώρηση των κραδασμών του ιστού.
- Λήψη φωτογραφιών του συστήματος μέτρησης.

Τέλος, συμπληρώνεται ένα έντυπο (φόρμα), όπως το έντυπο E1001.04 –Wind Measurement System Commissioning , που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

### 1.3.5 Συντήρηση και βαθμονόμηση ανεμομέτρου

Εφόσον το κύριο ανεμόμετρο είναι εκτεθειμένο στο περιβάλλον, η διατήρηση της βαθμονόμησής του κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Προκειμένου να εξασφαλιστεί κάτι τέτοιο, συστήνεται μία κατάλληλη επαναβαθμονόμηση (recalibration) στο τέλος κάθε αποστολής δεδομένων, όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Κ του προτύπου IEC61400-12-1:2005. Σύμφωνα με αυτό, η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Ένα δεύτερο (βαθμονομημένο) ανεμόμετρο ελέγχου τοποθετείται σε κάθε στάθμη μέτρησης του πύργου όπως περιγράφεται στο Παράρτημα G του προτύπου IEC61400-12-1:2005. Τα δύο ανεμόμετρα τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο (side-by-side). Το ανεμόμετρο ελέγχου τοποθετείται όπως περιγράφεται στο Παράρτημα G3 του προτύπου IEC61400-12-1:2005(E) και χρησιμοποιείται μόνο για σύγκριση.
2. Συλλέγονται πληροφορίες τόσο από το κύριο όσο και από το ανεμόμετρο ελέγχου μέχρι να συλλεχθούν 30 λεπτά αξιόπιστων δεδομένων ανά βαθμίδα ταχύτητας ανέμου (μεταξύ 4 - 12 m/sec με διάστημα 1m/sec) αναφορικά με το ανεμόμετρο ελέγχου.
3. Καταστρώνεται μια γραμμική εξίσωση ( $y = a_0 * x + a_1$ ) με το κύριο ανεμόμετρο ως ανεξάρτητη μεταβλητή (x) και το ανεμόμετρο ελέγχου ως εξαρτημένη μεταβλητή (y).
4. Υπολογίζονται οι συντελεστές m και b ως εξής:

$$m = 1/a_0 \quad \text{και} \quad b = -a_1/a_0.$$

Οι συντελεστές m και b αναπαριστούν τη σχέση κύριου ανεμομέτρου και ανεμομέτρου ελέγχου κατά την έναρξη της διαδικασίας μετρήσεων. Η σχέση αυτή πρέπει να διατηρείται μέχρι το τέλος της όλης διαδικασίας των μετρήσεων.

5. Οι αρχικές παράμετροι m και b υπολογίζονται από τα δεδομένα μετρήσεων των δύο πρώτων μηνών μετά την εγκατάσταση των ανεμομέτρων.
6. Ανά τρεις μήνες (3) κατ' ελάχιστον, ύστερα από τους δύο πρώτους μήνες για τον αρχικό υπολογισμό των παραμέτρων m και b, οι χρονοσειρές (time-series) από το ανεμόμετρο ελέγχου και οι αρχικές παράμετροι m και b θα κατασκευάζουν μια διορθωμένη χρονοσειρά  $V_{cont\_corr}$  η οποία θα μπορούσε να αντιστοιχεί στις μετρήσεις που θα είχε καταγράψει το κύριο ανεμόμετρο εάν είχε διατηρήσει τη

βαθμονόμησή του κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων. Η διορθωμένη χρονοσειρά κατασκευάζεται με χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$V_{\text{control\_corr}} = m V_{\text{control}} + b$$

Οι μέσες τιμές των διαφορών στα δεδομένα ταχύτητας ανέμου (συστηματική απόκλιση) από το διορθωμένο ανεμόμετρο ελέγχου ( $V_{\text{control\_corr}}$ ) και το κύριο ανεμόμετρο ( $V_{\text{primary}}$ ) υπολογίζονται ανά βαθμίδα ταχύτητας ανέμου:

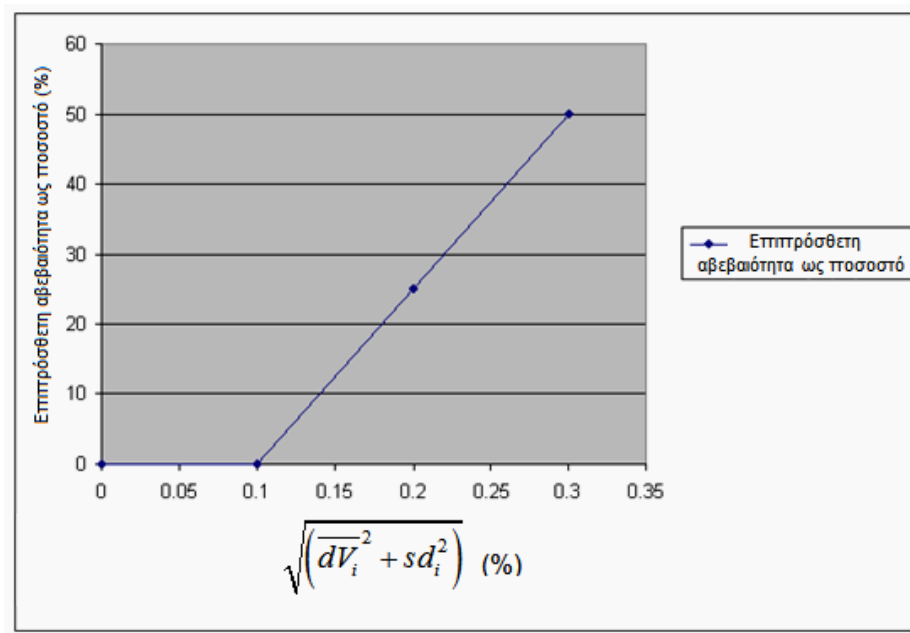
$$\overline{dV}_i = \frac{\sum_{j:V_{\text{primary}}(j)=V_i} V_{\text{control\_corr}}(j) - V_{\text{primary}}(j)}{\sum_{j:V_{\text{primary}}(j)=V_i} 1}$$

Επιπλέον, οι τυπικές αβεβαιότητες (standard uncertainties) των διαφορών στα δεδομένα ταχύτητας ανέμου (στατιστική απόκλιση) από το διορθωμένο ανεμόμετρο ελέγχου ( $V_{\text{cont\_corr}}$ ) και το κύριο ανεμόμετρο υπολογίζονται για κάθε βαθμίδα ταχύτητας ανέμου. Η τυπική αβεβαιότητα των διαφορών ταχύτητας ανέμου υπολογίζεται σε κάθε βαθμίδα ταχύτητας ανέμου ως η τυπική απόκλιση των διαφορών ταχύτητας ανέμου διαιρεμένη με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού των δεδομένων ανά βαθμίδα ταχύτητας ανέμου.

Το κριτήριο αποδοχής της ταχύτητας ανέμου της βαθμίδας  $i$  λαμβάνει υπόψη την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος του τετραγώνου της συστηματικής απόκλισης ( $\overline{dV}_i^2$ ) και του τετραγώνου της στατιστικής απόκλισης ( $sd_i^2$ ) δηλαδή  $\sqrt{\left(\overline{dV}_i^2 + sd_i^2\right)}$ . Η τιμή που προκύπτει θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,1 m/s για κάθε βαθμίδα ταχύτητας ανέμου  $i$ :

$$\sqrt{\left(\overline{dV}_i^2 + sd_i^2\right)} \leq 0.1$$

Αν το συγκεκριμένο μέγεθος (statistic) λάβει τιμή μεγαλύτερη από 0.1[m/s] αλλά μικρότερη από 0.3[m/s] το εργαστήριο θα πρέπει να προσαρμόσει την τιμή συνολικής αβεβαιότητας του μετρητικού σταθμού (πολλαπλασιασμός με συντελεστή που προκύπτει από το ακόλουθο διάγραμμα):



**Εικόνα 14: Διάγραμμα υπολογισμού επιπρόσθετης αβεβαιότητας**

Σε περίπτωση που το στατιστικό έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.3[m/s] τότε οι μετρήσεις που έλαβαν χώρα από τον τελευταίο έλεγχο βαθμονόμησης του ανεμομέτρου πρέπει να μη χρησιμοποιηθούν.

Οι παραπάνω υπολογισμοί καταγράφονται στο έντυπο E1001.11 – Anemometer Maintenance and Calibration, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

#### **1.4. ΕΛΕΓΧΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ**

Τα μετεωρολογικά όργανα απαιτούν μία περίοδο βαθμονόμησης 18 μηνών. Σε περίπτωση που η βαθμονόμηση διατηρείται και επιβεβαιώνεται σύμφωνα με το Παράρτημα F του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E), τα όργανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία νέα περίοδο μετρήσεων. Τα όργανα απαιτούν επίσης προληπτική συντήρηση και οπτικές επιθεωρήσεις επί τόπου προκειμένου να παρέχουν δεδομένα με ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, απαιτείται επίσκεψη στο σταθμό από εξουσιοδοτημένο προσωπικό σε τρίμηνη βάση.

Το σύστημα συλλογής δεδομένων απαιτεί μία περίοδο βαθμονόμησης δύο ετών. Σε περίπτωση που η βαθμονόμηση διατηρείται και επιβεβαιώνεται σύμφωνα με το

Παράρτημα F του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005(E) το σύστημα συλλογής δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία νέα περίοδο μετρήσεων.

#### 1.4.1 Επιθεωρήσεις της εγκατάστασης

Πρέπει να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί ένας οργανωμένος σχεδιασμός επισκέψεων κατά τη διάρκεια του έργου. Η συχνότητα επισκέψεων εξαρτάται από τον τρόπο ανάκτησης των δεδομένων. Αν τα δεδομένα συλλέγονται απομακρυσμένα, η εγκατάσταση πρέπει να επιθεωρείται απομακρυσμένα τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα. Αν τα δεδομένα συλλέγονται συμβατικά / χειροκίνητα (manually), πρέπει να πραγματοποιούνται επισκέψεις στην εγκατάσταση τουλάχιστον κάθε δύο εβδομάδες. Η κατάλληλη συχνότητα επιθεώρησης συστήνεται να καλύπτει ποσοστό 90% της επιθυμητής ανάκτησης δεδομένων.

Είναι πιθανό να εμφανιστούν καταστάσεις όπου θα απαιτούνται επιπρόσθετες επιθεωρήσεις. Τα εν λόγω, μη σχεδιασμένα, συμβάντα είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς συνοδεύονται συνήθως από απώλεια δεδομένων. Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί τουλάχιστον μία μη προγραμματισμένη επίσκεψη λειτουργίας και συντήρησης για κάθε εγκατάσταση επίβλεψης ανά έτος.

#### 1.4.2 Διαδικασίες λειτουργίας και συντήρησης

##### **Διαδικασίες επίσκεψης της εγκατάστασης**

Η επίσκεψη της εγκατάστασης μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: την προετοιμασία (in-house preparation), τις επί τόπου διεργασίες (on-site procedures) και τις διαδικασίες αποχώρησης από την εγκατάσταση (site departure procedures).

##### 1. Προετοιμασία:

- Καθορισμός του σκοπού της επιθεώρησης και των ιδιαίτερων αναγκών
- Διασφάλιση ότι το προσωπικό διαθέτει πλήρες εξοπλισμό εργαλείων, προμήθειες, εγχειρίδια εξοπλισμού και ανταλλακτικά ώστε να φέρει σε πέρας όλα τα ζητήματα. Ανάπτυξη λίστας η οποία καθορίζει τα απαιτούμενα εργαλεία και προμήθειες. Η λίστα αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη λήψη δεδομένων, όπως φορητούς υπολογιστές και κάρτες αποθήκευσης δεδομένων.



- Διεξαγωγή ελέγχου λειτουργικότητας σε κάθε κάρτα μνήμης πριν την εγκατάσταση στο πεδίο. Κάτι τέτοιο απαιτεί την ύπαρξη στο γραφείο ενός επιπλέον καταγραφικού που θα χρησιμοποιείται για τη δοκιμαστική αποθήκευση δεδομένων στην κάρτα μνήμης.
- Καθορισμός του αριθμού των ατόμων που χρειάζονται για την επίσκεψη. Ο χειρισμός αισθητήρων απαιτεί τουλάχιστον δύο άτομα.

## 2. Επί τόπου διεργασίες:

- Η ανάκτηση των πληροφοριών από το καταγραφικό κατά την άφιξη και πριν τη διεξαγωγή οποιασδήποτε άλλης εργασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Κάτι τέτοιο ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο από πιθανή απώλεια δεδομένων λόγω λάθους χρήστη, στατικών εκφορτίσεων, υπερτάσεων κατά τη διάρκεια χειρισμού ή ελέγχου των διαφόρων εξαρτημάτων του συστήματος.
- Η βασική επίσκεψη περιλαμβάνει ένα λεπτομερή οπτικό έλεγχο (με διόπτρες) όλων των εξαρτημάτων του συστήματος καθώς και δοκιμή όπου αυτή είναι εφαρμόσιμη. Τα αποτελέσματα της οπτικής επιθεώρησης θα πρέπει να καταγράφονται στη λίστα ελέγχου, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα:
  - καταγραφικό
  - αισθητήρες
  - σύστημα επικοινωνίας
  - σύστημα γείωσης
  - καλωδιώσεις και συνδέσεις
  - τροφοδοσία/ες ισχύος
  - υποστηρικτικούς βραχίονες
  - εξαρτήματα πυλώνων. Για παράδειγμα, σε πυλώνες με βοηθητική στήριξη (guyed towers) τέτοια θεωρούνται οι αντηρίδες, τα καλώδια στήριξης και ο κατακόρυφος προσανατολισμός του πύργου.
- Προγραμματισμένη αντικατάσταση εξαρτημάτων (πχ μπαταρίες, καλώδια, κάρτες) και επίλυση διαπιστωμένων προβλημάτων.
- Ως επιπλέον έλεγχος, μπορούν να εκτιμηθούν τα στιγμιαία δεδομένα ώστε να εξακριβωθεί ότι όλες οι μετρούμενες τιμές είναι λογικές.

### 3. Διαδικασίες αποχώρησης από την εγκατάσταση

- Εκτέλεση της διαδικασίας ανάκτησης δεδομένων (ολοκλήρωση μίας επιτυχημένης αποστολής/συλλογής δεδομένων). Με τον τρόπο αυτό επιβεβαιώνεται η σωστή λειτουργία τόσο του συστήματος μέτρησης όσο και του συστήματος επικοινωνίας.
- Επιβεβαίωση ότι το καταγραφικό έχει επιστρέψει στην κατάλληλη κατάσταση λειτουργίας. Ορισμένα μοντέλα διαθέτουν κανονική κατάσταση λειτουργίας χαμηλής ισχύος για εξοικονόμηση ισχύος. Αν δεν επιλεγθεί ξανά αυτή η λειτουργία θα μειωθεί σημαντικά η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών (κίνδυνος απώλειας δεδομένων).
- Η θέση εγκατάστασης του καταγραφικού θα πρέπει να ασφαρίζεται με λουκέτο υψηλής ποιότητας (προστασία επένδυσης)
- Τοποθέτηση προειδοποιητικής πινακίδας για άτομα που εργάζονται ή διέρχονται κοντά στον ιστό.

Η ώρα αποχώρησης, οι εργασίες καθώς και οι παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν θα πρέπει να καταγραφούν στη φόρμα συμπλήρωσης E1001.05 – Wind Measurement System Inspection Checklist.

#### 1.4.3 Λειτουργικοί έλεγχοι εξοπλισμού

Όλοι οι αισθητήρες θα πρέπει να επιθεωρηθούν και να ελεγχθούν ως προς τη λειτουργικότητά τους πριν εγκατασταθούν βάσει του σχεδιασμού λειτουργίας και των απαιτήσεων συντήρησης. Αντίστοιχες διαδικασίες παρουσιάζονται στα έντυπα O1001.01- Direction sensor testing procedure, O1001.02 – Velocity sensor testing procedure και O1001.03 – Logger testing procedure, που έχουν αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

Εφόσον η διαδικασία αξιολόγησης δεδομένων δεν έχει εντοπίσει προβλήματα, οι έλεγχοι ανεμομέτρου και ανεμοδείκτη πρέπει να είναι οπτικοί (με διόπτρες), με ιδιαίτερη προσοχή να δίνεται στη φυσική φθορά. Κατεστραμμένος, ή με πιθανή φθορά, εξοπλισμός θα πρέπει να αντικαθίσταται ή να επιδιορθώνεται. Όλα τα αποτελέσματα των λειτουργικών ελέγχων θα πρέπει να παρουσιάζονται σε έγγραφα. Παρακάτω ακολουθούν γενικές διαδικασίες ελέγχου ποιότητας αισθητήρων:

**Καταγραφικό (Data Logger)**: Πριν την εγκατάσταση του καταγραφικού στο μετεωρολογικό ιστό, όλα τα κανάλια ελέγχονται ώστε να διασφαλιστεί η κατάλληλη λειτουργία τους

σύμφωνα με το πιστοποιητικό του κατασκευαστή. Συμπλήρωση της φόρμας E 1001.10 - Testing Logger

**Ανεμόμετρα:** Επιβεβαίωση ότι όλοι οι αισθητήρες περιστρέφονται ελεύθερα και ο τοποθετημένος εξοπλισμός και αισθητήρες είναι άθικτοι και προσανατολισμένοι κατάλληλα. Επίσης, διασφάλιση ότι οι είσοδοι των αισθητήρων στο καταγραφικό είναι λογικές. A Filling Συμπλήρωση του εντύπου E 1001.09 -Testing Anemometers, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

**Ανεμοδείκτες (Wind vanes):** Επιβεβαίωση ότι όλοι οι αισθητήρες περιστρέφονται ελεύθερα και ο τοποθετημένος εξοπλισμός και αισθητήρες είναι άθικτοι και προσανατολισμένοι κατάλληλα. Επίσης, διασφάλιση ότι οι είσοδοι των αισθητήρων στο καταγραφικό είναι λογικές, ακολουθώντας τη διαδικασία O 1001.01 (Direction sensor testing procedure). Σε περίπτωση ύπαρξης αποκλίσεις, ελέγχεται η θέση νεκρής ζώνης. Συμπλήρωση της φόρμας E 1001.08- Testing Direction Sensors.

**Αισθητήρας Θερμοκρασίας:** Σύγκριση των μετρήσεων του αισθητήρα θερμοκρασίας με ένα βαθμονομημένο θερμόμετρο πριν και μετά την περίοδο των μετρήσεων. Η διάρκεια δοκιμής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μιάμιση (1,5) ώρα με μετρήσεις σε διαστήματα 5 λεπτών. Οι αποκλίσεις μεταξύ των αισθητήρων δε θα πρέπει να υπερβαίνουν τον 1°C.

**Στήριξη πύργου:** Για ανακλινόμενους πύργους, επιβεβαίωση ότι ο πύργος βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση (Εφαρμογή των απαραίτητων προσαρμογών στις αντηρίδες).

## **1.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ**

### **1.5.1 Συλλογή δεδομένων**

Τα στοιχεία του συστήματος επίβλεψης που συλλέγουν και χειρίζονται δεδομένα πρέπει να χρησιμοποιούν διαδικασίες που προσφέρουν υψηλή στάθμη προστασίας των δεδομένων. Όπως προαναφέρθηκε, δεδομένα σχετικά με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου θα πρέπει να συλλέγονται συνεχόμενα με ρυθμό δειγματοληψίας 1 Hz. Αν συλλέγονται άλλα δεδομένα όπως θερμοκρασία και πίεση αέρα, η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται με μικρότερο ρυθμό, όχι μικρότερο όμως από μία μέτρηση ανά λεπτό.

Τα δεδομένα πριν από την επεξεργασία θα πρέπει να έχουν 10λεπτη διάρκεια. Η ελάχιστη διάρκεια επίβλεψης είναι έξι (6) μήνες. Μεγαλύτερες χρονικές περίοδοι θα οδηγήσουν σε

πιο αξιόλογα αποτελέσματα. Η ανάκτηση δεδομένων για κάθε μετρούμενη παράμετρο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 85% μεγαλύτερη από τη διάρκεια του προγράμματος, με οποιαδήποτε κενά δεδομένων να διατηρούνται στο ελάχιστο (λιγότερο από μία βδομάδα).

Το σύστημα συλλογής δεδομένων θα πρέπει να αποθηκεύει τα ακόλουθα στατιστικά των 10λεπτων ομάδων δεδομένων:

- μέση τιμή
- τυπική απόκλιση
- μέγιστη τιμή
- ελάχιστη τιμή

Το σύστημα συλλογής δεδομένων θα πρέπει να είναι ικανό να αποθηκεύει δεδομένα δειγματοληψίας, σε περιπτώσεις έκτακτων συμβάντων.

Το μέγιστο διάστημα ανάκτησης δεδομένων χειροκίνητα είναι δύο φορές ανά μήνα. Για συστήματα απομακρυσμένης μετάδοσης δεδομένων, είναι ικανοποιητικός ένας ρυθμός μηνιαίας ανάκτησης δεδομένων.

Τα δεδομένα των μετρήσεων πρέπει να συλλέγονται με ρυθμό δειγματοληψίας ίδιο με εκείνον του ελέγχου απόδοσης ισχύος. Οι ομάδες δεδομένων πρέπει να είναι βασισμένες σε δεκάλεπτες περιόδους που εξάγονται από συνεχώς μετρούμενα δεδομένα. Για κάθε 10λεπτη περίοδο υπολογίζεται και αποθηκεύεται η μέση τιμή, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή καθώς και η τυπική απόκλιση. Τα δεδομένα μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση την κατεύθυνση του ανέμου (κάθε ομάδα πρέπει να μην έχει εύρος μεγαλύτερο από 10° αλλά ούτε μικρότερο από την αβεβαιότητα του αισθητήρα μέτρησης της κατεύθυνσης του ανέμου).

Τα κριτήρια για την απόρριψη δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

- αστοχία ή καταστροφή του εξοπλισμού (πχ λόγω πάγου)
- κατεύθυνση του ανέμου εκτός του τομέα μέτρησης (όπως αυτός ορίστηκε προηγουμένως)
- μέση ταχύτητα ανέμου μικρότερη από 4 m/s ή μεγαλύτερη από 16 m/s
- οποιεσδήποτε ειδικές ατμοσφαιρικές συνθήκες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως συνθήκες απόρριψης και στον έλεγχο απόδοσης ισχύος

Τα δεδομένα βαθμονόμησης του πεδίου θα πρέπει να αποτελούνται από δεδομένα 24 ωρών για κάθε μη εξαιρουμένη ομάδα κατεύθυνσης ανέμου (bin). Κάθε ομάδα θα πρέπει να έχει δεδομένα τουλάχιστον 6 ωρών με ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από 8 m/s και τουλάχιστον 6 ωρών με ταχύτητα ανέμου μικρότερη από 8m/s. Πέρα από αυτές τις ελάχιστες απαιτήσεις, θα πρέπει να υπάρχει επίβλεψη ώστε να επισημανθεί η σύγκλιση των δεδομένων.

Με χρήση της βάσης δεδομένων βαθμονόμησης υπολογίζονται οι μέσες τιμές των συντελεστών διόρθωσης ροής λόγω του εδάφους  $\alpha_j$  (λόγος ταχύτητας ανέμου στη θέση της ανεμογεννήτριας προς ταχύτητα ανέμου στο μετεωρολογικό ιστό) για κάθε τομέα.

Η αβεβαιότητα της μέτρησης των συντελεστών διόρθωσης ροής καθορίζεται σύμφωνα με το Παράρτημα D του προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E). Αναλυτικό παράδειγμα υπολογισμού της αβεβαιότητας παρουσιάζεται στο Παράρτημα E του ίδιου προτύπου.

#### 1.5.2 Μετάδοση, προστασία και αποθήκευση δεδομένων

Όταν τα δεδομένα μεταφέρονται απομακρυσμένα και ανακτώνται σε μηνιαία τουλάχιστον βάση, προγραμματισμένες επισκέψεις της εγκατάστασης ανά τρεις μήνες είναι ικανοποιητικές. Αν η ανάκτηση είναι χειροκίνητη, οι αντίστοιχες επισκέψεις πρέπει να πραγματοποιούνται τουλάχιστον ανά δύο εβδομάδες. Η κατάλληλη συχνότητα προτείνεται να καλύπτει το στόχο ανάκτησης δεδομένων 90%.

#### **α. Υποσύστημα συλλογής ηλεκτρονικών δεδομένων**

Πέρα από τις απαιτήσεις του προγράμματος του καταγραφικού, η διαδικασία συλλογής δεδομένων απαιτεί ελάχιστη συνεισφορά του τεχνικού. Τα δεδομένα προστατεύονται ακολουθώντας τις διαδικασίες εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένης της γείωσης όλου του εξοπλισμού και της χρήσης σπινθηριστών.

#### **β. Εξοπλισμός υπολογιστή**

Τα δεδομένα του πεδίου θα αποστέλλονται τελικά σε κάποιο προσωπικό υπολογιστή για ανάλυση. Αυτή θα είναι η αρχική τοποθεσία της βάσης δεδομένων εργασίας, αλλά δε θα πρέπει να είναι η περιοχή αποθήκευσης για τη βάση δεδομένων αρχειοθέτησης. Ηλεκτρικές υπερτάσεις και στατικές εκκενώσεις είναι πιθανό να καταστρέψουν σκληρούς δίσκους και δισκέτες αποθήκευσης.

#### γ. Διαδικασίες χειρισμού δεδομένων

Ακατάλληλες διαδικασίες χειρισμού δεδομένων πιθανόν να αναπαριστούν το μεγαλύτερο κίνδυνο απώλειας δεδομένων. Το τεχνικό προσωπικό θα διαχειρίζεται μεγάλο αριθμό επεξεργασμένων και μη δεδομένων. Όλο το προσωπικό θα πρέπει να είναι πλήρως εκπαιδευμένο και να κατανοεί τα ακόλουθα:

- το λογισμικό ανάκτησης δεδομένων και το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή (ώστε να μπορεί να αποφευχθεί οποιαδήποτε κατάσταση στην οποία μπορεί να αντικατασταθούν ή να σβηστούν δεδομένα)
- κατάλληλες πρακτικές χειρισμού όλων των μέσων αποθήκευσης δεδομένων συμπεριλαμβανομένων καρτών RAM, κασέτες, μνήμης EEPROM και δισκετών (προστασία από στατικές φορτίσεις, μαγνητικά πεδία και ακραίες θερμοκρασίες)
- λειτουργίες υπολογιστή και διαδικασίες ασφαλείας, περιλαμβανομένων των απαιτήσεων γείωσης

Προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος απώλειας δεδομένων, διατηρούνται πολλαπλά αντίγραφα των βάσεων δεδομένων, αντίγραφα ασφαλείας (backups) και κάθε αντίγραφο τοποθετείται σε διαφορετική τοποθεσία (όχι στο ίδιο κτήριο). Τα αντίγραφα ασφαλείας των δεδομένων πρέπει να ακολουθούν ένα σχέδιο ισοδύναμο με το διάστημα ανάκτησης δεδομένων. Τα τρία πιο διαδεδομένα μέσα είναι δισκέτα, κασέτα, και CD ROM/DVD.

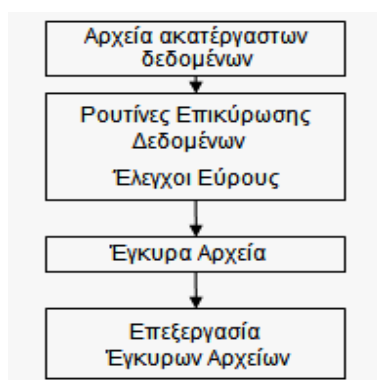
Λεπτομερείς καταγραφές σχετικά με τη βάση δεδομένων διατηρούνται στη φόρμα E1001.06 – Data Transfer and Raw Data storage. Η φόρμα αυτή αναπτύσσεται για να λειτουργήσει ως βασικό αρχείο καταγραφής ακατέργαστων δεδομένων. Η Διαδικασία Δ140 του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων μπορεί να ακολουθηθεί προκειμένου να διατηρηθούν και να προστατευτούν τα δεδομένα.

#### 1.5.3 Αξιολόγηση δεδομένων μετρήσεων ανέμου

Αφού συλλεχθούν τα δεδομένα του πεδίου και προσφερθούν στο υπολογιστικό περιβάλλον, ακολουθεί η επικύρωση των δεδομένων. Κατάλληλη διαδικασία έχει αναπτυχθεί από το εργαστήριο και παρουσιάζεται στο έντυπο (φόρμα) O1001.06 “WIND DATA VALIDATION AND CORRECTION PROCEDURE”, που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας. Τα ακατέργαστα δεδομένα αντιγράφονται και αναλύονται εφαρμόζοντας τα βήματα επικύρωσης.

Η επικύρωση δεδομένων ορίζεται ως η επιθεώρηση όλων των συλλεγμένων δεδομένων για πληρότητα και ορθότητα και η αφαίρεση των εσφαλμένων τιμών. Το βήμα αυτό μετατρέπει τα ακατέργαστα δεδομένα σε έγκυρα δεδομένα. Στη συνέχεια τα έγκυρα δεδομένα επεξεργάζονται ώστε να παράγουν τις απαιτούμενες για την ανάλυση αναφορές σύνοψης. Τα βήματα επικύρωσης μπορούν να επαναληφθούν εφόσον απαιτείται – όλες οι αλλαγές στα ακατέργαστα δεδομένα πρέπει να καταγραφούν. Τυχαία δείγματα των ασύρματα προσφερόμενων ακατέργαστων δεδομένων ενός σταθμού συγκρίνονται με τα ακατέργαστα δεδομένα από κάρτες μνήμης/flash cards (αφού ανακτηθούν από το σταθμό). Αναλυτικές καταγραφές των αποτελεσμάτων ελέγχου τηρούνται στη φόρμα E1001.07-Raw data corrections/modifications report.

Η επικύρωση είναι εξίσου σημαντική για την επίτευξη υψηλών επιπέδων πληρότητας δεδομένων κατά τη διάρκεια της μελέτης με το πρόγραμμα επίβλεψης. Επομένως, τα δεδομένα πρέπει να επικυρωθούν το συντομότερο δυνατό, εντός μίας ή δύο ημερών, μετά τη μετάδοση.



**Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής επικύρωσης δεδομένων**

Συχνά, χρησιμοποιούνται ορισμένα ανεπαρκή δεδομένα για τον καθορισμό των συντελεστών διόρθωσης ροής εντός του τομέα μέτρησης. Επιπρόσθετα, οι συντελεστές διόρθωσης μπορεί να μεταβάλλονται απότομα μεταξύ των διάφορων βαθμίδων κατεύθυνσης ανέμου. Προτείνεται να απαλείφονται οι κατευθύνσεις ανέμου από τους τομείς μέτρησης όταν οι συντελεστές διόρθωσης ροής αλλάζουν περισσότερο από 0,02 μεταξύ γειτονικών τομέων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο έλεγχος βαθμονόμησης του πεδίου μπορεί να υποδεικνύουν ότι κάποιο εμπόδιο δεν έχει κάποια ιδιαίτερη επίδραση στους μετρούμενους συντελεστές διόρθωσης ροής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο τομέας μέτρησης μπορεί να αυξηθεί πέρα από τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Α του

προτύπου IEC 61400-12-1:2005(E). Παρόλα αυτά, η αύξηση του τομέα θα πρέπει να ελεγχθεί ως προς την πιθανότητα να επηρεάζει ένα εμπόδιο το δρομέα του στροβίλου ακόμη κι αν δεν επηρεάζει το ανεμόμετρο.

Η βαθμονόμηση του πεδίου μετρήσεων, με χρήση των δύο ιστών, μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που μετρήθηκαν απευθείας στην ανεμογεννήτρια κατά τον έλεγχο απόδοσης ισχύος. Κάτω από την ονομαστική ισχύ, η ταχύτητα ανέμου στην ανεμογεννήτρια μπορεί να εξαχθεί από τη μέση τιμή της ηλεκτρικής ισχύος με χρήση της μετρούμενης καμπύλης ισχύος. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο λόγος της ταχύτητας ανέμου που υπολογίστηκε από την ηλεκτρική ισχύ προς την ταχύτητα ανέμου που μετρήθηκε στον μετεωρολογικό ιστό και εξάγεται ο μέσος όρος ανά βαθμίδα κατεύθυνσης ανέμου. Ιδανικά, αυτοί οι συντελεστές ταχύτητας ανέμου θα πρέπει να είναι ίσοι με τους συντελεστές διόρθωσης ταχύτητας ανέμου που καθορίστηκαν από τη βαθμονόμηση του πεδίου πριν την ανέγερση της ανεμογεννήτριας.

#### **Μέθοδοι επικύρωσης δεδομένων**

Απαιτείται εξέταση των δεδομένων από πιστοποιημένο ειδικό, βάσει της οδηγίας O1001.06 – Wind data validation and correction procedure. Η επικύρωση των δεδομένων χωρίζεται στις ακόλουθες πέντε κατηγορίες:

- a) Έλεγχος αρχείων δεδομένων
  - b) Διαλογή δεδομένων
  - c) Εντοπισμός εσφαλμένων δεδομένων
  - d) Τροποποίηση ή απόρριψη δεδομένων
  - e) Επικύρωση και αποθήκευση αρχείων δεδομένων
- **Έλεγχος αρχείων δεδομένων:** Αρχικά ανακτώνται η ημερομηνία έναρξης, λήξης και η χρονική στιγμή των μετρήσεων και αντιγράφονται ώστε να συμπληρωθεί η φόρμα E 1001.07 – Raw data corrections/modification reports.
  - **Διαλογή δεδομένων:** Το δεύτερο μέρος χρησιμοποιεί μία σειρά από ρουτίνες επικύρωσης ώστε να επιλεγθούν όλα τα δεδομένα με ύποπτες (περίεργες και εσφαλμένες) τιμές. Μία ύποπτη τιμή χρήζει εξονυχιστικού ελέγχου αλλά δεν είναι απαραίτητα εσφαλμένη. Για παράδειγμα, μια ασυνήθιστα υψηλή ταχύτητα ανέμου caused οφειλόμενη σε τοπική θύελλα πιθανόν να οδηγήσει σε διαφορετική μέση



ημερήσια ταχύτητα ανέμου. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός εγγράφου που παρουσιάζει τις ύποπτες τιμές και τη ρουτίνα επικύρωσης στην οποία απέτυχε κάθε τιμή.

- **Εντοπισμός εσφαλμένων δεδομένων:** Χρήση προγράμματος για τον εντοπισμό των γραμμών με εσφαλμένα δεδομένα. Το αποτέλεσμα έχει τη μορφή \*.log.
- **Τροποποίηση ή απόρριψη δεδομένων και επικύρωση:** Απόφαση, ανά περίπτωση, για τον τρόπο δράσης σχετικά με τις ύποπτες τιμές - διατήρηση ως έγκυρες, απόρριψη ως μη έγκυρες, αντικατάσταση με εφεδρικές, έγκυρες τιμές (εφόσον είναι διαθέσιμες). Στο συγκεκριμένο μέρος απαιτείται απόφαση από πιστοποιημένο άτομο που γνωρίζει καλά τον εξοπλισμό επίβλεψης και τοπική μετεωρολογία.
- **Αποθήκευση αρχείων δεδομένων:** Στο τελευταίο μέρος τα αρχεία ακατέργαστων και επικυρωμένων δεδομένων αποθηκεύονται ξεχωριστά, σύμφωνα με την οδηγία του εργαστηρίου O1001.06 – Wind data validation and correction procedure.

Υπάρχουν αρκετές αιτίες για καταγραφή εσφαλμένων δεδομένων: αισθητήρες με βλάβη ή κατεστραμμένοι, χαλαρές συνδέσεις καλωδίων, δυσλειτουργίες του καταγραφικού, στατικές εκκενώσεις, σφάλμα στη βαθμονόμηση αισθητήρων και συνθήκες πάγου μεταξύ άλλων. Σκοπός της επικύρωσης δεδομένων είναι ο εντοπισμός όσων περισσότερων σημαντικών σφαλμάτων σε όσες περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατό (η εύρεση όλων είναι αδύνατη). Μικρές αποκλίσεις στα δεδομένα μπορούν να ξεφύγουν από τον εντοπισμό (παρόλα αυτά η χρήση εφεδρικών αισθητήρων sensors μπορεί να μειώσει την πιθανότητα αυτή).

Ακολούθως παρουσιάζονται δύο είδη ρουτινών επιτήρησης, παραδείγματα κριτηρίων επικύρωσης που μπορεί να χρησιμοποιεί ο πιστοποιημένος ειδικός για κάθε παράμετρο μέτρησης καθώς και ο χειρισμός ύποπτων και χαμένων δεδομένων.

#### **Ρουτίνες επικύρωσης:**

Οι ρουτίνες επικύρωσης είναι σχεδιασμένες ώστε να ελέγχουν κάθε μετρούμενη παράμετρο για ύποπτες τιμές πριν χρησιμοποιηθούν για ανάλυση. Μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, γενικοί έλεγχοι συστήματος και έλεγχοι παραμέτρων μέτρησης.

## 1. Γενικοί έλεγχοι συστήματος

Δύο απλοί έλεγχοι αξιολογούν την πληρότητα των συλλεγμένων δεδομένων:

- Καταγραφές δεδομένων: Ο αριθμός των πεδίων δεδομένων πρέπει να είναι αντίστοιχος του αναμενόμενου αριθμού παραμέτρων μέτρησης για κάθε καταγραφή.
- Χρονική διαδοχή: Ο συγκεκριμένος έλεγχος θα εστιάσει στις αναφορές χρόνου και ημερομηνίες για κάθε καταγραφή δεδομένων.

## 2. Έλεγχοι μετρούμενων παραμέτρων

Οι έλεγχοι αυτοί αναπαριστούν το βασικότερο κομμάτι της διαδικασίας επικύρωσης δεδομένων και αποτελούνται από δοκιμές εύρους, σχεσιακούς ελέγχους και αναλύσεις τάσης (trend tests).

- **Έλεγχοι εύρους:** Τα μετρούμενα δεδομένα συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα άνω και κάτω όρια. Ο παρακάτω Πίνακας παρουσιάζει παραδείγματα κριτηρίων ελέγχου εύρους. Παρόλα αυτά, η βαθμονόμηση που προσφέρεται με πολλά ανεμόμετρα αποτρέπει την καταγραφή μηδενικών τιμών. Οι αρνητικές τιμές αποτελούν σαφή ένδειξη ύπαρξης προβλήματος, ενώ τιμές άνω των 40 m/s είναι πιθανές και θα πρέπει να επαληθευτούν με άλλες πληροφορίες. Οι τιμές για κάθε εγκατάσταση θα πρέπει να οριστούν κατά την κρίση του πιστοποιημένου ειδικού.

Αν κάποια τιμή ικανοποιεί ένα κριτήριο, ο εν λόγω έλεγχος κρίνει την τιμή έγκυρη. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες τιμές παραμέτρων θα πρέπει να ελεγχθούν με διάφορα κριτήρια.

<b>Οριζόντια ταχύτητα ανέμου</b>	<b>Κριτήρια ελέγχου</b>
Μέση τιμή	Αντιστάθμιση (offset) < Μέση τιμή < 40 m/sec
Τυπική απόκλιση	0 < Τυπική απόκλιση < 5 m/sec
Μέγιστη ριπή	Αντιστάθμιση (offset) < Μέγιστη τιμή < 80 m/sec
<b>Κατεύθυνση ανέμου</b>	
Μέση τιμή	0° < Μέση τιμή < 360°
Τυπική απόκλιση	3° < Τυπική απόκλιση < 75°
Μέγιστη ριπή	0° < Μέγιστη τιμή < 360°
<b>Θερμοκρασία</b>	
Εποχιακή μεταβλητότητα	-10°C < Μέση τιμή < 45 °C

**Εικόνα 16: Κριτήρια ελέγχου δεδομένων μετρήσεων**

- **Σχεσιακοί έλεγχοι:** Η συγκεκριμένη σύγκριση βασίζεται σε αναμενόμενες φυσικές σχέσεις μεταξύ διαφόρων παραμέτρων. Ο ακόλουθος Πίνακας δίνει παραδείγματα κριτηρίων σχεσιακών ελέγχων. Οι σχεσιακοί έλεγχοι θα πρέπει να εξασφαλίζουν ότι δεν αναφέρονται στα δεδομένα φυσικά αδύνατες καταστάσεις χωρίς εξακρίβωση: για παράδειγμα σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου στη στάθμη των 25m σε σχέση με τη στάθμη των 40m.

Οριζόντια ταχύτητα ανέμου	Κριτήρια επικύρωσης
Σχέση Μεγίστης ρυθής - Μέσης τιμής	Μέγιστη ρυθή $\leq 2.5$ *Μέγιστη τιμή
40m / 20m Μέση διαφορά	$\leq 2$ m /sec
40m / 10m Μέση διαφορά	$\leq 4$ m /sec
<b>Εφεδρική ταχύτητα ανέμου στα 10m</b>	
Μέση διαφορά	$\leq 0.5$ m/sec
Μέγιστη διαφορά	$\leq 2.0$ m/sec
<b>Κατεύθυνση ανέμου</b>	
40m / 25m Μέση διαφορά	$\leq 20^\circ$

Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου	Τιμή
Διαφορά 1 ώρας	$\leq 6.0$ m/s
<b>Μέση τιμή θερμοκρασίας</b>	
Διαφορά 1 ώρας	$\leq 5.0$ °C

Εικόνα 17: Παραδείγματα κριτηρίων σχεσιακού ελέγχου

- **Ανάλυση τάσης:** Οι συγκεκριμένοι έλεγχοι βασίζονται στο ρυθμό μεταβολής μιας τιμής με την πάροδο του χρόνου. Ένα παράδειγμα τάσης που υποδεικνύει μία ασυνήθιστη κατάσταση (και εν δυνάμει πρόβλημα) είναι μία μεταβολή στη θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη από 5°C εντός 1 ώρας.

#### **Διαχείριση ύποπτων και χαμένων δεδομένων**

Ακολουθούν ορισμένες οδηγίες για τη διαχείριση ύποπτων τιμών, ακολουθώντας την οδηγία O1001.06 "WIND DATA VALIDATION AND CORRECTION PROCEDURE":

1. Δημιουργία μίας αναφοράς επιτήρησης (εκτυπωμένη ή οπτική απεικόνιση βάσει υπολογιστή) που παρουσιάζει όλα τα ύποπτα δεδομένα. Για κάθε τιμή δεδομένων, η αναφορά θα πρέπει να παρουσιάζει την καταγεγραμμένη τιμή, την ημερομηνία και ώρα του συμβάντος και το κριτήριο επικύρωσης στο οποίο απέτυχε.
2. Εξέταση των ύποπτων δεδομένων από πιστοποιημένο άτομο για τον καθορισμό της αποδεκτότητάς τους.

3. Αν χρησιμοποιούνται εφεδρικοί αισθητήρες, αντικαθίσταται μία απορριπτόμενη τιμή από τον κύριο αισθητήρα με μία από τον εφεδρικό εφόσον ικανοποιεί όλα τα κριτήρια επικύρωσης.

4. Μια πλήρης καταγραφή όλων των ενεργειών επικύρωσης για κάθε εγκατάσταση επίβλεψης θα πρέπει να διατηρείται στην αναφορά Επικύρωσης Δεδομένων Εγκατάστασης (Site Data Validation), παράδειγμα της οποίας δίνεται στο τέλος του συγκεκριμένου κεφαλαίου. Εφαρμόζεται η φόρμα E1001.07 – Raw data corrections/modifications report.

Το έγγραφο αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει τις παρακάτω πληροφορίες για κάθε απορριπτόμενη και αντικαθιστάμενη τιμή:

- όνομα αρχείου
- είδος παραμέτρου και ύψος επίβλεψης
- ώρα και ημερομηνία του μαρκαρισμένου δεδομένου
- αντίστοιχος κωδικός επικύρωσης και δοθείσα επεξήγηση για κάθε απορριπτόμενο δεδομένο
- πηγή προέλευσης της τιμής που χρησιμοποιήθηκε για την αντικατάσταση

**Σημείωση:** Τα αρχεία ακατέργαστων και επικυρωμένων δεδομένων διατηρούνται ξεχωριστά, ακολουθώντας την οδηγία O1001.06. Προκειμένου να επιτευχθεί ιχνηλασιμότητα (traceability), οποιαδήποτε αλλαγή στη μορφή των δεδομένων (τροποποίηση/αντικατάσταση/παραλείψη) πρέπει να καταγραφεί.

#### **Ανάκτηση δεδομένων**

Ο ρυθμός ανάκτησης δεδομένων ορίζεται ως ο αριθμός καταγραφών έγκυρων δεδομένων που συλλέχθηκαν σε σχέση με αυτές που θα μπορούσαν να συλλεχθούν κατά την περίοδο καταγραφής και θα πρέπει να οριστεί για κάθε κύριο αισθητήρα ανέμου (για όλα τα επίπεδα σε κάθε εγκατάσταση). Η μέθοδος υπολογισμού είναι η ακόλουθη:

$$\text{Ρυθμός Ανάκτησης Δεδομένων} = \frac{\text{Συλλεγόμενες Καταγραφές Δεδομένων}}{\text{Πιθανές Καταγραφές Δεδομένων}} (100)$$

Όπου: Συλλεγόμενες Καταγραφές Δεδομένων = Πιθανές Καταγραφές Δεδομένων - Αριθμός Μη Έγκυρων Καταγραφών

#### 1.5.4 Απόρριψη δεδομένων

Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι στην ανάλυση χρησιμοποιούνται μόνο έγκυρα δεδομένα του ανεμομέτρου και ότι τα δεδομένα δεν έχουν αλλοιωθεί, θα πρέπει να εξαιρεθούν από τη βάση όσα δεδομένα συνδέονται με αστοχία (πχ λόγω πάγου) του εξοπλισμού ακολουθώντας την οδηγία O1001.06. Οποιοδήποτε άλλο κριτήριο απόρριψης θα πρέπει να αναφέρεται λεπτομερώς.

#### 1.5.5 Αβεβαιότητα

Η εκτίμηση αβεβαιότητας βασίζεται στη δημοσίευση ISO "Guide for uncertainty estimation in measurement" και στο Παράρτημα D του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005.

Κατάλληλες οδηγίες μέτρησης είναι διαθέσιμες στο έγγραφο O1001.04 "Wind measurement uncertainty procedure". Κάθε απόκλιση από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης Τεχνικής Οδηγίας θα πρέπει να καταγράφεται ξεκάθαρα σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

### **1.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ**

Στην αναφορά παρουσίασης των αποτελεσμάτων βαθμονόμησης θα πρέπει να ακολουθούνται τα ακόλουθα:

- Χρήση Πίνακα και Γραφήματος

- Ο Πίνακας θα πρέπει να παρουσιάζει για κάθε κατεύθυνση ανέμου:

(α) μέγιστο και ελάχιστο όριο κατεύθυνσης ανέμου

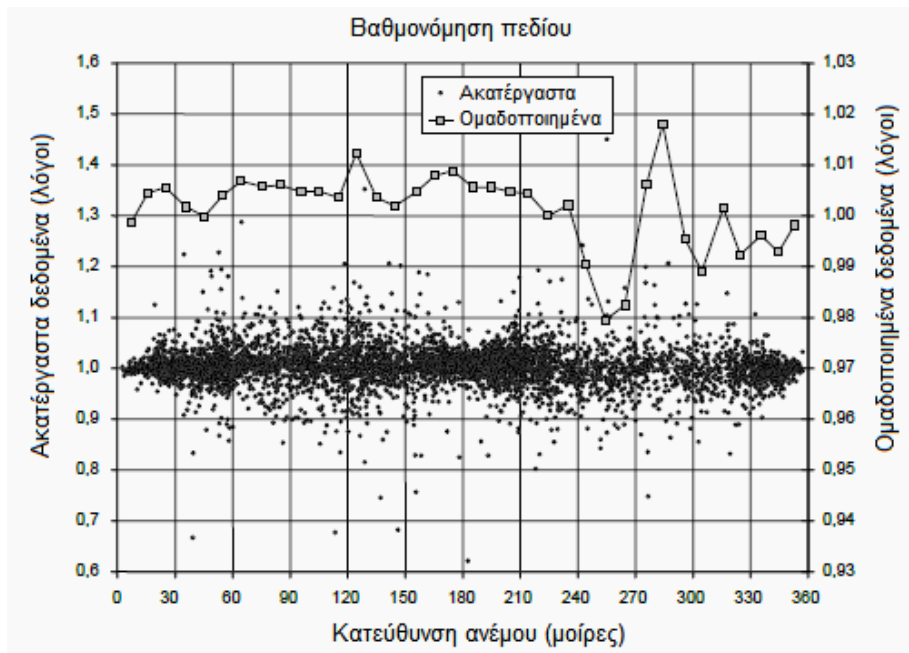
(β) τη μέση κατεύθυνση ανέμου της βαθμίδας

(γ) το μέσο λόγο ταχυτήτων ανέμου της βαθμίδας

(δ) τον αριθμό ωρών των δεδομένων

(ε) τη συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα του λόγου ταχυτήτων ανέμου για 6, 10 και 14 m/s

- Το Γράφημα πρέπει να παρουσιάζει το μέσο λόγο ταχυτήτων ανέμου βαθμίδας με τυπική απόκλιση  $S_{\alpha,j}$  συναρτήσει της κατεύθυνσης ανέμου.



**Εικόνα 18: Παράδειγμα γραφήματος παρουσίασης αποτελεσμάτων βαθμονόμησης**

Σημειώνεται ότι στο παραπάνω γράφημα μόνο οι τομείς 20° ως 30°, 40° ως 60°, 160° ως 210° και 330° ως 350° είναι έγκυροι τομείς. Σε περίπτωση μικρών ανεμογεννητριών και σε ότι αφορά στον έλεγχο απόδοσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συστάσεις του Παραρτήματος Η του προτύπου IEC 61400-12-1: 2005.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ WINDROSE

Στο εν λόγω Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν δεδομένα από μετεωρολογικό ιστό 40m για διαφορετικά υψόμετρα (12,7m - 30,1m – 40m) με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος WindRose. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αναπτύχθηκε από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας) και είναι πρόσθετο (add-in) στο Microsoft Excel που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ανεμολογικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, δέχεται ως είσοδο δεδομένα τύπου ASCII (το συγκεκριμένο τύπο δεδομένων υποστηρίζει κάθε είδος καταγραφικού-data logger) και παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε φύλλα εργασίας Excel. Τα εν λόγω δεδομένα συμφωνούν με τα ισχύοντα πρότυπα στον τομέα της αιολικής ενέργειας (πχ IEC 61400-1 & -12, MEASNET).

### 2.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα δεδομένα για όλες τις υψομετρικές θέσεις που προαναφέρθηκαν βρίσκονται στο χρονικό διάστημα από 3/3/2011 έως 9/8/2016. Μεταξύ δύο μετρήσεων μεσολαβεί χρονική διάρκεια ενός (1) λεπτού, το όριο για νηνεμία έχει τεθεί σε 2m/s ενώ επιλέχθηκε διαχωρισμός σε 16 τομείς διεύθυνσης. Ο υπολογισμός της μέσης τύρβης έχει πραγματοποιηθεί για ταχύτητα ανέμου 10m/s και εύρος 1m/s. Τέλος, σχετικά με την αβεβαιότητα της ταχύτητας ανέμου ισχύουν τα ακόλουθα:

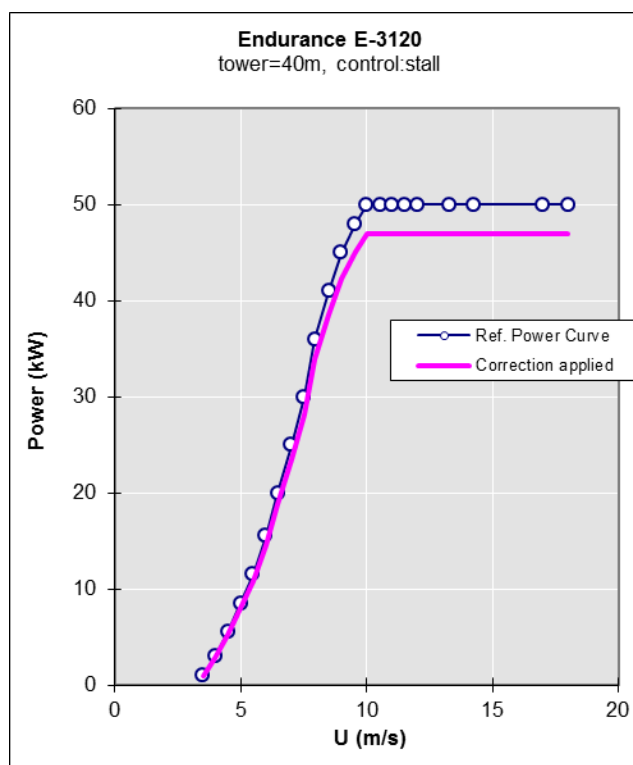
- Σφάλμα βαθμονόμησης στη μέση ταχύτητα ( $U_{mean}$ ) ίσο με 0,06m/s
- Μέγιστη ταχύτητα ανεμομέτρου ίση με 80m/s
- Ακρίβεια καταγραφικού (Datalogger) ίση με 8 bits

Για τις διάφορες θέσεις δόθηκαν ως είσοδο στο πρόγραμμα το format ανάγνωσης των αρχείων τύπου ASCII καθορίζοντας τον αριθμό των στηλών που εκφράζουν την ταχύτητα του ανέμου, την τυπική απόκλιση, τη γωνία και τη ριπή ανέμου, την ημερομηνία και την ώρα της μέτρησης καθώς και τις γραμμές που θα πρέπει να παραβλεφθούν.



Ο υπολογισμός της αναμενόμενης παραγόμενης ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή της πυκνότητας του αέρα. Το πρόγραμμα WindRose παρέχει τρεις διαφορετικούς τρόπους για την εκτίμηση της πυκνότητας. Η πρώτη μέθοδος πραγματοποιεί μία εκτίμηση της πυκνότητας βάσει ενός εμπειρικού τύπου ο οποίος δέχεται ως μοναδική παράμετρο εισόδου το υψόμετρο. Η δεύτερη μέθοδος λαμβάνει υπόψη της πέρα από το υψόμετρο και την τιμή της θερμοκρασίας. Η τρίτη μέθοδος προβλέπει την εισαγωγή διαφορετικών τιμών πυκνότητας αέρα ανά μήνα του έτους. Ο ακόλουθος Πίνακας παρουσιάζει αναλυτικά τιμές της πυκνότητας για τους διάφορους μήνες του έτους καθώς και τις τιμές των παραμέτρων  $\Gamma$  ( $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) και της μέσης θερμοκρασίας ( $15^{\circ}\text{C}$ ) που εισήχθησαν κατά τους υπολογισμούς στο πρόγραμμα WindRose (αφορά τη δεύτερη από τις προαναφερθείσες μεθόδους).

Air Density	
Method 2 : $\rho = f(\theta, z)$	
Month of the year	Value
Jan	1,198
Feb	1,181
Mar	1,168
Apr	1,156
May	1,141
Jun	1,121
Jul	1,105
Aug	1,109
Sep	1,124
Oct	1,148
Nov	1,168
Dec	1,185
$\Gamma$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ]	6,5
$\theta_{\text{mean}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	15
(for Method 2 only)	



**Εικόνα 19: Διάφορες τιμές πυκνότητας για διάφορους μήνες του έτους και τιμές των παραμέτρων  $\Gamma$  ( $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) και της μέσης θερμοκρασίας ( $15^{\circ}\text{C}$ )**

Το φύλλο εργασίας Results παρουσιάζει συνοπτικά τα αποτελέσματα (πχ στατιστικά δεδομένα) της επεξεργασίας των ανεμολογικών δεδομένων τόσο με τη μορφή πινάκων όσο και με τη μορφή διαγραμμάτων.

Ο Παρακάτω Πίνακας παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις υψομέτρου, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις μελετώμενες παραμέτρους.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ 12,7m		ΥΨΟΜΕΤΡΟ 30,1m		ΥΨΟΜΕΤΡΟ 40m	
Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/s)	4,1		4,9		5,2	
Μέση ένταση τύρβης (για 10m/s) (%)	19,1		12,9		11,3	
Μέγιστη μέση τιμή (διάστημα 1 min) ταχύτητας ανέμου (m/s)	20,7		26,1		28,2	
Μέγιστη ριπή (m/s)	28,4		31,8		33,7	
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας ανέμου (m/s)	0,2		0,2		0,2	
Μέση Ισχύς ανέμου (Watt/m <sup>2</sup> )	80,8		156,2		189,7	
Συνολική ενέργεια ανέμου (kWh/m <sup>2</sup> )	3.521,2		6.803,9		8.265,4	
Παράγοντας σχήματος κατανομής Weibull (k)	1,75		1,61		1,62	
Παράγοντας κλίμακας κατανομής Weibull (C) (m/s)	4,5		5,4		5,7	
Συνολικός αριθμός έγκυρων δεδομένων	2.613.637		2.613.637		2.613.637	
Συμπεριλαμβανόμενος αριθμός νηνεμιών (<2m/s)	409.531		363.910		343.067	
Ελλείποντα δεδομένα	247.643	(8,7%)	247.643	(8,7%)	247.643	(8,7%)
Αναμενόμενη παραγωγή Ανεμογεννήτριας kWh	9.311.374,0		13.530.399,0		14.988.010,0	
Συντελεστής φορτίου Ανεμογεννήτριας %	10,4		15,2		16,8	
Υπολογιζόμενη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε υψόμετρο 40m (m/s)	4,7		5,2		5,4	
Ετήσια παραγωγή ενέργειας Α/Γ (kWh) & συντελεστής φορτίου (υπολογισμένα βάσει της πραγματικής κατανομής των δεδομένων)	1.871.760,6	10,42 %	2.735.031,5	15,22 %	3.032.245,3	16,87 %
Ετήσια παραγωγή ενέργειας Α/Γ (kWh) & συντελεστής φορτίου (υπολογισμένα βάσει της πραγματικής κατανομής Weibull)	1.863.385,1	10,37 %	2.673.323,3	14,88 %	2.955.469,0	16,45 %
Κύρια Διεύθυνση ως προς την Ενέργεια	NNW	23,70 %	NW	21,62 %	NNW	29,98 %
2 <sup>η</sup> Κύρια Διεύθυνση ως προς την Ενέργεια	NW	19,22 %	NNW	17,86 %	S	23,89 %
Κύρια Διεύθυνση ως προς τη Χρονική Κατανομή	SSW	19,30 %	NW	15,53 %	NNW	19,48 %
2 <sup>η</sup> Κύρια Διεύθυνση ως προς τη Χρονική Κατανομή	NNW	15,23 %	NNW	14,64 %	S	15,94 %

Εικόνα 20: Αποτελέσματα για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις υψόμετρου

NNE: Βόρειος-Βορειοανατολικός

N: Βόρειος

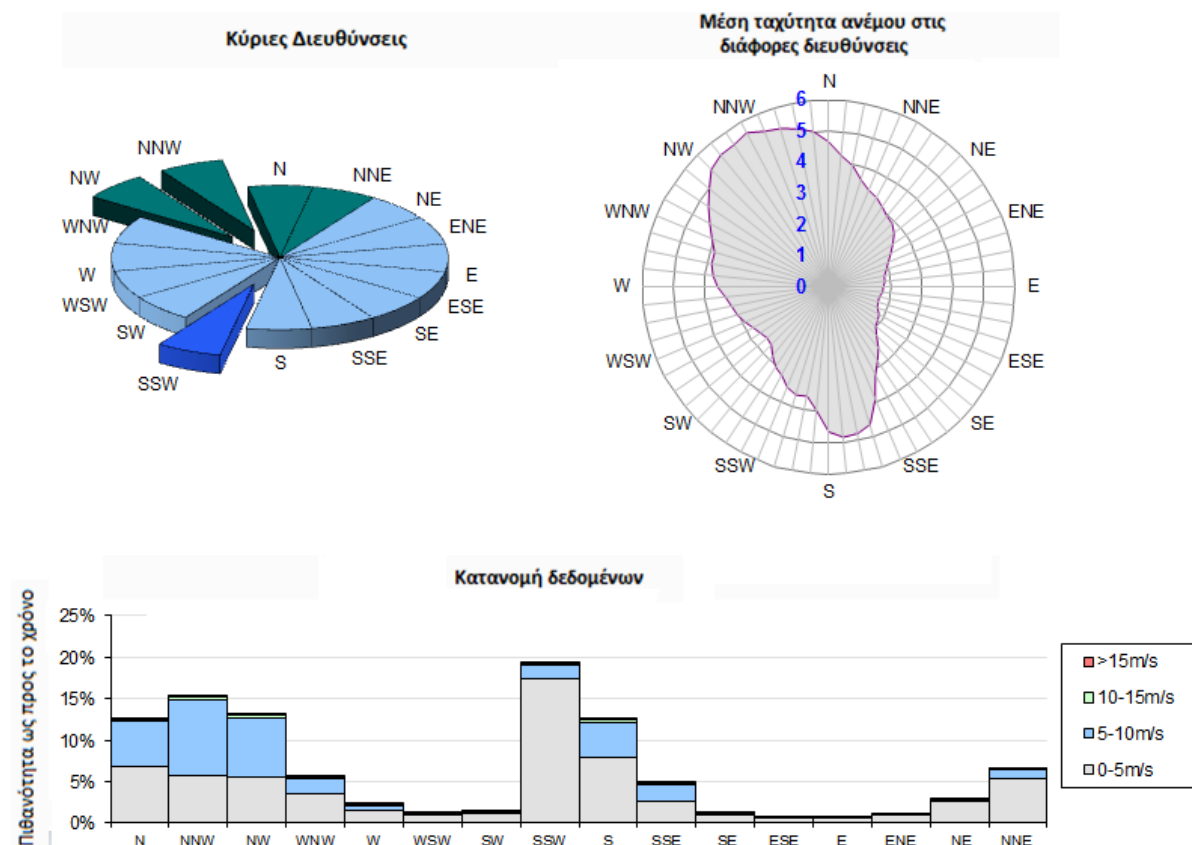
NW: Βορειοδυτικός

NNW: Βόρειος- Βορειοδυτικός

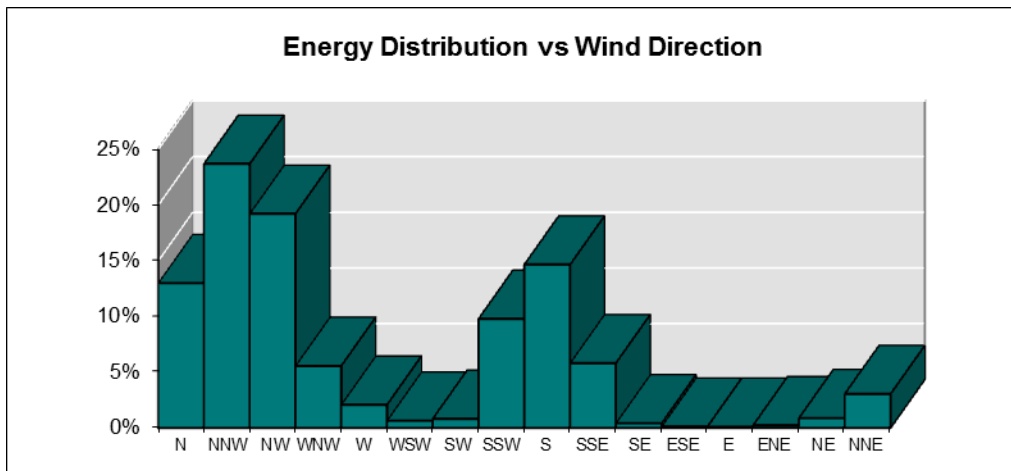
S: Νότιος

Όσον αφορά στην υψομετρική θέση των 40m, παρατηρείται ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, κατά 27% περίπου συγκριτικά με τα 12,7m, οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης ενέργειας κατά ένα ποσοστό κοντά στο 60%. Για τις κύριες διευθύνσεις, προκύπτει συμφωνία ως προς την ενέργεια και τη χρονική κατανομή όσον αφορά στις υψομετρικές θέσεις των 30,1m και 40m, με τον Βορειοδυτικό και τον Βόρειο-Βορειοδυτικό προσανατολισμό να είναι κύριος για το υψόμετρο των 30,1m και 40m αντίστοιχα. Αντίθετα, στο υψόμετρο των 12,7m υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ κύριας διεύθυνσης ως προς την ενέργεια και ως προς τη χρονική κατανομή. Συγκεκριμένα, ως προς την ενέργεια κύριος προσανατολισμός εμφανίζεται ο Βόρειος-Βορειοδυτικός, ενώ ως προς τη χρονική κατανομή ο Νότιος-Νοτιοδυτικός. Ο άνεμος στα 40m εμφανίζεται περισσότερο προσανατολισμένος, σε ποσοστό κοντά στο 30% ως προς την ενέργεια. Τέλος, σχετικά με τις δεύτερες κύριες διευθύνσεις παρατηρείται η ίδια ασυμφωνία ως προς την ενέργεια και τη χρονική κατανομή στο υψόμετρο των 12,7m.

**12,7m:**

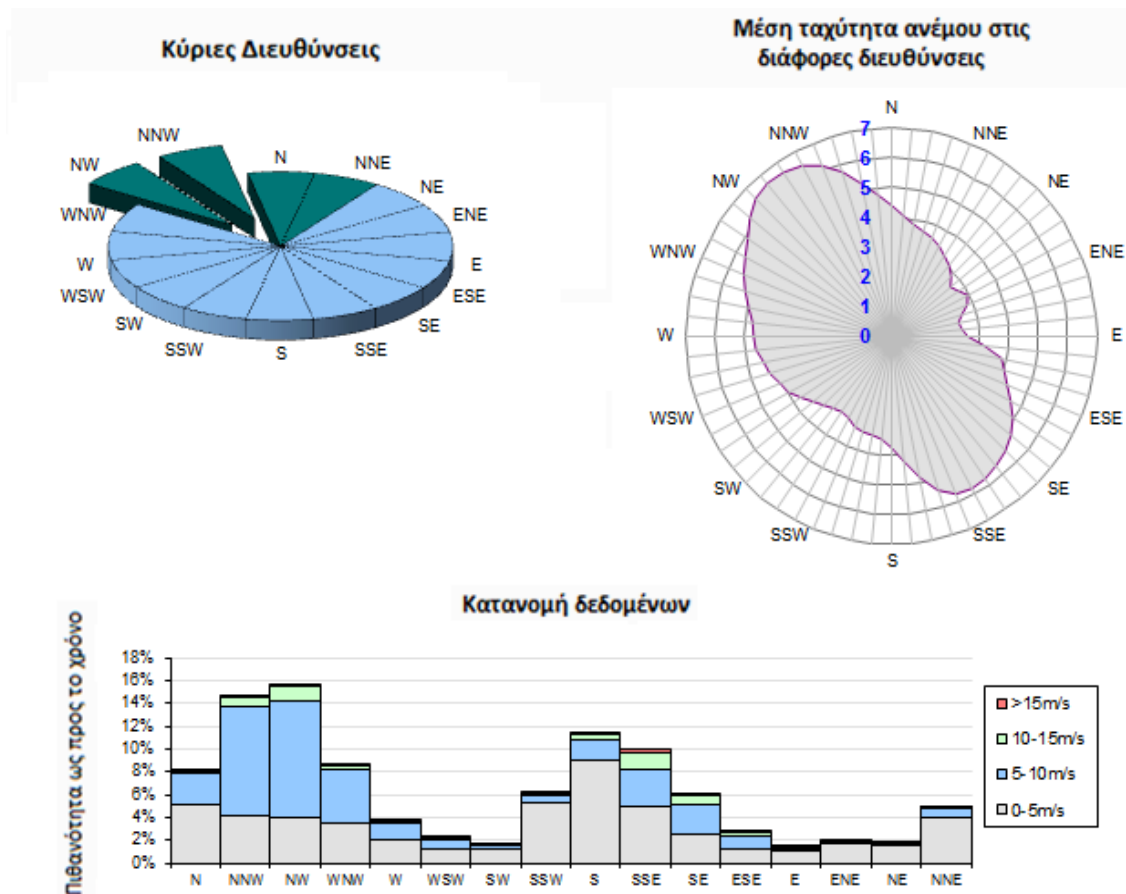


**Εικόνα 21: Κύριες διευθύνσεις ανέμων, μέση ταχύτητα και κατανομή δεδομένων (12.7m)**

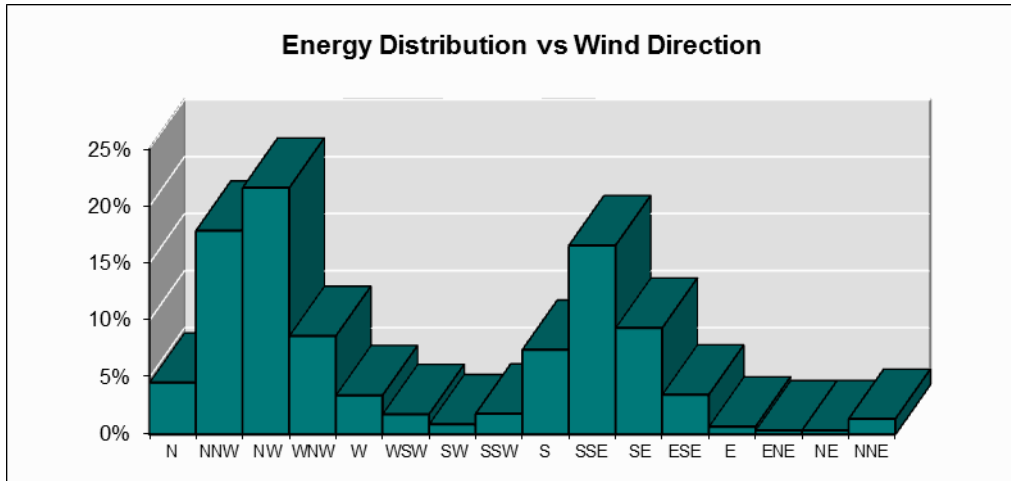


Εικόνα 22 : Κατανομή ενέργειας ανάλογα την κατεύθυνση ανέμων (12.7m)

**30,1m:**

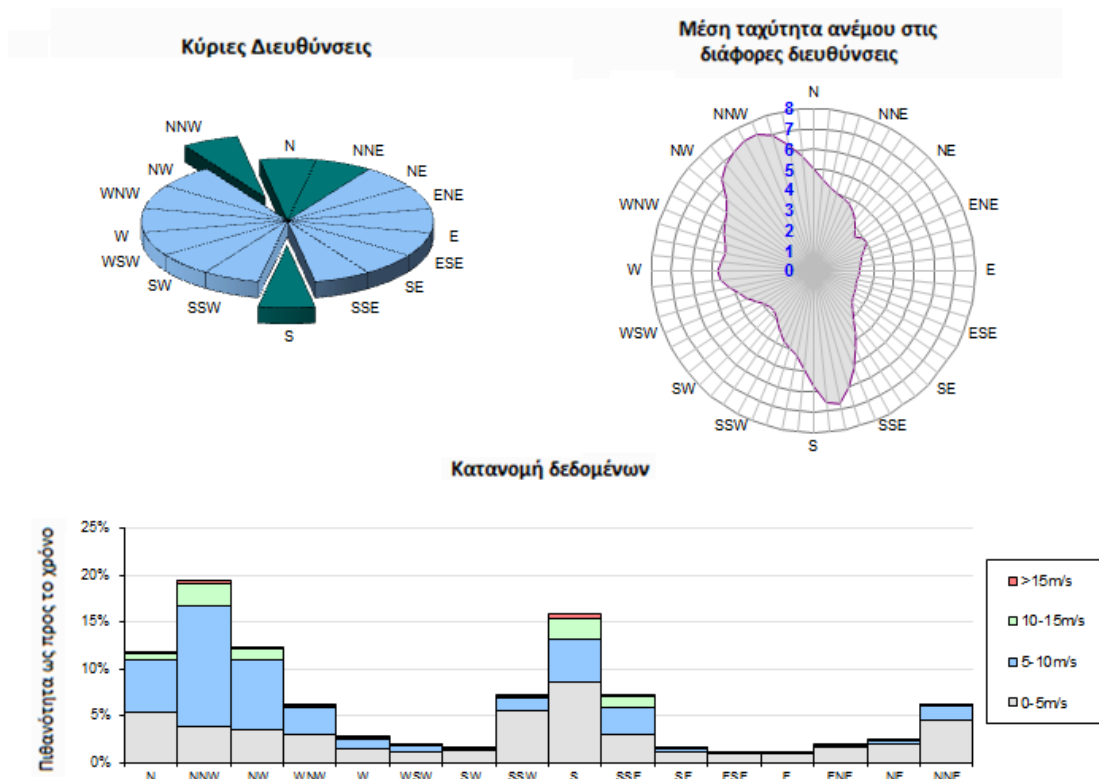


Εικόνα 23: Κύριες διευθύνσεις ανέμων, μέση ταχύτητα και κατανομή δεδομένων (30.1m)

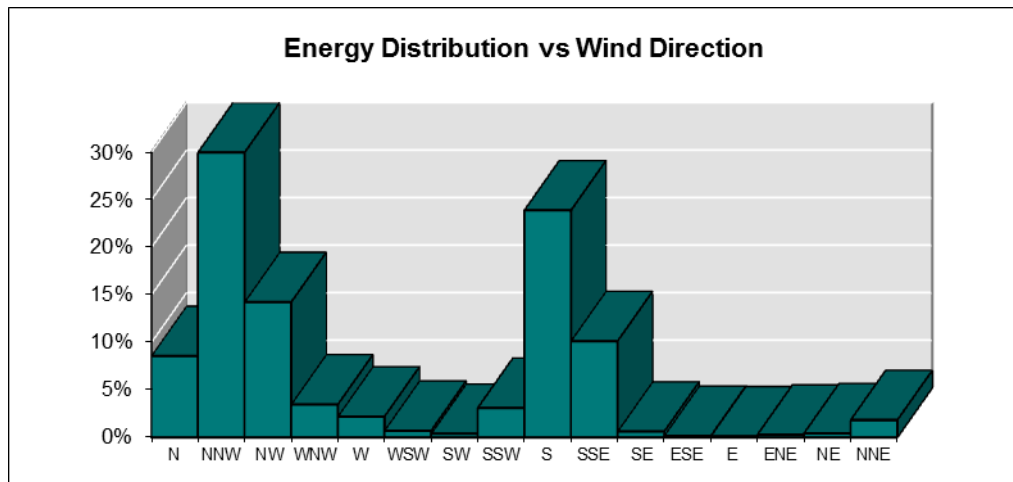


Εικόνα 24 : Κατανομή ενέργειας ανάλογα την κατεύθυνση ανέμου (30.1m)

**40m:**



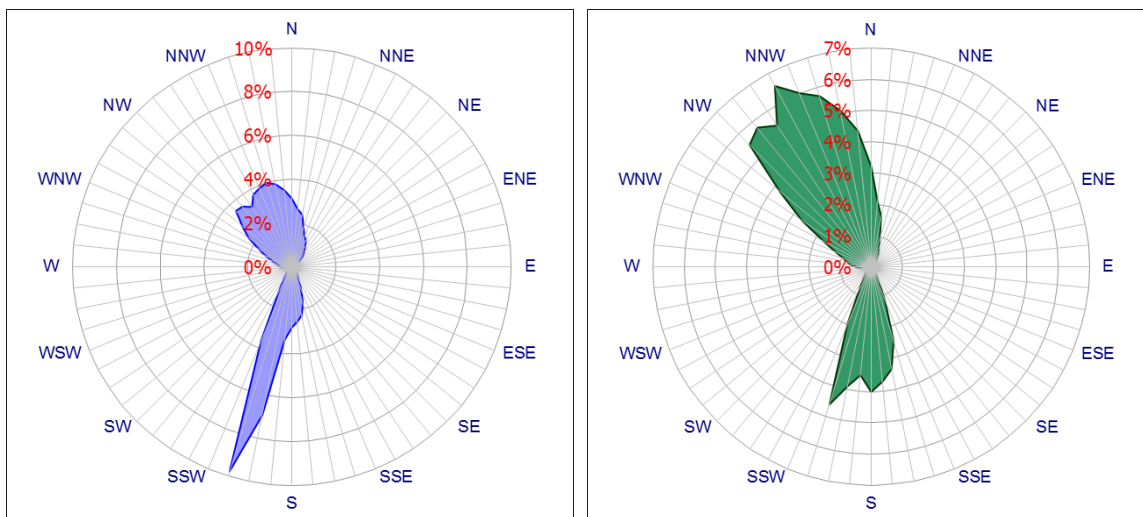
Εικόνα 25: Κύριες διευθύνσεις ανέμου, μέση ταχύτητα και κατανομή δεδομένων (40m)



**Εικόνα 26 : Κατανομή ενέργειας ανάλογα την κατεύθυνση ανέμου (40m)**

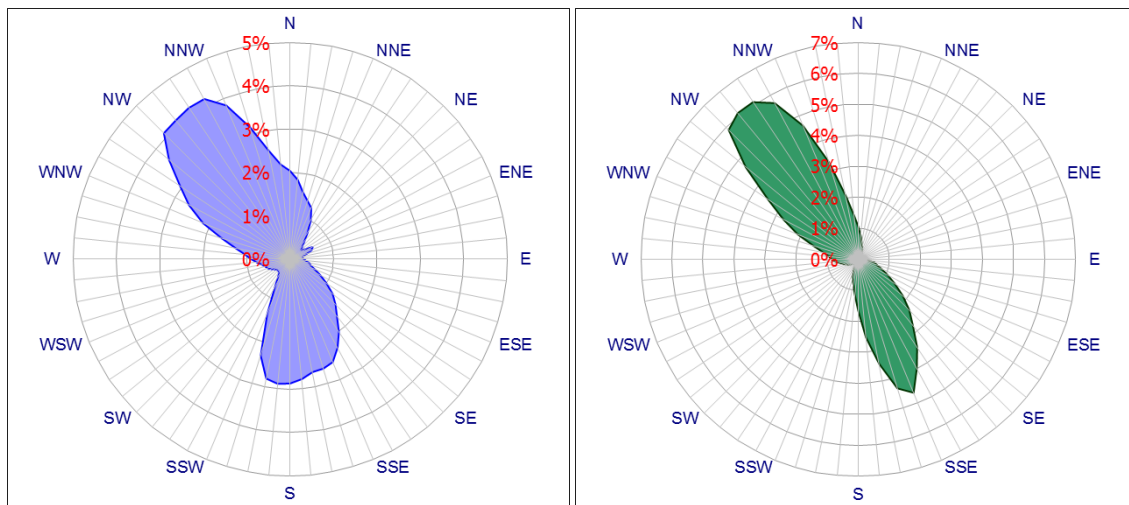
Το φύλλο εργασίας WindRose παρέχει ροδογράμματα (διαγράμματα κατανομής) χρόνου (μπλε χρώμα) και ενέργειας ανέμου (πράσινο χρώμα) τόσο συνολικά όσο και ανά μήνα. Για τα 3 διαφορετικά υψόμετρα προέκυψαν τα παρακάτω συνολικά διαγράμματα:

**12,7m:**



**Εικόνα 27: Ροδογράμματα και ενέργεια ανέμου (12.7 m)**

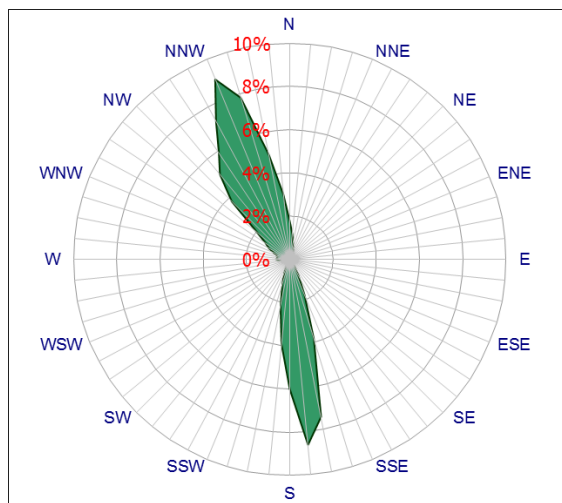
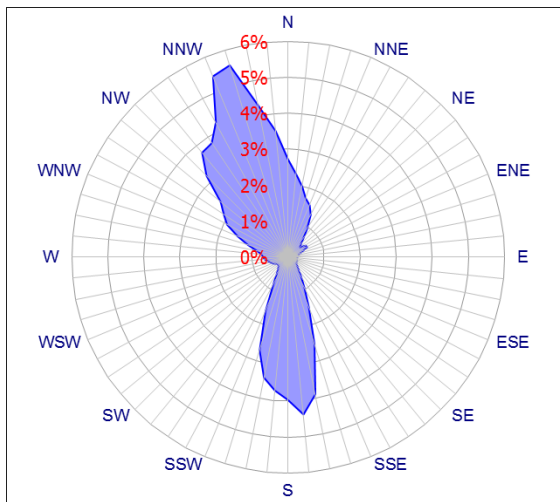
**30,1m:**



***Εικόνα 28: Ροδογράμματα και ενέργεια ανέμου (30.1 m)***

**40m:**

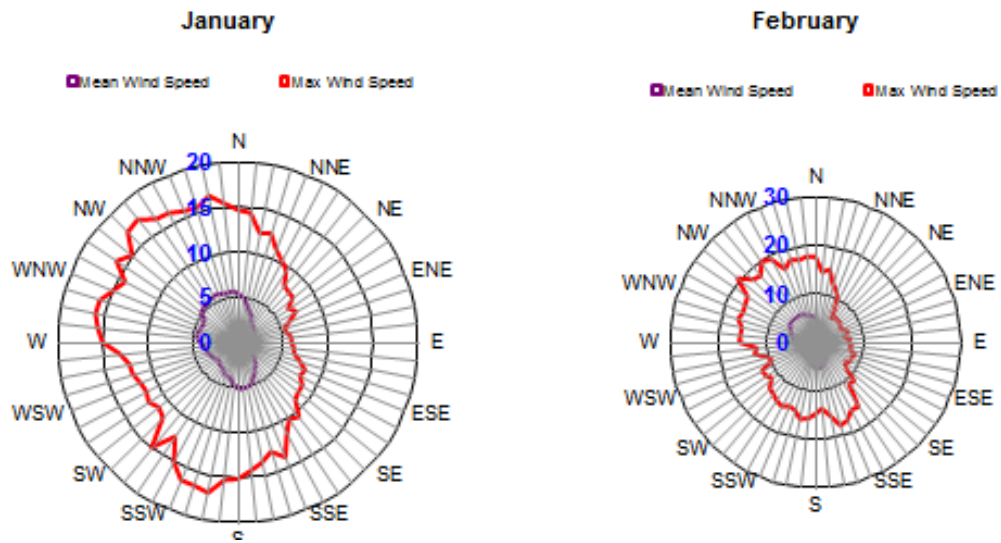




**Εικόνα 29: Ροδογράμματα και ενέργεια ανέμου (40 m)**

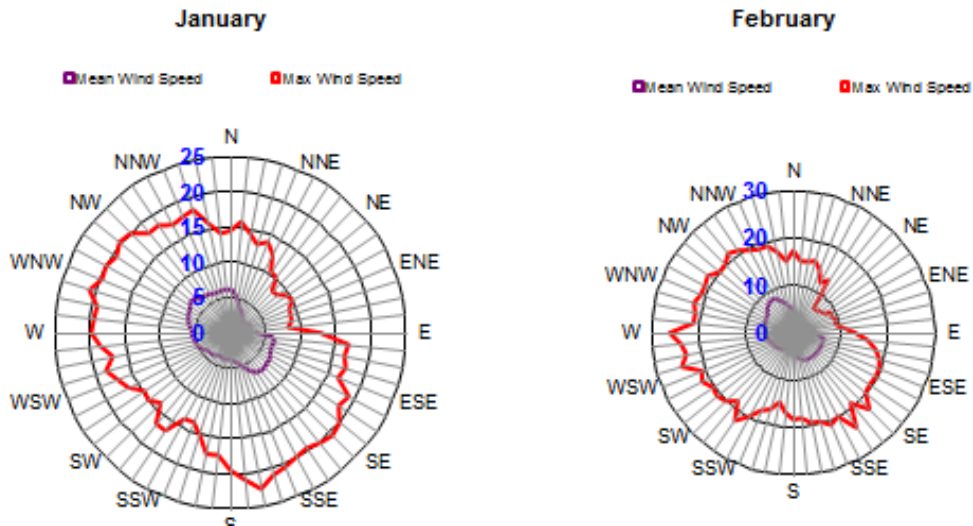
Τα παραπάνω διαγράμματα αποτελούν ουσιαστικά ένα επιπλέον τρόπο παρουσίασης των κύριων προσανατολισμών ως προς την ενέργεια καθώς και τη χρονική κατανομή. Πέραν των προαναφερθέντων διαγραμμάτων είναι ιδιαίτερα χρήσιμα και αντίστοιχα διαγράμματα που θα απεικονίζουν όχι την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένης διεύθυνσης ανέμου, αλλά την ένταση του ανέμου ανά διεύθυνση ανεξάρτητα από τη συχνότητα που εμφανίζεται κάθε συγκεκριμένος προσανατολισμός. Τα ζητούμενα διαγράμματα προκύπτουν από το φύλλο εργασίας Urolar (ενδεικτικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο):

### 12,7m



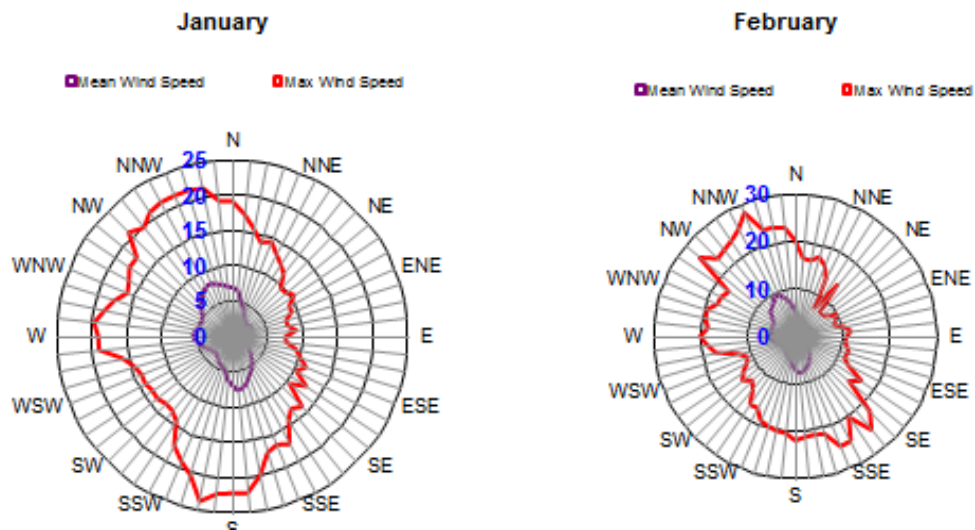
*Εικόνα 30: Ένταση του ανέμου ανά διεύθυνση ανεξάρτητα από τη συχνότητα που εμφανίζεται ο κάθε συγκεκριμένος προσανατολισμός (12.7 m)*

### 30,1m



*Εικόνα 31: Ένταση του ανέμου ανά διεύθυνση ανεξάρτητα από τη συχνότητα που εμφανίζεται ο κάθε συγκεκριμένος προσανατολισμός (30.1 m)*

## 40m

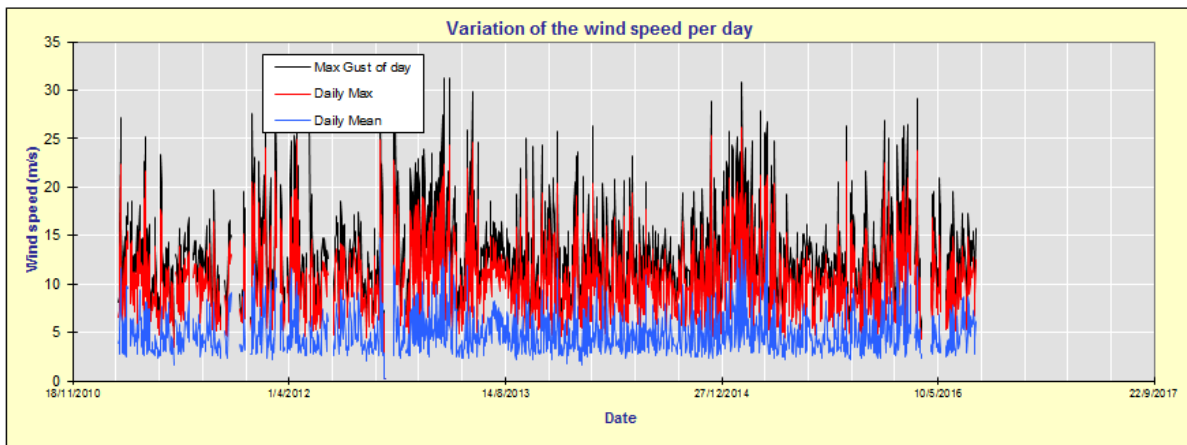


*Εικόνα 32: Ένταση του ανέμου ανά διεύθυνση ανεξάρτητα από τη συχνότητα που εμφανίζεται ο κάθε συγκεκριμένος προσανατολισμός (40 m)*

Είναι φανερό από τα διαγράμματα ταχύτητας ανέμου ότι ο προσανατολισμός μέγιστης ταχύτητας μεταβάλλεται και για τις τρεις υψομετρικές θέσεις και ενώ τον Ιανουάριο είχε κατά κύριο λόγο νότιο προσανατολισμό αποκτά περισσότερο βόρεια και βορειοδυτική διεύθυνση.

Όσον αφορά στα διαγράμματα του φύλλου εργασίας TimeCharts προέκυψαν τα ακόλουθα:

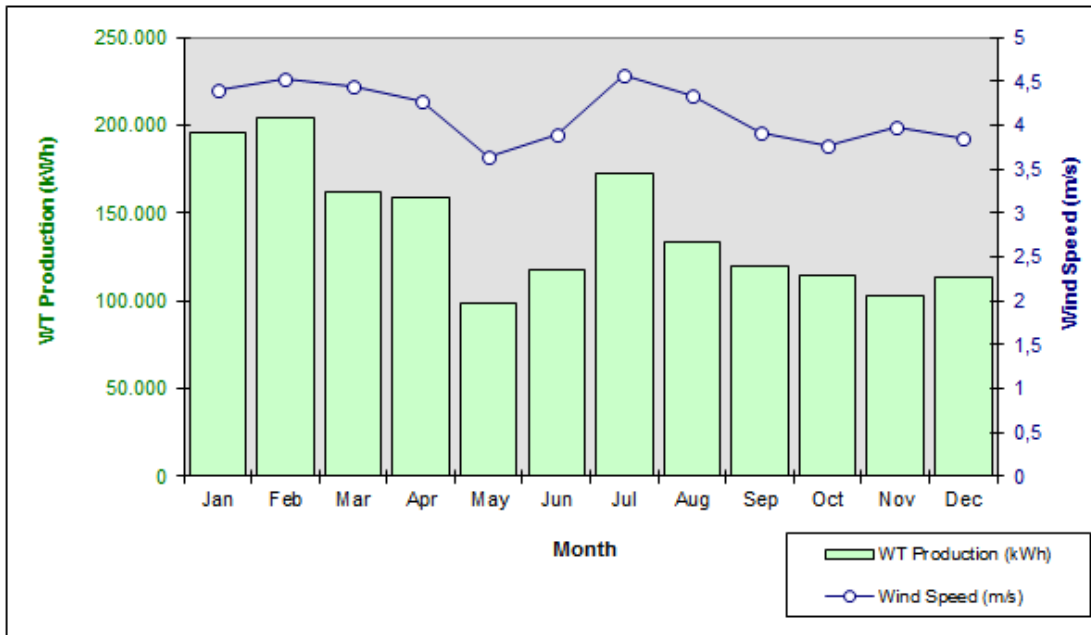
- Όπως αναμενόταν, η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου ανά ημέρα έχει παρόμοια μορφή και για τα τρία υψόμετρα. Ακολούθως παρουσιάζεται το σχετικό διάγραμμα για την υψομετρική θέση των 30,1m:



**Εικόνα 33 : Διακύμανση της ταχύτητας ανέμου ανά μέρα (30.1 m)**

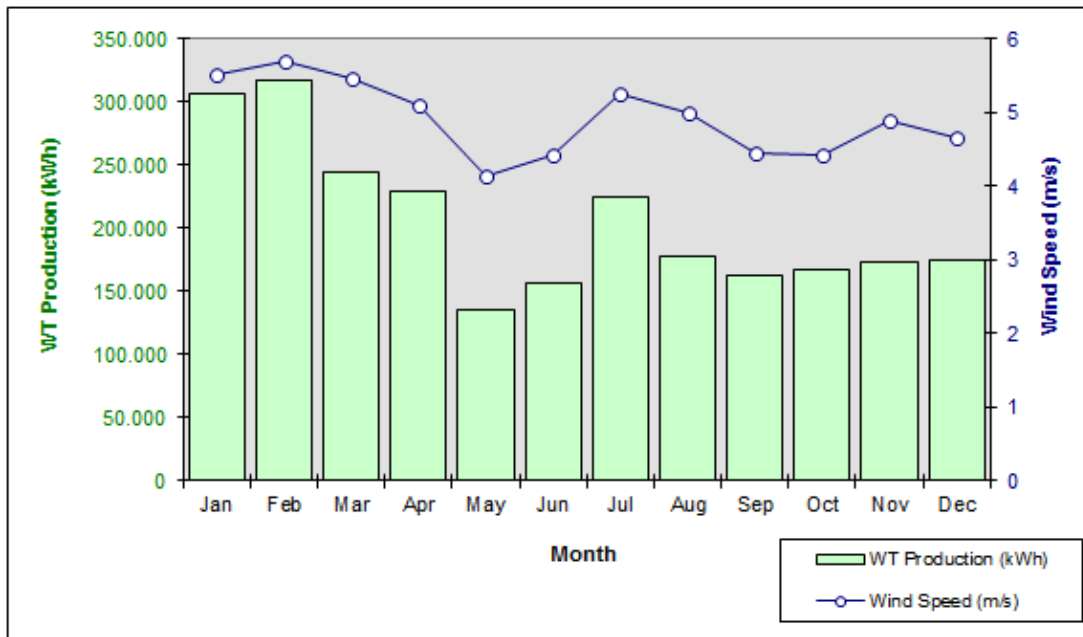
- Το διάγραμμα παραγωγής ενέργειας της Α/Γ ανά μήνα, σε αντιπαραβολή με την ταχύτητα ανέμου, εμφανίζει μεγάλη ομοιότητα και για τις τρεις διαφορετικές υψομετρικές θέσεις. Όπως είναι φανερό από τα παρακάτω διαγράμματα, στα υψόμετρα των 30,1m και 40m η μέγιστη παραγωγή ενέργειας εμφανίζεται τον μήνα Φεβρουάριο και ακολούθως τον Ιανουάριο, ενώ έπονται με κοντινές μεταξύ τους τιμές ο Μάρτιος, ο Απρίλιος και ο Ιούλιος. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζει και η υψομετρική θέση των 12,7m με τον μήνα Ιούλιο όμως να εμφανίζει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας συγκριτικά με τον Μάρτιο και τον Απρίλιο.

**12.7m:**



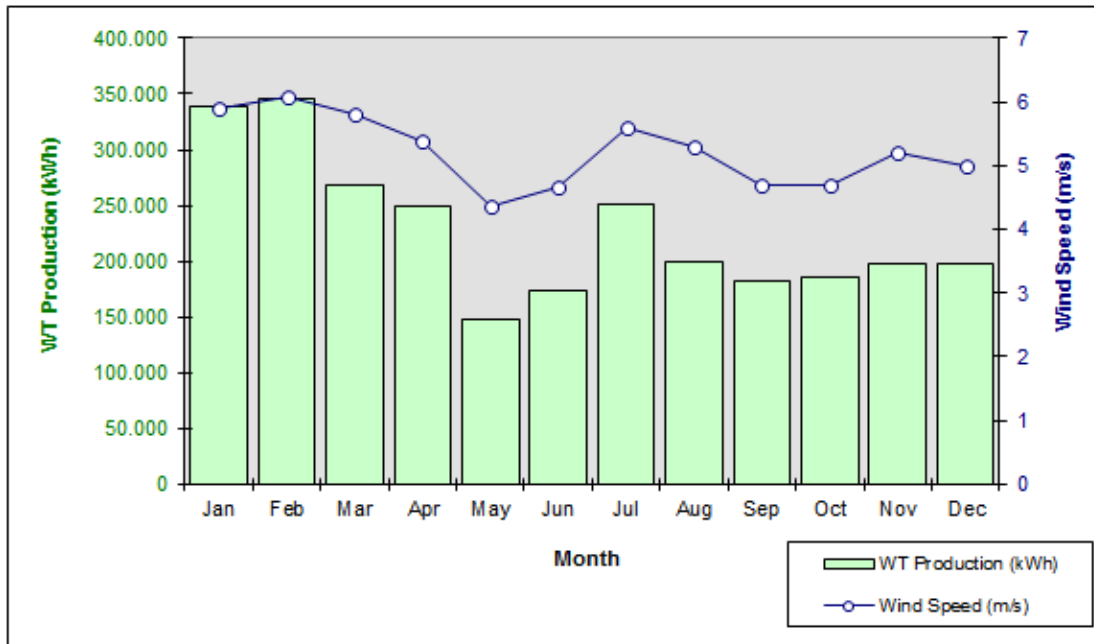
Εικόνα 34 : Παραγωγή ενέργειας ανά μήνα σε αντιπαράβολή με την ταχύτητα του ανέμου (12.7 m)

**30.1m:**



Εικόνα 35 : Παραγωγή ενέργειας ανά μήνα σε αντιπαράβολή με την ταχύτητα του ανέμου (30.1 m)

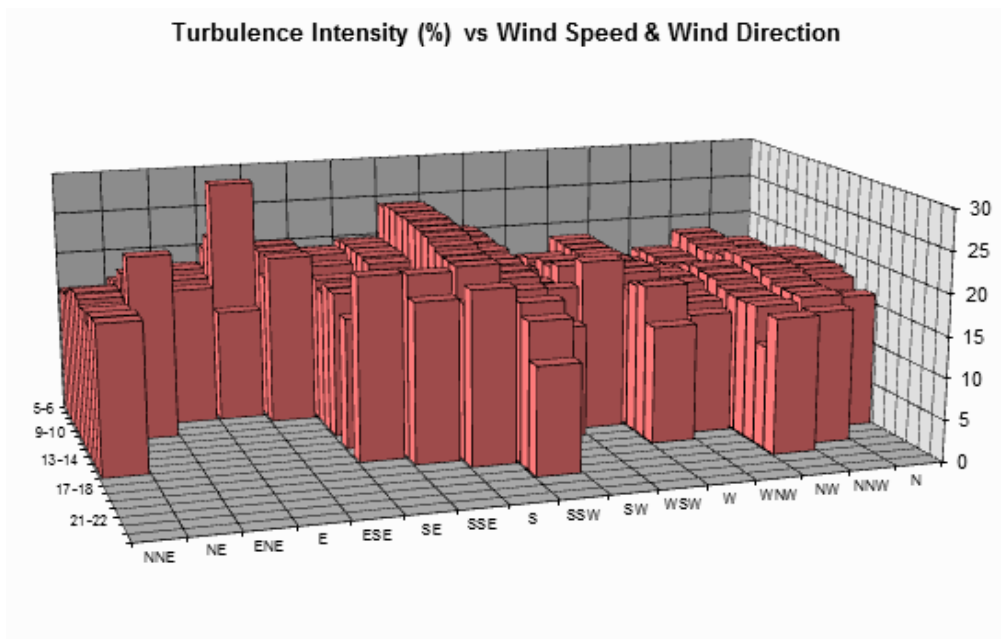
**40m:**



**Εικόνα 36 :** Παραγωγή ενέργειας ανά μήνα σε αντιπαραβολή με την ταχύτητα του ανέμου (40 m)

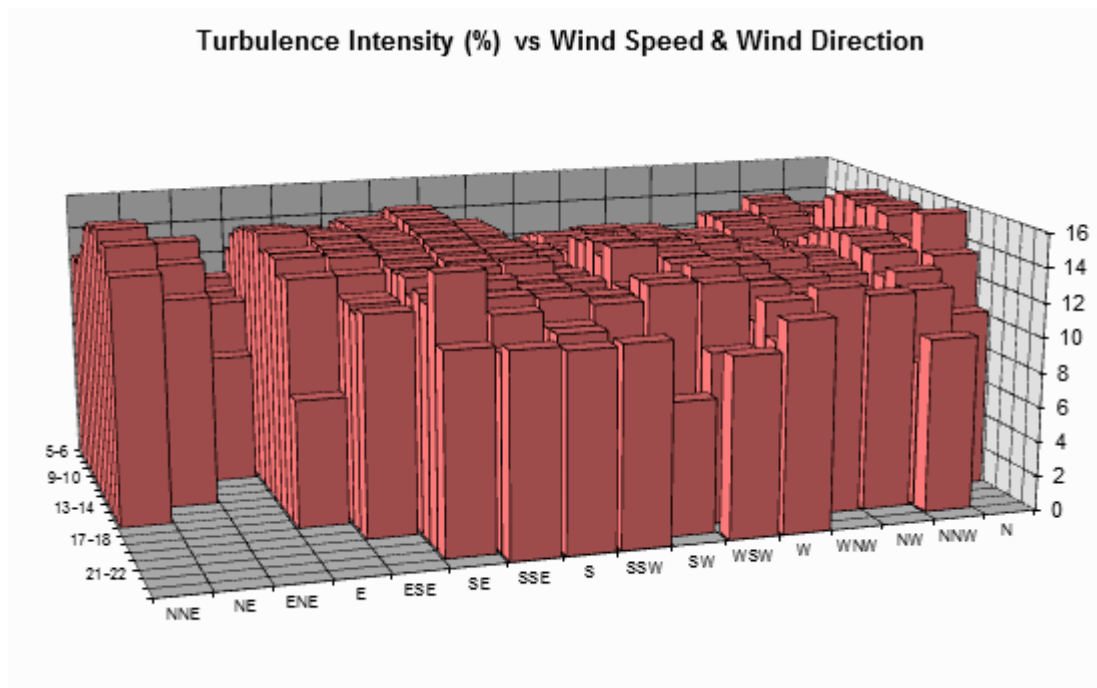
Τα διαγράμματα που ακολουθούν προέρχονται από το φύλλο εργασίας 3D και παρουσιάζουν, για τις τρεις διαφορετικές υψομετρικές θέσεις, την ένταση τύρβης (%) συναρτήσει της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου:

**12,7m:**



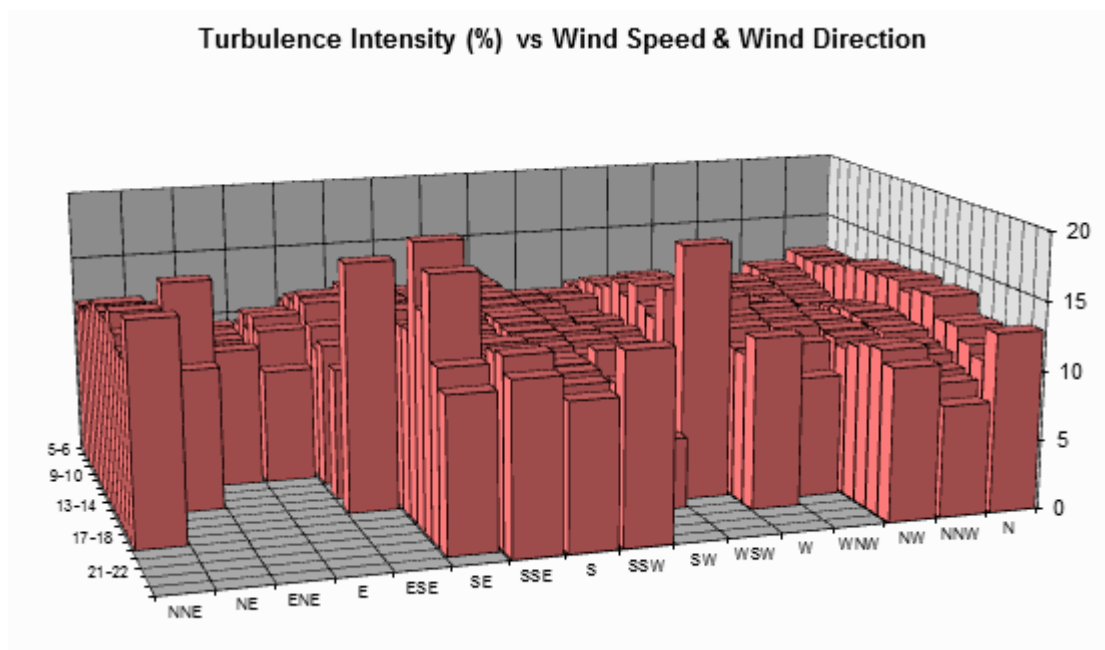
**Εικόνα 37 :** Ένταση τύρβης (%) συναρτήσει της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου (12.7m)

**30,1m:**



*Εικόνα 38 : Ένταση τύρβης (%) συναρτήσει της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου (30.1 m)*

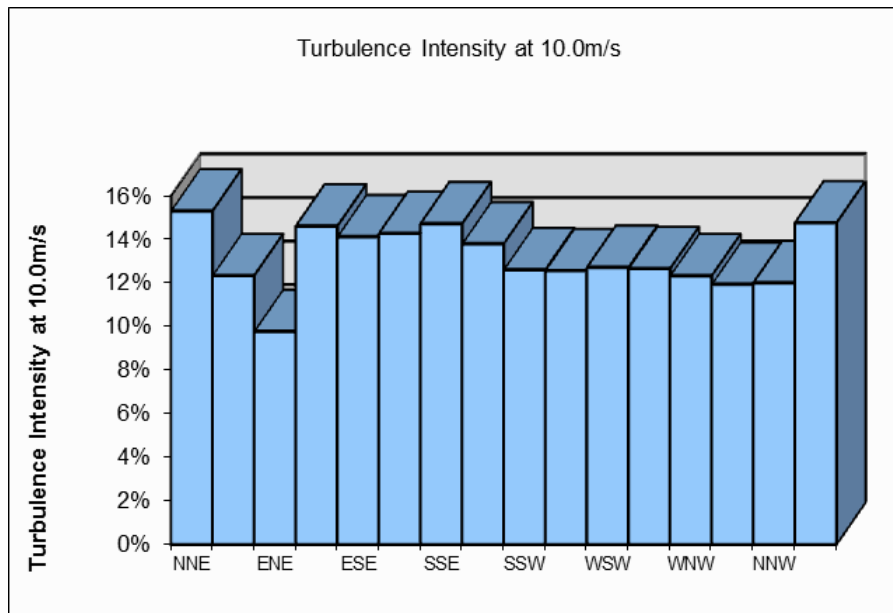
#### 40m:



**Εικόνα 40 :** Ένταση τύρβης (%) συναρτήσει της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου (40 m)

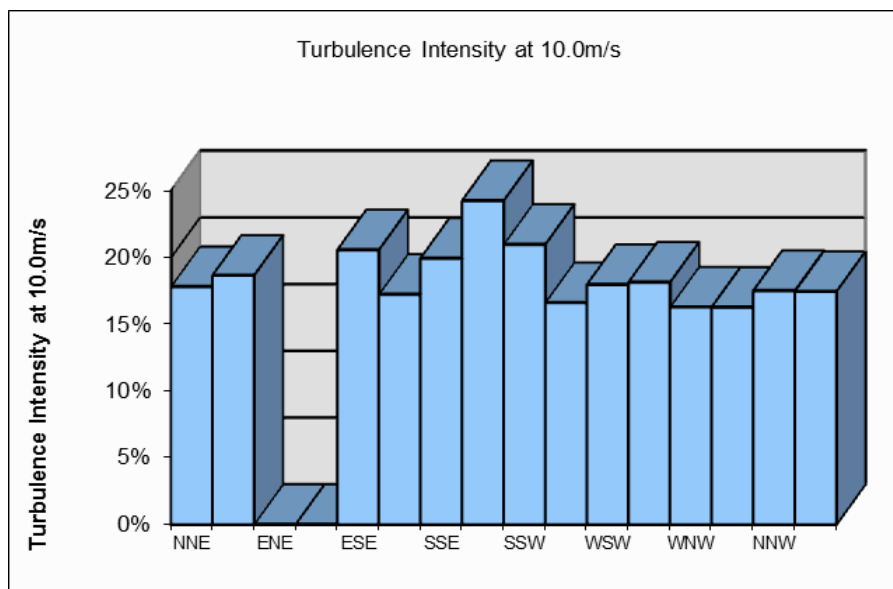
Από τα διαγράμματα της έντασης τύρβης προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του εν λόγω μεγέθους εμφανίζεται στην υψομετρική θέση των 12,7m για ταχύτητα 7-8m/s και Ανατολικό προσανατολισμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι για ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από 21m/s η ένταση τύρβης είναι μηδενική για οποιοδήποτε προσανατολισμό ανέμου όσον αφορά στο υψόμετρο των 12,7m. Αντίθετα, στις υψομετρικές θέσεις των 30,1m και 40m εμφανίζεται τύρβη για ταχύτητες μεγαλύτερες των 21m/s σε αρκετές διευθύνσεις. Οι κοινοί προσανατολισμοί, και για τα τρία υψόμετρα, στους οποίους δεν εμφανίζεται τύρβη για ταχύτητες μεγαλύτερες των 21 m/s είναι οι εξής: Βόρειος-Βορειοανατολικός, Βορειοανατολικός, Ανατολικός-Βορειοανατολικός, Ανατολικός και Ανατολικός-Νοτιοανατολικός. Για ταχύτητα ανέμου άνω των 22m/s μηδενίζεται, και για τα τρία υψόμετρα, η τύρβη στη Δυτική-Βορειοδυτική διεύθυνση, ενώ για τιμές ταχύτητας μεγαλύτερες των 23m/s μηδενίζεται αντίστοιχα η ένταση τύρβης στον Νοτιοανατολικό και Νοτιοδυτικό προσανατολισμό. Η ένταση τύρβης στα 30,1m παρουσιάζει μικρή σχετικά διακύμανση τόσο για διαφορετικές διευθύνσεις ανέμου όσο και για διαφορετικές ταχύτητες. Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει την ένταση τύρβης στα 30,1m για τους διάφορους προσανατολισμούς με δεδομένη ταχύτητα ανέμου 10m/s:





**Εικόνα 41 :** Ένταση τύρβης για τους διάφορους προσανατολισμούς με δεδομένη ταχύτητα ανέμου 10 m/s (30.1 m)

Η ένταση τύρβης για την υψομετρική θέση των 12,7m με δεδομένη ταχύτητα ανέμου 10 m/s παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

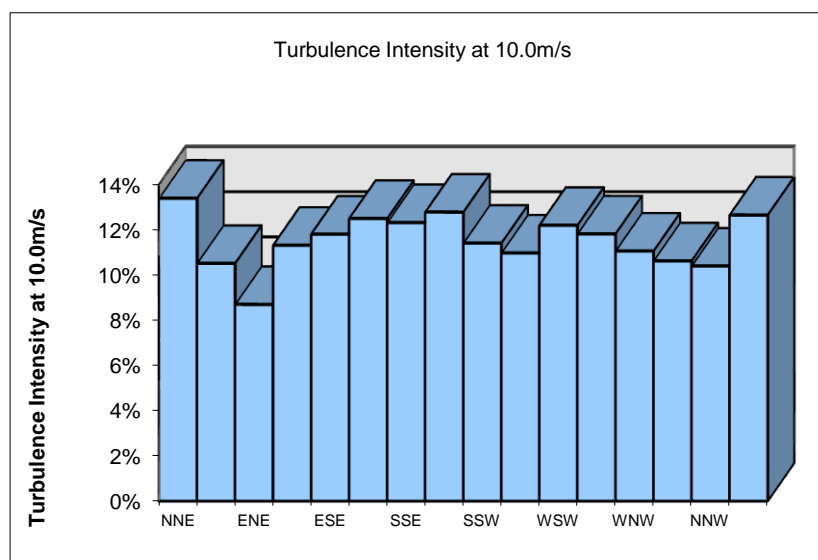


**Εικόνα 42 :** Ένταση τύρβης για τους διάφορους προσανατολισμούς με δεδομένη ταχύτητα ανέμου 10 m/s (12.7 m)

Παρατηρείται ότι στο υψόμετρο των 12,7m η τύρβη είναι μηδενική για Ανατολικό και Ανατολικό-Βορειοανατολικό προσανατολισμό, ενώ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της για

Νότιο προσανατολισμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Ανατολικός-Βορειοανατολικός προσανατολισμός εμφανίζει τη μικρότερη ένταση τύρβης και στην περίπτωση των 30,1m όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο διάγραμμα. Επιπρόσθετα, όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, η μέγιστη ένταση τύρβης λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή (ως ποσοστό) στα 12,7m συγκριτικά με την υψομετρική θέση των 30,1m.

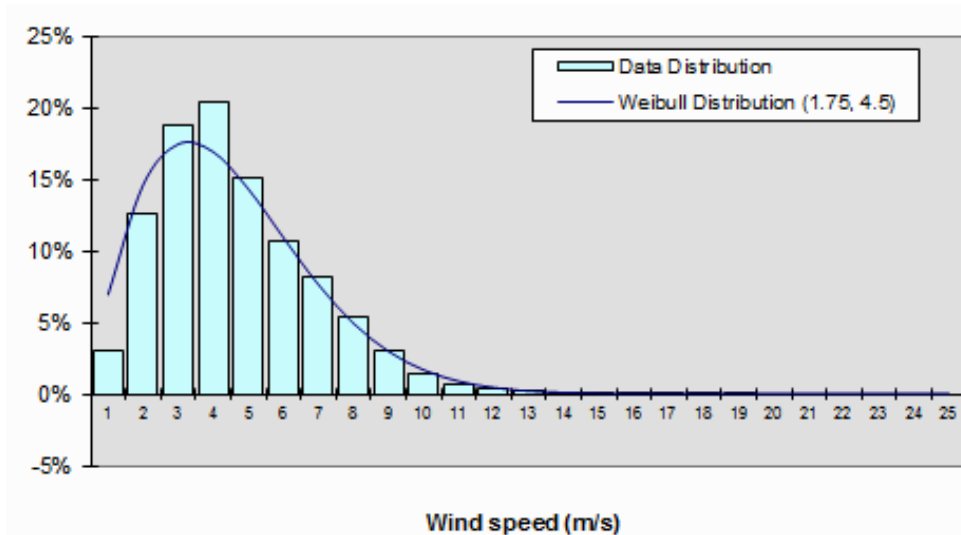
Η ένταση τύρβης στην υψομετρική θέση των 40m λαμβάνει μικρότερες τιμές συγκρινόμενη με τα αντίστοιχα μεγέθη των άλλων δύο υψομέτρων. Ο Ανατολικός-Βορειοανατολικός προσανατολισμός εμφανίζεται και σε αυτή την περίπτωση ως εκείνος με τη μικρότερη ένταση τύρβης, για δεδομένη ταχύτητα ανέμου 10m/s, όπως παρουσιάζει το παρακάτω διάγραμμα:



**Εικόνα 43 :** Ένταση τύρβης για τους διάφορους προσανατολισμούς με δεδομένη ταχύτητα ανέμου 10 m/s (40 m)

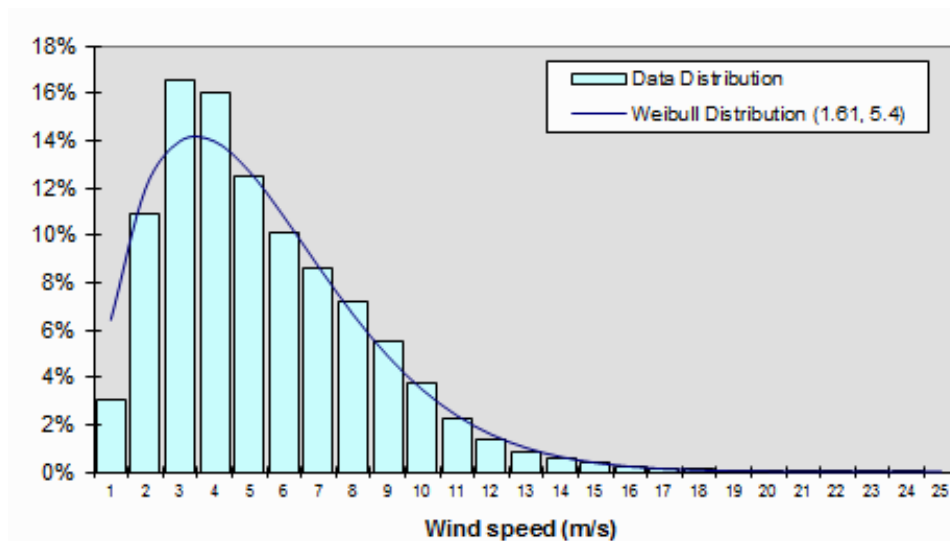
Σχετικά με την προσέγγιση των δεδομένων από κατανομή Weibull προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα ανά υψομετρική θέση:

**12,7m:**



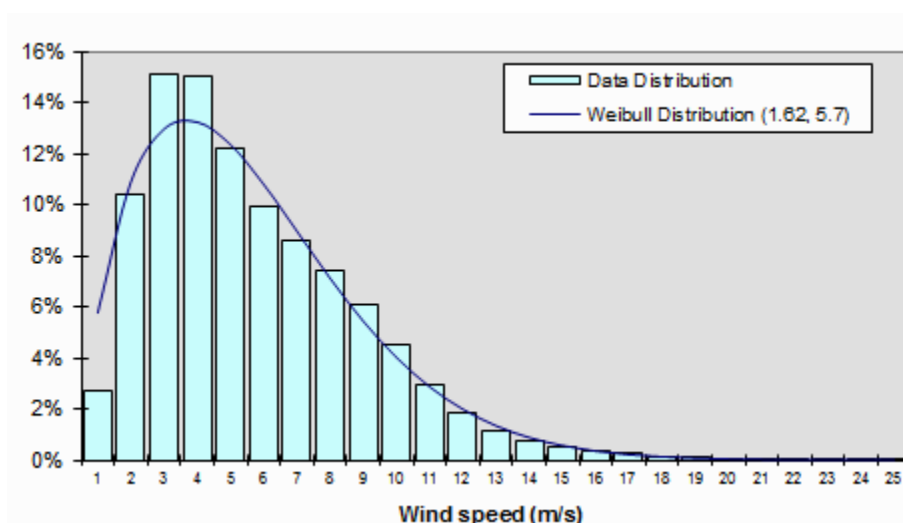
*Εικόνα 44 : Προσέγγιση δεδομένων με βάση την κατανομή Weibull (12.7 m)*

**30,1m:**



*Εικόνα 45 : Προσέγγιση δεδομένων με βάση την κατανομή Weibull (30.1 m)*

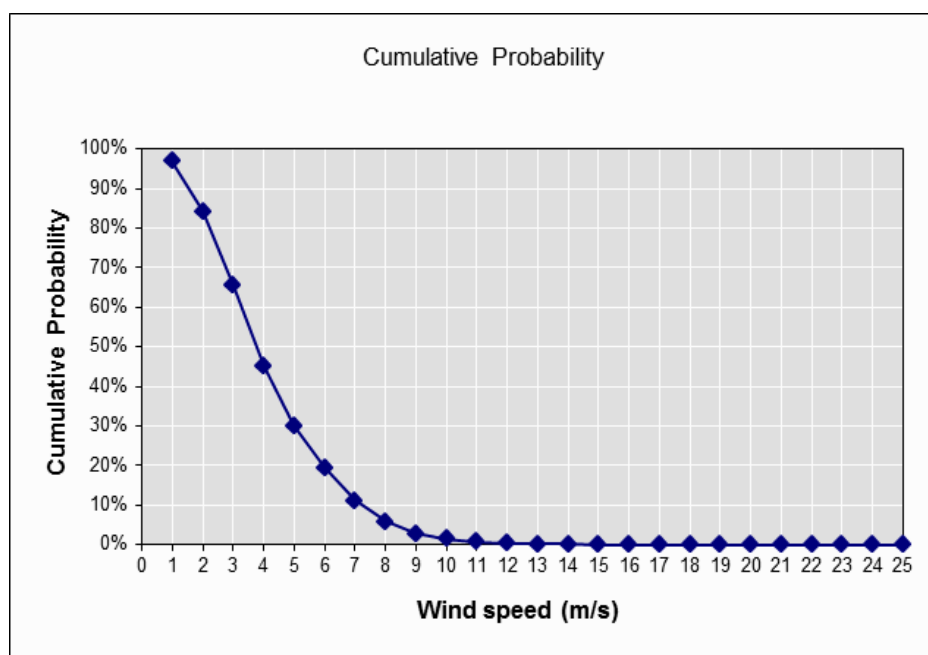
#### 40m:



*Εικόνα 46 : Προσέγγιση δεδομένων με βάση την κατανομή Weibull (40 m)*

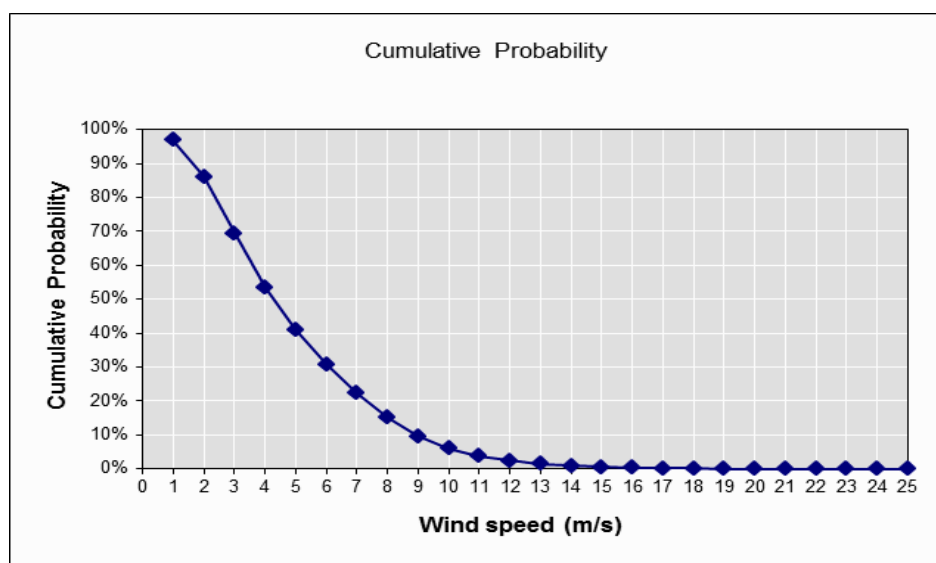
Αρκετά χρήσιμο είναι και το δεύτερο διάγραμμα του φύλλου εργασίας Weibull καθώς παρουσιάζει την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένης ταχύτητας ανέμου (με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να ελεγχθεί αν και σε τι βαθμό θα λειτουργεί η αντίστοιχη Α/Γ με δεδομένη ταχύτητα cut-in):

#### 12,7m:



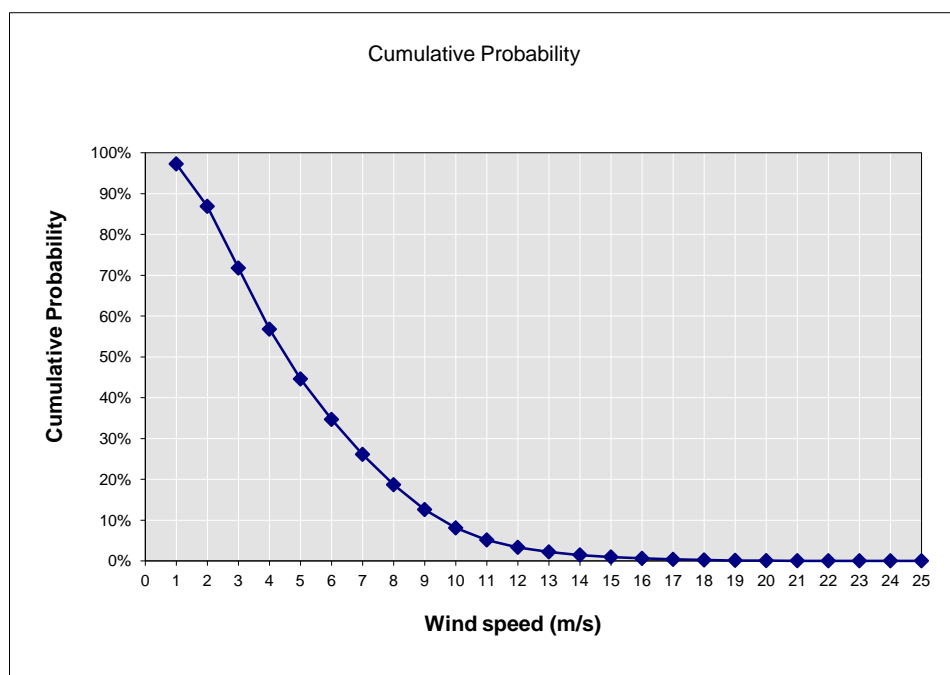
*Εικόνα 47 : Πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένης ταχύτητας ανέμου (12.7 m)*

**30,1m:**



*Εικόνα 48 : Πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένης ταχύτητας ανέμου (30.1 m)*

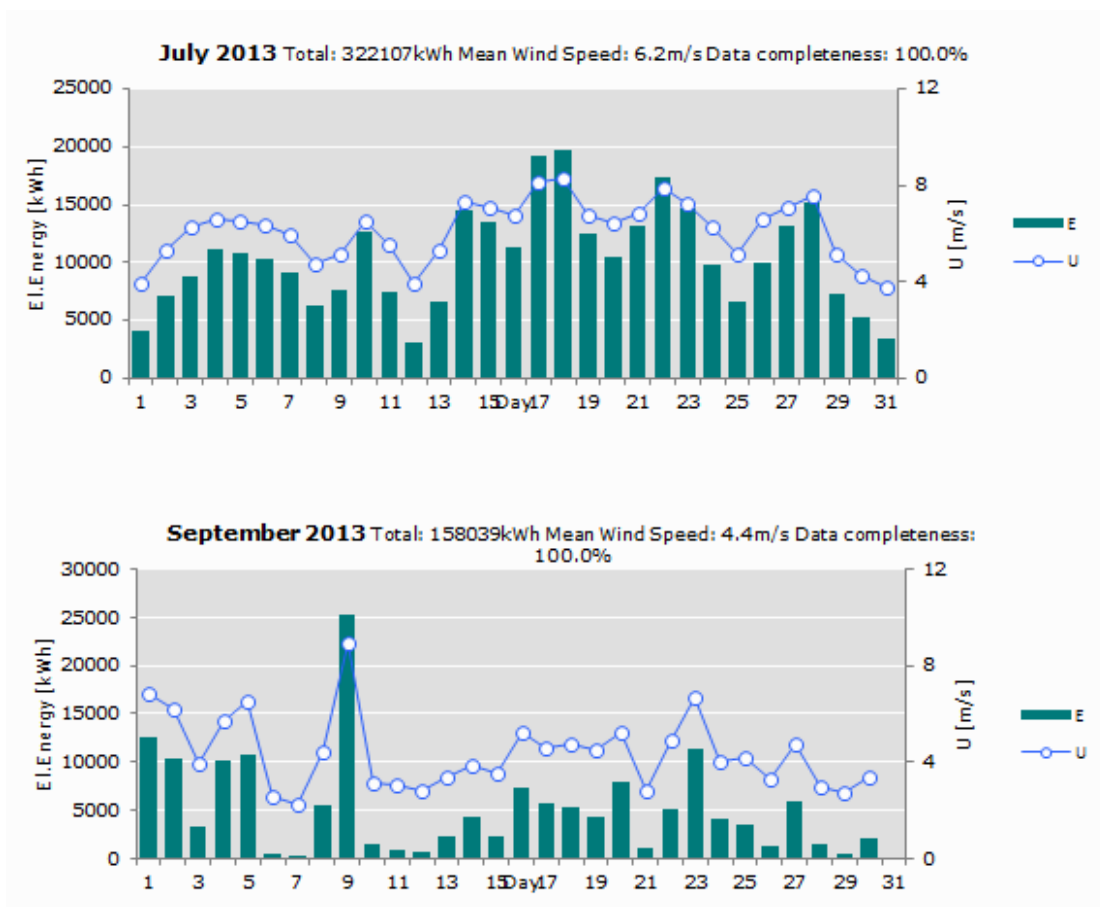
**40m:**



*Εικόνα 49 : Πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένης ταχύτητας ανέμου (40 m)*

Αναλυτική εικόνα της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας της Α/Γ ανά μήνα και ημέρα παρέχεται μέσω του φύλλου εργασίας WTprodG. Από το ακόλουθο διάγραμμα για

παράδειγμα είναι εμφανής η προαναφερθείσα αυξημένη παραγωγή ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο του έτους 2013 και υψομετρική θέση 30,1m (συγκριτικά με τον μήνα Σεπτέμβριο του ίδιου έτους):



**Εικόνα 50 :** Αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας της ανεμογεννήτριας ανά μήνα και ανά ημέρα (30.1 m)

Τέλος, σημειώνεται ότι το φύλλο εργασίας WindCorr παρέχει τη δυνατότητα συσχέτισης δύο τοποθεσιών ως προς τα ανεμολογικά τους δεδομένα, με την προϋπόθεση ότι τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί αναφέρονται, τουλάχιστον ως προς ένα μέρος τους, σε κοινό χρονικό διάστημα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Είναι απαραίτητο, οι ειδικές συνθήκες δοκιμής, οι οποίες σχετίζονται με τη μέτρηση της απόδοσης της ισχύος της ανεμογεννήτριας πρέπει να είναι σαφώς και καλά ορισμένες, έτσι ώστε να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερα σφάλματα στις μετρήσεις μας. Η διαδικασία, που συνίσταται να ακολουθηθεί παρουσιάζεται παρακάτω.

Στην τοποθεσία όπου εκτελούνται οι μετρήσεις, τοποθετείται μετεωρολογικός ιστός (meteorological mast) κοντά στο μέρος που βρίσκεται η ανεμογεννήτρια, με σκοπό να γίνει προσδιορισμός της ταχύτητας του ανέμου, ο οποίος οδηγεί την ανεμογεννήτρια. Ο τόπος, όπου συντελείται η δοκιμή-μέτρηση είναι πιθανό να έχει σημαντική επίδραση στον υπολογισμό και στην εξαγωγή της μετρούμενης απόδοσης ισχύος της ανεμογεννήτριας. Πιο συγκεκριμένα, τα φαινόμενα παραμόρφωσης της ροής είναι αρκετά πιθανό να προκαλέσουν διαφορετική ταχύτητα ανέμου στον μετεωρολογικό ιστό και διαφορετική στην ανεμογεννήτρια, αν και υπάρχει μεταξύ τους συσχέτιση.

Γ' αυτόν τον λόγο, ο τόπος μετρήσεων-δοκιμών πρέπει να αξιολογείται για πιθανές πηγές παραμόρφωσης της ροής του ανέμου, έτσι ώστε να:

- ✓ Επιλέγεται η κατάλληλη θέση για τον μετεωρολογικό ιστό
- ✓ Καθορίζεται ο κατάλληλος τομέας μέτρησης
- ✓ Γίνεται εκτίμηση των κατάλληλων διορθωτικών συντελεστών ροής
- ✓ Αξιολογείται η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, εξαιτίας της παραμόρφωσης λόγω της ροής του ανέμου

Πιο συγκεκριμένα :

Όσον αφορά την κατάλληλη επιλογή για την θέση τοποθέτησης του μετεωρολογικού ιστού, αυτή πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη μέριμνα. Είναι προτιμητέο, ο μετεωρολογικός ιστός να μη βρίσκεται σε αρκετά κοντινή απόσταση με την ανεμογεννήτρια, καθώς η ταχύτητα του ανέμου ενδεχομένως να επηρεαστεί / να μεταβληθεί ή και να επηρεάσει τη μέτρηση αν βρίσκεται μπροστά από την ανεμογεννήτρια. Επιπροσθέτως, όπως είχε αναφερθεί και προηγουμένως, δε συνιστάται να βρίσκεται και σε μακρινή απόσταση από την ανεμογεννήτρια, καθώς σε μια τέτοια περίπτωση η συσχέτιση

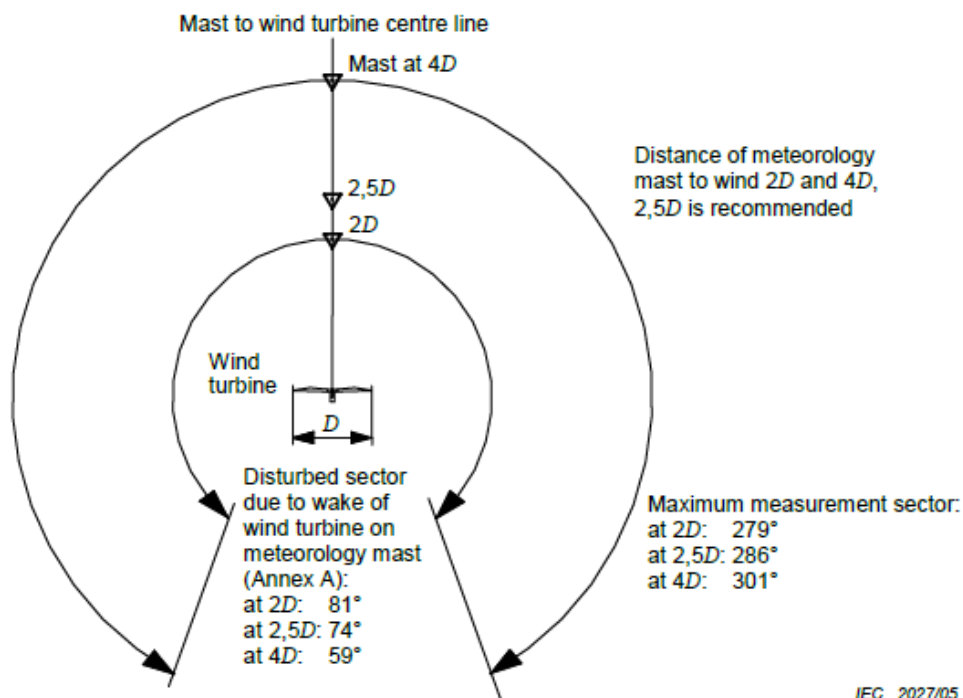


μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της ηλεκτρικής ισχύος θα μειωθεί. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο, ο μετεωρολογικός ιστός πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση από την ανεμογεννήτρια ίση με 2 έως 4 φορές τη διάμετρο  $D$  του ρότορα (rotor) της ανεμογεννήτριας. Η απόσταση που συνιστάται να γίνεται η εν λόγω τοποθέτηση είναι σε απόσταση περίπου 2.5 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο  $D$  του ρότορα. Στην περίπτωση μιας ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα, η διάμετρος  $D$  ορίζεται ισοδύναμα ως  $2A/\pi$ , όπου  $A$  είναι η επιφάνεια σάρωσης (swept area) του ρότορα, και η απόσταση ορίζεται ως  $L + 0,5D$ , όπου  $L$  αποτελεί την απόσταση μεταξύ του κέντρου του πύργου του στροβίλου-γεννήτριας και του μετεωρολογικού ιστού μιας ισοδύναμης ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, προτού λάβει χώρα η διεξαγωγή της δοκιμής αξιολόγησης για τον υπολογισμό της απόδοσης και η διαδικασία επιλογής της κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση του μετεωρολογικού ιστού, πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η ανάγκη να εξαιρεθούν οι μετρήσεις από όλους τους τομείς, στους οποίους, είτε ο μετεωρολογικός ιστός είτε η ανεμογεννήτρια ενδέχεται να υποστούν διαταραχές ροής ανέμου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η καλύτερη θέση για να τοποθετηθεί ο μετεωρολογικός ιστός θα είναι στην άκρη της ανεμογεννήτριας προς την κατεύθυνση από την οποία αναμένεται να έρθει ο πιο 'έγκυρος' άνεμος για τις μετρήσεις μας, κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Σε άλλες περιπτώσεις, εντούτοις, μπορεί να είναι πιο ενδεδειγμένο να τοποθετηθεί ο μετεωρολογικός ιστός σε παράλληλη θέση με την ανεμογεννήτρια, για παράδειγμα για μια ανεμογεννήτρια, η οποία είναι τοποθετημένη πάνω σε μια κορυφογραμμή.

Όσον αφορά την ορθή επιλογή του κατάλληλου τομέα ή των κατάλληλων τομέων μέτρησης αποκλείονται οι κατευθύνσεις που παρουσιάζουν σημαντικά εμπόδια καθώς και οι άλλες ανεμογεννήτριες, όπως φαίνονται τόσο υπό την ανεμογεννήτρια, από την οποία εκτελούνται οι μετρήσεις όσο και υπό τον τοποθετημένο μετεωρολογικό ιστό. Για όλες τις γειτονικές ανεμογεννήτριες και τα εμπόδια που ενδεχομένως να υπάρχουν, οι κατευθύνσεις που πρέπει να αποκλείονται λόγω της επίδρασης του ομόρρου (wake effect)) καθορίζονται σύμφωνα με μια διαδικασία, που θα αναλυθεί παρακάτω. Οι διαταραγμένοι τομείς που αποκλείονται λόγω της επίδρασης του ομόρρου (wake effect) στον μετεωρολογικό ιστό και στην υπό δοκιμή ανεμογεννήτρια παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα για αποστάσεις 2, 2.5 και 4 φορές τη διάμετρο  $D$  του ρότορα της ανεμογεννήτριας. Λόγοι για τη μείωση του φαινομένου των διαταραγμένων τομέων μπορεί να είναι οι ειδικές τοπογραφικές συνθήκες ή απροσδόκητες τιμές μετρήσεων, οι οποίες

επιτυγχάνονται από κατευθύνσεις με πολύπλοκες δομές. Σε κάθε περίπτωση, όλοι οι λόγοι για την εξάλειψη αυτού του φαινομένου της αλλοίωσης των εξαγόμενων μετρήσεων πρέπει να τεκμηριώνονται σαφώς.



**Εικόνα 519 - Απαιτήσεις ως προς την απόσταση του μετεωρολογικού ιστού και των μεγίστων επιτρεπόμενων τομέων μέτρησης (Πηγή: IEC 61400-12-1)**

Όσον αφορά την εκτίμηση των κατάλληλων διορθωτικών συντελεστών ροής και την αβεβαιότητα λόγω διαταραχής της ροής του ανέμου εξαιτίας της τοποθεσίας δοκιμής έχουν εξαχθεί τα παρακάτω συμπεράσματα. Η τοποθεσία, στην οποία λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις αξιολογείται για πηγές παραμόρφωσης της ροής του ανέμου, εξαιτίας των διαφόρων τοπογραφικών παραλλαγών. Η αξιολόγηση αυτή προσδιορίζει, εάν η καμπύλη δύναμης είναι δυνατό να υπολογιστεί χωρίς την απαιτούμενη βαθμονόμηση θέσης-τοποθεσίας. Εάν πληρούνται κάποια συγκεκριμένα κριτήρια, το καθεστώς ροής ανέμου του χώρου δεν απαιτεί βαθμονόμηση τοποθεσίας. Εντούτοις, αν υποτεθεί ότι δεν είναι αναγκαία η χρήση διορθωτικών συντελεστών ροής, η εφαρμοζόμενη αβεβαιότητα λόγω της παραμόρφωσης της ροής του ανέμου του τόπου δοκιμής πρέπει να είναι τουλάχιστον ποσοστό 2% της μετρούμενης ταχύτητας του ανέμου, σε περίπτωση που ο μετεωρολογικός ιστός τοποθετηθεί σε απόσταση μεταξύ 2 και 3 φορές τη διάμετρο  $D$  του ρότορα της ανεμογεννήτριας και 3% ή μεγαλύτερη εάν η απόσταση είναι 3 έως 4 φορές η διάμετρος  $D$

του ρότορα, εκτός εάν υπάρχει η δυνατότητα να αντληθούν στοιχεία, τα οποία εξάγονται αντικειμενικά και τα οποία ποσοτικοποιούν διαφορετική αβεβαιότητα, απ' ότι αρχικά είχε εκτιμηθεί. Εάν τα κριτήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν πληρούνται ή εάν είναι επιθυμητή η μικρότερη αβεβαιότητα, λόγω της παραμόρφωσης της ροής ανέμου του τόπου-δοκιμής, τότε είναι αναγκαίο να διενεργηθεί βαθμονόμηση πειραματικού τόπου-τοποθεσίας δοκιμής. Εάν διενεργείται βαθμονόμηση του πειραματικού τόπου-τοποθεσίας δοκιμών, χρησιμοποιούνται διαφορετικά κριτήρια. Πρέπει να χρησιμοποιούνται οι συντελεστές διόρθωσης της μετρούμενης ροής ανέμου, που αντιστοιχούν στον κάθε τομέα.

Οι παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν για την εκτέλεση των μετρήσεων είναι οι παρακάτω:

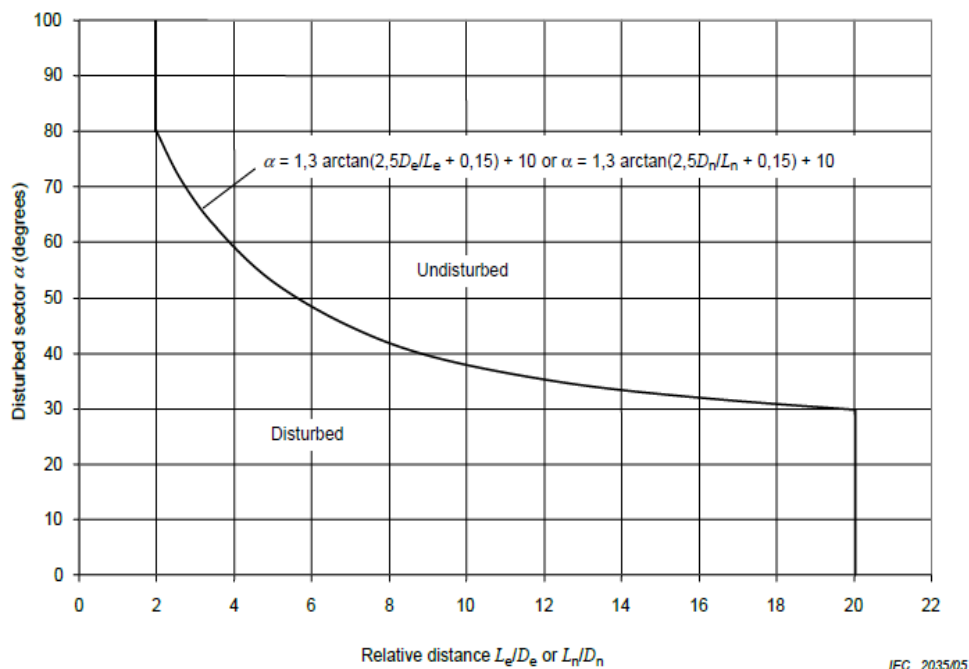
- Οι τοπογραφικές παραλλαγές
- Ενδεχόμενες άλλες ανεμογεννήτριες
- Πιθανά εμπόδια ( δέντρα, κτίρια κλπ )

### **3.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΓΕΙΤΝΙΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

Οι απαιτήσεις αναφορικά με την γειτνίαση με την ανεμογεννήτρια και αναφορικά με την εύρυθμη λειτουργία της αναλύονται παρακάτω. Η ανεμογεννήτρια, για την οποία γίνονται οι μετρήσεις, αλλά και ο μετεωρολογικός ιστός δεν πρέπει να επηρεάζονται σε κανένα βαθμό από γειτονικές ανεμογεννήτριες. Σε περίπτωση που μία ή παραπάνω ανεμογεννήτριες βρίσκονται σε λειτουργία τη στιγμή που διενεργείται η μέτρηση για τον υπολογισμό της απόδοσης ισχύος της υπό μέτρηση ανεμογεννήτριας, θα πρέπει η επίδραση αυτή να προσδιορίζεται από έναν δείκτη, ο οποίος θα περιγραφεί παρακάτω. Επιπροσθέτως, σε περίπτωση που η ανεμογεννήτρια σταματήσει οποιαδήποτε στιγμή για οποιοδήποτε λόγο να λειτουργεί, αυτό θα αναφέρεται ως εμπόδιο και ο υπολογισμός του θα γίνεται με περιγραφή που θα αναφερθεί παρακάτω.

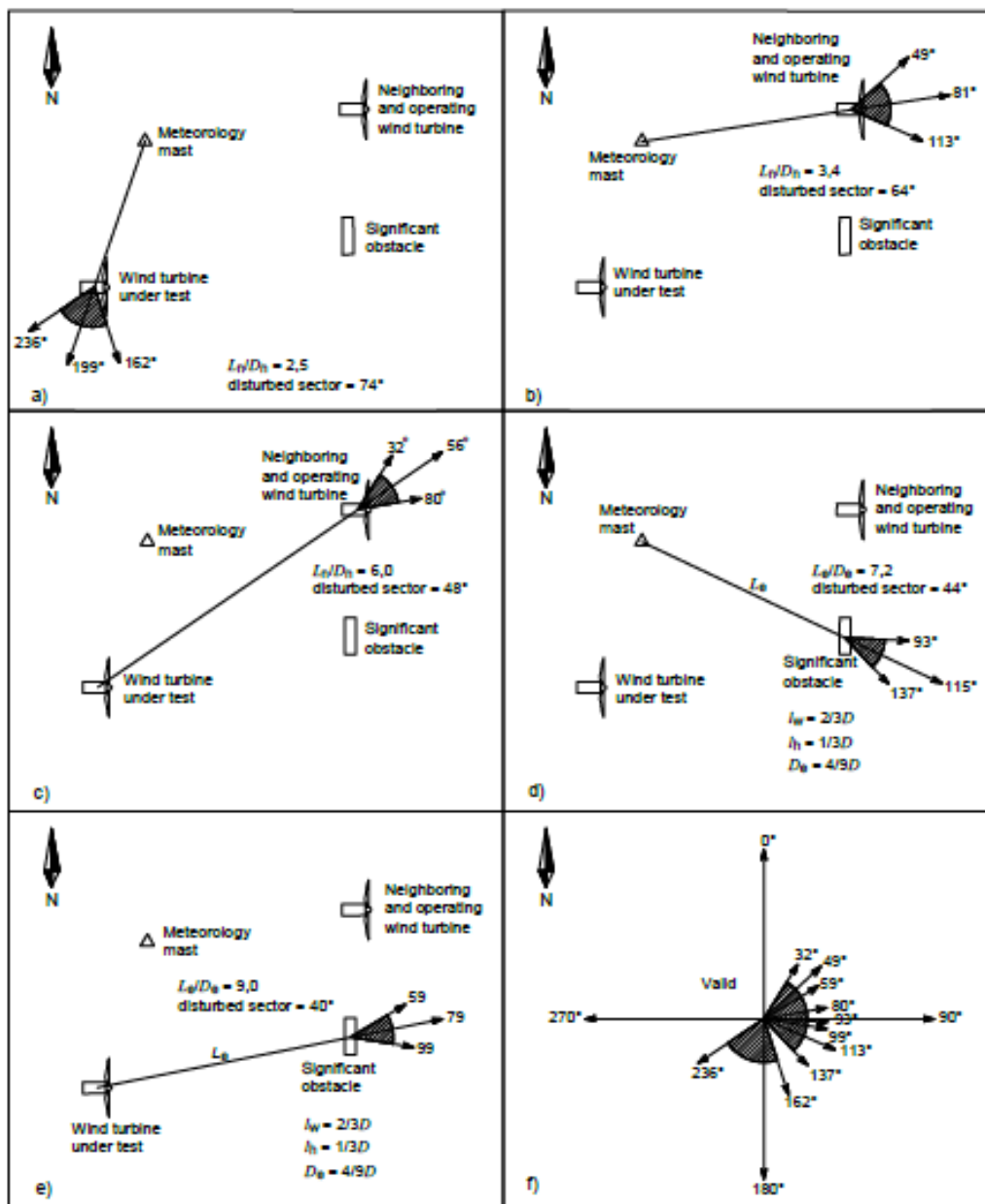
Η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση της υπό μέτρησης ανεμογεννήτριας και του μετεωρολογικού ιστού από γειτονικές και σε λειτουργία ανεμογεννήτριες οφείλει να είναι τουλάχιστον ίση με δύο φορές τη διάμετρο του ρότορα  $D_n$  της γειτονικής και σε λειτουργία ανεμογεννήτριας ή ίση με τουλάχιστον δύο διαμέτρους ρότορα της εξεταζόμενης ανεμογεννήτριας, σε περίπτωση που η εξεταζόμενη ανεμογεννήτρια έχει μεγαλύτερη

διάμετρο από την γειτονική. Οι τομείς, οι οποίοι πρέπει να εξαιρούνται λόγω της επίδρασης του ομόρρου (wake effect), από τις γειτονικές, οι οποίες είναι σε λειτουργία ανεμογεννήτριες παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



**Εικόνα 520 - Εξαιρούμενοι τομείς λόγω της επίδρασης του ομόρρου από γειτονικές και σε λειτουργία ανεμογεννήτριες και σημαντικά εμπόδια (Πηγή: IEC 61400-12-1)**

Οι διαστάσεις, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η πραγματική απόσταση (actual distance)  $L_n$  και η διάμετρος του ρότορα  $D_n$  της γειτονικής και λειτουργούσας ανεμογεννήτριας. Οι τομείς, που πρέπει να αποκλείονται-εξαιρούνται, προέρχονται τόσο από την πλευρά της ανεμογεννήτριας, στην οποία εφαρμόζουμε τις μετρήσεις μας, όσο και από τον μετεωρολογικό ιστό. Θα πρέπει να επικεντρώνονται στην κατεύθυνση από τη γειτονική και σε λειτουργία ανεμογεννήτρια στον μετεωρολογικό ιστό ή στην υπό εξέταση ανεμογεννήτρια. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα τέτοιο παράδειγμα.



Εικόνα 521 - Παράδειγμα για τους τομείς που πρέπει να εξαιρεθούν, λόγω του wake φαινομένου της υπό μέτρησης ανεμογεννήτριας, μιας γειτονικής και υπό λειτουργία ανεμογεννήτριας και ενός σημαντικού εμποδίου (Πηγή: IEC 61400-12-1)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται οι τομείς, οι οποίοι πρέπει να εξαιρεθούν στις περιπτώσεις όπου:

- Ο μετεωρολογικός ιστός είναι τοποθετημένος στο τέλος (ακριβώς μετά) την υπό μέτρηση ανεμογεννήτρια

- Ο μετεωρολογικός ιστός είναι τοποθετημένος στο τέλος (ακριβώς μετά) από την γειτονική και σε λειτουργία ανεμογεννήτρια
- Η ανεμογεννήτρια, στην οποία γίνονται οι μετρήσεις βρίσκεται στο τέλος (ακριβώς μετά) από γειτονική και σε λειτουργία ανεμογεννήτρια
- Ο μετεωρολογικός ιστός είναι στο τέλος (ακριβώς μετά) ενός σημαντικού εμποδίου
- Η υπό εξέταση ανεμογεννήτρια είναι στο τέλος (ακριβώς μετά) ενός σημαντικού εμποδίου
- Υπάρχει συνδυασμός κάποιων ή όλων των παραπάνω περιπτώσεων

### 3.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΕΜΠΟΔΙΑ

Αναφορικά με τις απαιτήσεις που αφορούν τα εμπόδια που ενδεχομένως να 'παρεμβάλλονται' στις μετρήσεις μας, είναι προτιμότερο να μην υπάρχουν σημαντικά εμπόδια, (όπως για παράδειγμα κτίρια, δέντρα, άλλες σταθερές-ακλόνητες ανεμογεννήτριες), στην ευρύτερη περιοχή που λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις, σε λογική απόσταση από την ανεμογεννήτρια και τον μετεωρολογικό ιστό. Μόνο μικρά κτίρια, τα οποία συνδέονται με τη λειτουργία της υπό εξέταση ανεμογεννήτριας ή με τον εξοπλισμό μέτρησης, είναι αποδεκτά.

Για να προβλεφθεί η επίδραση που μπορεί να έχει ένα εμπόδιο στον υπολογισμό της απόδοσης μιας ανεμογεννήτριας, γίνεται χρήση ενός μοντέλου- εμποδίου. Καθορίζεται έτσι η επίδραση των εμποδίων στον μετεωρολογικό ιστό και στη θέση της ανεμογεννήτριας στο κεντρικό σημείο του ύψους. Τα κριτήρια για τον προσδιορισμό ενός σημαντικού εμποδίου είναι η ροή αέρα να επηρεάζεται σε ποσοστό 1% ή περισσότερο μεταξύ της θέσης της ανεμογεννήτριας στο κεντρικό σημείο του ύψους και του μετεωρολογικού ιστού στο κεντρικό σημείο του ύψους, για οποιαδήποτε διεύθυνση ανέμου στον τομέα-τοποθεσία όπου λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις.

Η επίδραση ενός εμποδίου στον μετεωρολογικό ιστό ή στην θέση που πρέπει να τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια σε ύψος  $z$  προσεγγίζεται από τον τύπο:

$$\Delta U_z/U_h = -9.75 \cdot (1-P_0) \cdot \frac{h}{x} \cdot \eta \cdot \exp(-0.67\eta^{1.5}) \quad (I)$$

$$\eta = \frac{H}{h} * \left(K \frac{x}{h}\right)^{\frac{-1}{n+2}} \quad (II)$$

$$K = \frac{2k^2}{\ln \frac{h}{z_0}} \quad (III)$$

όπου

- $x$  = η απόσταση του εν λόγω εμποδίου από τον μετεωρολογικό ιστό ή την ανεμογεννήτρια, υπολογισμένη σε m
- $h$  = το ύψος του εμποδίου, υπολογισμένο σε m
- $U_h$  = η ελεύθερη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $h$  του εμποδίου, υπολογισμένη σε m/s
- $\eta$  = εκθέτης της ταχύτητας ( $\eta=0.14$ )
- $P_0$  = αραιότητα της ύλης του εμποδίου (τιμή 1=στερεό, τιμή 0=δεν υπάρχει εμπόδιο)
- $H$  = το ύψος του κεντρικού σημείου (hub), υπολογισμένο σε m
- $z_0$  = το μήκος της τραχύτητας (roughness length), υπολογισμένο σε m
- $k$  = η σταθερά του Von Karman (ίση με 0.4)

Με τον τρόπο που παρουσιάστηκε στην εικόνα 2 ή κάνοντας αναφορά σε αυτή, αποκλείονται οι-εξαιρούνται διάφοροι τομείς με σημαντικό εμπόδιο. Οι διαστάσεις, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η πραγματική απόσταση (actual distance)  $L_e$  και μια ισοδύναμη διάμετρος ρότορα  $D_e$  του εμποδίου. Η ισοδύναμη διάμετρος του ρότορα του εμποδίου ορίζεται ως:

$$D_e = \frac{l_h l_w}{l_h + l_w} \quad (IV)$$

όπου

$D_e$  = η ισοδύναμη διάμετρος του ρότορα

$l_h$  = το ύψος του εμποδίου

$l_w$  = το πλάτος του εμποδίου

### **3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ (SITE CALIBRATION PROCEDURE)**

Η υιοθέτηση μιας διαδικασίας βαθμονόμησης θέσης ποσοτικοποιεί και δυνητικά μειώνει τις ενδεχόμενες επιπτώσεις που έχει το έδαφος και τα εμπόδια στη μέτρηση της εκάστοτε απόδοσης. Το έδαφος και τα εμπόδια είναι δυνατόν να προκαλέσουν συστηματική διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου μεταξύ της θέσης που είναι τοποθετημένος ο μετεωρολογικός ιστός, όπου εκεί είναι τοποθετημένο και το ανεμόμετρο ισχύος, και του κέντρου του ρότορα της ανεμογεννήτριας.

Το βασικότερο συμπέρασμα-αποτέλεσμα μιας δοκιμής βαθμονόμησης θέσης είναι ένας πίνακας, ο οποίος περιέχει συντελεστές διόρθωσης ροής για όλες τις κατευθύνσεις του ανέμου στον τομέα μέτρησης. Ένα άλλο αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια εκτίμηση της αβεβαιότητας αυτών των διορθωτικών παραγόντων. Η δοκιμή μπορεί να παρέχει πληροφορίες που δικαιολογούν αλλαγή στον επιτρεπόμενο τομέα μέτρησης.

### **3.5 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ**

Πριν από την εγκατάσταση ή μετά την αφαίρεση της ανεμογεννήτριας, πρέπει να ανεγερθούν δύο μετεωρολογικοί ιστοί. Ο ένας, από τους δύο ιστούς είναι ο μετεωρολογικός ιστός θέσης αναφοράς (reference position meteorological mast), του οποίου η χρήση είναι και για τη δοκιμή απόδοσης ισχύος. Ο δεύτερος ιστός είναι ο ιστός θέσης της ανεμογεννήτριας (turbine position mast). Η ρύθμιση δοκιμής απαιτεί δύο ανεμόμετρα, έναν ανεμοδείκτη και ένα σύστημα επεξεργασίας / καταγραφής δεδομένων. Το ανεμόμετρο αναφοράς θέσης και ο ανεμοδείκτης τοποθετούνται στον μετεωρολογικό ιστό που χρησιμοποιείται επίσης για τη δοκιμή ισχύος. Το ανεμόμετρο θέσης ανεμογεννήτριας τοποθετείται σε προσωρινό ιστό, ο οποίος βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση όπου θα βρίσκεται ή θα βρισκόταν η πλήμνη-κεντρικό σημείο (hub) της ανεμογεννήτριας. Αυτό το ανεμόμετρο πρέπει να βρίσκεται εντός του 2,5% του ύψους της πλήμνης (hub), και ο ιστός πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς την κεντρική γραμμή του πύργου της ανεμογεννήτριας, αλλά όχι περισσότερο από 0,2\*H από την κεντρική γραμμή, όπου το H συμβολίζει το ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Ένας δεύτερος ανεμοδείκτης μπορεί να τοποθετηθεί στον προσωρινό ιστό, στη θέση της



ανεμογεννήτριας, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά, που θα σχετίζονται με την παραμόρφωση της ροής του ανέμου στο χώρο που εκτελούνται οι μετρήσεις.

Οι αισθητήρες, που θα χρησιμοποιηθούν στη δοκιμή βαθμονόμησης θέσης πρέπει να πληρούν κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις. Τα ανεμόμετρα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου με τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας. Η βαθμονόμηση των ανεμομέτρων θα πρέπει να γίνεται κατά τη διάρκεια της ίδιας εκστρατείας βαθμονόμησης ανεμομέτρου. Τα όργανα του μετεωρολογικού ιστού θα πρέπει να είναι τα ίδια για τη μέτρηση της καμπύλης ισχύος, όπως και για τη βαθμονόμηση της τοποθεσίας. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στις μετρήσεις μας επιπρόσθετη αβεβαιότητα.

### **3.6 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Η συλλογή των δεδομένων λαμβάνει χώρα με μια συνεχή διαδικασία και με τον ίδιο ρυθμό δειγματοληψίας, όπως συμβαίνει και για τη δοκιμή απόδοσης ισχύος. Τα πακέτα-σύνολα δεδομένων βασίζονται-κατηγοριοποιούνται σε περιόδους των 10 λεπτών, οι οποίες προέρχονται από συνεχόμενα μετρημένα δεδομένα. Η μέση τυπική απόκλιση καθώς και οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές για κάθε περίοδο 10 λεπτών υπολογίζονται και αποθηκεύονται.

Τα σύνολα δεδομένων πρέπει να ταξινομούνται σε 'κάδους'- κατηγορίες κατεύθυνσης ανέμου. Η κάθε κατηγορία δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10°. Ο 'κάδος' κατεύθυνσης ανέμου δεν πρέπει να έχει μικρότερη τιμή από την αβεβαιότητα του αισθητήρα κατεύθυνσης ανέμου.

Τα σύνολα δεδομένων μας απορρίπτονται από τη βάση δεδομένων σε κάποια από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- 1) αποτυχία ή υποβάθμιση (π.χ. λόγω πάγου) του εξοπλισμού δοκιμής
- 2) κατεύθυνση ανέμου εκτός των τομέων μέτρησης, όπως έχει οριστεί στην εικόνα με τις απαιτήσεις ως προς την απόσταση του μετεωρολογικού ιστού και των μεγίστων επιτρεπόμενων τομέων μέτρησης (εικόνα 51)
- 3) μέση ταχύτητα ανέμου μικρότερη από 4 m/s ή μεγαλύτερη από 16 m/s

4) οποιοσδήποτε άλλες ειδικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, που θα χρησιμοποιηθούν επίσης ως κριτήρια απόρριψης κατά τη διάρκεια της δοκιμής απόδοσης ισχύος

Το σύνολο δεδομένων βαθμονόμησης θέσης για τις μετρήσεις μας, θα πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον 24 ώρες συλλογής δεδομένων για κάθε μη εξαιρούμενο 'κάδο' κατεύθυνσης ανέμου. Από αυτούς, ο κάθε κάδος θα πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον 6 ώρες δεδομένων-μετρήσεων, κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι πάνω από 8 m/s και τουλάχιστον 6 ώρες δεδομένων-μετρήσεων, κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου θα πρέπει να είναι κάτω από 8 m/s. Πέρα από αυτές τις ελάχιστες απαιτήσεις, η δοκιμή και οι μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται συνεχώς, έτσι ώστε να υποδεικνύεται η σύγκλιση των δεδομένων.

Από τη βάση δεδομένων της βαθμονόμησης θέσης πρέπει να προκύπτουν οι μέσοι όροι των συντελεστών διόρθωσης της ροής του ανέμου  $a_j$  λόγω του εδάφους για κάθε τομέα (αναλογία ταχύτητας ανέμου στη θέση της ανεμογεννήτριας διαιρούμενη με την ταχύτητα του ανέμου στον μετεωρολογικό ιστό).

Αυτό που επίσης πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης θέσης είναι και η ανάλυση αβεβαιότητας. Πρόκειται για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας των συντελεστών διόρθωσης της ροής του ανέμου, οι οποίοι καθορίζονται από κάποιες προϋποθέσεις και κανόνες.

### **3.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**

Είναι αρκετά σύνηθες το φαινόμενο να συλλέγονται κατά τις μετρήσεις μερικά ανεπαρκή δεδομένα για τον προσδιορισμό των συντελεστών διόρθωσης της ροής του ανέμου στον τομέα μέτρησης, που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της θέσης-τοποθεσίας εκτέλεσης της δοκιμής. Επιπροσθέτως, οι συντελεστές διόρθωσης της ροής του ανέμου δύναται να υποστούν απότομες αλλαγές μεταξύ των 'κάδων'- κατηγοριών κατεύθυνσης ανέμου. Συνιστάται να γίνεται εξάλειψη των τιμών των διευθύνσεων ανέμου από τους τομείς μέτρησης, σε περιπτώσεις που οι συντελεστές διόρθωσης ροής του ανέμου αλλάζουν κατά περισσότερο από 0,02 μεταξύ γειτονικών τομέων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η δοκιμή βαθμονόμησης τοποθεσίας υπάρχει περίπτωση να υποδεικνύει ότι ένα εμπόδιο δεν έχει διακριτή επίδραση στους συντελεστές διόρθωσης

της μετρούμενης ροής του ανέμου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο τομέας μέτρησης δύναται να αυξήσει το εύρος του, πέραν των απαιτήσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η ενδεχόμενη αυτή αύξηση στον τομέα μέτρησης πρέπει να συνυπολογίζει το ενδεχόμενο ύπαρξης της επίδρασης του ομόρρου από ένα εμπόδιο να επηρεάζει την δοκιμή του ρότορα της ανεμογεννήτριας, ακόμη και αν δεν επηρεάζει ένα ανεμόμετρο στην πλήμνη (hub).

### **3.8 ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Εάν πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση τοποθεσίας, η ίδια η βαθμονόμηση της τοποθεσίας, η οποία προκύπτει από μετρήσεις – υπολογισμούς που λαμβάνονται από δύο μετεωρολογικούς ιστούς, μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας δεδομένα που μετρούνται απευθείας στην ανεμογεννήτρια κατά τη διάρκεια των μετρήσεων - υπολογισμών της καμπύλης ισχύος. Κάτω από την ονομαστική ισχύ, η ταχύτητα ανέμου που προσπίπτει στην ανεμογεννήτρια μπορεί να προκύψει - υπολογιστεί από τη μέση στιγμιαία μέση τιμή της ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση της μετρούμενης καμπύλης ισχύος.

Η αναλογία της ταχύτητας ανέμου που εκτιμάται από την ηλεκτρική ισχύ και της ταχύτητας του ανέμου που υπολογίζεται στον μετεωρολογικό ιστό μπορεί να είναι κατά μέσο όρο σύμφωνα με την κατεύθυνση του ανέμου. Ιδανικά, αυτοί οι συντελεστές ταχύτητας ανέμου θα πρέπει να είναι ίδιοι με τους συντελεστές διόρθωσης ταχύτητας ανέμου, οι οποίοι καθορίζονται από τη βαθμονόμηση της τοποθεσίας, προτού γίνει η ανέγερση της ανεμογεννήτριας.

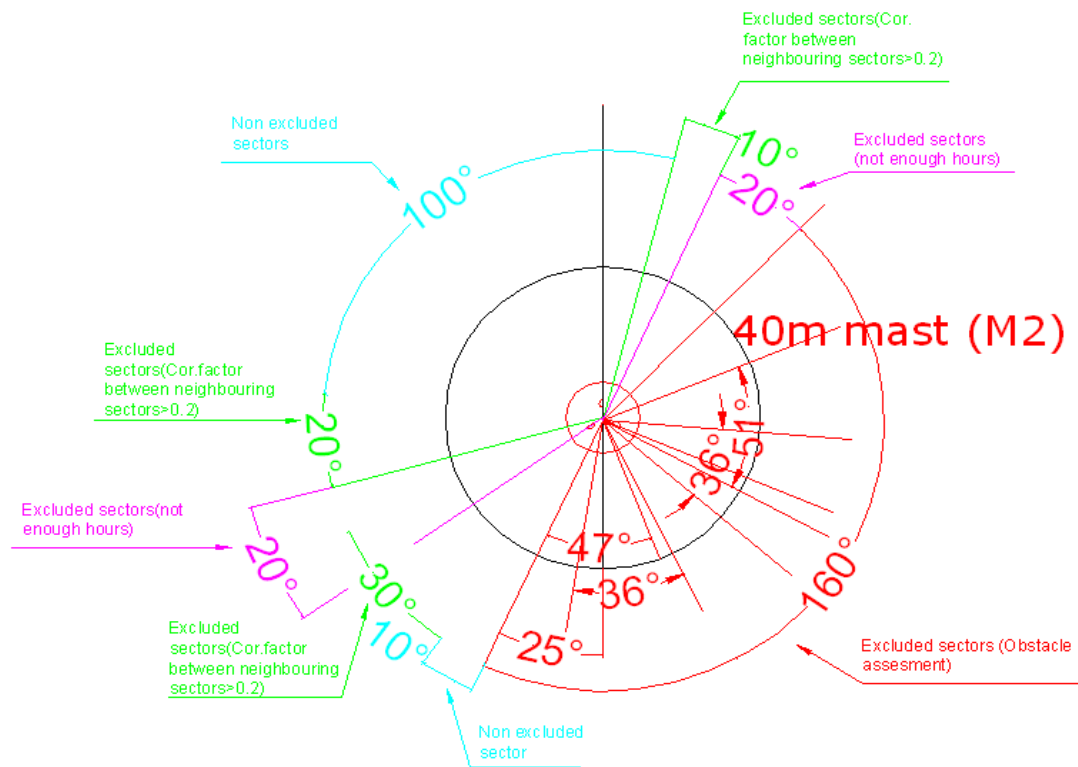
### **3.9 ΕΞΑΙΡΟΥΜΕΝΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΕΞΑΙΡΟΥΜΕΝΟΙ ΤΟΜΕΙΣ**

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται, ύστερα από τους υπολογισμούς και τις μετρήσεις που έλαβαν χώρα για την περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, οι τομείς οι οποίοι πρέπει να εξαιρεθούν κι αυτοί που δεν πρέπει να εξαιρεθούν. Οι χρωματισμένοι με ανοιχτό γαλανό χρώμα τομείς είναι εκείνοι που δεν εξαιρούνται από τις μετρήσεις μας (εικόνα 54). Πρόκειται για τους τομείς από 205°-215° και για τους τομείς από 275°-15°.

Στην εικόνα 55 παρουσιάζονται και οι λόγοι για τους οποίους εξαιρούνται κάποιοι τομείς. Πιο συγκεκριμένα :

- 15°-25° για το λόγο ότι οι συντελεστές διόρθωσης μεταξύ των γειτονικών τομέων έχουν τιμές μεγαλύτερες του 0.2
- 25°-45° για το λόγο ότι δεν υπάρχουν δεδομένα αρκετών ωρών
- 45°-205° για το λόγο ότι δεν γίνεται καλή αξιολόγηση των εμποδίων
- 215°-275° για το λόγο ότι δεν υπάρχουν δεδομένα αρκετών ωρών και επειδή οι συντελεστές διόρθωσης μεταξύ των γειτονικών τομέων έχουν τιμές μεγαλύτερες του 0.2





WEL\_2 Test field

**Εικόνα 55 : Συνοπτική παρουσίαση των εξαιρούμενων και μη εξαιρούμενων τομέων**