



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**Έρευνα και αξιολόγηση διεθνών προτύπων για  
εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Σιαλμάς Α. Δημήτριος**

**Επιβλέπων**

Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ. & Μηχ. Υπολογιστών, ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**Έρευνα και αξιολόγηση διεθνών προτύπων για  
εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Σιαλμάς Α. Δημήτριος**

**Επιβλέπων**

Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ. & Μηχ. Υπολογιστών, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ..... Μαρτίου 2018.

.....  
Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σταύρος Παπαθανασίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Παύλος Γεωργιλάκης  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2018

.....  
ΣΙΑΛΜΑΣ Α. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

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

Copyright © ΣΙΑΛΜΑΣ Α. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παροχή λεπτομερών στοιχείων σχετικά με τις αρχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, αποθήκευση και ανάλυση μετρήσεων δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, διευκολύνεται περαιτέρω η δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ταχεία ανάληψη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του απαιτούμενου πλαισίου υποδομής ποιότητας για εφαρμογές αιολικής ενέργειας μικρής ισχύος σε σχέση με αυτήν των μεθόδων μέτρησης δεδομένων και των συναφών δραστηριοτήτων. Οι μεθοδολογίες και οι δραστηριότητες μέτρησης δεδομένων απαιτούν την ακριβή ροή πληροφοριών και την τήρηση των αντίστοιχων προτύπων προκειμένου να παρασχεθεί ένα πλήρες, αξιόπιστο και συνεκτικό σύνολο δεδομένων που θα αξιοποιηθούν με έναν συνήθως αποδεκτό και αναπαραγώγιμο τρόπο. Στην παρούσα έκθεση, καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια για τη διατήρηση της προαναφερθείσας δομής, η οποία θα διασφαλίσει ότι θα υπολογιστεί και θα αξιολογηθεί κάθε μέρος της ροής πληροφοριών.

Αρχικά κατασκευάστηκε μία έρευνα με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των συμπεριφορών, των πρακτικών και των τεχνολογικών επιλογών σε διάφορες εφαρμογές της κοινότητας του WindEmpowerment, όσον αφορά τις διαδικασίες μέτρησης και τις αντίστοιχες τεχνικές σε εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών. Με τον τρόπο αυτό θα επικεντρωθεί το ενδιαφέρον της ερευνητικής διαδικασίας σε θέματα που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον, βοηθώντας στην διασφάλιση της ποιότητας δημιουργώντας ευνοϊκό περιβάλλον για την ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Εν συνεχεία, γίνεται αναφορά σε υπάρχοντες ελέγχους και δοκιμές, οι οποίοι πραγματοποιούνται για την πιστοποίηση των μικρών ανεμογεννητριών και γίνεται εκτενής ανάλυση των προδιαγραφών του προτύπου IEC Standard 61400 -12-1 για τη μέτρηση της καμπύλης ισχύος. Με όμοιο τρόπο, γίνεται αναφορά στις απαιτήσεις των ορίων ακριβείας και των τιμών εξόδου των μορφοτροπέων που σχετίζονται με την ηλεκτρική ισχύ, στο πλαίσιο των προαναφερθεισών εφαρμογών. Επίσης εξετάζονται και παρουσιάζονται πρότυπα σχετικά με τους μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος που χρησιμοποιούνται με ηλεκτρικά όργανα μέτρησης.

Τέλος, μελετάται η σειρά διεθνών προτύπων IEC 61400- 25 με σκοπό την ενοποίηση συστημάτων επικοινωνίας σε αιολικούς σταθμούς, τόσο για εσωτερική ανταλλαγή πληροφοριών όσο και για τηλεχειρισμό. Η σειρά έχει σχεδιαστεί για περιβάλλον επικοινωνίας που υποστηρίζεται από μοντέλο πελάτη-διακομιστή. Καθορίζονται και αναλύονται τρεις περιοχές ξεχωριστά για να διασφαλιστεί η δυνατότητα κλιμάκωσης των υλοποιήσεων. Αυτές είναι τα μοντέλα πληροφοριών αιολικής ενέργειας, το μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών, και η χαρτογράφηση αυτών των δύο μοντέλων σε ένα τυπικό προφίλ επικοινωνίας.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

διεθνή πρότυπα, IEC, μικρές ανεμογεννήτριες, μέτρηση καμπύλης ισχύος, μετρητικό σύστημα, σύστημα συλλογής δεδομένων, βαθμονόμηση, ακρίβεια, μορφοτροπέας, μετασχηματιστής μέτρησης, μοντέλο πληροφοριών

## **ABSTRACT**

This diploma thesis focuses on providing detailed information on the principles and methods employed in the collection, storage and analysis of data measurements. In this context, it further facilitates the establishment of an enabling environment for the rapid uptake of renewable energy technologies, by contributing to the development of the necessary quality infrastructure framework for small wind turbine applications with respect to the data measurement methods and resulting activities. Methodologies and data measurement activities require the complete information flow, to be accurate and adhere to the respective standards in order to provide a complete, reliable and consistent set of data to be exploited in a commonly accepted and reproducible way. Significant effort has been made to maintain the above mentioned structure that will ensure every part of the data information flow will be accounted for and evaluated.

Initially, a survey was conducted with a goal of better understanding attitudes, practices and technology choices across the community's various implementations, regarding the measurement procedure and respective techniques on SWT applications. This will focus the interest of the research process on issues of practical interest, helping to ensure quality by creating a favorable environment for the rapid development of renewable energy technologies.

Subsequently, reference is made to existing tests that are carried out for the certification of small wind turbines and an extensive analysis of the specifications of IEC Standard 61400 -12-1 for the measurement of the power curve. Similarly, reference is made to the requirements of the accuracy limits and the output values of the transducers related to the electrical power, in the context of the aforementioned applications. Also, standards for voltage and current transformers used with electrical measuring instruments are examined and presented.

Finally, the International Standards Series IEC 61400-25 is being studied in order to integrate communication systems in wind farms, both for internal exchange of information and for remote control. The series is designed for a client-to-server communication interface. Three areas are individually defined and analysed to ensure the ability to scale the implementations. These are the wind energy information models, the information exchange model, and the mapping of these two models to a typical communication profile.

## **KEYWORDS**

international standards, IEC, small wind turbines, power curve measurement, measurement system, data acquisition system, calibration, accuracy, transducer, instrument transformer, information model

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Χατζηαργυρίου, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στον κύριο Αθανάσιο Βασιλάκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Η συμβολή του σε καίρια ζητήματα που προέκυψαν ήταν πάντα στοχευμένη και με διδακτικό χαρακτήρα και κατέστησε δυνατή την περάτωση της εργασίας. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον κύριο Θωμά Πάζιο ο οποίος παρείχε ουσιαστική στήριξη και συνέβαλε σημαντικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς και στον αδερφό που είναι αρωγοί στις προσπάθειές μου όλα αυτά τα χρόνια, όπως επίσης και σε όλους τους φίλους και συναδέλφους μου για τη στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

*Αφιερώνεται στους γονείς μου*

*και στον αδερφό μου,*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Υποδομή ποιότητας για εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Τεχνολογία ανεμογεννητριών μικρής ισχύος.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Σκοπός, διαδικασία της έρευνας και περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας.....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Σκοπός .....	14
1.3.2 Διαδικασία έρευνας για αναζήτηση υλικού .....	15
1.3.3 Περιεχόμενο .....	16
<b>1.4 Δομή της εργασίας .....</b>	<b>17</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Μεθοδολογία και δομή της έρευνας .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Προφίλ συμμετεχόντων .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Μέρη του κόσμου που δραστηριοποιούνται οι χρήστες του WE .....	21
2.2.2 Προφίλ των συμμετεχόντων σχετικά με τις δραστηριότητες SWTs .....	22
<b>2.2 Τρέχουσες πρακτικές.....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Πρακτικές εγκατάστασης από τους χρήστες .....	24
2.2.2 Τρέχουσες πρακτικές όσον αφορά τις προδιαγραφές του καταγραφέα δεδομένων.....	26
<b>2.3 Πρακτικότητα των μετρήσεων.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Σφάλματα και Συντήρηση.....</b>	<b>31</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Προετοιμασία για την δοκιμή επιδόσεων.....</b>	<b>37</b>
3.1.1 Τοποθεσία πεδίου δοκιμών ανεμογεννήτριας.....	37
3.1.2 Τομέας έγκυρων μετρήσεων .....	38
3.1.3 Αξιολόγηση του εδάφους στο πεδίο δοκιμών .....	39
3.1.4 Εξοπλισμός μετρήσεων .....	40
<b>3.2 Δοκιμές εξοπλισμού .....</b>	<b>42</b>
3.2.1 Ηλεκτρική ενέργεια .....	42
3.2.2 Ταχύτητα του ανέμου.....	42
3.2.3 Κατεύθυνση του ανέμου .....	44
3.2.4 Πυκνότητα του αέρα .....	44
3.2.5 Σύστημα απόκτησης δεδομένων .....	45
<b>3.3 Διαδικασία των μετρήσεων .....</b>	<b>45</b>
3.3.1 Απόκτηση δεδομένων .....	45
3.3.2 Απόρριψη δεδομένων .....	46
3.3.3 Βάση δεδομένων .....	46
<b>3.4 Εξαγωγή αποτελεσμάτων .....</b>	<b>47</b>
3.4.1 Κανονικοποίηση των δεδομένων .....	47
3.4.2 Καθορισμός της μετρούμενης καμπύλης ισχύος .....	48
3.4.3 Υπολογισμός της αναμενόμενης ετήσιας ενεργειακής παραγωγής (ΑΕΠ).....	49
3.4.4 Υπολογισμός βαθμού απόδοσης.....	50
3.4.5 Αξιολόγηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων .....	50
<b>3.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων .....</b>	<b>51</b>



3.6 Μέτρηση καμπύλης ισχύος στις μικρές ανεμογεννήτριες .....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>55</b>
4.1 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 60688 .....	56
4.1.1 Γενική αρχιτεκτονική, δείκτης κλάσης, επιτρεπτά όρια των εγγενών σφαλμάτων, βοηθητική παροχή και συνθήκες αναφοράς .....	58
4.1.2 Απαιτήσεις.....	60
4.2 Ανασκόπηση της σειράς διεθνών προτύπων IEC 61869 .....	63
4.2.1 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας .....	63
4.2.2 Πρόσθετες απαιτήσεις για μετασχηματιστές ρεύματος .....	65
4.2.3 Πρόσθετες απαιτήσεις για μετασχηματιστές επαγωγικής τάσης .....	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>69</b>
5.1 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 61400-25-1 .....	71
5.1.1 Συνολική περιγραφή της σειράς IEC 61400-25.....	73
5.1.2 Γενικές απαιτήσεις, περιεχόμενο και λειτουργίες της επικοινωνίας.....	73
5.1.3 Περιγραφή του μοντέλου επικοινωνίας.....	75
5.1.4 Μοντέλο πληροφοριών για τους σταθμούς αιολικής ενέργειας .....	78
5.1.5 Μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών για τους σταθμούς αιολικής ενέργειας .....	81
5.1.6 Χαρτογράφηση σε πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	83
5.2 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 61400-25-2 .....	85
5.2.1 Επισκόπηση κατηγοριών λογικών κόμβων .....	85
5.2.2 Χρήση κλάσεων λογικών κόμβων .....	89
5.2.3 Βασικές έννοιες των κοινών κατηγοριών δεδομένων .....	90
5.2.4 Δομή κοινών κλάσεων δεδομένων.....	91
5.3 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 61400-25-3 .....	93
5.3.1 Μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών.....	94
5.3.2 Επιχειρησιακές λειτουργίες.....	96
5.3.3 Λειτουργίες διαχείρισης.....	100
5.3.4 Τα μοντέλα πληροφοριών ACSI για τα αιολικά πάρκα .....	100
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>102</b>
6.1 Έλεγχοι της απόδοσης .....	103
6.2 Έλεγχοι των αντοχών.....	104
6.3 Έλεγχος της ασφαλούς λειτουργίας.....	106
6.4 Έλεγχος των ακουστικών εκπομπών θορύβου.....	106
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>108</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>111</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>133</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

**Εισαγωγή**

## 1.1 Υποδομή ποιότητας για εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας

Η διασφάλιση της ποιότητας έχει αποδειχθεί απαραίτητη για τη δημιουργία ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η διασφάλιση της ποιότητας των προτύπων που αποσκοπούν στην επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας των προϊόντων και των υπηρεσιών, καθώς και των μηχανισμών ελέγχου της τήρησης των απαιτήσεων αυτών, προκύπτουν με δοκιμές και πιστοποίηση. Επιπλέον, ενισχύει την αξιοπιστία που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία υγιούς, αποτελεσματικής και ταχέως αναπτυσσόμενης αγοράς τεχνολογίας και διασφαλίζει ότι τηρούνται οι προσδοκίες των επενδυτών και των τελικών χρηστών για την απόδοση, την ανθεκτικότητα και την ασφάλεια των τεχνολογιών .

Οι αναδυόμενες αγορές χρειάζονται διασφάλιση ποιότητας για να αποτρέψουν τα ασταθή, χαμηλής απόδοσης και επιρρεπή προϊόντα από την αμαύρωση των αντιλήψεων της τεχνολογίας και τη δηλητηρίαση της αγοράς. Αυτή η ποιοτική υποδομή (Quality Infrastructure – QI) περιλαμβάνει τα πρότυπα, τη μετρολογία, τις δοκιμές, την πιστοποίηση, τις επιθεωρήσεις, τα συστήματα διαπίστευσης και διαχείρισης ποιότητας. Επίσης, μπορεί να ορίζεται ως το συνολικό θεσμικό δίκτυο (δημόσιο και ιδιωτικό) και το νόμιμο πλαίσιο που:

- Ρυθμίζει, διατυπώνει, επεξεργάζεται και εφαρμόζει πρότυπα.
- Παρέχει απόδειξη της εκπλήρωσής του (δηλ. Ένα σχετικό μείγμα μετρήσεων, διαπίστευση, δοκιμές, πιστοποίηση και επιθεωρήσεις).

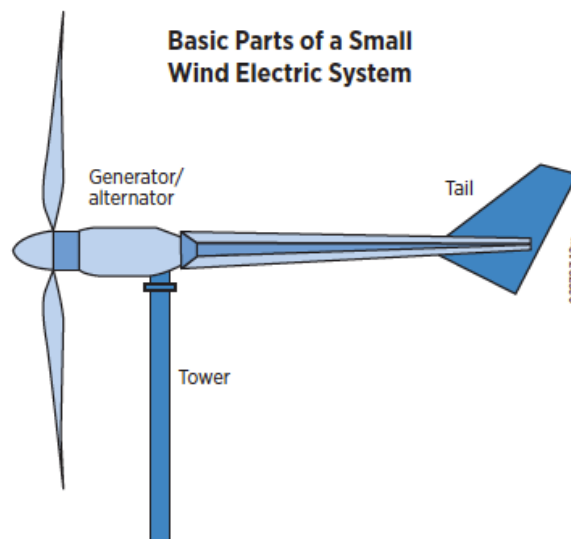
Η ποιοτική υποδομή ωφελεί όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και φορείς της αγοράς που ασχολούνται με την τεχνολογία και παρέχει τα ακόλουθα οφέλη για τις ομάδες ενδιαφερομένων [1]:

- Οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής: προωθούν τις αναδυόμενες αγορές, καθιστούν δυνατή την προώθηση της υγιούς τεχνολογίας και προσελκύουν νέες επιχειρήσεις και θέσεις εργασίας.
- Οι κατασκευαστές: μειώνουν τους περιφερειακούς και διεθνείς εμπορικούς φραγμούς, βελτιώνουν το σχεδιασμό των προϊόντων και βελτιώνουν την ποιότητα κατασκευής.
- Οι επαγγελματίες: βελτιώνουν τους μισθούς και την κινητικότητα (για τους επαγγελματίες που ασχολούνται με το σχεδιασμό, την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας) και προσελκύουν νέα talέντα.
- Τελικοί χρήστες: δημιουργεί εμπιστοσύνη τελικού χρήστη, επιτρέπει τη σωστή σύγκριση προϊόντων και αυξάνει τους οικονομικούς πόρους.

## 1.2 Τεχνολογία ανεμογεννητριών μικρής ισχύος

Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου από τη μηχανική ενέργεια που συλλέγει ο ρότορας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της γεννήτριας. Τα κύρια εξαρτήματα των ανεμογεννητριών (βλ. Σχήμα 1.1) περιλαμβάνουν ένα ρότορα, μια γεννήτρια / εναλλάκτη (και έναν αντιστροφέα), ουρά (για να κρατήσει τον στρόβιλο στραμμένο στον άνεμο και για να μπορεί να περιστρέφεται ή να αναδιπλώνεται σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής).

Σχήμα 1.1 – Κύρια εξαρτήματα ανεμογεννητριών



Μία διαμόρφωση εναλλάκτη μόνιμου μαγνήτη είναι η πιο χαρακτηριστική τεχνολογία για εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών. Αυτές οι μηχανές άμεσης κίνησης με γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη παράγουν ακανόνιστο εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ή ηλεκτρικό ρεύμα μεταβλητής συχνότητας και τάσης, το οποίο πρέπει να μετατραπεί μέσω ενός μετατροπέα. Μια άλλη συνήθης διαμόρφωση γεννήτριας είναι όταν ο άξονας του ρότορα συνδέεται με ένα κιβώτιο ταχυτήτων και γεννήτρια επαγωγής ή σταθερής ταχύτητας. Οι γεννήτριες σταθερής ταχύτητας παράγουν AC ηλεκτρικό ρεύμα, επομένως δεν απαιτείται μετατροπή ισχύος. Το κιβώτιο ταχυτήτων χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των στροφών RPM του ρότορα σε αυτό που χρειάζεται η γεννήτρια[1].

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να βρεθούν σε μια ποικιλία μεγεθών και σχεδίων, τα οποία συνήθως ταξινομούνται ανάλογα με το αν περιστρέφονται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα (HAWT) ή έναν κατακόρυφο άξονα (VAWT). Η μεγάλη πλειονότητα των πωλούμενων SWTs χρησιμοποιούν μια διάταξη τριών πτερυγίων, οριζόντιου άξονα, παρόλο που υπάρχουν σχέδια

που χρησιμοποιούν διάφορους αριθμούς και τύπους λεπίδων και διαφορετικούς άξονες περιστροφής. Σήμερα, πολλές από τις εμπορικές HAWT και μία VAWT κατέχουν πιστοποιητικό από διαπιστευμένους οργανισμούς πιστοποίησης που βασίζονται σε διαπιστευμένα εργαστηριακά αποτελέσματα δοκιμών με βάση τα εθνικά πρότυπα.

Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό σχεδιασμού για ανεμογεννήτριες είναι ο έλεγχος της υπερβολικής αύξησης της ταχύτητας ώστε να διατηρείται η SWT σε ένα ασφαλές εύρος λειτουργίας. Οι SWTs χρησιμοποιούν συνήθως μηχανική ενεργοποίηση, η οποία περιλαμβάνει περιστροφή ή αναδίπλωση της λεπίδας σε δεδομένη τιμή στροφών RPM και ηλεκτρική ενεργοποίηση για έλεγχο του βήματος (pitch control). Οι μέθοδοι ελέγχου είναι συνήθως ένας συνδυασμός τόσο μηχανικών όσο και ηλεκτρικών μεθόδων και μπορεί να περιλαμβάνουν στρατηγικές όπως έλεγχο στάσης, έλεγχο βήματος, πέδηση κ.λπ.

Υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί των μικρών ανεμογεννητριών, αλλά η τρίτη αναθεώρηση του διεθνούς προτύπου μικρού ανέμου IEC 61400-2 τις ορίζει ως ανεμογεννήτριες με περιφέρεια σάρωσης μικρότερη από 200 τετραγωνικά μέτρα ( $m^2$ ). Ο ορισμός αυτός αντιστοιχεί σε περίπου 50kW ονομαστικής παραγωγικής ικανότητας ή μικρότερης [2].

Όσο αφορά την τοποθέτηση των SWT προσοχή πρέπει να δοθεί στην επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας και πύργου ή δομής υποστήριξης. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται σε υψηλότερα ύψη, οι τελικοί χρήστες τείνουν να εγκαταστήσουν τον στρόβιλο σε όσο πιο ψηλό πύργο γίνεται. Ωστόσο, για την επιλογή του ύψους του πύργου πρέπει να ληφθούν υπόψη οι λειτουργίες και η συντήρηση της SWT καθώς και οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι εξωτερικές συνθήκες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό εξαρτώνται από τον επιδιωκόμενο τόπο ή χώρο για μια εγκατάσταση SWT. Οι κλάσεις των SWT ορίζονται από την άποψη των παραμέτρων ταχύτητας και αναταραχής του ανέμου. Η πρόθεση των κλάσεων είναι να καλύψουν τις περισσότερες εφαρμογές. Οι παράμετροι του ανέμου προορίζονται να αντιπροσωπεύουν τις χαρακτηριστικές τιμές πολλών διαφορετικών τοποθεσιών και δεν δίνουν ακριβή αναπαράσταση οποιουδήποτε συγκεκριμένης τοποθεσίας. Ο πίνακας 1.1 καθορίζει τις βασικές παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν τις κλάσεις των SWTs. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ειδική σχεδίαση (π.χ. ειδικές συνθήκες ανέμου ή άλλες εξωτερικές συνθήκες ή ειδική κατηγορία ασφαλείας) είναι απαραίτητη μια περαιτέρω κατηγορία SWT, η κατηγορία S. Οι τιμές σχεδιασμού για την κατηγορία S επιλέγονται από τον σχεδιαστή και προσδιορίζονται στην τεκμηρίωση σχεδιασμού [2].

Οι συγκεκριμένες εξωτερικές συνθήκες που ορίζονται για τις κατηγορίες I, II, III και IV δεν προορίζονται και ούτε καλύπτουν τις υπεράκτιες συνθήκες και τις συνθήκες ανέμου που αντιμετωπίζουν τροπικές καταιγίδες όπως τυφώνες και κυκλώνες. Αυτές οι συνθήκες απαιτούν σχεδιασμό ανεμογεννητριών κατηγορίας S.

Πίνακας 1.1 Βασικές παράμετροι για τις κλάσεις SWTs

SWT class	I	II	III	IV	S
$V_{ref}$ (m/s)	50	42.5	37.5	30	Values to be specified by the designer
$V_{ave}$ (m/s)	10	8.5	7.5	6	
$I_{15}$	0.18	0.18	0.18	0.18	

Όπου,

- the values apply at hub height, and
- $V_{ref}$  reference wind speed averaged over 10 min
- $V_{ave}$  annual average wind speed at hub height
- $I_{15}$  is the dimensionless characteristic value of the turbulence intensity at 15 m/s.

## 1.3 Σκοπός, διαδικασία της έρευνας και περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας

### 1.3.1 Σκοπός

Οι δραστηριότητες μέτρησης δεδομένων αποτελούν ουσιαστικό μέρος των εφαρμογών μικρών ανεμογεννητριών (SWT), καθώς παρέχουν ζωτικές και απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τις ηλεκτρο-περιβαλλοντικές παραμέτρους του εγκατεστημένου συστήματος, επιτρέποντας έτσι την αξιόπιστη και συνεπή παρακολούθηση και έλεγχο. Επιπρόσθετα, τα ιστορικά δεδομένα που συγκεντρώνονται έχουν εξαιρετική σημασία στις ερευνητικές δραστηριότητες όσον αφορά το σχεδιασμό, τις επιδόσεις, τη δοκιμή αξιολόγησης της ποιότητας και την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογικής υποδομής.

Τα πρότυπα μέτρησης τεκμηριώνουν τις επαγγελματικές αρχές και πρακτικές που πρέπει να τηρούν τα ενδιαφερόμενα μέρη (φορείς χάραξης πολιτικής, κατασκευαστές, επαγγελματίες, τελικοί χρήστες κ.λπ.) και το επίπεδο ποιότητας και προσπάθειας που αναμένεται σε όλες τις δραστηριότητες μέτρησης. Τα πρότυπα συνοδεύουν κατευθυντήριες γραμμές που παρουσιάζουν τις συνιστώμενες βέλτιστες πρακτικές για την εκπλήρωση των στόχων των προτύπων. Ενώ επί του παρόντος υπάρχει πληθώρα προτύπων μέτρησης, όπως καθώς και κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τις δοκιμές και τις μετρήσεις πηγών εναλλασσόμενου

ρεύματος, οι περισσότερες επικεντρώνονται κυρίως στις μετρήσεις στα δίκτυα κοινής ωφελείας (δηλ. IEC 62053, IEC 61039).

Η έλλειψη συνεκτικής δέσμης τεκμηρίωσης σχετικά με τις εφαρμογές εκτός δικτύου στο πλαίσιο της συλλογής δεδομένων και των μετρήσεων υψηλής ποιότητας δημιουργεί ένα δύσκολο έργο, ιδίως λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών (δηλαδή το εύρος συχνότητας κυμαίνεται από τη συνηθισμένη συχνότητα, 50Hz ή 60Hz, και η τρέχουσα THD είναι έως και 40%).

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παροχή λεπτομερών στοιχείων σχετικά με τις αρχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, αποθήκευση και ανάλυση μετρήσεων δεδομένων, σχετικά με τα υφιστάμενα πρότυπα και διευκολύνοντας την πρόοδο προς τις μελλοντικές δραστηριότητες τυποποίησης. Στο πλαίσιο αυτό, διευκολύνεται περαιτέρω η δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ταχεία ανάληψη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του απαιτούμενου πλαισίου υποδομής ποιότητας για τις μικρές εφαρμογές αιολικής ενέργειας σε σχέση με αυτήν των μεθόδων μέτρησης δεδομένων και των συναφών δραστηριοτήτων. Οι μεθοδολογίες και οι δραστηριότητες μέτρησης δεδομένων απαιτούν την ακριβή ροή πληροφοριών (από τη ρύθμιση του τόπου εγκατάστασης και τις προδιαγραφές εγκατάστασης του ανεμομέτρου, έως το διάστημα συλλογής δεδομένων και τις προδιαγραφές μετατροπών ρεύματος / τάσης) και την τήρηση των αντίστοιχων προτύπων προκειμένου να παρασχεθεί ένα πλήρες, αξιόπιστο και συνεκτικό σύνολο δεδομένων που θα αξιοποιηθούν με έναν συνήθως αποδεκτό και αναπαραγωγίσιμο τρόπο. Στην παρούσα έκθεση, καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια για τη διατήρηση της προαναφερθείσας δομής, η οποία θα διασφαλίσει ότι θα υπολογιστεί και θα αξιολογηθεί κάθε μέρος της ροής πληροφοριών.

### 1.3.2 Διαδικασία έρευνας για αναζήτηση υλικού

Όπως ήδη έχει αναφερθεί ήταν γνωστό ότι υπάρχει πληθώρα προτύπων μέτρησης, όπως καθώς και κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τις δοκιμές και τις μετρήσεις πηγών εναλλασσόμενου ρεύματος.

1. Το πρώτο μέρος της έρευνας ήταν να εντοπίσουμε τα πρότυπα αυτά και να τα αποκτήσουμε ώστε να μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για την έρευνά μας. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής ήταν να οδηγηθούμε στα διεθνή πρότυπα πιστοποίησης της International Electrotechnical Commission (IEC). Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή είναι ο κορυφαίος παγκόσμιος οργανισμός που εκδίδει διεθνή πρότυπα βάσει συναίνεσης και διαχειρίζεται συστήματα αξιολόγησης της συμμόρφωσης για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα, συστήματα και υπηρεσίες, συλλογικά γνωστά ως ηλεκτροτεχνία. Οι δημοσιεύσεις του IEC χρησιμεύουν ως βάση για την εθνική τυποποίηση και ως αναφορά κατά τη σύνταξη των διεθνών προσφορών και συμβάσεων.

2. Το δεύτερο μέρος ήταν να καταφέρουμε να εντοπίσουμε την ομάδα προτύπων που αναφέρονται σε εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών. Η δυσκολία αυτής της φάσης της έρευνας έγκειται στον μεγάλο όγκο και μέγεθος των προτύπων καθώς και στο υψηλό κόστος απόκτησης τους. Για το λόγο αυτό, για να περιορίσουμε το εύρος του όγκου των δεδομένων αναζητήσαμε εμπορικά προϊόντα που βρίσκουν εφαρμογή στις διαδικασίες μέτρησης εφαρμογών μικρών ανεμογεννητριών και ελέγξαμε τις προδιαγραφές τους καθώς και τις απαιτήσεις που καλύπτουν. Συγκεκριμένα, έγινε έρευνα στις ιστοσελίδες εταιριών που παράγουν καταγραφείς δεδομένων (data loggers), μετασχηματιστές (transformers), μετατροπείς (transducers) και μικρές ανεμογεννήτριες.
3. Παράλληλα με τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε και ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια της εργασίας, το οποίο συνετέλεσε όχι μόνο στην εξέλιξη της έρευνας για την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης αναφοράς προτύπων σε θεωρητικό επίπεδο, αλλά στην καθοδήγηση της έρευνας με κατεύθυνση τι πραγματικά πρέπει να μετρήσουμε σε μια τυπική εφαρμογή μικρών ανεμογεννητριών. Με λίγα λόγια, δημιουργήθηκε μία έρευνα που στάλθηκε σε άτομα με συμμετοχή και εμπειρία σε εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών με σκοπό να βγάλουμε συμπεράσματα για τα δεδομένα που πρέπει να μετρηθούν και να αποθηκευτούν, τις προδιαγραφές της πλειονότητας των εφαρμογών και τον τύπο των περιβαλλοντικών παραμέτρων που πρέπει να μετρηθούν.

### 1.3.3 Περιεχόμενο

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανασκόπησης των προτύπων που αναφέρονται παρακάτω. Όσο αφορά τα πρότυπα που θα αναφερθούν δεν παρουσιάζεται ολόκληρο το περιεχόμενό τους αλλά μόνο τμήματα αυτών, τα οποία εξυπηρετούν τον σκοπό της εργασίας.

- **IEC 61400-1 (1999)** Design requirements
- **IEC 61400-2 (2006)** Small wind turbines
- **IEC 61400-12-1 (2005)** Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- **IEC 61400-25-1 (2006)** Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models
- **IEC 61400-25-2 (2015)** Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models
- **IEC 61400-25-3 (2015)** Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models
- **IEC 61400-25-4 (2008)** Communications for monitoring and control of wind power plants - Mapping to communication profile
- **IEC 61400-25-6 (2010)** Communications for monitoring and control of wind power plants - Logical node classes and data classes for condition monitoring
- **IEC 61869-1 (2007)** Instrument transformers - Part 1: General requirements



- **IEC 61869-2 (2012)** Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers
- **IEC 61869-3 (2011)** Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers
- **IEC 60688 (2013)** Electrical measuring transducers for converting A.C. and D.C. electrical quantities to analogue or digital signals

## 1.4 Δομή της εργασίας

Η **Εισαγωγή** ξεκινάει με μία σύντομη αναφορά στην έννοια της ανάπτυξης ποιοτικής υποδομής στην τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στα οφέλη αυτής προς όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Στην συνέχεια, περιγράφονται τα βασικά στοιχεία του σχεδιασμού ανεμογεννητριών μικρής ισχύος. Επίσης, γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο έγινε η επιλογή των διεθνών προτύπων για τον σκοπό της εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας με θέμα τις απόψεις και τις πρακτικές των χρηστών, των κατασκευαστών και των σχεδιαστών ανεμογεννητριών μικρής ισχύος. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η μέθοδος που είναι δομημένη η έρευνα για να συλλέξει δεδομένα για το προφίλ των συμμετεχόντων, τις τρέχουσες πρακτικές, την πρακτικότητα των μετρήσεων, τα σφάλματα στις μετρήσεις και την συντήρηση της εγκατάστασης.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται κατά κύριο λόγο η ανασκόπηση του προτύπου IEC 61400-12-1. Αποτελεί ένα από τα βασικότερα σημεία της διπλωματικής εργασίας καθώς έχει ως αντικείμενο να παρέχει μια ομοιόμορφη μεθοδολογία που θα διασφαλίζει με συνέπεια και ακρίβεια τη μέτρηση και την ανάλυση της απόδοσης ισχύος των ανεμογεννητριών όλων των τύπων και μεγεθών. Τα χαρακτηριστικά απόδοσης ισχύος της ανεμογεννήτριας καθορίζονται από τη μετρούμενη καμπύλη ισχύος και την εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας.

Στο **Κεφάλαιο 4** περιγράφονται οι απαιτήσεις κατασκευής και λειτουργίας μετασχηματιστών τάσης, μετασχηματιστών ρεύματος και ηλεκτρονικών μορφοτροπέων. Γίνεται, δηλαδή, ανασκόπηση των προτύπων IEC 61869 και IEC 60688 τα οποία προορίζονται για να καθορίσουν την ορολογία και τους ορισμούς που σχετίζονται με όργανα των οποίων η κύρια εφαρμογή είναι στην ηλεκτρική ενέργεια, ειδικά για τους σκοπούς του ελέγχου της διαδικασίας και των συστημάτων τηλεμετρίας. Επίσης, προορίζονται για να ενοποιήσουν τις μεθόδους δοκιμής που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των επιδόσεων των οργάνων, και τέλος για να καθορίσουν τα όρια ακρίβειας και τιμές εξόδου για τους μορφοτροπέις και τους μετασχηματιστές.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται αναλυτική παρουσίαση των προτύπων της σειράς IEC 61400-25, η οποία έχει σχεδιαστεί για περιβάλλον επικοινωνίας που υποστηρίζεται από μοντέλο πελάτη-διακομιστή (client-server). Καθορίζονται τρεις περιοχές, οι οποίες διαμορφώνονται ξεχωριστά για να διασφαλιστεί η δυνατότητα κλιμάκωσης των υλοποιήσεων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε ολοκληρωμένη μεθοδολογία για μοντέλα πληροφοριών σταθμών αιολικής ενέργειας (Information models), για μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών (Information exchange models), και για χαρτογράφηση αυτών των δύο μοντέλων σε ένα τυπικό προφίλ επικοινωνίας (Mapping to communication profile).

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται συνοπτικά δοκιμές των ανεμογεννητριών μικρής ισχύος πέραν της μέτρησης της καμπύλης ισχύος που είδαμε στο κεφάλαιο 3. Οι δοκιμές αυτές αφορούν στην απόδοσή τους, στις αντοχές τους, στις προδιαγραφές ασφαλείας τους και σε άλλα χαρακτηριστικά με βάση τα πρότυπα της σειράς IEC 61400.

Το **Κεφάλαιο 7** ασχολείται, αποκλειστικά, με την παρουσίαση και ανάλυση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τη συνολική έρευνα που έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης, βάσει των συμπερασμάτων αυτών, προτείνονται κατευθύνσεις περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης της έρευνας.

Τέλος, ακολουθούν τα **Παραρτήματα** στα οποία περιέχουν βοηθητικό υλικό και συμβάλουν στην κατανόηση των εννοιών που περιλαμβάνονται στη παρούσα εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

**Έρευνα χρηστών Wind Empowerment measurement WG**

Η έρευνα που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό έχει στόχο την καλύτερη κατανόηση των συμπεριφορών, των πρακτικών και των τεχνολογικών επιλογών σε διάφορες εφαρμογές της κοινότητας του WindEmpowerment, όσον αφορά τις διαδικασίες μέτρησης και τις αντίστοιχες τεχνικές σε εφαρμογές SWTs.

Η παρουσίαση της έρευνας παραθέτει αποτελέσματα ερωτηθέντων που συμμετείχαν και ολοκλήρωσαν την έρευνα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου πέντε εβδομάδων μεταξύ Οκτωβρίου και Νοεμβρίου 2016. Αυτή η έρευνα αντιπροσωπεύει ένα αποτύπωμα 35 χρηστών, κατασκευαστών και σχεδιαστών SWTs και καταγραφικών δεδομένων, που συμμετείχαν εθελοντικά. Τα αποτελέσματα αποσκοπούν στην παροχή δεδομένων τόσο στο δίκτυο WindEmpowerment όσο και σε μία ευρύτερη κοινότητα, για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον χάρτη πορείας και βελτιώσεις χαρακτηριστικών των αντίστοιχων δραστηριοτήτων. Επίσης, με βάση τα αποτελέσματα αυτά δίνεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης του μετρητικού συστήματος που κατασκευάστηκε σε προηγούμενη διπλωματική εργασία στα πλαίσια της έρευνας του εργαστηρίου συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την ανάγνωση της αναφοράς και των στατιστικών, λάβετε υπόψη ότι ο τυπικός ερωτώμενος είναι ενημερωμένος χρήστης με τεχνικές γνώσεις σχετικά με τις μικρές ανεμογεννήτριες.

Μία από τις κύριες ανησυχίες μας ήταν ότι ενώ όλα τα έργα περιλαμβάνουν δραστηριότητες μέτρησης (από τη στάθμη ρεύματος / τάσης μέχρι περιβαλλοντικές παραμέτρους, δηλαδή ταχύτητα / κατεύθυνση ανέμου, υγρασία) και αξιοσημείωτη προσπάθεια έχει ήδη οδηγήσει σε αξιόπιστες μονάδες καταγραφής χαμηλού κόστους, οι οποίες διευκολύνουν και επικυρώνουν τις δραστηριότητες του οργανισμού, δεν έχει γίνει μεγάλη δουλειά όσον αφορά τις προδιαγραφές των καταγραφικών δεδομένων που συμμετέχουν στις δραστηριότητες. Θα ήταν πολύ χρήσιμο να συγκεντρωθούν πληροφορίες από όλους τους συμμετέχοντες της έρευνας σχετικά με τα δεδομένα που πρέπει να μετρηθούν και να αποθηκευτούν, τις προδιαγραφές της πλειοψηφίας των εφαρμογών, τον τύπο των περιβαλλοντικών παραμέτρων που πρέπει να μετρηθούν, δηλαδή με λίγα λόγια να προσδιοριστεί τι πραγματικά πρέπει να μετρήσουμε σε μια τυπική μικρή εφαρμογή ανεμογεννητριών.

## 2.1 Μεθοδολογία και δομή της έρευνας

Κατά τη διάρκεια του προσδιορισμού της βέλτιστης δομής της έρευνας, κατέστη σαφές ότι πολλοί προηγούμενοι σχεδιασμοί ήταν απαραίτητοι και χρειάστηκε να υποβληθούν σε επεξεργασία πολλά σχέδια προκειμένου αποφευχθούν συναφείς ερωτήσεις και εννοιολογικά ζητήματα. Αρχικά, μελετήθηκε η κατευθυντήρια γραμμή για τη δομή γενικών ερευνών, ενώ χρειάστηκε μεγάλη προσπάθεια προκειμένου να αποφευχθούν προκατειλημμένες ερωτήσεις, κάτι σχεδόν αναπόφευκτο στα πρώτα στάδια των σχεδίων της έρευνας. Χρειάστηκαν πολλές αναθεωρήσεις για την ελαχιστοποίηση του υποκειμενικού παράγοντα που υπάρχει στη δομή, τη γλώσσα, ακόμα και τη γραμματική των ερωτήσεων. Ένα άλλο κοινό ζήτημα που

αντιμετωπίστηκε σε διάφορα στάδια ανάπτυξης ήταν η επικάλυψη εννοιών αρκετών ερωτήσεων, από διαφορετικά τμήματα της έρευνας, που οδήγησαν σε αποτελέσματα δύσκολα να αξιολογηθούν, πόσο μάλλον να ταξινομηθούν μονοσήμαντα. Μετά το πρώτο πλήρες προσχέδιο, έγιναν αρκετές αναδιαρθρώσεις προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή λογική και συνεκτική ροή μεταξύ των ερωτήσεων. Επιπλέον, η έρευνα έπρεπε να είναι συνοπτική και στοχευμένη, ενώ προσπαθούσε να είναι εύκολη η παρακολούθηση και η συμμετοχή του συμμετέχοντος μέχρι το τέλος. Τέλος, σχεδιάστηκαν οι σχέσεις μεταξύ μερικών σημαντικών ερωτήσεων και των υπόλοιπων ερωτήσεων του τμήματος, προκειμένου να αποφευχθεί η παρουσίαση ερωτήσεων που δεν έχουν σχέση με τον συμμετέχοντα (π.χ. ένας υπεύθυνος σχεδιασμού δεδομένων δεν θα πρέπει να απαντά σε μια ερώτηση σχετικά με τις SWTs αλλά πρέπει να απαντήσει σε μια ερώτηση σχετικά με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ρεύματος AC για μια εγκατάσταση SWT).

Το κύριο ζήτημα του σχεδιασμού της έρευνας ήταν η δομή του βασικού άξονα της έρευνας και ποιες ερωτήσεις πρέπει να τεθούν. Η έρευνα έχει δομηθεί σε 4 βασικά τμήματα:

1. Το προφίλ των συμμετεχόντων, το οποίο περιλαμβάνει γενικές πληροφορίες σχετικά με τους συμμετέχοντες και την συμμετοχή τους σε εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών.
2. Οι τρέχουσες πρακτικές, που αποσκοπούν στη διερεύνηση των σημερινών πρακτικών που ακολουθούν οι συμμετέχοντες, σχετικά με την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών καθώς και τις προδιαγραφές των καταγραφικών δεδομένων. Τα ερωτήματα χωρίζονται σε δύο κύριες υποκατηγορίες, μία σχετικά με τις SWTs και την άλλη όσον αφορά τους καταγραφείς δεδομένων που υπάρχουν στις εγκαταστάσεις SWT.
3. Πρακτικότητα των μετρήσεων, η οποία αποσκοπεί στη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται τη χρησιμότητα των μετρήσεων.
4. Σφάλματα και συντήρηση, η οποία αποσκοπεί στη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα πιο κοινά σφάλματα του καταγραφέα δεδομένων και τις αντίστοιχες υπηρεσίες συντήρησης, καθώς και τις πιθανές σχέσεις μεταξύ των μετρημένων ποσοτήτων και των πληροφοριών αναγνώρισης σφαλμάτων που μπορούν να παράσχουν.

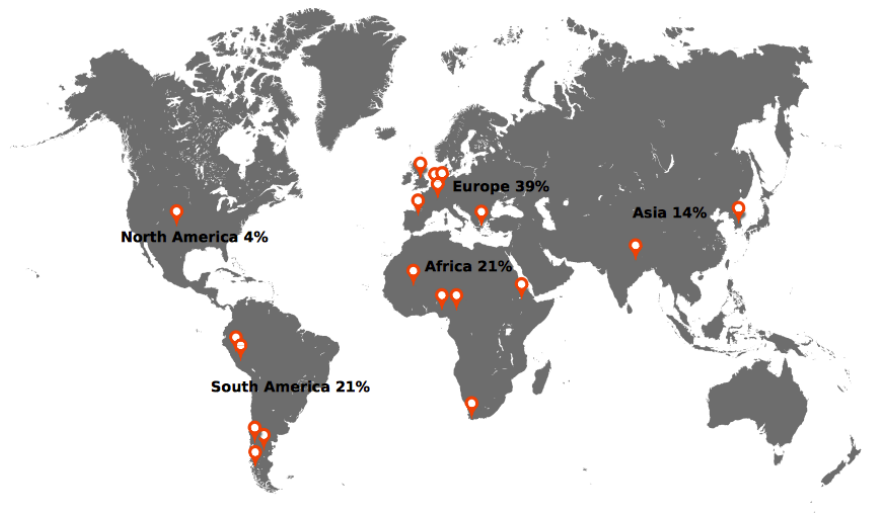
## 2.2 Προφίλ συμμετεχόντων

### 2.2.1 Μέρη του κόσμου που δραστηριοποιούνται οι χρήστες του WE

Η κοινότητα του WindEmpowerment (WE) διαθέτει μια ακμάζουσα παγκόσμια κοινότητα χρηστών. Μεταξύ των περιφερειών που δραστηριοποιούνται οι χρήστες στις δραστηριότητες που σχετίζονται με τις SWTs, εκπροσωπούνται τα ακόλουθα:

- Αφρική 21.43%
- Ασία 14.28%
- Ευρώπη 39.29%
- Βόρεια Αμερική 3.58%
- Νότια Αμερική 21.42%

Περνώντας περαιτέρω, εξετάσαμε τις χώρες στις οποίες δραστηριοποιούνται οι χρήστες WE. Οι κορυφαίες χώρες σύμφωνα με τους ερωτηθέντες περιλαμβάνουν το Ηνωμένο Βασίλειο, την Αργεντινή, το Καμερούν, το Περού, το Νεπάλ και την Ελλάδα.

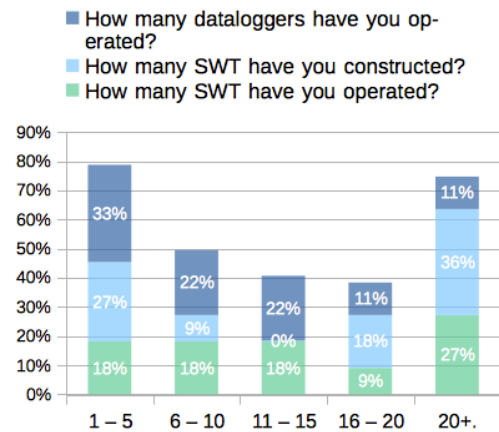


### 2.2.2 Προφίλ των συμμετεχόντων σχετικά με τις δραστηριότητες SWTs

Οι απαντήσεις έδειξαν τα ποικίλα ενδιαφέροντα και ικανότητες της βάσης χρηστών που εμπλέκονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές εφαρμογές σχετικά με τις SWTs, τη διοργάνωση σεμιναρίων, την κατασκευή, το σχεδιασμό, τη συντήρηση και τις εγκαταστάσεις.

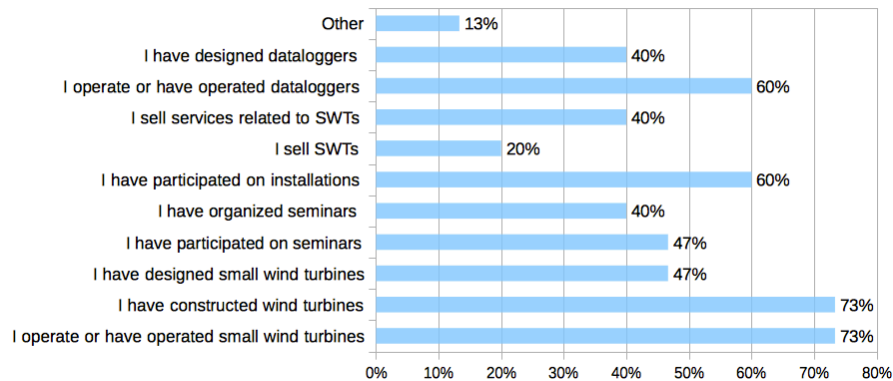
Οι ερωτηθέντες της έρευνας έδειξαν υψηλό τεχνικό επίπεδο, καθώς 47% από αυτούς έχουν σχεδιάσει SWTs, 40% έχουν σχεδιάσει καταγραφείς δεδομένων, το 40% παρέχει υπηρεσίες συντήρησης και συμβουλευτικές υπηρεσίες, ενώ ένα άλλο 40% διδάσκουν σε σεμινάρια.

Παραθέτουμε επίσης τον αριθμό των εγκατεστημένων SWT συγκριτικά με τον αριθμό των εγκατεστημένων συσκευών καταγραφής. Από την κατανομή του ακόλουθου διαγράμματος, φαίνεται ότι οι πιο έμπειροι χρήστες χρησιμοποιούν σπανιότερα συσκευές καταγραφής δεδομένων στις εγκαταστάσεις τους.



Αναλύοντας το τμήμα των συμμετεχόντων που στο γράφημα παρουσιάζεται ως "other", το οποίο αντιπροσωπεύει το 13% των απαντήσεων, αναφέρουμε πως οι δραστηριότητες με τις οποίες καταπιάνονται οι ερωτηθέντες είναι η εγκατάσταση, η επισκευή / συντήρηση, σχεδιασμός συστήματος και οι συμβουλευτικές υπηρεσίες. Οι συμμετέχοντες που έχουν σχεδιάσει SWTs έχουν επίσης εμπλακεί στο σχεδιασμό σχεδόν όλων των επιμέρους τμημάτων των SWTs.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι όλες οι SWTs που λειτουργούν έχουν κατασκευαστεί από τους ίδιους τους χρήστες.



## 2.2 Τρέχουσες πρακτικές

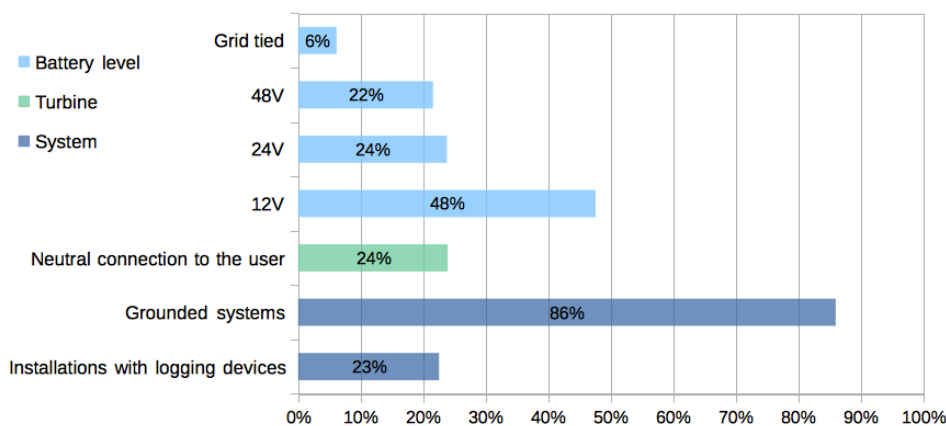
## 2.2.1 Πρακτικές εγκατάστασης από τους χρήστες

Ζητούμε από τους χρήστες - εκείνους που έχουν εκμεταλλευτεί SWTs - να μοιραστούν την εμπειρία τους σχετικά με τις πρακτικές εγκατάστασης που ακολουθούν. Οι επιλεγμένες ερωτήσεις προσπαθούν να διερευνήσουν τις τεχνικές συνήθειες που σχετίζονται στενά με τα συστήματα σύνδεσης των SWTs.

Όλα τα παρακάτω αποτελέσματα έχουν συσχετιστεί με τον αριθμό των εγκαταστάσεων τις οποίες χρησιμοποιούν οι ερωτώμενοι, πράγμα που σημαίνει ότι οι απαντήσεις των χρηστών σταθμίζονται ανάλογα με τον αριθμό αυτό. Με αυτόν το τρόπο τα ποσοστά που παρουσιάζονται στη συνέχεια είναι σταθμισμένα.

### ❖ Ποιο ποσοστό των εγκατεστημένων συστημάτων σας είναι γειωμένο και παρέχει την ουδέτερη σύνδεση των γεννητριών στη διάθεση του χρήστη;

Ξεκινώντας από το σχεδιασμό της γεννήτριας, ζητάμε τον αριθμό των συστημάτων που παρέχουν την ουδέτερη σύνδεση της γεννήτριας στον χρήστη. Αυτό σχετίζεται με τον τρόπο που υπολογίζεται τριφασική ηλεκτρική ισχύς. 23.91% από τις εγκατεστημένες SWTs επιστρέφει τέσσερα καλώδια στον τελικό χρήστη. Δείχνουμε, επίσης, ότι η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων, 86%, γειώνουν τα συστήματά τους.



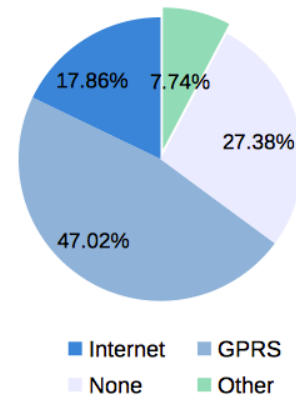
### ❖ Ποια είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη τάση μπαταρίας, εάν υπάρχει, στις εγκαταστάσεις σας [%];



Ένα άλλο ζήτημα είναι το επίπεδο τάσης της τράπεζας μπαταριών των εγκατεστημένων συστημάτων. Από την έρευνά μας συνάγεται ότι χρησιμοποιούνται όλα τα τυπικά επίπεδα τάσης, πράγμα που είναι λογικό. Το επίπεδο τάσης της τράπεζας μπαταριών είναι κατά κύριο λόγο ανάλογο με το μέγεθος του συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν συστήματα διαφορετικού μεγέθους, τότε η κατανομή της στάθμης τάσης μας δίνει μια εικόνα για το μέγεθος του εγκατεστημένου συστήματος. Ένα αξιοσημείωτο στατιστικό στοιχείο που προκύπτει είναι ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό της τάξεως του 0.9% των εγκατεστημένων συστημάτων είναι εκτός των τυπικών επιπέδων μπαταρίας.

❖ **Ποια υποδομή επικοινωνίας υπάρχει συχνότερα στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις σας και ποιο ποσοστό των εγκαταστάσεών σας είναι εξοπλισμένο με καταγραφικές συσκευές;**

Εξετάζοντας τις υποδομές επικοινωνιών που είναι διαθέσιμες στους εγκατεστημένους χώρους, είδαμε ότι περίπου το ένα τέταρτο των θέσεων στερείται οποιασδήποτε μορφής της προαναφερόμενης υποδομής. Η πιο κοινή υπηρεσία, 47.02%, είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 2G και 3G, ενώ μόνο το μικρό ποσοστό 17.86% έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο.

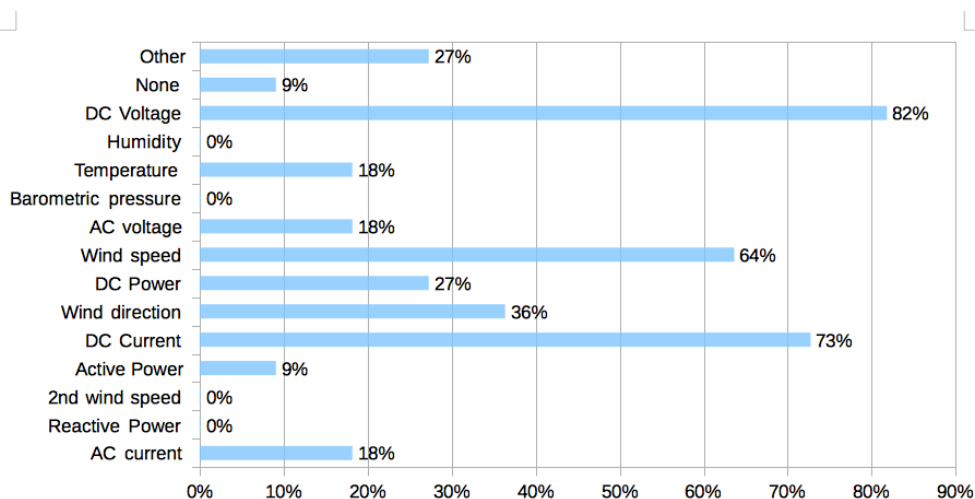


Το 22.54% των εγκαταστάσεων, από εκείνες που εκμεταλλεύονται SWTs, είναι εξοπλισμένες με καταγραφείς δεδομένων.

❖ **Ποιες είναι οι πιο συνηθισμένες ποσότητες που μετράτε σήμερα?**

Τέλος, έχουμε συγκεντρώσει πληροφορίες σχετικά με τις ποσότητες που οι χρήστες μετρούν και καταγράφουν. Ένα σύνολο ποσοτήτων που μπορούν να θεωρηθούν βασικές για το σύστημα σύμφωνα με τα αποτελέσματα είναι: DC τάση / ρεύμα και η ταχύτητα ανέμου.

Επιπλέον, η διεύθυνση του ανέμου, η ισχύς συνεχούς ρεύματος, οι ΣΑΛ / η συχνότητα είναι το δεύτερο πιο συχνά μετρημένο σύνολο παραμέτρων του συστήματος, με τις ιδιότητες AC και μερικές μετεωρολογικές παραμέτρους να ακολουθηθούν. Εξετάζοντας το τμήμα "other", διαπιστώνουμε ότι ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό ερωτηθέντων κάνει χρήση αυτής της επιλογής. Κατάδυση περισσότερο στις λεπτομέρειες των απαντήσεων, το 27% των απαντήσεων είναι ΣΑΛ και η συχνότητα του συστήματος παρακολούθησης.



### 2.2.2 Τρέχουσες πρακτικές όσον αφορά τις προδιαγραφές του καταγραφέα δεδομένων.

Αυτή η σειρά ερωτήσεων αποσκοπούσε στη διερεύνηση των πρακτικών που ακολουθούν οι συμμετέχοντες σχετικά με τους καταγραφείς δεδομένων που υπάρχουν στις εγκαταστάσεις SWTs. Οι ερωτήσεις αφορούν σε όσους λειτουργούν ή έχουν λειτουργήσει συσκευές καταγραφής δεδομένων, ενώ όλα τα ακόλουθα αποτελέσματα έχουν σταθμιστεί σε σχέση με τον αριθμό των καταγραφών δεδομένων που χρησιμοποιούν οι ερωτώμενοι.

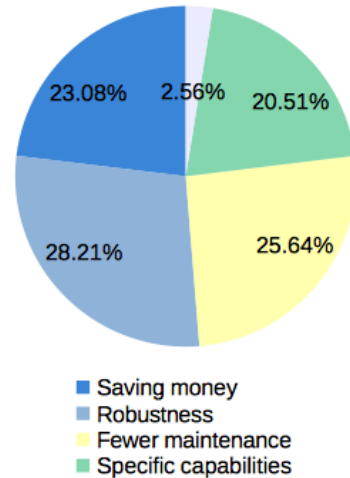
**Τι χρησιμοποιούν οι χρήστες καταγραφής δεδομένων, μια συγκριτική ανάλυση.**

Όταν πρόκειται για το μέσο κόστος των καταγραφικών δεδομένων που συνήθως εγκαθιστά ο χρήστης, οι περισσότεροι από αυτούς φαίνεται να επιλέγουν μεσαίου έως χαμηλού κόστους καταγραφείς δεδομένων, το 66% είναι στην περιοχή \$ 201-400. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένα 19% που επιλέγει εξοπλισμό υψηλού κόστους.

	\$ 0-200	\$201-400	\$401-600	\$601-1000	\$1001+
<b>Percentage (%)</b>	3.19	65.96	8.51	3.19	19.15

Εξετάσαμε επίσης ποια είναι τα κίνητρα των χρηστών όταν λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την αγορά προϊόντων καταγραφής δεδομένων. Υπάρχει ισότιμη κατανομή μεταξύ των ερωτήσεων, με κύριο ενδιαφέρον την ευρωστία και τη συντήρηση (που συνδέονται στενά). Το κόστος έρχεται έπειτα, με τις δυνατότητες να ακολουθούν μετά. Ενώ οι ερωτηθέντες στην έρευνα αναφέρουν ότι η κύρια ανησυχία τους είναι η ανθεκτικότητα του καταγραφέα, προϊόντα καταγραφής κόστους χαμηλής έως μεσαίας κλίμακας χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις τους. Αυτό δεν είναι απαραίτητως αντιφατικό όσον αφορά τα ακόλουθα:

- το κόστος υπολογίζεται σχεδόν εξίσου στις απαντήσεις,
- μερικά καταγραφικά χαμηλής εμβέλειας είναι επίσης εύρωστα,
- η πλειονότητα των εγκαταστάσεων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι πιθανώς μικρές και δεν δικαιολογούν υψηλότερο κόστος για συσκευές καταγραφής.



❖ **Ποιο ποσοστό των καταγραφικών δεδομένων σας είναι εγκατεστημένο σε εξωτερικούς χώρους;**

Όσον αφορά την τοποθέτηση των καταγραφικών δεδομένων, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 50.16% είναι εγκατεστημένο σε εξωτερικούς χώρους. Αναζητώντας περισσότερες λεπτομέρειες, υπάρχει μεγάλη τυπική απόκλιση στη διανομή των απαντήσεων (32.33) με το 1ο και το 3ο τεταρτημόριο 27.5 και 87.5 αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν ομάδες ερωτηθέντων που ακολουθούν διαφορετικές πρακτικές. Πράγματι, οι δημογραφικές διαφορές βρίσκονται πίσω από τις στατιστικές διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων. Οι ερωτηθέντες της Νότιας Αμερικής και της Βόρειας Ευρώπης πραγματοποιούν εσωτερικές εγκαταστάσεις, ενώ οι συμμετέχοντες στη Νότια Αμερική και την Αφρική εκτελούν υπαίθριες εγκαταστάσεις.

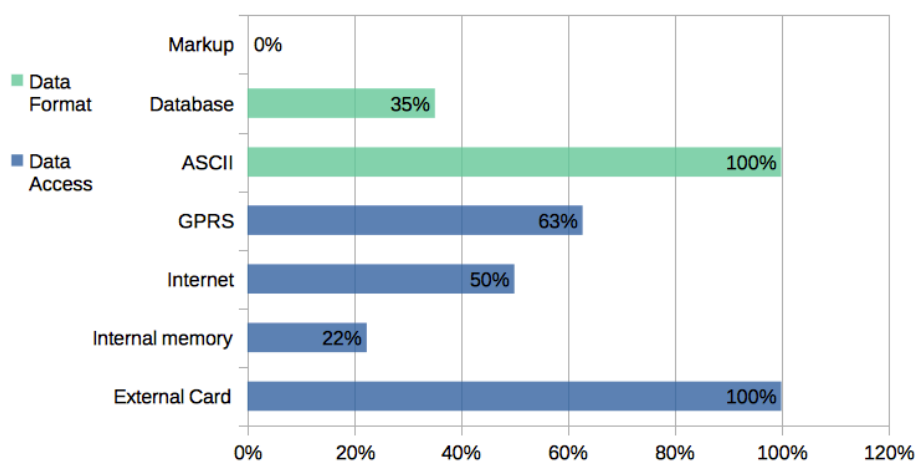
❖ **Τι είδους πηγή τροφοδοσίας χρησιμοποιείτε για τη συσκευή καταγραφής δεδομένων;**

Οι μπαταρίες είναι η κύρια πηγή ενέργειας, ενώ χρησιμοποιείται είτε η τράπεζα συσσωρευτών του συστήματος είτε μπαταρίες. Ορισμένοι συμμετέχοντες αναφέρουν ότι χρησιμοποιούν επίσης μπαταρίες σε συνεργασία με Φ/Β.

	AC source	Battery bank of the system	Batteries	Other
Percentage (%)	7.69	39.9	43.75	8.65

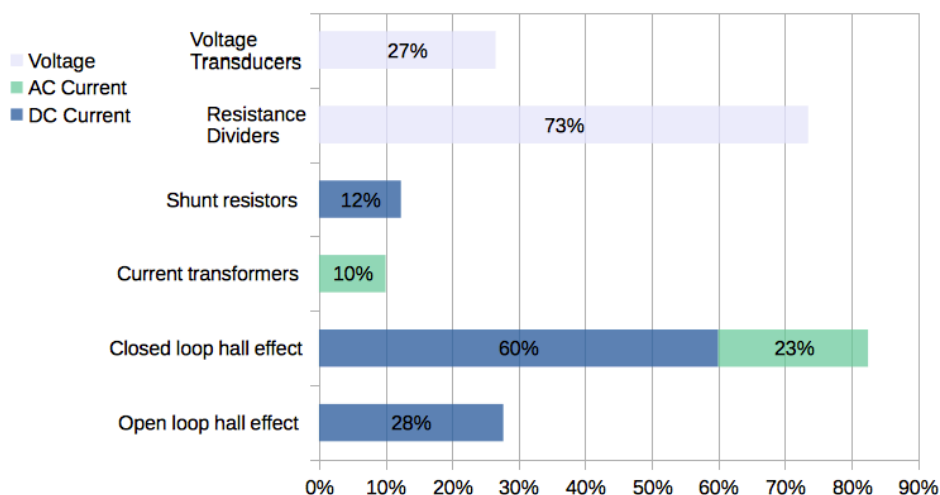
❖ **Πώς έχετε πρόσβαση στα δεδομένα που καταγράψατε και ποια είναι η μορφή των τοπικά καταγεγραμμένων δεδομένων σας;**

Άλλες σημαντικές πτυχές όσον αφορά τους καταγραφείς δεδομένων είναι η μορφή των αποθηκευμένων πληροφοριών, το μέσο αποθήκευσης καθώς και ο τρόπος με τον οποίο οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα. Σύμφωνα με τους ερωτηθέντες, όλες οι επιλεγμένες εγκατεστημένες συσκευές διαθέτουν τοπικές δυνατότητες αποθήκευσης (κάρτα SD, USB) που αποθηκεύουν τα δεδομένα σε μορφή ASCII. Το 62.77% των συσκευών έχει απομακρυσμένο GPRS ενώ το 50% μπορεί να προσεγγιστεί μέσω του διαδικτύου. Συγκρίναμε τα αποτελέσματα με αυτά της προηγούμενης ενότητας σχετικά με την επικοινωνιακή υποδομή που είναι διαθέσιμη στις εγκαταστάσεις των χρηστών. Ενώ οι συνδέσεις στο διαδίκτυο είναι πολύ λιγότερο πιθανό να είναι παρούσες σε έναν τόπο εγκατάστασης σε σύγκριση με το GPRS, οι χρήστες ωστόσο φαίνεται να προτιμούν την υποδομή του διαδικτύου όταν υπάρχει διαθέσιμη.



## ❖ Τι είδους αισθητήρες ρεύματος και τάσης χρησιμοποιείτε συνήθως;

Όσον αφορά την ανίχνευση τάσης, το 73% των χρηστών προτιμούν τη λύση χαμηλού κόστους της διαίρεσης τάσης. Κατά την μέτρηση του ρεύματος, οι κλειστού βρόγχου hall effect αισθητήρες χρησιμοποιούνται συχνότερα τόσο για την πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος όσο και για την πλευρά συνεχούς ρεύματος. Οι χρήστες προτιμούν την ακριβότερη λύση των αισθητήρων κλειστού βρόχου παρά την λύση ανοιχτού βρόχου για το DC ή τους μετασχηματιστές ρεύματος για την πλευρά AC. Μια εξήγηση για το ρεύμα συνεχούς ρεύματος θα μπορούσε να είναι η πιο άνετη συσκευασία που έχουν συνήθως οι κλειστού βρόγχου hall effect αισθητήρες.



## 2.3 Πρακτικότητα των μετρήσεων

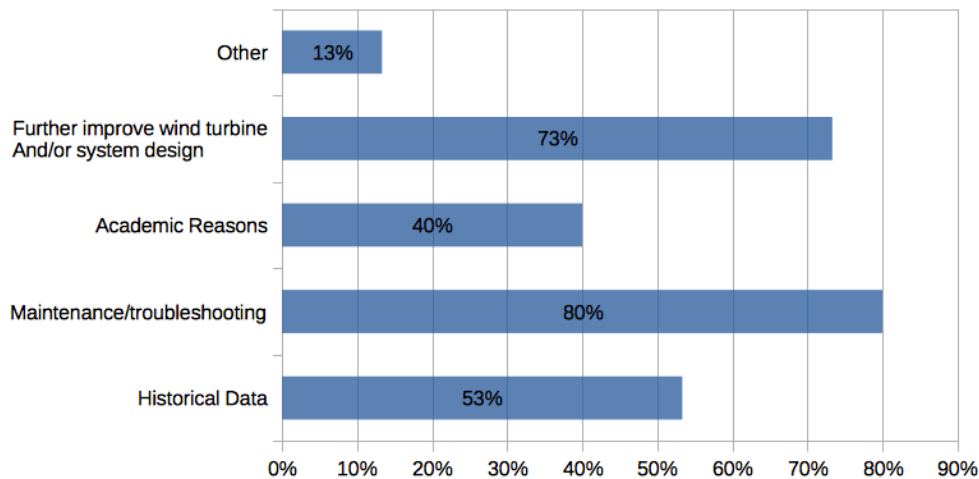
Αυτό το μέρος της έρευνας έχει μεγάλη σημασία, καθώς αποκτά πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται τη χρησιμότητα των μετρήσεων. Όλοι οι συμμετέχοντες πρέπει να απαντήσουν σε αυτό το σύνολο ερωτήσεων ανεξάρτητα από την ομάδα που ανήκουν (δηλ. Χρήστες, κατασκευαστές, σχεδιαστές). Παρακολουθήσαμε τις απόψεις των χρηστών όσον αφορά "ποια θα ήταν η ανάγκη τους για την εγκατάσταση ενός καταγραφέα δεδομένων;". Εκτός από το να τους δώσουμε μόνο προκαθορισμένες απαντήσεις, αφήνουμε ελεύθερους τους ερωτηθέντες να προσθέσουν ή να σχολιάσουν τις απαντήσεις.

"Οι πιθανές θέσεις βρίσκονται σε απομακρυσμένη τοποθεσία με δύσκολη πρόσβαση. Η τεχνική εξειδίκευση απουσιάζει από το χώρο, επομένως το σύστημα πρέπει να παρακολουθείται απομακρυσμένα για να μειώσει το κόστος εφοδιαστικής το οποίο είναι σημαντικό, κυρίως στην περίπτωση μας", γράφει ένας χρήστης.

Με όμοιο τρόπο: "Αν έχετε ταχύτητα ανέμου και παραγωγή, μπορείτε να δείτε αν ο στρόβιλος σας λειτουργεί καλά, αλλά ακόμα καλύτερα μπορείτε να δείτε το σύστημα αναδίπλωσης της ανεμογεννήτριας λειτουργεί εξίσου σωστά".

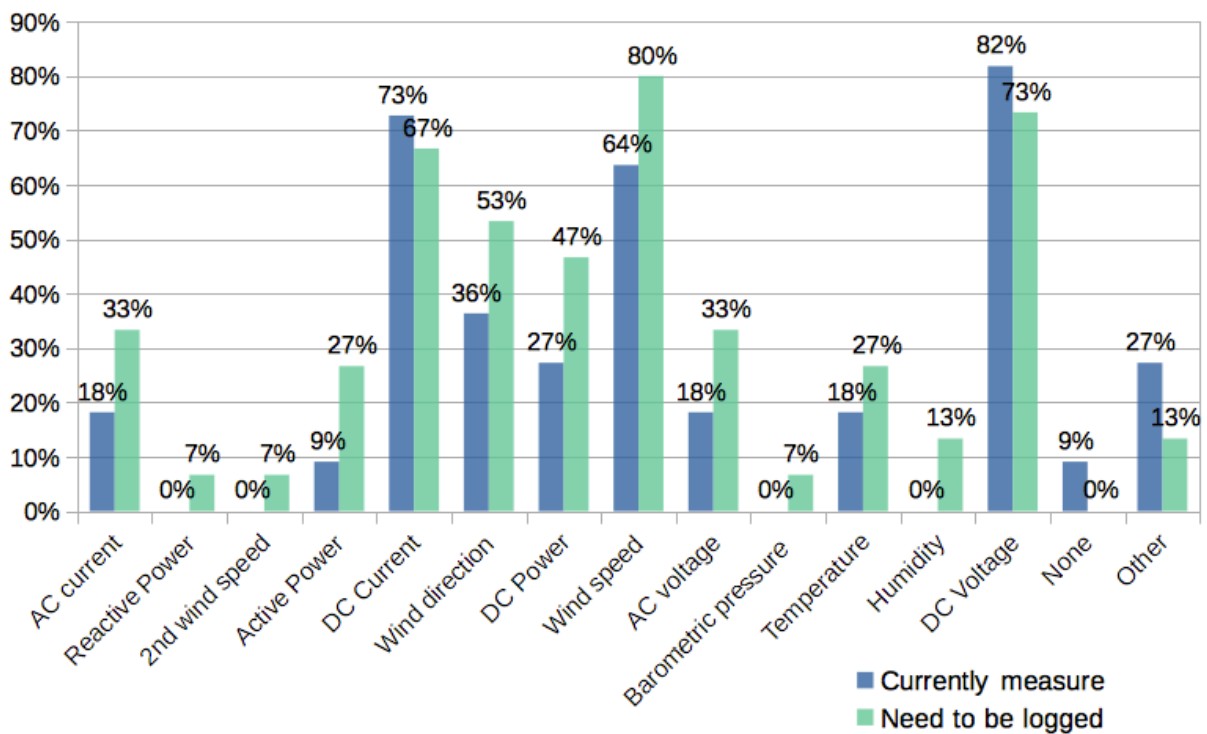
Ακολουθώντας τις απαντήσεις των ερωτηθέντων, η συντήρηση και η βελτίωση του σχεδιασμού του συστήματος είναι τα κύρια κίνητρα πίσω από τη συλλογή των παραμέτρων του συστήματος. Σχεδόν οι μισοί από αυτούς θεωρούν τα ιστορικά δεδομένα και την ακαδημαϊκή έρευνα ως σημαντικούς παράγοντες.

"Είναι πάντα καλό να έχουμε παραγωγή. Και γιατί όχι ταυτόχρονα την ταχύτητα και την κατεύθυνση ανέμου. "



❖ **Σύμφωνα με την δική σας οπτική, για τα συστήματα SWT, ποιες μετρήσεις πρέπει να καταγραφούν;**

Ζητήσαμε από τους χρήστες να προτείνουν τις πιο πολύτιμες παραμέτρους του συστήματος που πρέπει να καταγραφούν. Συγκρίνουμε επίσης τις απαντήσεις με αυτές του παραρτήματος για το προφίλ των συμμετεχόντων. Περισσότερο ή λιγότερο οι παράμετροι που προτείνουν οι χρήστες είναι οι ίδιες με αυτές που μετρούν. Μπορούμε να παρατηρήσουμε κάποιες μικρές διαφορές όσον αφορά την πλευρά AC του συστήματος.



## 2.4 Σφάλματα και Συντήρηση

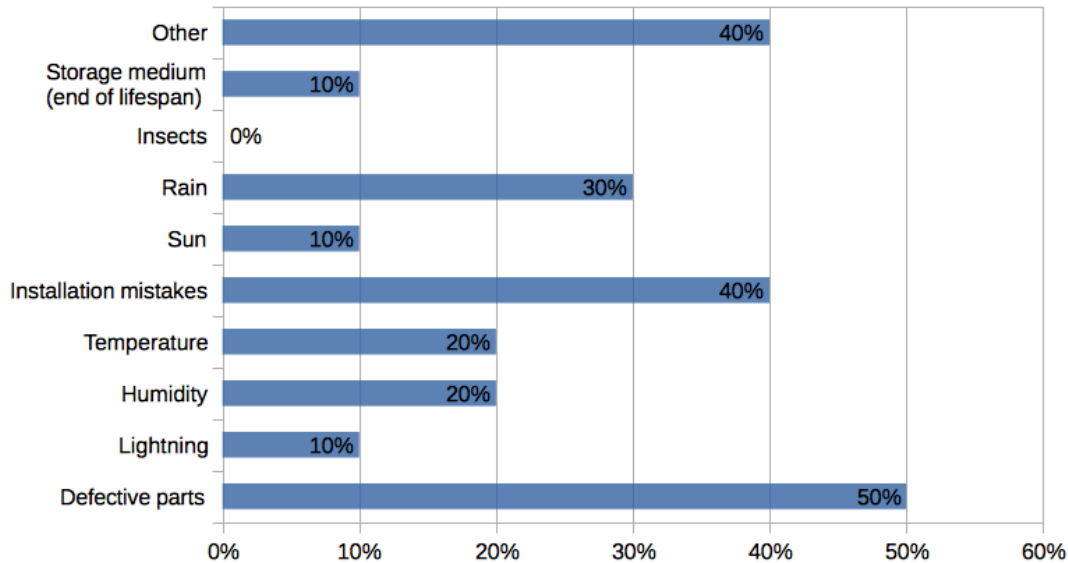
Αυτό το τμήμα της έρευνας έχει ως στόχο να συγκεντρώσει πληροφορίες σχετικά με τις πιο κοινές αποτυχίες του καταγραφέα δεδομένων και τις αντίστοιχες υπηρεσίες συντήρησης, καθώς και τις πιθανές σχέσεις μεταξύ των μετρημένων ποσοτήτων και των πληροφοριών αναγνώρισης σφαλμάτων που μπορεί να παρέχουν.

Ο στόχος αυτού του τμήματος είναι να συγκεντρώσει την εμπειρία των ανθρώπων που ασχολούνται με τοπικά κατασκευασμένες μικρές ανεμογεννήτριες.

### ❖ Από την εμπειρία σας, ποιες είναι οι συνηθέστερες αιτίες των αποτυχιών του καταγραφέα δεδομένων;

Ζητάμε από αυτούς που λειτουργούν ή έχουν λειτουργήσει συσκευές καταγραφής δεδομένων, όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού τους καθώς και τις πιο συνηθισμένες αποτυχίες. Οι απαντήσεις ποικίλλουν από 1 έως 10 χρόνια με 2,89 έτη ως μέση διάρκεια ζωής.

Το παρακάτω γράφημα δίνει μια εικόνα για τις πιο συνήθεις αποτυχίες. Τα ελαττωματικά μέρη και τα λάθη του χρήστη βρίσκονται στην κορυφή της λίστας, ενώ ακολουθούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι χρήστες έχουν επίσης εντοπίσει τη διάβρωση ως την κύρια υπεύθυνη αιτία βλάβης.



❖ **Εκτελείτε υπηρεσίες συντήρησης στις συσκευές καταγραφής δεδομένων μόνοι σας;**

Μεταξύ των χρηστών, το 67% δηλώνει ότι μερικές φορές εκτελούν μόνοι τους συντήρηση, ενώ άλλο 22% λένε ότι εκτελούν πάντα συντήρηση.

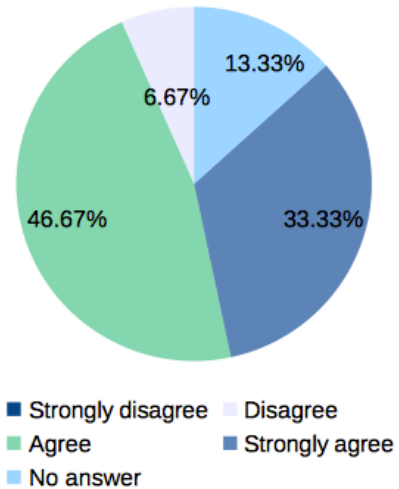
Εξετάζοντας τα κοινά εμπόδια που εμποδίζουν τους χρήστες να εκτελούν υπηρεσίες συντήρησης, διαπιστώσαμε ότι οι ακόλουθες απαντήσεις πρέπει να κατανέμονται εξίσου μεταξύ των χρηστών:

- Έλλειψη σχετικών γνώσεων (29%)
- Δυσκολίες στην πρόσβαση στον ιστότοπο και (28.57%)
- Ατομικές ώρες που πρέπει να δαπανήσουν (28.57%)

❖ **Από την εμπειρία σας, οι μετρήσεις του καταγραφέα δεδομένων είναι χρήσιμες για την αναγνώριση βλαβών WT;**

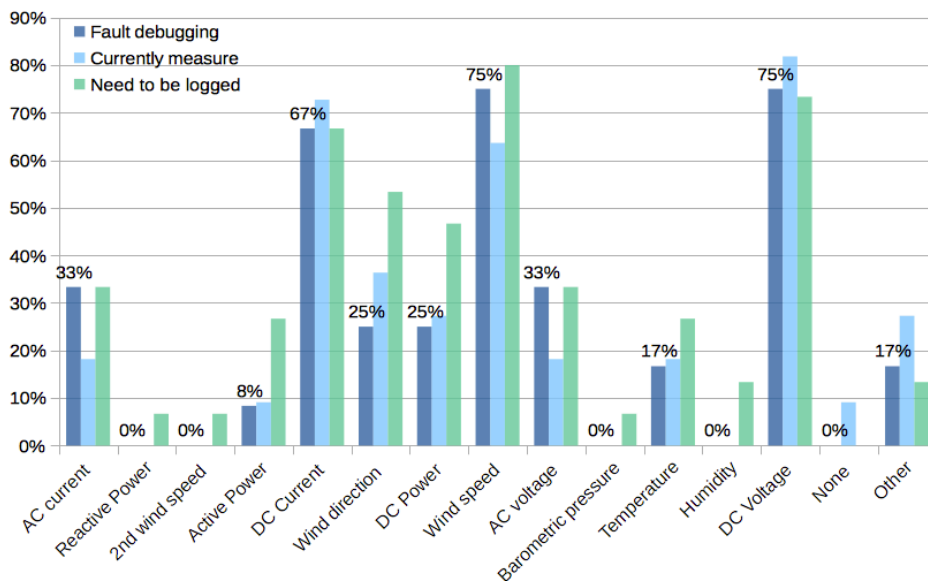


Σύμφωνα με τους ερωτηθέντες, το 80% δήλωσε ότι από την εμπειρία τους, οι μετρήσεις του καταγραφέα δεδομένων είναι χρήσιμες για την αναγνώριση βλαβών. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με την ενότητα "πρακτικότητα των μετρήσεων", όπου το ίδιο ποσοστό των χρηστών δηλώνει ότι ο κύριος λόγος για την εγκατάσταση ενός καταγραφικού είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων / η συντήρηση του συστήματος.



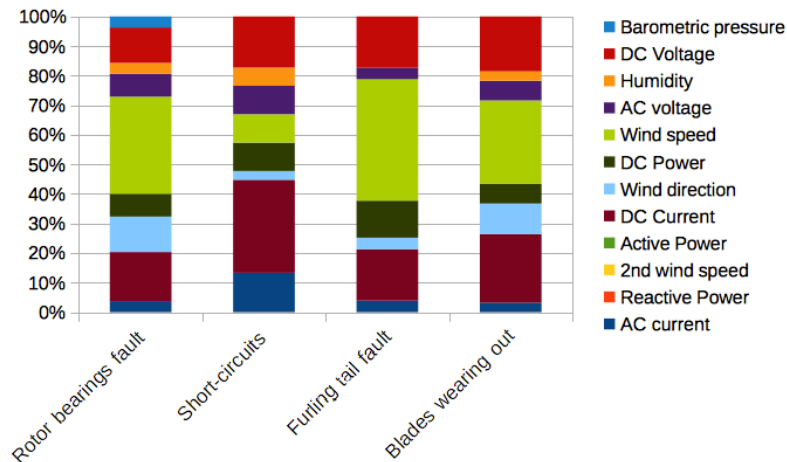
❖ **Ζητάμε επίσης από αυτούς που απάντησαν θετικά, ποιες μετρήσεις είναι πιο χρήσιμες για εντοπισμό και διόρθωση του σφάλματος;**

Αυτό που είναι ενδιαφέρον σε αυτές τις απαντήσεις μπορεί να βρεθεί στο παρακάτω γράφημα, όπου το συγκρίνουμε με τις "παραμέτρους που πρέπει να μετρηθούν". Βλέπουμε ότι οι παράμετροι που σχετίζονται με την αναγνώριση σφαλμάτων είναι σχεδόν πανομοιότυπες με τις παραμέτρους που προτείνουν οι χρήστες ως σημαντικές.



❖ Από την εμπειρία σας, ποιες είναι οι σχέσεις μεταξύ των μετρούμενων στοιχείων και του τύπου σφάλματος;

Κάναμε ακόμα περισσότερους χρήστες να μοιραστούν τις γνώσεις τους σχετικά με τις πρακτικές αναγνώρισης σφαλμάτων. Πιο συγκεκριμένα, το ερώτημα αφορά τη σχέση μεταξύ συγκεκριμένων παραμέτρων του συστήματος και τις πιο συνηθισμένες αποτυχίες του SWT. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ακόλουθο γράφημα καθώς και στον παρακάτω πίνακα. Σύμφωνα με τους ερωτηθέντες, ένα ελάττωμα που φέρει ρότορα καθώς και τα πτερύγια που φορούν μπορεί να συσχετιστεί με την ταχύτητα του ανέμου και το ρεύμα συνεχούς ρεύματος. Με τον ίδιο τρόπο, το ρεύμα DC και εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση βραχυκυκλώματος στη γεννήτρια, ενώ ένα ελαττωματικό φούσκωμα συσχετίζεται με πληροφορίες από τον άνεμο και την πλευρά DC του συστήματος.



	AC current	Reactive Power	2nd wind speed	Active Power	DC Current	Wind direction	DC Power	Wind speed	AC voltage	Humidity	DC Voltage	Barometric pressure
<b>Rotor bearings fault</b>	3.45%	0.00%	0.00%	0.00%	<b>15.38%</b>	11.11%	7.14%	<b>30.43%</b>	7.14%	3.45%	11.11%	3.45%
<b>Short-circuits</b>	15.38%	0.00%	0.00%	0.00%	<b>36.36%</b>	3.45%	11.11%	11.11%	11.11%	7.14%	<b>20.00%</b>	0.00%
<b>Furling tail fault</b>	3.45%	0.00%	0.00%	0.00%	15.38%	3.45%	11.11%	<b>36.36%</b>	3.45%	0.00%	<b>15.38%</b>	0.00%
<b>Blades wearing out</b>	3.45%	0.00%	0.00%	0.00%	<b>25.00%</b>	11.11%	7.14%	<b>30.43%</b>	7.14%	3.45%	20.00%	0.00%

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

**Διεθνές πρότυπο IEC 61400-12-1 (2005)**

**Power performance measurements of electricity producing wind turbines**

Από το 1998 έχει καθιερωθεί το διεθνές πρότυπο IEC standard 61400-12 για τη μέτρηση της καμπύλης ισχύος μίας ανεμογεννήτριας, το οποίο ανανεώνεται κι αναβαθμίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να καλύπτονται οι ορθές προδιαγραφές για έναν πιο ολοκληρωμένο υπολογισμό της καμπύλης ισχύος που χαρακτηρίζει μία Α/Γ και την περιοχή τοποθέτησης της. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία προσπάθεια να αναφερθούν τα πιο βασικά κι ουσιώδη σημεία που αφορούν στις αρχές που απαιτείται να ακολουθηθούν για πιστοποιημένες καμπύλες ισχύος.

Το πρότυπο αυτό καθορίζει μία συγκεκριμένη διαδικασία για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών απόδοσης της ισχύος μίας μεμονωμένης Α/Γ. Αφορά όλες τις Α/Γ ανεξαρτήτως ονομαστικής ισχύος, υπάρχουν ξεχωριστά κριτήρια βέβαια για κάθε τάξη Α/Γ, και για σύνδεση είτε με το ηλεκτρικό δίκτυο είτε με σύστημα συσσωρευτών. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για εκτίμηση της απόδοσης μίας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας σε συγκεκριμένη τοποθεσία είτε για την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων για τη σύγκριση μεταξύ διάφορων τύπων Α/Γ.

Η απόδοση μίας Α/Γ καθορίζεται από τη μέτρηση και τον υπολογισμό της καμπύλης ισχύος και την αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή παραγωγή (ΑΕΠ). Η καμπύλη ισχύος υπολογίζεται από τη συλλογή ταυτόχρονων μετρήσεων της ταχύτητας ανέμου και της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος για μια συγκεκριμένη τοποθεσία και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ώστε να σχηματιστεί μια καλή εικόνα, η οποία θα περιλαμβάνει μία επαρκή στατιστική βάση δεδομένων για ένα φάσμα ταχυτήτων και για διαφορετικές ανεμικές κι ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η ΑΕΠ προκύπτει από το συνδυασμό της καμπύλης ισχύος με την κατανομή συχνότητας της ταχύτητας ανέμου, θεωρώντας 100% διαθεσιμότητα της Α/Γ, άρα και της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Επιπροσθέτως, πρέπει να τονιστεί το πρότυπο αυτό περιγράφει μία μεθοδολογία μέτρησης που απαιτείται ο υπολογισμός της καμπύλης ισχύος και της προκύπτουσας ενεργειακής παραγωγής να συμπληρώνεται από την αξιολόγηση της αβεβαιότητας των μετρούμενων δεδομένων [3].

## 3.1 Προετοιμασία για την δοκιμή επιδόσεων

### 3.1.1 Τοποθεσία πεδίου δοκιμών ανεμογεννήτριας

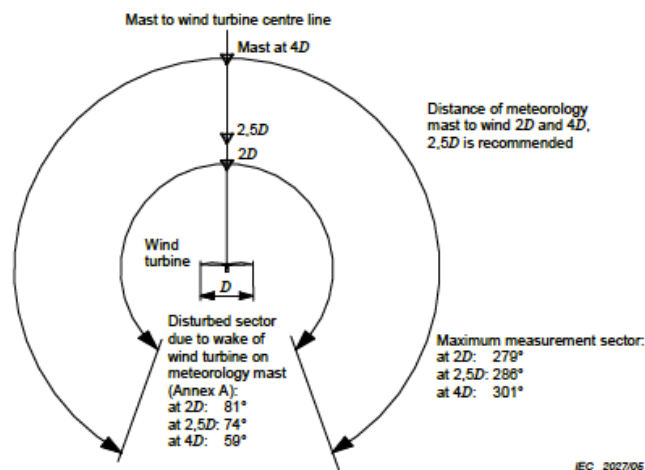
Στον χώρο δοκιμών πρέπει να τοποθετηθεί ένας μετεωρολογικός ιστός κοντά στην Α/Γ για να καθοριστεί η ταχύτητα του ανέμου που κινεί την Α/Γ. Ο τόπος αυτός παίζει σπουδαίο ρόλο κι έχει σημαντική επίδραση στη μετρούμενη απόδοση ισχύος της Α/Γ. Ειδικότερα, η διαστρέβλωση της ροής του ανέμου μπορεί να προκαλέσει διαφοροποίηση της ταχύτητας ανέμου όσον αφορά στο μετεωρολογικό ιστό και στο δρομέα της Α/Γ, για αυτό θα πρέπει να αναφερθούν οι

παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν ριπές ανέμου, όπως είναι η τοπογραφική ανομοιομορφία, οι γειτονικές Α/Γ και τα διάφορα "εμπόδια" (κτίρια, δέντρα, κτλ.)

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην τοποθέτηση του μετεωρολογικού ιστού. Δεν θα πρέπει να τοποθετηθεί πολύ κοντά στην Α/Γ, καθώς η ταχύτητα του ανέμου θα επηρεαστεί μπροστά από την Α/Γ. Επίσης, δεν πρέπει να τοποθετηθεί πολύ μακριά από την Α/Γ, αφού η συσχέτιση της ταχύτητας ανέμου και της ηλεκτρικής εξόδου (παραγωγής) θα μειωθεί κατά πολύ. Κατάλληλη απόσταση μεταξύ μετεωρολογικού ιστού κι Α/Γ είναι 2 - 4 φορές τη διάμετρο της πτερωτής και συνίσταται ως βέλτιστη επιλογή η απόσταση να είναι ίση με 2.5 φορές το μήκος διαμέτρου του δρομέα. Επίσης, πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη να αποκλειστούν οι μετρήσεις από όλους τους τομείς στους οποίους είτε ο ιστός είτε η Α/Γ θα υποβληθούν σε ριπές ανέμου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η καλύτερη τοποθέτηση του μετεωρολογικού ιστού είναι upwind (προσήμεμη διάταξη), δηλαδή μπροστά από την Α/Γ (από τη μεριά της φτερωτής), στην κατεύθυνση στην οποία αναμένεται ο επικρατέστερος άνεμος κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

### 3.1.2 Τομέας έγκυρων μετρήσεων

Θα πρέπει να αποκλειστούν κατευθύνσεις που έχουν σημαντικά εμπόδια κι άλλες Α/Γ, είτε στη μεριά του ιστού είτε της Α/Γ. Επιπλέον, απαιτείται να αποκλειστούν οι αλλοιωμένοι τομείς, λόγω του «ίχνους» ανέμου από την Α/Γ. Όλοι οι λόγοι της μείωσης του τομέα πρέπει να καταγράφονται ξεκάθαρα.



Σχήμα 3.1 - Απαιτήσεις ως προς την απόσταση του μετεωρολογικού ιστού και τους μέγιστους επιτρεπόμενους τομείς μέτρησης

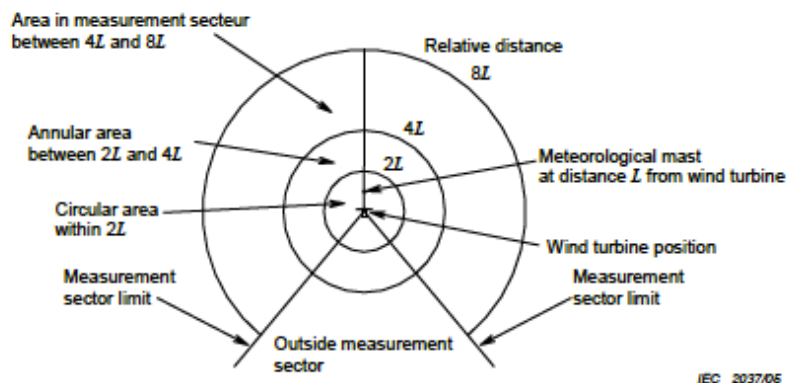
### 3.1.3 Αξιολόγηση του εδάφους στο πεδίο δοκιμών

Εκτός από τον μετεωρολογικό ιστό και τα εμπόδια, πρέπει να γίνει μια μελέτη και για τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του πεδίου δοκιμών. Αν τα στοιχεία του εδάφους είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Πίνακα 3.1, τότε δεν απαιτείται βαθμονόμηση του πεδίου δοκιμών.

Εάν τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι μέσα σε ένα επιπλέον 50% των ανώτατων ορίων του πίνακα 3.1, στη συνέχεια, ένα μοντέλο ροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί εάν μία βαθμονόμηση της τοποθεσίας μέτρηση μπορεί να αποφευχθεί. Το μοντέλο ροής πρέπει να επικυρώνεται για τον τύπο του εδάφους. Εάν το μοντέλο ροής δείχνει μια διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου μεταξύ της θέσης του ανεμόμετρου και του στροβίλου λιγότερο από 1% σε 10 m/s για τους τομείς της μέτρησης, τότε δεν είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του πεδίου δοκιμών.

Πίνακας 3.1 - Απαιτήσεις χώρου δοκιμών: τοπογραφικές παραλλαγές

Distance	Sector	Maximum slope %	Maximum terrain variation from plane
<2L	360°	<3	<0.04 (H+D)
>2L and <4L	Measurement sector	<5	<0.08 (H+D)
>4L and <4L	Outside Measurement sector	<10	Not applicable
>4L and <8L	Measurement sector	<10	<0.13 (H+D)

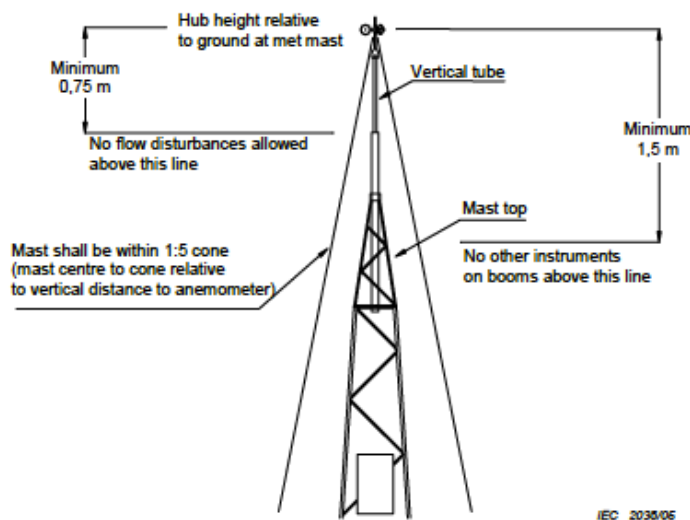


Σχήμα 3.2- Επεξήγηση της περιοχής που πρόκειται να αξιολογηθεί, κάτοψη

### 3.1.4 Εξοπλισμός μετρήσεων

Όσον αφορά στη διαδικασία των ηλεκτρικών μετρήσεων θα πρέπει να λαμβάνονται δεδομένα, άρα και να υπάρχουν μετρητικά όργανα ισχύος ή ρεύματος και τάσης για κάθε φάση της ανεμογεννήτριας. Η ακρίβεια τους θα πρέπει να είναι τουλάχιστον της τάξεως του 0,5 (η κλάση των οργάνων υπάρχει αναλυτικά στο κεφάλαιο 4). Επιπλέον, θα πρέπει να καθορίζεται στην τελική αναφορά σε ποιο σημείο του κυκλώματος της σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο ή του συστήματος μπαταριών λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις, λόγω χάρη αν γίνονται πριν τον αντιστροφέα ή μετά, αν υπάρχει ανορθωτική διάταξη σε ποια μεριά του Μ/Σ, κτλ.

Όσον αφορά στην καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων απαιτείται κυπελλοφόρο ανεμόμετρο (cup anemometer) τάξεως 1,7 Α (κατηγορία ανεμόμετρου που αναλύεται στην παράγραφο 3.2.2) ή και καλύτερο. Επίσης, θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση του, αλλά και να επαναλαμβάνεται βαθμονόμηση ανά δύο χρόνια περίπου. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δεύτερο ανεμόμετρο για την επιβεβαίωση των μετρήσεων του πρώτου (control anemometer). Επιπροσθέτως, χρειάζεται ανεμοδείκτης για τη μέτρηση της κατεύθυνσης του ανέμου και αισθητήρια μέτρησης της πίεσης, της θερμοκρασίας και της υγρασίας (όχι κατά ανάγκη απαραίτητο). Η τοποθέτηση τους στον ιστό παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3.



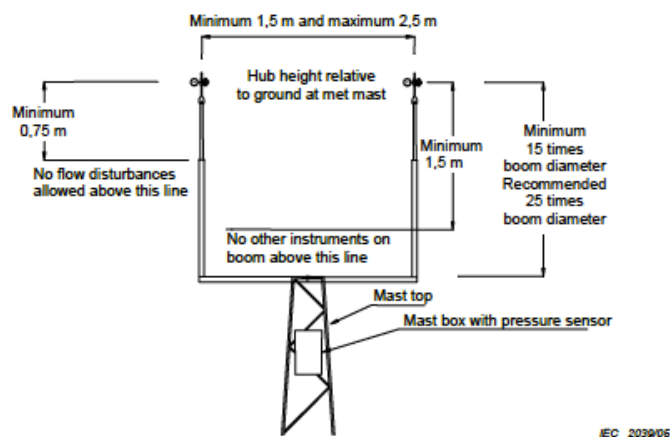
Σχήμα 3.3 - Παράδειγμα ανεμόμετρου τοποθετημένου στην κορυφή και απαιτήσεις για τοποθέτηση

Πιο συγκεκριμένα, το ανεμόμετρο πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα στρογγυλό κατακόρυφο σωλήνα, με την ίδια εξωτερική διάμετρο όπως χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, η οποία φέρει το καλώδιο του ανεμόμετρου στο εσωτερικό. Η γωνία απόκλισης



από την κατακόρυφο πρέπει να είναι μικρότερη από  $2^\circ$ , και συνιστάται να χρησιμοποιείται ειδικό όργανο. Ο σωλήνας πρέπει να μην είναι μεγαλύτερος σε διάμετρο από το σώμα του ανεμόμετρου και να στηρίζει το ανεμόμετρο τουλάχιστον 0,75 m πάνω από το μετεωρολογικό πύργο. Το στήριγμα που συνδέει το ανεμόμετρο με τον κατακόρυφο σωλήνα πρέπει να είναι συμπαγές, λείο, και συμμετρικό. Εάν είναι απαραίτητο να κρατήσει το ανεμόμετρο σταθερό, ο μικρής διαμέτρου κατακόρυφος σωλήνας μπορεί να τοποθετηθεί σε άλλο σωλήνα μεγαλύτερης διαμέτρου προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κανένα μέρος του μετεωρολογικού ιστού εκτείνεται πέραν του 1:5 του κώνου του οποίου η κορυφή βρίσκεται στο ύψος του ανεμόμετρου. Άλλα όργανα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 1.5 m κάτω από το ανεμόμετρο.

Ένας εναλλακτικός τρόπος για την τοποθέτηση της μετρητικής διάταξης φαίνεται στο σχήμα 3.4. Αυτή η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαταραχές στη ροή του ανέμου. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε το βοηθητικό μετρητικό σύστημα να μην επηρεάζει την λειτουργία του βασικού μετρητικού.



Σχήμα 3.4 – Εναλλακτικός τρόπος τοποθέτησης των οργάνων στον ιστό

Εάν χρησιμοποιείται ανεμόμετρο ελέγχου θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στο κύριο ανεμόμετρο, προκειμένου να παρέχουν μια καλή συσχέτιση μεταξύ των δύο μέσων κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η συσχέτιση αυτή πρέπει να επικυρώνεται για να εξασφαλίζεται ότι το κύριο ανεμόμετρο δεν αλλάζει βαθμονόμηση κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Ο ανεμοδείκτης πρέπει να τοποθετείται σε ύψος τουλάχιστον 1.5 m κάτω από το κύριο ανεμόμετρο, αλλά στο 10% του ύψους του στροβίλου με βάση την απόστασή του από το έδαφος στο μετεωρολογικό ιστό. Θα πρέπει να είναι τοποθετημένο έτσι ώστε οι επιδράσεις παραμόρφωσης της ροής να ελαχιστοποιούνται σε σχέση με τον τομέα μέτρησης. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στο ύψος του κόμβου για την μετεωρολογικού ιστού σε τουλάχιστον 1.5 m κάτω από το πρωτεύον ανεμόμετρο. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας

τοποθετείται σε μια ασπίδα ακτινοβολίας. Ο αισθητήρας πίεσης μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα στεγανό κουτί. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλιστεί ότι το πλαίσιο είναι σωστά αεριζόμενο έτσι ώστε αναγνώσεις πίεσης δεν επηρεάζονται από την κατανομή της πίεσης γύρω από το κουτί.

## 3.2 Δοκιμές εξοπλισμού

### 3.2.1 Ηλεκτρική ενέργεια

Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια της ανεμογεννήτριας πρέπει να μετρηθεί χρησιμοποιώντας συσκευή μέτρησης ρεύματος και να βασίζεται σε μετρήσεις ρεύματος και τάσης στη κάθε φάση. Η κατηγορία των μετασχηματιστών ρεύματος πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 61869-2 και η κατηγορία των μετασχηματιστών τάσης, εάν χρησιμοποιηθεί, πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του IEC 61869-3. Τα μετρητικά συστήματα αυτά πρέπει να είναι κλάσης 0.5 ή καλύτερα (η κλάση αναλύεται στο κεφάλαιο 4).

Η ακρίβεια της συσκευής μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας, αν είναι ένας μετατροπέας ρεύματος, πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του IEC 60688 και είναι κατηγορίας 0.5 ή καλύτερη. Εάν η συσκευή μέτρησης ισχύος δεν είναι ένας μετατροπέας ρεύματος, τότε η ακρίβεια θα πρέπει να είναι ισοδύναμη με την κλάση 0.5 των μετατροπέων. Το εύρος λειτουργίας της συσκευής μέτρησης ισχύος πρέπει να ρυθμιστεί για τη μέτρηση όλων των θετικών και αρνητικών στιγμιαίων κορυφών ενέργειας που παράγεται από την ανεμογεννήτρια. Το εύρος τιμών πλήρους κλίμακας της συσκευής μέτρησης της δύναμης θα πρέπει να οριστεί σε - 50% και 200% ονομαστικής ισχύος. Όλα τα δεδομένα θα πρέπει να επανεξετάζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της δοκιμής για να εξασφαλιστεί ότι δεν έχει σημειωθεί υπέρβαση των ορίων εύρος της συσκευής μέτρησης ισχύος. Η συσκευή μέτρησης της ισχύος πρέπει να τοποθετείται μεταξύ της ανεμογεννήτριας και του σημείου σύνδεσης για να εξασφαλιστεί ότι μόνο η καθαρή ενεργός ηλεκτρική ενέργεια (δηλαδή μειωμένη κατά αυτο-κατανάλωση) μετρείται. Θα πρέπει να δηλώνεται αν οι μετρήσεις έγιναν από την πλευρά του στροβίλου ή την πλευρά του δικτύου του μετασχηματιστή.

### 3.2.2 Ταχύτητα του ανέμου

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου γίνεται με ανεμόμετρο που καλύπτει συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ένα ανεμόμετρο είναι ένα όργανο για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Ως εκ τούτου, υπόκειται σε εξωτερικές συνθήκες που μπορεί να επηρεάσουν τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Παράμετροι επιρροής των ανεμόμετρων είναι αναταράξεις, η

θερμοκρασία του αέρα, η πυκνότητα του αέρα, και η μέση γωνία κλίσης ροής. Ανεμόμετρα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις απόδοσης ισχύος πρέπει να αξιολογούνται για αυτά καθώς επίσης και για κατασκευαστικές αβεβαιότητες.

Για τον υπολογισμό των κλίμακας και της κλάσης των παραγόντων που επηρεάζουν τις μετρήσεις του ανεμόμετρου χρειάζεται να γίνει συνδυασμός δύο διαδικασιών για την ταξινόμησή τους. Ο πρώτος τρόπος είναι η εξαγωγή του αριθμού  $k$ , που η τάξη του σχετίζεται με την εκτίμηση των αποκλίσεων της απόκρισης του ανεμόμετρου με μεταβολή όλων των παραμέτρων επιρροής σε όλο το εύρος των παραμέτρων. Ο  $k$  προκύπτει ως εξής:

$$w_i = 5m/s + 0.5 U_i \quad (3.1)$$

$$k = 100 \max |\varepsilon_i/w_i| \quad (3.2)$$

όπου,

$w_i$  συνάρτηση στάθμισης που καθορίζει την απόκλιση

$\varepsilon_{\max,i}$  είναι η μέγιστη απόκλιση για κάθε bin ταχύτητας στην κλίμακα μέτρησης σε m/s

$U_i$  ταχύτητα σε bin  $i$

Οι γενικές κλίμακες παραμέτρων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το εάν η έκταση πληροί τις απαιτήσεις του πίνακα 3.2 ή εάν είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του πεδίου δοκιμών.

Πίνακας 3.2 - Επίδραση παραμέτρων (με βάση τους μέσους 10min) των κατηγοριών A και B

	Class A Terrain meets requirements		Class B Terrain does not meet requirements	
	min	max	Min	max
<b>Wind speed range to cover [m/s]</b>	4	16	4	16
<b>Turbulence intensity</b>	0.03	0.12+0.48/V	0.03	0.12+0.96/V
<b>Turbulence structure <math>\sigma_u/\sigma_v/\sigma_w</math></b>	1/0,8/0,5 (non-isotropic turbulence)		1/1/1 (isotropic turbulence)	
<b>Air temperature</b>	0	40	-10	40

<b>Air density (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0.9	1.35	0.9	1.35
<b>Average flow inclination angle</b>	-3	3	-15	15

Η επιλογή μιας κατηγορίας ανεμόμετρου για τη συγκεκριμένη μέτρηση εξαρτάται από το έδαφος ή την ακρίβεια που απαιτείται για τη μέτρηση.

class A: Που συνδέονται με το έδαφος που ανταποκρίνεται τις απαιτήσεις του παραρτήματος Β, καθώς και με τις γενικές κλίμακες παραμέτρων επιρροής για αυτό το είδος του εδάφους.

class B: Που συνδέονται με το έδαφος που δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του παραρτήματος Β και με εύρη παραμέτρων για σύνθετη τοπογραφία.

Η ταξινόμηση του ανεμόμετρου καθορίζεται από τον αριθμό τάξης  $k$  και το είδος τάξης από  $kA$  και  $kB$  ή για παράδειγμα 1.7A και 2.5B. Η επιχειρησιακή τυπική αβεβαιότητα ενός ανεμόμετρου μπορεί να προέρχεται από την ταξινόμηση υποθέτοντας μια ορθογώνια κατανομή αβεβαιότητας, στην οποία περίπτωση το πρότυπο αβεβαιότητας που θα χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση της αβεβαιότητας απόδοση ισχύος είναι:

$$u_{v2,i} = (0.05m/s + 0.005U_i) k / \sqrt{3} \quad (3.3)$$

### 3.2.3 Κατεύθυνση του ανέμου

Η κατεύθυνση του ανέμου πρέπει να μετριέται με ανεμοδείκτη. Ο συνδυασμός της βαθμονόμησης, λειτουργίας, και της αβεβαιότητας προσανατολισμό της μέτρησης της διεύθυνσης του ανέμου πρέπει να είναι μικρότερη από 5°. Αναλυτικότερα πληροφορίες για την κλάση των οργάνων μέτρησης και της βαθμονόμησης τους υπάρχουν στα παραρτήματα στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

### 3.2.4 Πυκνότητα του αέρα

Η πυκνότητα του αέρα πρέπει να προέρχεται από τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα και της πίεσης του αέρα. Σε υψηλές θερμοκρασίες, συνιστάται επίσης να γίνεται μέτρηση της σχετικής υγρασίας και να γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας του αέρα, και ο αισθητήρας υγρασίας, αν χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να τοποθετηθεί εντός ακτίνας 10 m από το ύψος του κόμβου για να εκπροσωπεί την θερμοκρασία του αέρα στο κέντρο του

ρότορα της ανεμογεννήτριας. Ο αισθητήρας πίεσης του αέρα θα πρέπει να τοποθετηθεί στον μετεωρολογικό ιστό κοντά στο ύψος του κόμβου για να εκπροσωπεί την πίεση του αέρα στο κέντρο του ρότορα της ανεμογεννήτριας. Αν ο αισθητήρας πίεσης του αέρα δεν έχει τοποθετηθεί κοντά στο ύψος του κόμβου, οι μετρήσεις της πίεσης πρέπει να αναχθούν στο σημείο του ρότορα σύμφωνα με το πρότυπο ISO 2533.

### 3.2.5 Σύστημα απόκτησης δεδομένων

Ένα ψηφιακό σύστημα συλλογής δεδομένων το οποίο να έχει ένα ρυθμό δειγματοληψίας ανά κανάλι τουλάχιστον 1 Hz πρέπει να χρησιμοποιείται για τη συλλογή των μετρήσεων και την αποθήκευση των δεδομένων πριν αυτά υποστούν επεξεργασία. Η βαθμονόμηση και η ακρίβεια ολόκληρου του συστήματος απόκτησης δεδομένων (μεταφορά, επεξεργασία σήματος και καταγραφής δεδομένων) πρέπει να επαληθεύεται με έγχυση γνωστών σημάτων στα άκρα μετατροπέα και τη σύγκριση αυτών των εισροών με τις καταγεγραμμένες μετρήσεις. Ως κατευθυντήρια γραμμή, η αβεβαιότητα του συστήματος συλλογής δεδομένων θα πρέπει να είναι αμελητέα σε σχέση με την αβεβαιότητα των αισθητήρων.

## 3.3 Διαδικασία των μετρήσεων

Ο στόχος της διαδικασίας μέτρησης είναι η συλλογή στοιχείων που πληρούν μια σειρά από σαφώς καθορισμένα κριτήρια για να εξασφαλιστεί ότι τα δεδομένα είναι επαρκή σε ποσότητα και ποιότητα για να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά απόδοσης ισχύος της ανεμογεννήτριας με ακρίβεια. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης, η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να είναι σε κανονική λειτουργία, όπως περιγράφεται στο εγχειρίδιο λειτουργίας ανεμογεννητριών και η διαμόρφωση της μηχανής δεν μπορεί να αλλάξει.

### 3.3.1 Απόκτηση δεδομένων

Τα προ επεξεργασίας δεδομένα των παραπάνω αισθητηρίων θα πρέπει να συλλέγονται και να αποθηκεύονται από ένα ψηφιακό καταγραφικό σύστημα με ρυθμό δειγματοληψίας για κάθε κανάλι (σήμα) τουλάχιστον 1 Hz (μετρήσεις δευτερολέπτου). Μπορούν να αποθηκεύονται είτε τα δειγματοληπτικά δεδομένα είτε στατιστικά 10 λεπτών με χαρακτηριστικά που να αφορούν στα ακόλουθα :

- Μέση τιμή,
- Διακύμανση τιμών στα 10 λεπτά,

- Μέγιστη τιμή,
- Ελάχιστη τιμή.

### 3.3.2 Απόρριψη δεδομένων

Για να διασφαλιστεί ότι μόνο τα δεδομένα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, και να διασφαλίσουμε τα δεδομένα δεν είναι κατεστραμμένα, σύνολα δεδομένων αποκλείονται από τη βάση δεδομένων υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Οι εξωτερικές συνθήκες, εκτός από την ταχύτητα του ανέμου είναι έξω από το εύρος λειτουργίας της ανεμογεννήτριας,
- Η τουρμπίνα δεν μπορεί να λειτουργήσει εξαιτίας μιας κατάστασης σφάλματος,
- Η τουρμπίνα έχει κλείσει χειροκίνητα ή είναι σε κατάσταση λειτουργίας δοκιμής ή συντήρησης,
- Βλάβη ή υποβάθμιση (π.χ. λόγω της τήξης) του εξοπλισμού δοκιμών,
- Την κατεύθυνση του ανέμου εκτός του τομέα μέτρησης, όπως ορίζεται στις δοκιμές εξοπλισμού και στην βαθμονόμηση,
- Οι κατευθύνσεις του ανέμου έξω από έγκυρο πεδίο μετρήσεων

Υποσύνολα της βάσης δεδομένων που συλλέγονται υπό ειδικές συνθήκες λειτουργίας (π.χ. υψηλή τραχύτητα πτερυγίων λόγω της σκόνης, το αλάτι, τα έντομα, πάγος) ή τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ. βροχόπτωση, άνεμος) που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης μπορεί να επιλεγούν ως ειδικές βάσεις δεδομένων.

### 3.3.3 Βάση δεδομένων

Μετά τον υπολογισμό των μέσων τιμών δεκαλέπτου για κάθε μέγεθος, θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός των δεδομένων χρησιμοποιώντας τη " μέθοδο των διαστημάτων (bins) " για την ταχύτητα του ανέμου. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το φάσμα των μετρούμενων ταχυτήτων θα πρέπει να χωριστεί σε συνεχόμενα διαστήματα πλάτους 0.5 m/s το καθένα, στα οποία το κέντρο τους θα είναι πολλαπλάσιο των 0.5 m/s. Τα αποκτηθέντα δεδομένα θα πρέπει να καλύπτουν ένα φάσμα ταχυτήτων που να κυμαίνεται από 1 m/s πιο χαμηλά από την ταχύτητα ένταξης της Α/Γ μέχρι την ταχύτητα που ισούται με 1.5 φορές την ταχύτητα του ανέμου που αντιστοιχεί στο 85% της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ. Διαφορετικά, η ταχύτητα του ανέμου θα πρέπει να εκτείνεται από το 1 m/s πιο χαμηλά από την ταχύτητα  $V_{cut-in}$  μέχρι την ταχύτητα στην οποία η "μετρούμενη ΑΕΠ" είναι μεγαλύτερη ή ίση με το 95% της "προσεγγιστικής ΑΕΠ", ορισμοί για την αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή που θα εξηγηθούν λίγο παρακάτω. Επιπλέον, στην

αναφορά θα πρέπει να δηλώνεται ποιος από τους δύο ορισμούς έχει χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της καμπύλης ισχύος.

Η βάση δεδομένων, άρα κι η μέτρηση της καμπύλης ισχύος, θεωρείται ολοκληρωμένη κι επαρκής, όταν πλέον θα πληροί τα παρακάτω δύο κριτήρια :

- Κάθε bin (διάστημα) τιμών να περιέχει τουλάχιστον δεδομένα 30 λεπτών,
- Η βάση δεδομένων να περιλαμβάνει τουλάχιστον συνολικά δεδομένα 180 ωρών.

Εάν υπάρχει ένα διάστημα για το οποίο δεν υπάρχουν δεδομένα, είναι δυνατό να ολοκληρωθεί η καμπύλη ισχύος με εύρεση της τιμής του bin από γραμμική παρεμβολή των δύο γειτονικών του διαστημάτων. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί εξίσου να διευρυνθεί το εύρος των ταχυτήτων ανέμου για ταχύτητες μεγαλύτερες από το φάσμα που ορίστηκε παραπάνω.

## 3.4 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

### 3.4.1 Κανονικοποίηση των δεδομένων

Τα αποκτηθέντα δεδομένα θα πρέπει να κανονικοποιηθούν σε δύο διαφορετικές πυκνότητες αέρα. Η πρώτη πυκνότητα θα είναι η πυκνότητα που είναι καθορισμένη στο επίπεδο της θάλασσας (Mean Sea Level) κι ισούται με  $1.225 \text{ kg/m}^3$ . Η δεύτερη, η πραγματική, θα πρέπει να είναι η πυκνότητα που προκύπτει ως μέση τιμή των μετρούμενων πυκνοτήτων αέρα για την περίοδο μετρήσεων, στρογγυλοποιημένη στο κοντινότερο  $0,05 \text{ kg/m}^3$ . Βέβαια, σε περίπτωση που η πραγματική μέση πυκνότητα είναι  $1.225 \pm 0.05 \text{ kg/m}^3$  δεν χρειάζεται να γίνει κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων σε αυτή, παρά μόνο στην πρώτη πυκνότητα που ορίζεται για το επίπεδο της θάλασσας. Η πυκνότητα του αέρα μπορεί να προσδιοριστεί από τη μετρούμενη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα σύμφωνα με την σχέση 3.4.

$$\rho_{10min} = \frac{B_{10min}}{R_o T_{10min}} \quad (3.4)$$

όπου,

$\rho_{10min}$  is the derived 10 min averaged air density

T is the measured absolute air temperature averaged over 10 min

B is the measured air pressure averaged over 10 min;

$R_o$  is the gas constant of dry air  $287.05 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K})$ .

Συγκεκριμένα, για τις Α/Γ που ρυθμίζονται με έλεγχο stall, η κανονικοποίηση των δεδομένων πρέπει να γίνει για την παραγόμενη ισχύ, σύμφωνα με τη σχέση 3.5 :

$$P_n = P_{10min} \frac{\rho_0}{\rho_{10min}} \quad (3.5)$$

όπου,

$P_n$  is the normalized power output  
 $P_{10min}$  is the measured power averaged over 10 min  
 $\rho_0$  is the reference air density.

Για τις Α/Γ με ενεργό έλεγχο (pitch controlled ή active stall), η κανονικοποίηση πρέπει να γίνεται για την ταχύτητα ανέμου, σύμφωνα με την σχέση (3.6):

$$V_n = V_{10min} \sqrt[3]{\frac{\rho_{10min}}{\rho_{10min}}} \quad (3.6)$$

όπου,

$V_n$  is the normalized wind speed  
 $V_{10min}$  is the measured wind speed averaged over 10 min

### 3.4.2 Καθορισμός της μετρούμενης καμπύλης ισχύος

Η μετρούμενη καμπύλη ισχύος καθορίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των διαστημάτων, χρησιμοποιώντας 0.5 m/s κλίμακα, για τα κανονικοποιημένα σύνολα δεδομένων κι υπολογίζοντας τις μέσες τιμές των κανονικοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου και της ηλεκτρικής ισχύος για κάθε bin ξεχωριστά, σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$V_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{n,i,j} \quad (3.7)$$

$$P_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j} \quad (3.8)$$

όπου,

$V_i$  is the normalized and averaged wind speed in bin i (m/s)  
 $V_{n,i,j}$  is the normalized wind speed of data set j in bin i  
 $P_i$  is the normalized and averaged power output in bin i



$P_{n,i,j}$  is the normalized power output of data set  $j$  in bin  $i$   
 $N_i$  is the number of 10 min data sets in bin  $i$

### 3.4.3 Υπολογισμός της αναμενόμενης ετήσιας ενεργειακής παραγωγής (ΑΕΠ)

Η αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή εκτιμάται εφαρμόζοντας την υπολογισμένη καμπύλη ισχύος σε διαφορετικές σχετικές κατανομές ανέμου. Συνίσταται να χρησιμοποιείται η στατιστική κατανομή Rayleigh, που αποτελεί κατανομή Weibull με παράμετρο μορφής  $k=2$ . Η εκτίμηση της ΑΕΠ ενδείκνυται να γίνεται για κατανομές ανέμου με μέση τιμή ταχύτητας ανέμου 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 και 11 m/s, σύμφωνα με τη σχέση (3.9).

$$AEP = N_h \sum_{i=1}^N [F(V_i) - F(V_{i-1})] \left( \frac{P_{i-1} + P_i}{2} \right) \quad (3.9)$$

όπου,

AEP is the annual energy production (kWh)  
 $N_h$  is the number of hours in one year  $\approx 8760h$   
 $N$  is the number of bins  
 $V_i$  is the normalized and averaged wind speed in bin  $i$  (m/s)  
 $P_i$  is the normalized and averaged power output in bin  $i$  (Watt)

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ave}}\right)^2\right) \quad (3.10)$$

όπου,

$F(V)$  is the Rayleigh cumulative probability distribution function for wind speed  
 $V_{ave}$  is the annual average wind speed at hub height (m/s)

Όπως απλά αναφέρθηκε λίγο παραπάνω, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού της ΑΕΠ, οπότε υπάρχει η "μετρούμενη ΑΕΠ" κι η "προσεγγιστική ΑΕΠ". Η πρώτη προκύπτει κανονικά από τη μετρούμενη καμπύλη ισχύος και σύμφωνα με τις σχέσεις 3.9 και 3.10, θεωρώντας μηδενική παραγόμενη ισχύ για όλους τους ανέμους που βρίσκονται εκτός του διαστήματος ταχυτήτων ανέμου για το οποίο υπολογίστηκε η καμπύλη ισχύος. Η προσεγγιστική προκύπτει θεωρώντας μηδενική παραγωγή για τις χαμηλότερες, από την ταχύτητα ένταξης, ταχύτητες και σταθερή παραγόμενη ισχύ για τις ταχύτητες από τη μέγιστη, για την οποία υπάρχουν δεδομένα, μέχρι και την ταχύτητα αποκοπής. Η σταθερή αυτή παραγόμενη ισχύς θα πρέπει να είναι ίση με την υπολογισμένη ισχύ που προκύπτει για το διάστημα με την μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου, θυμίζοντας την καμπύλη ισχύος μίας Α/Γ με έλεγχο του βήματος των πτερυγίων (pitch control). Τέλος, για τον υπολογισμό τους θα πρέπει να θεωρείται 100%

διαθεσιμότητα της Α/Γ και θα πρέπει επιπλέον να σημειώνεται για κάθε κατανομή ανέμου για την οποία υπολογιστήκαν οι δύο διαφορετικές ΑΕΠ ο χαρακτηρισμός ως ανεπαρκούς ή ανολοκλήρωτης καμπύλης ισχύος, εάν η μετρούμενη ΑΕΠ προκύπτει μικρότερη από το 95% της προσεγγιστικής.

### 3.4.4 Υπολογισμός βαθμού απόδοσης

Ένα άλλο μέγεθος που απαιτείται να υπάρχει στην τελική αναφορά, σύμφωνα με το πρότυπο, είναι ο βαθμός απόδοσης  $C_p$ , που ουσιαστικά αποτελεί το γινόμενο της συνολικής απόδοσης της Α/Γ επί τον αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος  $c_p$ . Εκφράζει το λόγο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την διαθέσιμη αιολική ισχύ που υπάρχει στο ρεύμα ανέμου που προσκρούει στην επιφάνεια της φτερωτής. Επομένως υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_{p,i} = \frac{P_i}{0.5 \rho_0 A V_i^3} \quad (3.11)$$

όπου,

$C_{p,i}$	is the power coefficient in bin i
$V_i$	is the normalized and averaged wind speed in bin i (m/s)
$P_i$	is the normalized and averaged power output in bin i (Watt)
$A$	is the swept area of the wind turbine rotor
$\rho_0$	is the reference air density (kgr/m <sup>3</sup> )

### 3.4.5 Αξιολόγηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων

Τελευταίο κομμάτι της επεξεργασίας των μετρούμενων δεδομένων είναι η εκτίμηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων που διεξήχθησαν. Η καμπύλη ισχύος, η οποία έχει προκύψει, θα πρέπει να συνοδεύεται από την αβεβαιότητα αυτή. Ο υπολογισμός πρέπει να γίνεται βάσει του προτύπου ISO, ώστε να είναι πιστοποιημένα ορθός.

Σύμφωνα με τον οδηγό αυτό, υπάρχουν δύο τύποι αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα κατηγορίας Α, της οποίας το μέγεθος μπορεί να συναχτεί από τις μετρήσεις και της κατηγορίας Β, της οποίας εκτιμάται από άλλα μέσα, όπως είναι η ακρίβεια των οργάνων, οι εξωτερικές συνθήκες, κτλ. Από τις δύο αυτές κατηγορίες προκύπτει η συνδυασμένη αβεβαιότητα των τελικών αποτελεσμάτων. Τα μεγέθη στα οποία χρειάζεται να γίνει αξιολόγηση της αβεβαιότητας είναι η μετρούμενη και κανονικοποιημένη καμπύλη ισχύος της ηλεκτρικής ισχύος κι η αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή παραγωγή. Αναλυτικότερα οι υπολογισμοί της παρουσιάζονται στο παράτημα στο τέλος της παρούσας εργασίας.

### 3.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Έπειτα από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, θα πρέπει να συνταχτεί μία αναφορά σχετικά με τα στοιχεία που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Σε αυτήν πέραν των εξαγόμενων δεδομένων, συνίσταται από το πρότυπο IEC η παρουσίαση κι άλλων παραγόντων που σχετίζονται με την όλη εγκατάσταση. Τα στοιχεία που απαιτείται να παρουσιαστούν δίνονται συνοπτικά:

- Ένας προσδιορισμός και περιγραφή της συγκεκριμένης διαμόρφωσης της ανεμογεννήτριας υπό δοκιμή μεταξύ των οποίων:
  - Μάρκα γεννήτριας, τύπος, αριθμός σειράς, έτος παραγωγής
  - Διάμετρος φτερωτής
  - Η ταχύτητα του ρότορα ή το φάσμα ταχυτήτων
  - Ονομαστική ισχύς και ονομαστική ταχύτητα του ανέμου
  - Τα δεδομένα των πτερυγίων
  - Ύψος του κόμβου και τον τύπο πύργου
  - Περιγραφή του συστήματος ελέγχου (αντιστροφέας)
  - Περιγραφή του δικτύου που συνδέεται
  
- Μια περιγραφή του πεδίου δοκιμών
  - Φωτογραφίες όλων των τομέων της μέτρησης κατά προτίμηση λαμβάνονται από την ανεμογεννήτρια στο ύψος του κόμβου
  - Γεωγραφικός χάρτης ή δορυφορική φωτογραφία της ευρύτερης περιοχής (γεωγραφικά χαρακτηριστικά, εμπόδια, άλλες Α/Γ)
  - Τα αποτελέσματα της εκτίμησης χώρου, δηλαδή τα όρια του τομέα έγκυρων μετρήσεων
  
- Μια περιγραφή του εξοπλισμού
  - Την αναγνώριση του συστήματος αισθητήρων και των δεδομένων απόκτησης, συμπεριλαμβανομένης της τεκμηρίωσης των διακριβώσεων για τους αισθητήρες, γραμμές μεταφοράς, και το σύστημα απόκτησης δεδομένων
  - Περιγραφή της διάταξης του ανεμόμετρου στο μετεωρολογικό ιστό, σύμφωνα με τις απαιτήσεις
  - Σκαρίφημα της διάταξης του μετεωρολογικού ιστού που δείχνει τις διαστάσεις του πύργου και την τοποθέτηση των οργάνων
  - Περιγραφή της μεθόδου για το πώς να διατηρηθεί η βαθμονόμηση του ανεμόμετρου κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης και την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων που

δείχνουν ότι η βαθμονόμηση διατηρείται.

➤ *Μια περιγραφή της διαδικασίας μέτρησης*

- Τεκμηρίωση των διαδικαστικών βημάτων, τις συνθήκες της δοκιμής, ρυθμός δειγματοληψίας, το χρόνο κατά μέσο όρο, την περίοδο μέτρησης
- Ημερολόγιο που καταγράφει όλα τα σημαντικά γεγονότα κατά τη διάρκεια της δοκιμής επιδόσεων, συμπεριλαμβανομένου του καταλόγου όλων των δραστηριοτήτων συντήρησης που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της δοκιμής και μια λίστα με τις ειδικές ενέργειες (όπως το πλύσιμο των λεπίδων) που ολοκληρώθηκαν να εξασφαλιστεί η καλή απόδοση
- Τον προσδιορισμό των τυχόν κριτήριων απόρριψης δεδομένων πέραν εκείνων που αναφέρονται στο πρότυπο

➤ *Παρουσίαση των αποτελεσμάτων*

- Διαγράμματα με την μέση, τη σταθερή διακύμανση της, τη μέγιστη και την ελάχιστη παραγόμενη ισχύ συναρτήσει του ανέμου
- Διαγράμματα μέσης ταχύτητας κι έντασης τύρβης συναρτήσει της κατεύθυνσης του ανέμου
- Διαγράμματα ταχύτητας περιστροφής και γωνίας pitch (εάν μετρήθηκαν) συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου

➤ *Παρουσίαση της μετρούμενης καμπύλης ισχύος για την πυκνότητα αναφοράς του αέρα στο επίπεδο της θάλασσας και για την πυκνότητα της περιοχής μετρήσεων*

- Πίνακας που να περιέχει :
  1. την κανονικοποιημένη μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου
  2. την κανονικοποιημένη μέση τιμή της παραγόμενης ισχύος
  3. τον αριθμό των δεδομένων σε κάθε bin
  4. τον συνολικό βαθμό απόδοσης  $C_p$
  5. τις αβεβαιότητες της κατηγορίας A
  6. τις αβεβαιότητες της κατηγορίας B
  7. τις συνδυασμένες αβεβαιότητες
- Διάγραμμα της καμπύλης ισχύος με τις κανονικοποιημένες μέσες τιμές ηλεκτρικής ισχύος και τις αντίστοιχες συνδυασμένες αβεβαιότητες
- Διάγραμμα της καμπύλης του συνολικού βαθμού απόδοσης συναρτήσει της κανονικοποιημένης ταχύτητας ανέμου

- Παρουσίαση της αναμενόμενης ενεργειακής παραγωγής για την πυκνότητα αναφοράς του αέρα στο επίπεδο της θάλασσας και για την πυκνότητα της περιοχής μετρήσεων
- Πίνακας για τις διαφορετικές κατανομές Rayleigh (μέση τιμή : 4-11 m/s) που να περιέχει:
  1. τη μετρούμενη ΑΕΠ
  2. την αβεβαιότητα της μετρούμενης ΑΕΠ
  3. την προσεγγιστική ΑΕΠ
  4. την ένδειξη "ανολοκλήρωτη" στη μέση τιμή ανέμου της κάθε κατανομής, εάν η μετρούμενη ΑΕΠ είναι μικρότερη από το 95% της προσεγγιστικής ΑΕΠ

### 3.6 Μέτρηση καμπύλης ισχύος στις μικρές ανεμογεννήτριες

Όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους ισχύουν γενικά για όλες τις ανεμογεννήτριες, παρόλα αυτά για τις μικρές ισχύος Α/Γ, σύμφωνα με το πρότυπο IEC είναι αναγκαίο να υπάρχουν κάποιες τροποποιήσεις και ειδική μέριμνα όσον αφορά τη μέτρηση καμπύλης ισχύος τους. Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται οι σημαντικότερες εξ αυτών.

- I. Για την ελαχιστοποίηση των διαφορών στα αποτελέσματα λόγω της καλωδίωσης μεταξύ της Α/Γ και του φορτίου, η σύνδεση του φορτίου δεν θα πρέπει να είναι σε μικρότερη απόσταση από τη βάση του ιστού της Α/Γ και σε μεγαλύτερη απόσταση από το τριπλάσιο μήκος του πυλώνα. Εάν δεν υπάρχουν προδιαγραφές για τη διάμετρο των καλωδίων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να γίνει διαστασιοποίηση τους ώστε η πτώση τάσης μεταξύ Α/Γ και φορτίου να είναι ίση με το 10% της τάσης εξόδου.
- II. Στις μικρές ανεμογεννήτριες, εάν είναι πιο πρακτικό, το ανεμόμετρο μπορεί να τοποθετηθεί σε βραχίονα πάνω στον ιστό της Α/Γ, χωρίς την εγκατάσταση μετεωρολογικού ιστού. Για την ελαχιστοποίηση της επιρροής από το "ίχνος" ανέμου του ανεμόμετρου, ο ανεμοδείκτης απαιτείται να τοποθετείται τουλάχιστον 3 μέτρα μακριά από το χαμηλότερο σημείο του δρομέα. Επιπλέον, το ανεμόμετρο και τα άλλα αισθητήρια θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση από το ύψος της γεννήτριας περίπου 1,5 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο της φτερωτής.
- III. Τα προ-επεξεργασμένα δεδομένα θα πρέπει να είναι διάρκειας ενός λεπτού. Στις μικρές Α/Γ οι αναφορές που έγιναν στις προηγούμενες παραγράφους σε μέσες τιμές δεκαλέπτων θα πρέπει να γίνονται για μέσες τιμές ενός λεπτού, λόγω της μεγάλης διακύμανσης των μετρήσεων και των πολλών στροφών που αναπτύσσονται στο δρομέα.
- IV. Η μελέτη της καμπύλης ισχύος σε μικρή ανεμογεννήτρια θεωρείται ολοκληρωμένη, όπως αντίστοιχα κριτήρια ισχύουν για τις μεγαλύτερες Α/Γ τα οποία αναφέρθηκαν στην

παράγραφο 3.3, όταν πληροί τα παρακάτω κριτήρια :

- Κάθε διάστημα (bin) ταχύτητας ανέμου μεταξύ της ταχύτητας που είναι 1 m/s χαμηλότερα από τη  $V_{cut-in}$  και τα 14 m/s θα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον δεδομένα 10 λεπτών (δέκα δεδομένα του ενός λεπτού).
  - Η συνολική βάση δεδομένων θα πρέπει να περιέχει σύνολα δεδομένων τουλάχιστον 60 ωρών λειτουργίας της Α/Γ.
  - Σε περιπτώσεις Α/Γ με furling, η βάση δεδομένων θα πρέπει να περιέχει ολοκληρωμένα δεδομένα για τα bins ταχυτήτων, στα οποία η Α/Γ βρίσκεται σε κατάσταση furling, ώστε να φαίνεται στην καμπύλη ισχύος η μείωση της παραγόμενης ισχύος μετά την ονομαστική ταχύτητα ανέμου.
- V. Για τις ανεμογεννήτριες με παθητικό έλεγχο πτερυγίων, θα πρέπει να γίνεται κανονικοποίηση και της ισχύος εξόδου και της ταχύτητας ανέμου σύμφωνα με τις σχέσεις 3.5 και 3.6 αντίστοιχα.
- VI. Σε περιπτώσεις που η μικρή Α/Γ δε σταματάει να λειτουργεί σε υψηλούς ανέμους, η μετρούμενη κι η προσεγγιστική ΑΕΠ πρέπει να υπολογίζονται θεωρώντας ως ταχύτητα αποκοπής τη μέγιστη ταχύτητα που έχει καταγραφεί κι υπάρχει σε bin με πλήρη δεδομένα (10 τουλάχιστον δεδομένα ενός λεπτού) ή τα 25 m/s, αναλόγως ποια από τις δύο ταχύτητες είναι μεγαλύτερη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### **Ανασκόπηση των διεθνών προτύπων**

- **IEC 60688 (2013)**
- **IEC 61869-1 (2007)**
- **IEC 61869-2 (2012)**
- **IEC 61869-3 (2011)**

## 4.1 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 60688

### **Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals [4]**

Οι νέοι μορφοτροπείς μπορούν πλέον να εξοπλιστούν με μικροεπεξεργαστές που χρησιμοποιούν ψηφιακή επεξεργασία δεδομένων, μεθόδους επικοινωνίας και βοηθητικούς αισθητήρες. Αυτό τους καθιστά πιο πολύπλοκους από τους συμβατικούς αναλογικούς μορφοτροπείς και τους προσδίδει σημαντική προστιθέμενη αξία.

Το σύστημα ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε αυτό το πρότυπο βασίζεται στη σειρά *IEC 60051 - Αναλογικά ηλεκτρικά όργανα μέτρησης άμεσης δράσης και τα εξαρτήματά τους*. Κάτω από αυτό το σύστημα, οι επιτρεπόμενες μεταβολές του σήματος εξόδου που οφείλονται σε ποικίλες ποσότητες επιρροής - θερμοκρασία περιβάλλοντος, τάση, συχνότητα κ.λπ. - είναι σιωπηρές στην ταξινόμηση.

Για όσους δεν είναι εξοικειωμένοι με το σύστημα προσδιορισμού κλάσης, είναι απαραίτητη η προειδοποίηση. Εάν, για παράδειγμα, ένας μορφοτροπέας ταξινομείται ως κλάση 1, αυτό δεν σημαίνει ότι το σφάλμα υπό πρακτικές συνθήκες χρήσης θα είναι εντός  $\pm 1\%$  της πραγματικής τιμής της εξόδου ή  $\pm 1\%$  της πλήρους τιμής εξόδου. Αυτό σημαίνει ότι το σφάλμα δεν πρέπει να υπερβαίνει το  $\pm 1\%$  της βασικής τιμής κάτω από αυστηρά καθορισμένες συνθήκες. Εάν οι επιδρούσες ποσότητες μεταβάλλονται μεταξύ των ορίων που καθορίζονται από τις ονομαστικές σειρές χρήσης, μπορεί να υπάρξει μια μεταβολή ποσότητας συγκρίσιμη με την τιμή του δείκτη κλάσης για κάθε ποσότητα.

Το επιτρεπτό σφάλμα ενός μορφοτροπέα υπό συνθήκες λειτουργίας είναι το άθροισμα του επιτρεπόμενου εγγενούς σφάλματος και των επιτρεπόμενων μεταβολών που οφείλονται σε κάθε μία από τις επιδράσεις. Ωστόσο, το πραγματικό σφάλμα είναι πιθανό να είναι πολύ μικρότερο, διότι δεν είναι πιθανό ότι όλες οι επιρροές ποσότητες θα είναι ταυτόχρονα στις πιο δυσμενείς τιμές τους και ορισμένες από τις παραλλαγές μπορεί να ακυρώνονται η μία την άλλη. Είναι σημαντικό αυτά τα γεγονότα να ληφθούν υπόψη κατά τον προσδιορισμό των μορφοτροπέων για συγκεκριμένο σκοπό.

Αυτό το διεθνές πρότυπο εφαρμόζεται σε μορφοτροπείς με ηλεκτρικές εισόδους και εξόδους για τις μετρήσεις a.c. ηλεκτρικών μεγεθών. Το σήμα εξόδου μπορεί να είναι με την μορφή αναλογικού συνεχούς ρεύματος ή σε ψηφιακή μορφή. Σε αυτήν την περίπτωση, το μέρος του μορφοτροπέα που χρησιμοποιείται για σκοπούς επικοινωνίας θα πρέπει να είναι συμβατό με το εξωτερικό σύστημα.

Το πρότυπο αυτό ισχύει για μορφοτροπείς μέτρησης που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή a.c. μετρούμενων μεγεθών σε ένα σήμα εξόδου. Αυτά τα μεγέθη μπορεί να είναι ποσότητες, όπως:



- Ρεύμα
- Τάση
- Ενεργός ισχύς
- Άεργου ισχύς
- Συντελεστής ισχύος
- Γωνία φάσης
- Συχνότητα
- Αρμονικές ή ολική αρμονική παραμόρφωση.

Εντός του εύρους μέτρησης, το σήμα εξόδου είναι μία συνάρτηση του μετρούμενου. Ένα βοηθητικό σύστημα τροφοδοσίας μπορεί να χρειάζεται.

Το παρόν πρότυπο **δεν ισχύει** για:

- Μετασηματιστές οργάνων που συμμορφώνονται με τη σειρά IEC 61689.
- Πομπές για χρήση σε εφαρμογές βιομηχανικής διεργασίας που συμμορφώνονται με τη σειρά IEC 60770.
- Συσκευές μέτρησης και παρακολούθησης της απόδοσης (PMD) που συμμορφώνονται με το πρότυπο IEC 61557-12.

Το πρότυπο αυτό **ισχύει**:

- a) Εάν η ονομαστική συχνότητα της εισόδου κυμαίνεται μεταξύ 0 Hz και 1500 Hz
- b) Εάν ένας μορφοτροπέας μέτρησης είναι μέρος ενός συστήματος για τη μέτρηση μιας μη ηλεκτρικής ποσότητας, το πρότυπο αυτό μπορεί να εφαρμόζεται στο ηλεκτρικό μορφοτροπέα μέτρησης.
- c) Για μορφοτροπείς για χρήση σε μία ποικιλία εφαρμογών, όπως τηλεμετρία και ελέγχου διεργασίας.

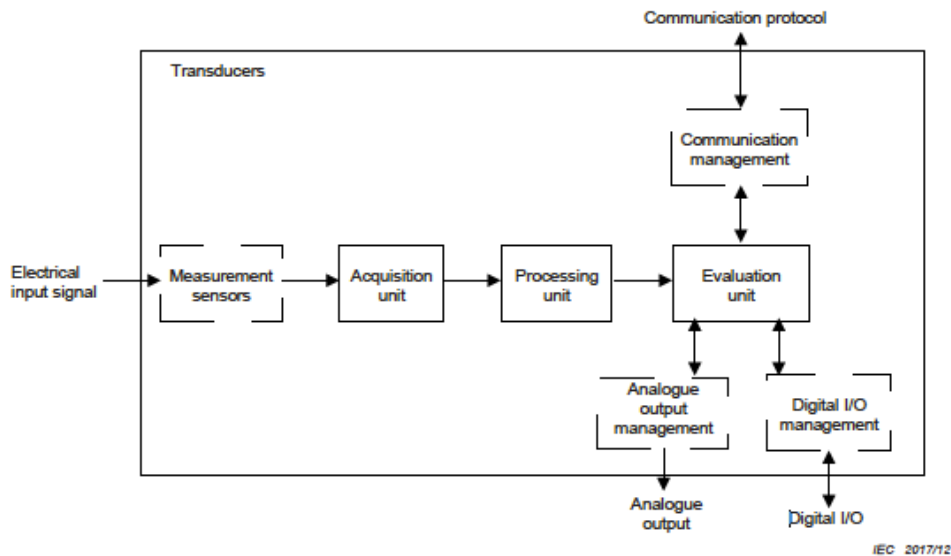
Αυτό το διεθνές πρότυπο **προορίζεται**:

- Για να καθορίσει την ορολογία και τους ορισμούς που σχετίζονται με μορφοτροπείς των οποίων η κύρια εφαρμογή είναι στην ηλεκτρική ενέργεια, ειδικά για τους σκοπούς του ελέγχου της διαδικασίας και των συστημάτων τηλεμετρίας.
- Να ενοποιήσει τις μεθόδους δοκιμής που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των επιδόσεων μορφοτροπέα.
- Για να καθορίσει τα όρια ακρίβειας και τιμές εξόδου για μορφοτροπείς.

#### 4.1.1 Γενική αρχιτεκτονική, δείκτης κλάσης, επιτρεπτά όρια των εγγενών σφαλμάτων, βοηθητική παροχή και συνθήκες αναφοράς

Οργάνωση της αλυσίδας μέτρησης: Η ηλεκτρική ποσότητα που μετριέται μπορεί να είναι είτε άμεσα προσβάσιμη, όπως συμβαίνει συνήθως σε συστήματα χαμηλής τάσης είτε προσβάσιμη μέσω αισθητήρων μέτρησης όπως αισθητήρες τάσης (VS) ή αισθητήρες ρεύματος (CS).

Το παρακάτω σχήμα 4.1 δείχνει την κοινή οργάνωση ενός μορφοτροπέα.



Σχήμα 4.1 – Αρχιτεκτονική του μορφοτροπέα

Ο δείκτης της κλάσης για έναν μορφοτροπέα πρέπει να επιλέγεται από εκείνους που δίνονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 - Σχέση μεταξύ των ορίων εγγενούς σφάλματος, εκφρασμένων ως ποσοστό της χαρακτηριστικής τιμής και του δείκτη κλάσης

Class index	0.2	0.5	1	2	2.5	3	5	10	20
Limits of error	± 0.2%	±0.5%	±1%	±2%	±2.5%	±3%	±5%	±10%	±20%
NOTE: Class indices of 0.3 and 1.5, although non-preferred, may be used.									

Όπου:

- ❖ **Intrinsic error (εγγενές - εσωτερικό σφάλμα):** Όταν ο μορφοτροπέας είναι υπό συνθήκες αναφοράς, το σφάλμα σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ των άνω και κάτω ονομαστικών τιμών του σήματος εξόδου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια του εγγενούς σφάλματος που δίνεται στον πίνακα 4.1 που εκφράζεται ως ποσοστό της χαρακτηριστικής τιμής.
- ❖ **Fiducial value (χαρακτηριστική τιμή):** Μια τιμή στην οποία γίνεται αναφορά για να προσδιοριστεί η ακρίβεια ενός μορφοτροπέα. Η βασική τιμή είναι το εύρος, εκτός από τους μορφοτροπέες που έχουν ένα αναστρέψιμο και συμμετρικό σήμα εξόδου όταν η ενδεικτική τιμή μπορεί να είναι το ήμισυ του εύρους, εφόσον ορίζεται από τον κατασκευαστή.

Εάν οι μορφοτροπέες χρησιμοποιούνται μαζί με αισθητήρες, ο κατασκευαστής καθορίζει την κλάση ακριβείας ολόκληρου του μορφοτροπέα και αισθητήρα του συστήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν ένας μορφοτροπέας δεν περιλαμβάνει τους αισθητήρες, οι σχετικές αβεβαιότητες δεν λαμβάνονται υπόψη. Όταν ένας ανιχνευτής περιλαμβάνει τους αισθητήρες, εξετάζονται οι σχετικές αβεβαιότητες.

Πριν από τον προσδιορισμό των εγγενών σφαλμάτων, προκαταρκτικές προσαρμογές θα πρέπει να πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ο μορφοτροπέας πρέπει να είναι στη θερμοκρασία αναφοράς. Επίσης, θα πρέπει να μείνει στο κύκλωμα υπό τους όρους που καθορίζονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 – Προκαταρκτικές προσαρμογές

<b>Conditions</b>	<b>Values</b>
Voltage (including any auxiliary supply)	<b>Nominal value</b>
Current	<b>Nominal value</b>
Frequency	<b>Reference value</b>
Power factor	<b>Reference value</b>
Time between connection into circuit and start of determination of errors	<b>30 min</b>

Όπου:

- ❖ **Nominal value (ονομαστική τιμή):** Η ονομαστική τιμή της τάσης/ρεύματος του εξωτερικού κυκλώματος στην οποία πρέπει να συνδεθεί το κύκλωμα εισόδου τάσης/ρεύματος του μορφοτροπέα.
- ❖ **Reference value (τιμή αναφοράς):** Μια καθορισμένη μοναδική τιμή μιας επιδρούσας ποσότητας στην οποία ο μορφοτροπέας πληροί τις απαιτήσεις σχετικά με τα εγγενή σφάλματα.

Μερικοί μετατροπείς που εξετάζονται στο αυτό το πρότυπο μπορεί να χρειαστούν **βοηθητική τροφοδοσία**. Αυτό καθορίζεται σε δύο χωριστές κατηγορίες, Σ.Ρ. και Ε.Ρ. παροχές.

#### – DC supply

α) Η τιμή της τάσης του συνεχούς ρεύματος προσφοράς θα είναι όπως ορίζεται στο 4.1.2.

β) Η παροχή της μπαταρίας μπορεί να είναι earthed or floating. Πρέπει να προβλέπονται κατάλληλα μέσα στον μετατροπέα για να εξασφαλιστεί η απομόνωση μεταξύ της παροχής ρεύματος και τα κυκλώματα εισόδου / εξόδου του μορφοτροπέα.

γ) Ο μετατροπέας πρέπει να αντέχει κάθε κυματισμό μέχρι κατά ανώτατο όριο 10% από κορυφή σε κορυφή, επάνω στην Σ.Ρ. παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

δ) Ο θόρυβος που τροφοδοτείται πίσω στην μπαταρία από το μετατροπέα πρέπει να περιορίζεται στα 100 mV κορυφή σε κορυφή όταν μετράται με καθορισμένη αντίσταση πηγής σε όλες τις συχνότητες μέχρι 100 MHz.

#### – AC supply

Για την ονομαστική τιμή της τάσης του εναλλασσόμενου ρεύματος παροχής βλέπε στο επόμενο κεφάλαιο. Αυτή η τάση μπορεί να παρέχεται από μια ξεχωριστή παροχή ή μπορεί να προέρχεται από τη μετρηθείσα τάση.

## 4.1.2 Απαιτήσεις

### 4.1.2.1 Τιμές εισόδου

Οι ονομαστικές τιμές της τάσης, ρεύματος, συχνότητας και βοηθητικής παροχής πρέπει να καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

Εύρος ρύθμισης για μετατροπείς που μπορούν να ρυθμιστούν από το χρήστη:

- α) Για την τάση εισόδου: 80 ... 120% της ονομαστικής τιμής
- β) Για το ρεύμα εισόδου: 60 ... 130% της ονομαστικής τιμής.

Αυτό σημαίνει ότι η ονομαστική τιμή του σήματος εξόδου μπορεί να ληφθεί για οποιοδήποτε τροποποιημένη τιμή του μετρούμενου μεγέθους εντός των ορίων που δίνονται παραπάνω.

Η προτιμώμενη ονομαστική τιμή των d.c. βοηθητικών παροχών είναι 24 V, 48 V ή 110 V.

#### 4.1.2.2 Αναλογικά σήματα εξόδου

Για το **ρεύμα εξόδου** έχουμε ότι προτιμάται το σήμα **4 έως 20 mA**.

Άλλες επιτρεπόμενες τιμές είναι:

- 0 έως 20 mA
- 0 έως 1 mA
- 0 έως 10 mA
- 1 έως 1 mA
- 5 έως 5 mA
- 10 έως 10 mA
- 20 έως 20 mA

Για την **τάση συμμόρφωσης-compliance voltage** έχουμε τις προτεινόμενες τιμές: 10V, 15V

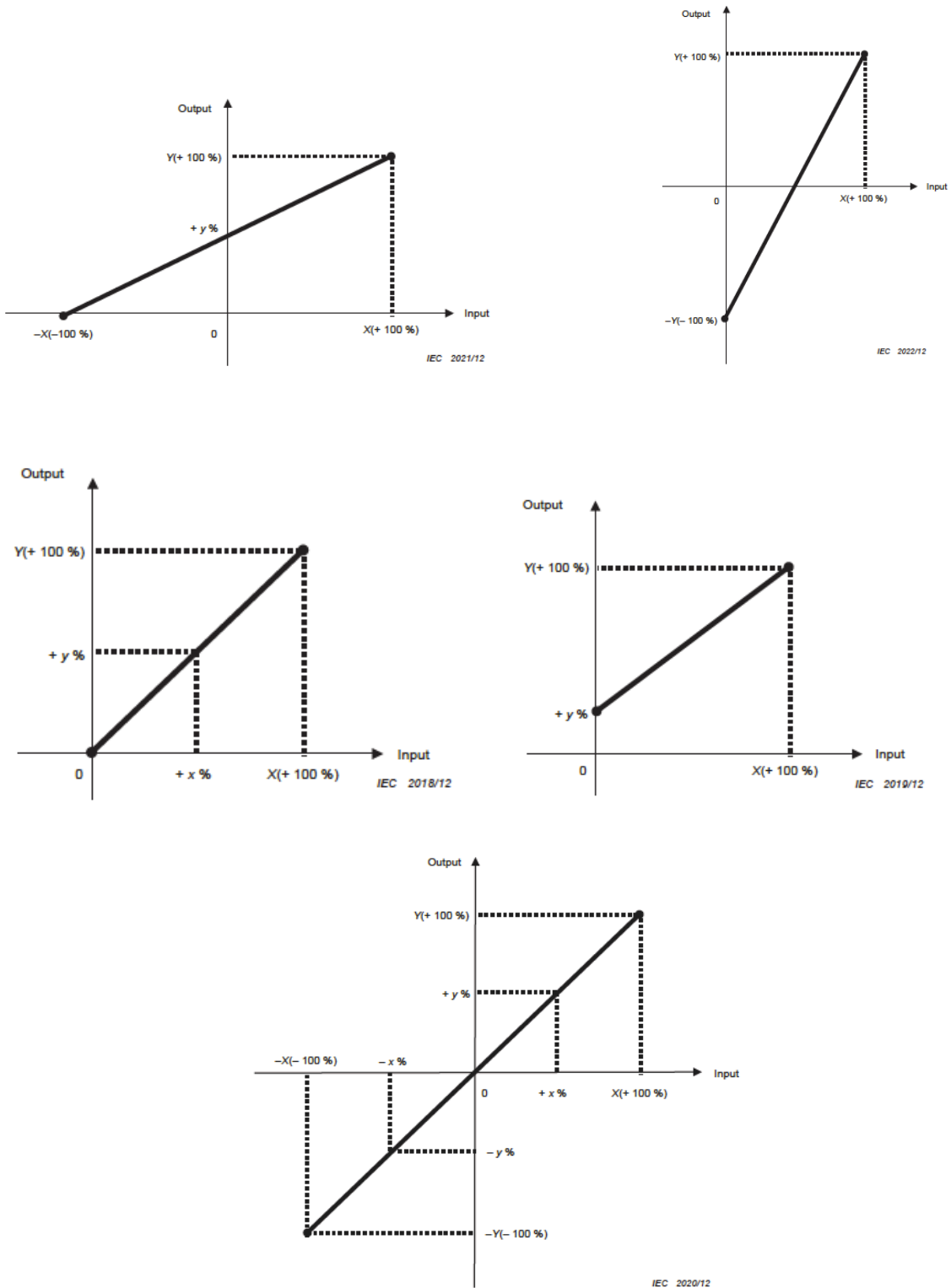
Ο κατασκευαστής πρέπει να αναφέρει τη μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου που συμβαίνει κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες φορτίου εξόδου και εισόδου. Αυτή η τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο ασφαλείας χαμηλής τάσης.

Εφίσταται η προσοχή στα προβλήματα παρεμβολών που μπορεί να προκύψουν, εάν το ρεύμα εξόδου έχει χαμηλή τιμή.

Για την **τάση εξόδου** έχουμε τις παρακάτω προτεινόμενες τιμές:

- 0 έως 1 V
- 0 έως 10 V
- 1... 0...1V
- 10... 0...10V

Για τους αναλογικούς μορφοτροπείς, η χρησιμοποιούμενη **συνάρτηση μεταφοράς** πρέπει να είναι μία από τις ακόλουθες καμπύλες.



Σχήμα 4.2 – Καμπύλες συνάρτησης μεταφοράς

#### 4.1.2.3 Άλλες γενικές απαιτήσεις

Το σήμα εξόδου πρέπει να περιορίζεται σε μέγιστο διπλάσιο της ανώτερης ονομαστικής τιμής.

Όταν το μέτρο δεν είναι μεταξύ των κατώτερων και ανώτερων ονομαστικών τιμών του, ο μετατροπέας δεν θα πρέπει, κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες, για παράδειγμα υπέρταση ή υπο-τάση, να παράγει μια έξοδο που να έχει τιμή μεταξύ των κατώτερων και ανώτερων ονομαστικών τιμών.

Οι μορφοτροπείς πρέπει να είναι σε θέση να αντέχουν, χωρίς ζημιές, την έκθεση σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -40 ° C έως +70 ° C.

Όταν ο μορφοτροπέας είναι σφραγισμένος για να αποτραπεί η μη εξουσιοδοτημένη ρύθμιση, η πρόσβαση στο εσωτερικό κύκλωμα και στα εξαρτήματα μέσα στην θήκη δεν θα πρέπει να είναι δυνατή χωρίς να καταστραφεί η σφράγιση.

## 4.2 Ανασκόπηση της σειράς διεθνών προτύπων IEC 61869

### Instrument transformers [5] [6] [7]

Το παρόν Διεθνές Πρότυπο εφαρμόζεται σε νέους μετασχηματιστές με αναλογική ή ψηφιακή έξοδο για χρήση με ηλεκτρικά όργανα μέτρησης ή ηλεκτρικές προστατευτικές συσκευές με ονομαστικές συχνότητες από 15 Hz έως 100 Hz.

#### 4.2.1 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας

- Οι μετασχηματιστές οργάνων ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 – Κατηγορίες θερμοκρασίας

Category	Minimum temperature	Maximum temperature
-5/40	-5	40
-25/40	-25	40
-40/40	-40	40

NOTE In the choice of the temperature category, storage and transportation conditions should be also considered.

- Το υψόμετρο δεν υπερβαίνει τα 1000 m. Σε περιπτώσεις όπου το υψόμετρο υπερβαίνει την προαναφερθείσα τιμή ακολουθείται διαδικασία διόρθωσης των ενδείξεων.
- Άλλες συνθήκες λειτουργίας για εσωτερικούς μετασχηματιστές οργάνων είναι οι εξής:
  - Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να παραμεληθεί,
  - Ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν πρέπει να είναι σημαντικά μολυσμένος από σκόνη, καπνό, διαβρωτικά αέρια, ατμούς ή άλας;
  - Οι συνθήκες υγρασίας έχουν ως εξής:
    - 1) η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας, που μετράται για μια περίοδο 24 ωρών, δεν είναι υπερβαίνει το 95%.
    - 2) η μέση τιμή της πίεσης υδρατμών για μια περίοδο 24 ωρών δεν είναι υπερβαίνει τα 2.2 kPa.
    - 3) η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας για μια περίοδο ενός μηνός δεν είναι υπερβαίνει το 90%.
    - 4) η μέση τιμή της πίεσης των υδρατμών για περίοδο ενός μηνός δεν είναι υπερβαίνει τα 1.8 kPa.
- Άλλες συνθήκες λειτουργίας για εξωτερικούς μετασχηματιστές οργάνων είναι οι εξής:
  - Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος, μετρούμενη σε περίοδο 24 ωρών δεν υπερβαίνει τους 35 ° C.
  - Πρέπει να ληφθεί υπόψη η ηλιακή ακτινοβολία έως το επίπεδο των 1000 W/m<sup>2</sup> (σε μια καθαρή ημέρα το μεσημέρι).
  - Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να μολυνθεί από σκόνη, καπνό, διαβρωτικά αέρια, ατμούς ή αλάτι. Η ρύπανση δεν υπερβαίνει τα επίπεδα ρύπανσης που αναφέρονται στο IEC 60815.
  - Η πίεση ανέμου δεν υπερβαίνει τα 700 Pa (αντιστοιχεί σε ταχύτητα ανέμου 34 m/s).
  - Η επίστρωση πάγου δεν υπερβαίνει τα 20 mm.
- Για τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε σημείο όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να είναι σημαντικά εκτός της κανονικής κλίμακας συνθηκών λειτουργίας που αναφέρεται στο σημείο 4.2.1, θα πρέπει να καθορίζονται οι προτιμώμενες κλίμακες ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας.



- -50 ° C και 40 ° C για πολύ ψυχρά κλίματα,
  - -5 ° C και 50 ° C για πολύ ζεστά κλίματα.
- Για την **γείωση** του συστήματος ισχύει:
- 1) **Απομονωμένο ουδέτερο σύστημα** (ένα σύστημα όπου το ουδέτερο σημείο δεν είναι σκόπιμα συνδεδεμένο με τη γη, εκτός από τις συνδέσεις υψηλής σύνθετης αντίστασης για λόγους προστασίας ή μέτρησης)
  - 2) **Συντονισμένο γειωμένο σύστημα** (ένα σύστημα στο οποίο ένα ή περισσότερα ουδέτερα σημεία συνδέονται με τη γη μέσω αντιδράσεων που αντισταθμίζουν περίπου την χωρητική συνιστώσα ενός ρεύματος σφάλματος μονοφασικής προς γη)
  - 3) **Γειωμένο ουδέτερο σύστημα:**
    - Σταθερά γειωμένο ουδέτερο σύστημα (ένα σύστημα του οποίου τα ουδέτερα σημεία είναι γειωμένα απευθείας)
    - Γειωμένο με αντίσταση ουδέτερο σύστημα (ένα σύστημα του οποίου το ουδέτερο σημείο είναι γειωμένο μέσω αντιστάσεων για να περιορίσει τα ρεύματα σφάλματος γείωσης).
- Οι τυπικές τιμές της **ονομαστικής συχνότητας** είναι 16 2/3 Hz, 25 Hz, 50 Hz και 60 Hz.
- Στο πρότυπο καθορίζεται μία **σειρά από δοκιμές** που έχουν σκοπό να επιβεβαιώσουν τη σωστή λειτουργία των μετασχηματιστών και ταξινομούνται ως εξής:
- Δοκιμή τύπου: δοκιμή σε εξοπλισμό που αποδεικνύει ότι όλος ο εξοπλισμός που κατασκευάζεται σύμφωνα με τις ίδιες προδιαγραφές συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις που δεν καλύπτονται από τις συνήθεις δοκιμές.
  - Δοκιμή ρουτίνας: μια δοκιμή στην οποία υποβάλλεται κάθε μεμονωμένο κομμάτι του εξοπλισμού. Δοκιμές ρουτίνας είναι για το σκοπό της αποκάλυψης κατασκευαστικών ελαττωμάτων. Δεν επηρεάζουν τις ιδιότητες και την αξιοπιστία του αντικειμένου δοκιμής.
  - Ειδική δοκιμή: άλλη από δοκιμή τύπου ή δοκιμή ρουτίνας, που θα συμφωνηθεί από τον κατασκευαστή και τον αγοραστή.

#### 4.2.2 Πρόσθετες απαιτήσεις για μετασχηματιστές ρεύματος

Οι τυπικές τιμές της ονομαστικής ισχύος για τις κλάσεις μέτρησης είναι:

2.5 - 5.0 - 10 - 15 και 30 VA.

Μπορούν να επιλεγούν τιμές άνω των 30 VA για να ταιριάζουν στην εφαρμογή.

- Για μετρητικούς μετασχηματιστές ρεύματος, η κλάση ακριβείας ορίζεται από το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό του σφάλματος λόγου ( $\epsilon$ ) στο ονομαστικό ρεύμα και την ονομαστική ισχύ. Οι τυπικές κλάσεις ακριβείας για τη μέτρηση μετασχηματιστών ρεύματος είναι:

$$0.1 - 0.2 - 0.2S - 0.5 - 0.5S - 1 - 3 - 5$$

Για τις κλάσεις 0.1 – 0.2 – 0.5 και 1, το σφάλμα λόγου και η μετατόπιση φάσης στην ονομαστική συχνότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 4.4, όπου το φορτίο μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή από 25% έως 100% της εξόδου.

Για τις κατηγορίες 0.2S και 0.5S το σφάλμα λόγου και η μετατόπιση φάσης στην ονομαστική συχνότητα δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 4.5, όπου φορτίο μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή από 25% έως 100% της ονομαστικής ισχύος.

Για την κλάση 3 και την κλάση 5, το σφάλμα λόγου στην ονομαστική συχνότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 4.6, όπου φορτίο μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή από 50% έως 100% της ονομαστικής ισχύος.

Δεν υπάρχουν καθορισμένα όρια μετατόπισης φάσης για την κλάση 3 και την κλάση 5.

Για όλες τις κλάσεις, η επιβάρυνση πρέπει να έχει συντελεστή ισχύος 0,8, με εξαίρεση ότι, όταν το το φορτίο είναι μικρότερο από 5 VA, πρέπει να χρησιμοποιείται συντελεστής ισχύος 1, με ελάχιστη τιμή 1 VA.

Πίνακας 4.4 - Όρια του λόγου σφάλματος και της μετατόπισης φάσης για μετασχηματιστές μέτρησης ρεύματος (κλάσεις 0.1 έως 1)

Accuracy class	Ratio error				Phase displacement							
	± %				± Minutes				± Centiradians			
	at current (% of rated)				at current (% of rated)				at current (% of rated)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Πίνακας 4.5 - Όρια σφάλματος λόγου και μετατόπισης φάσης για μετασχηματιστές μέτρησης ρεύματος (κλάσεις 0,2S και 0,5S)

Accuracy class	Ratio error					Phase displacement									
	± %					± Minutes					± Centiradians				
	at current (% of rated)					at current (% of rated)					at current (% of rated)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Πίνακας 4.6 - Όρια σφάλματος λόγου για μετασχηματιστές μέτρησης ρεύματος (κλάσεις 3 και 5)

Class	Ratio error	
	± %	
	at current (% of rated)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

- Οι τυπικές τιμές για **το ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος τυλίγματος** είναι:

10 – 12.5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A,

και τα δεκαδικά τους πολλαπλάσια ή κλάσματα. Οι προτιμώμενες τιμές είναι αυτές που υπογραμμίζονται.

- Οι τυπικές τιμές για το **ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος τυλίγματος** είναι 1A και 5A.

#### 4.2.3 Πρόσθετες απαιτήσεις για μετασχηματιστές επαγωγικής τάσης

- Η ονομαστική τάση αντοχής μικρής διάρκειας ονομαστικής ισχύος είναι 3 kV (r.m.s.).
- Οι τυποποιημένες τιμές ονομαστικής ισχύος με συντελεστή ισχύος 1, σε voltamperes, είναι:  
1 - 2.5 - 5.0 - 10 VA (περιοχή φόρτισης I)
- Οι τυποποιημένες τιμές ονομαστικής ισχύος με συντελεστή ισχύος 0,8 υστέρησης, σε voltamperes, είναι:  
10 - 25 - 50 - 100 VA (περιοχή φόρτισης II)

Η ονομαστική ισχύς ενός τριφασικού μετασχηματιστή είναι η ονομαστική ισχύς ανά φάση.

- Για τη μετασχηματιστές μέτρησης τάσης, η κλάση ακριβείας χαρακτηρίζεται από το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό σφάλματος τάσης στην ονομαστική τάση και με ονομαστικό φορτίο, που προδιαγράφεται για την κλάση ακριβείας. Οι τυποποιημένες κλάσεις ακριβείας για μονοφασικούς επαγωγικούς μετασχηματιστές είναι:

0.1 – 0.2 – 0.5 – 1.0 – 3.0

- Το σφάλμα τάσης και η μετατόπιση φάσης στην ονομαστική συχνότητα δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 4.7 σε οποιαδήποτε τάση μεταξύ 80% και 120% της ονομαστικής τάσης και των φορτίων:
  - οποιαδήποτε τιμή από 0 VA έως 100% της ονομαστικής επιβάρυνσης, με συντελεστή ισχύος ίσο με 1 για το εύρος φορτίου I.
  - μεταξύ 25% και 100% της ονομαστικής επιβάρυνσης με συντελεστή ισχύος 0.8 υστέρησης για το εύρος φορτίου II.

Τα σφάλματα προσδιορίζονται στους ακροδέκτες του μετασχηματιστή και περιλαμβάνουν τις επιδράσεις οποιωνδήποτε ασφαλειών ή αντιστάσεων ως αναπόσπαστο μέρος του μετασχηματιστή. Για τους μετασχηματιστές με ρευματολήπτες στο δευτερεύον τύλιγμα, οι απαιτήσεις ακρίβειας αναφέρονται στην υψηλότερη αναλογία μετασχηματισμού, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά.

Πίνακας 4.7 - Όρια σφάλματος τάσης και μετατόπιση φάσης για μετασχηματιστές μέτρησης τάσης

Class	Voltage (ratio) error $\epsilon_v$ ±%	Phase displacement $\Delta\phi$	
		±Minutes	±Centiradians
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Not specified	Not specified

NOTE Where transformers have two separate secondary windings, allowance must be made for the mutual interdependence. It is necessary to specify an output range for each winding under test and each should meet the accuracy requirements within this range with the untested windings at any burden from zero to rated value.

If no specification of output ranges is supplied, these ranges for the winding under test shall be from 25 % to 100 % of the rated output for each winding.

If one of the windings is loaded only occasionally for short periods or only used as a residual voltage winding, its effect upon other windings may be neglected.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

**Ανασκόπηση των διεθνών προτύπων IEC 61400-25 series -  
Communications for monitoring and control of wind power  
plants**

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ένα ευνοϊκό νομικό πλαίσιο σε πολλές χώρες έχουν προκαλέσει ανάπτυξη των αιολικών σταθμών και της αιολικής ενέργειας. Παραδοσιακά, οι ανεμογεννήτριες έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν ως ανεξάρτητες μηχανές, οι οποίες μπορούν να επιτύχουν τον κύριο στόχο τους ως παραγωγός ενέργειας χωρίς συνεχή έλεγχο ή παρακολούθηση. Λόγω του γεγονότος ότι η ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. ταχύτητα ανέμου) και λαμβάνοντας υπόψη ότι σε μερικές εθνικές ρυθμίσεις όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αιολικά πάρκα μπορεί να εισάγεται απευθείας στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, αυτές οι μονάδες παραγωγής μπορούν να συμβάλουν στην αστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, εάν δεν περιλαμβάνουν τα κατάλληλα συστήματα ελέγχου.

Η ενσωμάτωση των αιολικών πάρκων στον ηλεκτρισμό συστήματα, συμβάλλοντας στην ρύθμιση ενεργού και άεργου ισχύος, συνεπάγεται νέες απαιτήσεις στις δυνατότητες επικοινωνίας των ανεμογεννητριών και των κέντρων ελέγχου. Η χρήση τυποποιημένων μοντέλων πληροφόρησης και συστημάτων επικοινωνίας μπορεί να απλοποιήσει και να ενοποιήσει την ενσωμάτωση των αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας στην ολόκληρο σύστημα ισχύος.

Πριν να εξηγηθεί πώς οι αιολικές μονάδες μπορούν να ενσωματωθούν χωρίς προβλήματα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά του προτύπου IEC 61400-25. Το πρότυπο αυτό βασίζεται στις αρχές που περιγράφονται στο πρότυπο IEC 61850 που έχει οριστεί για την ενσωμάτωση διαφόρων ευφυών ηλεκτρονικών συσκευών στα αυτοματοποιημένα συστήματα υποσταθμών (SAS). Το πρότυπο IEC 61850 βασίζεται σε δύο αρχές:

1. Ορίζει ένα κλιμακωτό και ιεραρχικό μοντέλο πληροφοριών που μπορεί να συγκεράσει τις διαφορετικές παραμέτρους και τα δεδομένα που εναλλάσσονται μεταξύ των συντελεστών του συστήματος. Σε αυτό το μοντέλο πληροφοριών όλες οι πληροφορίες είναι πλήρως ετικετοποιημένες και απαιτεί από κάθε κατασκευαστή να χρησιμοποιεί τις τυπικές αναφορές για κάθε μορφή πληροφορίας.
2. Διαχωρίζει τις αιτήσεις από τις στοίβες επικοινωνίας. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και οι τεχνολογίες εξελίσσονται αρκετά ταχύτερα από τις εφαρμογές που τις χρησιμοποιούν. Το πρότυπο ορίζει ένα αφαιρετικό μοτίβο με ένα σύνολο υπηρεσιών, το οποίο επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση των τεχνολογιών επικοινωνίας ή των πρωτοκόλλων, χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η εφαρμογή στην κορυφή τους.

Η επικοινωνία εντός και εκτός αιολικών σταθμών συνεπάγεται διαφορετικές απαιτήσεις σε πρωτόκολλα και τεχνολογίες επικοινωνίας. Μια συνεχής παρακολούθηση και έλεγχος όλων των ανεμογεννητριών μέσα σε ένα αιολικό πάρκο μπορεί να απαιτήσει την ανταλλαγή τεράστιου όγκου δεδομένων και συνεπώς τη χρήση δικτύου υψηλού εύρους ζώνης και πρωτοκόλλων που ελαχιστοποιούν το μέγεθος των πακέτων που αποστέλλονται στο δίκτυο. Ο έλεγχος ολόκληρου του συστήματος εξωτερικά μπορεί να απαιτεί να παρακολουθεί περιοδικά μόνο μερικά σύνολα

παραμέτρων και να ζητά αλλαγές σε ορισμένες ρυθμίσεις, αν το απαιτεί η σταθερότητα του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, η ποσότητα των δεδομένων μειώνεται και ο περιορισμός του εύρους ζώνης μπορεί να εξαφανιστεί [8].

Ο κύριος σκοπός της σειράς προτύπων είναι η ενοποίηση συστημάτων επικοινωνίας σε αιολικούς σταθμούς, τόσο για εσωτερική ανταλλαγή πληροφοριών όσο και για τηλεχειρισμό. Τα περισσότερα από τα τρέχοντα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται σε αιολικά πάρκα είναι ειδικά για τους πωλητές και τα πρωτόκολλα και τα δεδομένα που παρέχονται από αυτά τα συστήματα εξαρτώνται συνεπώς από τον κατασκευαστή τους.

Το παρόν κεφάλαιο εξηγεί τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου IEC 61400-25 και επισημαίνει επίσης τα πλεονεκτήματά του για την ενσωμάτωση του ανέμου εκμεταλλεύσεις στο ηλεκτρικό σύστημα.

## 5.1 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 61400-25-1

### **Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models [9]**

Η σειρά IEC 61400-25 έχει σχεδιαστεί για περιβάλλον επικοινωνίας που υποστηρίζεται από μοντέλο πελάτη-διακομιστή. Καθορίζονται τρεις περιοχές, οι οποίες διαμορφώνονται ξεχωριστά για να διασφαλιστεί η δυνατότητα κλιμάκωσης των υλοποιήσεων:

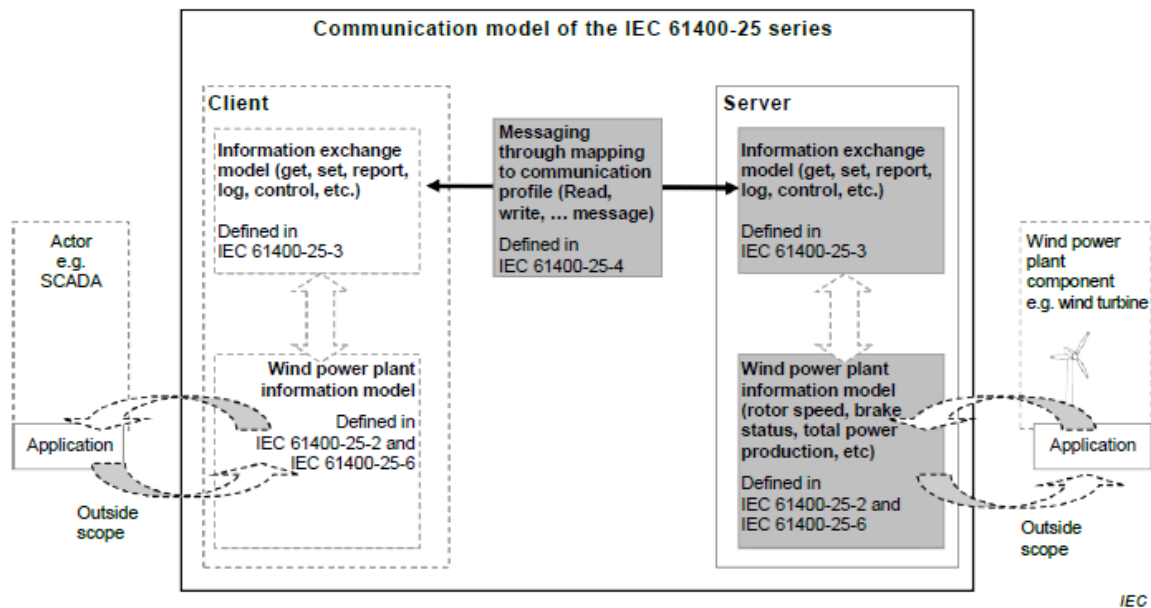
- 1) Μοντέλα πληροφοριών αιολικής ενέργειας,
- 2) μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών, και
- 3) χαρτογράφηση αυτών των δύο μοντέλων σε ένα τυπικό προφίλ επικοινωνίας.

Το μοντέλο πληροφόρησης του σταθμού αιολικής ενέργειας και το μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών, που εξετάζονται από κοινού, αποτελούν μια διεπαφή μεταξύ πελάτη και διακομιστή. Σε αυτό το συνδυασμό, το μοντέλο πληροφόρησης του σταθμού αιολικής ενέργειας χρησιμεύει ως ένα πλαίσιο ερμηνείας για δεδομένα σχετικά με αιολικά πάρκα. Το μοντέλο πληροφόρησης του σταθμού αιολικής ενέργειας χρησιμοποιείται από τον εξυπηρετητή για να προσφέρει στον πελάτη μια ομοιόμορφη προβολή των στοιχείων της αιολικής ενέργειας. Το μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών αντανακλά όλη την ενεργή λειτουργικότητα του διακομιστή.

Η σειρά IEC 61400-25 επιτρέπει τη διασύνδεση μεταξύ ενός ετερογενούς συνδυασμού πελατών και εξυπηρετητών από διαφορετικούς κατασκευαστές και προμηθευτές.

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.1, η σειρά IEC 61400-25 ορίζει ένα διακομιστή με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Οι πληροφορίες που παρέχονται από μια συνιστώσα αιολικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα η «ταχύτητα στροβίλου ανεμογεννήτριας» ή η «συνολική παραγωγή ισχύος ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος» μοντελοποιούνται και διατίθενται για πρόσβαση. Οι πληροφορίες που διαμορφώθηκαν στη σειρά IEC 61400-25 ορίζονται στο IEC 61400-25-2.
- Υπηρεσίες για την ανταλλαγή αξιών των διαμορφωμένων πληροφοριών που ορίζονται στο IEC 61400-25-3
- Χαρτογράφηση σε ένα προφίλ επικοινωνίας, παρέχοντας μια στοιβή πρωτοκόλλου για τη μεταφορά των ανταλλασσόμενων τιμών από τις διαμορφωμένες πληροφορίες (IEC 61400-25-4).



Σχήμα 5.1 - Εννοιολογικό μοντέλο προτύπου επικοινωνίας της σειράς IEC 61400-25



### 5.1.1 Συνολική περιγραφή της σειράς IEC 61400-25

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αιολικής ενέργειας είναι τεχνικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των αιολικών σταθμών. Αποτελούνται από διάφορες επιμέρους συνιστώσες, οι οποίες δεν θα διαφοροποιούνται στις ακόλουθες περιπτώσεις. Όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία υπάγονται στην περιοχή εφαρμογής της σειράς IEC 61400-25.

Οι πληροφορίες που διαμορφώθηκαν στη σειρά IEC 61400-25 καλύπτουν τα ακόλουθα αντίστοιχα στοιχεία:

- Ανεμογεννήτρια: ρότορα, κιβώτιο ταχυτήτων, γεννήτρια, μετατροπέας, κεντρικό σύστημα, σύστημα περιστροφής, πύργος, σύστημα συναγερμού
- Μετεωρολογικό σύστημα: μετεωρολογικές συνθήκες του αιολικού σταθμού
- Σύστημα διαχείρισης αιολικής ενέργειας: έλεγχος αιολικής ενέργειας
- Ηλεκτρικό σύστημα: σύνδεση εσωτερικού ηλεκτρικού δικτύου του αιολικού πάρκου

### 5.1.2 Γενικές απαιτήσεις, περιεχόμενο και λειτουργίες της επικοινωνίας

Οι αιολικοί σταθμοί παρακολουθούνται και ελέγχονται από διάφορους εξωτερικούς φορείς, όπως τοπικά ή απομακρυσμένα συστήματα SCADA, real time τοπικά συστήματα ελέγχου, κέντρα διανομής της ενέργειας κλπ. Στόχος της παρακολούθησης των αιολικών σταθμών είναι η παροχή πληροφοριών στους φορείς για το πλήρες σύστημα και τα εγκατεστημένα εξαρτήματα. Οι πληροφορίες αυτές θεωρούνται σημαντική βάση γνώσεων για τον έλεγχο των αιολικών σταθμών. Έτσι, οι αιολικοί σταθμοί και οι εξωτερικοί παράγοντες θα πρέπει να πληρούν μια βασική προϋπόθεση για την ανταλλαγή πληροφοριών στο πλαίσιο της παρακολούθησης και του ελέγχου: Θα είναι σε θέση να επικοινωνούν με τον έξω κόσμο.

Τυπικά, κάθε στοιχείο του συστήματος, το οποίο πρέπει να ανταλλάσσει πληροφορίες με άλλα εξαρτήματα, εξοπλίζεται με τη λεγόμενη έξυπνη ηλεκτρονική συσκευή (intelligent electronic device - IED), η οποία μπορεί να στείλει δεδομένα σε εξωτερικούς δέκτες και να λαμβάνει δεδομένα από εξωτερικούς αποστολείς. Μια ανεμογεννήτρια διαθέτει συνήθως έναν σύστημα ελέγχου της γεννήτριας, το οποίο είναι κυρίως υπεύθυνο για την εσωτερική παρακολούθηση και τον έλεγχο του επιμέρους στοιχείου, αλλά επιτρέπει επίσης εξωτερική παρακολούθηση και έλεγχο.

Οι πληροφορίες είναι το περιεχόμενο της επικοινωνίας που πραγματοποιείται στο πλαίσιο της παρακολούθησης και του ελέγχου. Τα βασικά στοιχεία είναι τα ακατέργαστα δεδομένα από τα επιμέρους τμήματα του συστήματος αιολικής ενέργειας, τα οποία πρέπει να μετατραπούν σε

καθορισμένα και να ταξινομηθούν. Υπάρχουν πέντε τύποι πληροφοριών που μπορούν να διαφοροποιηθούν και είναι σημαντικοί για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των αιολικών σταθμών:

- ⇒ πληροφορίες διαδικασιών,
- ⇒ στατιστικές πληροφορίες,
- ⇒ ιστορικές πληροφορίες,
- ⇒ πληροφορίες ελέγχου,
- ⇒ περιγραφικές πληροφορίες.

Οι τρεις πρώτες κατηγορίες πληροφοριών παρέχουν τα περιεχόμενα που απαιτούνται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των αιολικών σταθμών. Οι πληροφορίες αυτές κοινοποιούνται από τους αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Οι πληροφορίες διεργασίας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά ορισμένων ολοκληρωμένων συστημάτων και των συστατικών τους, στις τρέχουσες καταστάσεις τους. Οι στατιστικές πληροφορίες είναι συχνά χρήσιμες για την αξιολόγηση της λειτουργίας ενός αιολικού σταθμού. Χρησιμοποιώντας ιστορικές πληροφορίες, μπορεί να είναι δυνατή η παρακολούθηση των λειτουργικών τάσεων στα αρχεία καταγραφής και στις αναφορές. Οι πληροφορίες ελέγχου προορίζονται για τη μετάδοση των περιεχομένων που απαιτούνται για τον έλεγχο των αιολικών σταθμών, όπως τα προφίλ πρόσβασης, τα σημεία ρύθμισης, οι παράμετροι και οι εντολές. Οι πληροφορίες αυτές θα πρέπει πρώτα να κοινοποιούνται από τους φορείς σε σταθμούς παραγωγής αιολικής ενέργειας. Οι αιολικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής αποθηκεύουν πληροφορίες ελέγχου και παρέχουν αυτό για περαιτέρω επικοινωνία σε υπο-διαδικασίες.

Περιγραφικές πληροφορίες είναι ο τύπος και η ακρίβεια των πληροφοριών, καθώς και ο χρόνος και η περιγραφή των δεδομένων.

Οι επικοινωνίες των φορέων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των αιολικών σταθμών απαιτούν ειδικές λειτουργίες για τη διαμόρφωση, την εκτέλεση και την παρακολούθηση της ανταλλαγής πληροφοριών με αιολικά πάρκα. Αυτές οι λειτουργίες μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες δύο κύριες κατηγορίες:

- **Επιχειρησιακές λειτουργίες:** Χρησιμοποιούνται από τους φορείς για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τους αιολικούς σταθμούς και για την αποστολή οδηγιών ελέγχου σε αιολικούς σταθμούς. Οι επιχειρησιακές λειτουργίες περιλαμβάνουν:
  - Παρακολούθηση: επιχειρησιακή λειτουργία που χρησιμοποιείται για την τοπική ή απομακρυσμένη παρατήρηση ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας για οποιοσδήποτε αλλαγές που μπορεί να προκύψουν. Ο όρος μπορεί να χρησιμοποιείται για την παρατήρηση της συμπεριφοράς μιας τιμής δεδομένων ή μιας ομάδας τιμών δεδομένων.
  - Έλεγχος: Αλλαγή και τροποποίηση, παρεμβολή, αλλαγή, έλεγχος, παραμετροποίηση, βελτιστοποίηση αιολικών σταθμών.
  - Ανάκτηση δεδομένων: συλλογή δεδομένων αιολικής ενέργειας

- Καταγραφή: Η καταγραφή είναι μια λειτουργία που προορίζεται για τη διαδοχική καταγραφή δεδομένων και συμβάντων σε χρονολογική σειρά.
  - Αναφορά: Η αναφορά είναι μια λειτουργία που προορίζεται για τη μεταφορά δεδομένων από ένα διακομιστή σε έναν πελάτη, που ξεκίνησε από μια διαδικασία εφαρμογής διακομιστή.
- **Λειτουργίες διαχείρισης**: Απαιτούνται για υψηλότερου επιπέδου διαχείριση της ανταλλαγής πληροφοριών. Χρησιμοποιούνται από φορείς για την εξασφάλιση της ακεραιότητας της διαδικασίας παρακολούθησης και ελέγχου. Οι λειτουργίες διαχείρισης που περιλαμβάνονται είναι οι εξής:
    - Διαχείριση χρήστη / πρόσβασης: Δημιουργία, τροποποίηση, διαγραφή χρηστών (διοικητικά), ανάθεση δικαιωμάτων πρόσβασης (διοικητικά), παρακολούθηση πρόσβασης
    - Συγχρονισμός: Συγχρονισμός συσκευών μέσα σε ένα σύστημα επικοινωνίας.
    - Διαγνωστικά (αυτο-παρακολούθηση): Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση και την αυτο-παρακολούθηση του συστήματος επικοινωνίας.
    - Παραμετροποίηση συστήματος: Καθορισμός του τρόπου με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η ανταλλαγή πληροφοριών. ρύθμιση, αλλαγή και λήψη (ανάκτηση) δεδομένων εγκατάστασης συστήματος.

### 5.1.3 Περιγραφή του μοντέλου επικοινωνίας

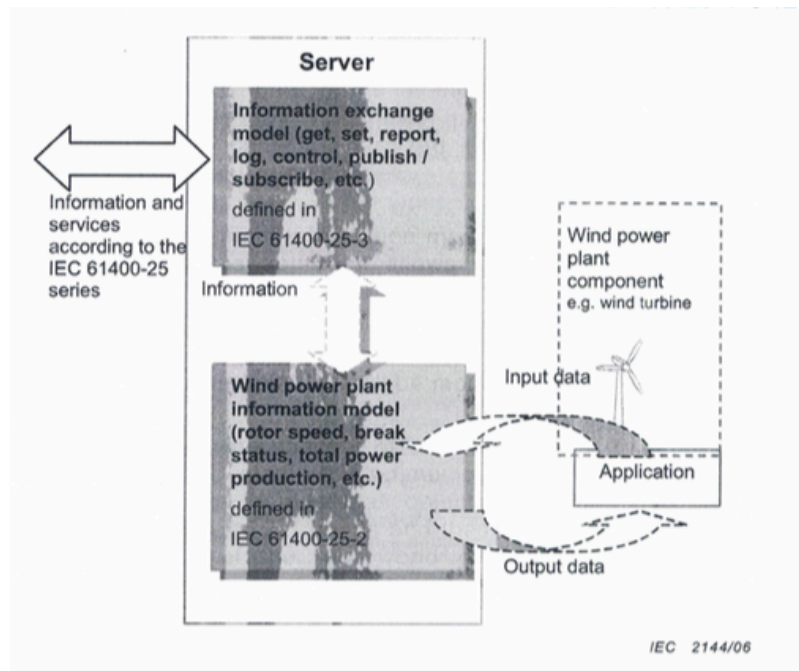
Η σειρά IEC 61400-25 ορίζει ένα μοντέλο επικοινωνίας για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των αιολικών σταθμών, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις απαιτήσεις που έχουν γίνει σε σχέση με την επικοινωνία, σε αφηρημένο επίπεδο. Το μοντέλο επικοινωνίας περιλαμβάνει τρεις χωριστά καθορισμένες περιοχές:

1. Μοντέλο πληροφοριών,
2. Μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών,
3. Χαρτογράφηση του μοντέλου πληροφοριών και του μοντέλου ανταλλαγής πληροφοριών σε τυπικά προφίλ επικοινωνίας.

1. Το μοντέλο πληροφορίας του σταθμού αιολικής ενέργειας (βλ. Σχήμα5.2) παρέχει τα περιεχόμενα που απαιτούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών που λαμβάνει χώρα στο πλαίσιο της παρακολούθησης και του ελέγχου μεταξύ πελάτη και διακομιστή.

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου πληροφοριών αιολικής ενέργειας, ελήφθη υπόψη το πρότυπο προσανατολισμού του αντικειμένου. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την προβολή των αιολικών σταθμών ως πληροφοριακών αντικειμένων και τη μοντελοποίηση μιας κατάλληλης αρχιτεκτονικής πληροφοριών.

Η σειρά IEC 61400-25 χρησιμοποιεί την έννοια της μοντελοποίησης αντικειμένων για να αντιπροσωπεύει τα συστήματα και τις συνιστώσες ενός αιολικού σταθμού παραγωγής ενέργειας με το οποίο επικοινωνεί. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα στοιχεία του πραγματικού κόσμου αναγνωρίζονται ως αντικείμενα που έχουν δεδομένα όπως αναλογικές τιμές, δυαδική κατάσταση, εντολές και σημεία ρύθμισης και αυτά τα αντικείμενα και δεδομένα χαρτογραφούνται σε γενικές, λογικές αναπαραστάσεις των συστατικών του πραγματικού κόσμου ως αέρας μοντέλο πληροφοριών σταθμού παραγωγής ενέργειας.



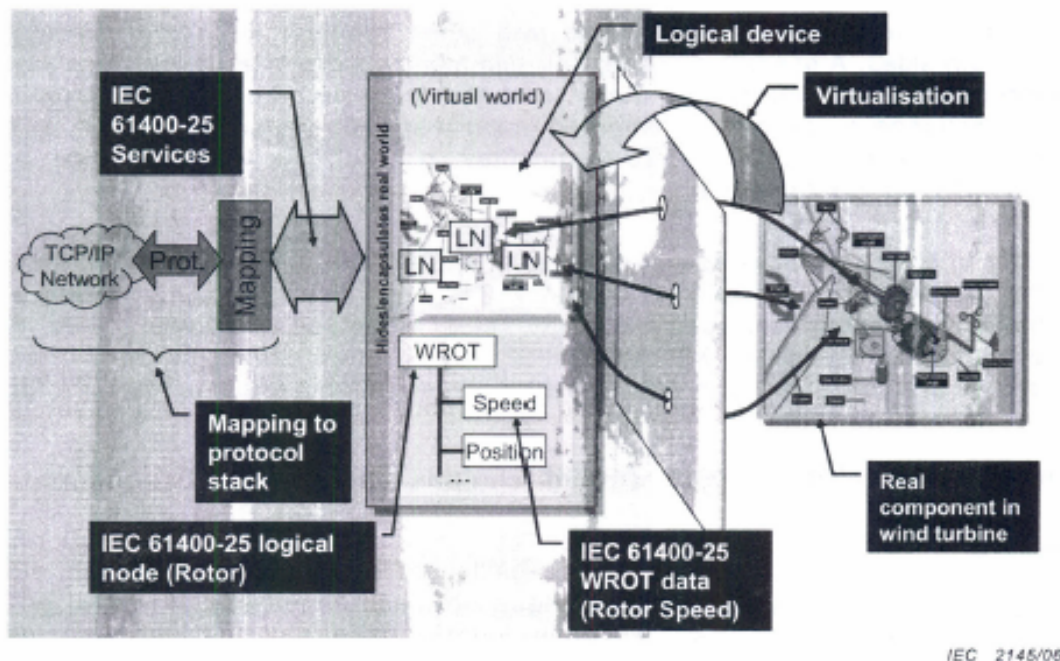
Σχήμα 5.2 - Επεξεργασία δεδομένων από το διακομιστή (εννοιολογική)

Το σπάσιμο ενός στοιχείου πραγματικού κόσμου προς τα κάτω σε αντικείμενα για την παραγωγή ενός μοντέλου αυτού του αντικειμένου περιλαμβάνει την αναγνώριση όλων των δεδομένων και λειτουργικότητας κάθε αντικειμένου που αποτελεί αντικείμενο. Κάθε δεδομένο έχει ένα όνομα και έναν απλό ή πολύπλοκο τύπο (κλάση) και αντιπροσωπεύει δεδομένα στη συσκευή που διαβάζονται ή ενημερώνονται.

Αντί να ασχολούμαστε με λίστες αριθμημένων ποσοτήτων, μια προσέγγιση αντικειμενοστρεφής μας επιτρέπει να οργανώσουμε και να καθορίσουμε τυποποιημένα ονόματα για τυποποιημένα πράγματα, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού. Εάν ο εξοπλισμός διαθέτει έναν άξονα για τον οποίο η ταχύτητα περιστροφής είναι διαθέσιμη για ανάγνωση, έχει το ίδιο όνομα

ανεξάρτητα από τον προμηθευτή αυτού του εξοπλισμού και μπορεί να διαβαστεί από οποιοδήποτε πρόγραμμα πελάτη που γνωρίζει το μοντέλο πληροφοριών.

2. Οι μηχανισμοί ανταλλαγής πληροφοριών βασίζονται σε τυποποιημένα μοντέλα πληροφόρησης για την αιολική ενέργεια. Αυτά τα μοντέλα πληροφοριών και οι μέθοδοι μοντελοποίησης αποτελούν τον πυρήνα της σειράς IEC 61400-25. Η σειρά IEC 61400-25 χρησιμοποιεί την προσέγγιση για τη μοντελοποίηση των πληροφοριών που βρίσκονται σε πραγματικές συνιστώσες όπως απεικονίζεται στην εννοιολογική επισκόπηση στο Σχήμα 5.3. Όλες οι πληροφορίες που διατίθενται για ανταλλαγή με άλλα εξαρτήματα ορίζονται στη σειρά IEC 61400-25. Το μοντέλο παρέχει στο σύστημα αυτοματισμού αιολικής ενέργειας μια εικόνα του πραγματικού κόσμου (διαδικασία του συστήματος ισχύος, γεννήτρια κ.λπ.).



Σχήμα 5.3 – Προσέγγιση μοντέλου (εννοιολογικά)

Η σειρά IEC 61400-25 ορίζει την ανταλλαγή πληροφοριών και πληροφοριών κατά τρόπο ανεξάρτητο από συγκεκριμένη υλοποίηση (δηλ. Χρησιμοποιεί αφηρημένα μοντέλα). Χρησιμοποιεί επίσης την έννοια της τεχνολογίας εικονικοποίησης (virtualization). Η εικονικοποίηση παρέχει μια άποψη των πτυχών μιας πραγματικής συσκευής που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την ανταλλαγή πληροφοριών με άλλες συσκευές.

Η προσέγγιση είναι να αποσυνθέσουμε τις λειτουργίες στις μικρότερες οντότητες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών. Η ευκρίνεια δίνεται από μια εύλογη κατανομή των εν λόγω οντοτήτων σε αποκλειστικές συσκευές (IED). Αυτές οι οντότητες

ονομάζονται λογικοί κόμβοι logical nodes (π.χ. μια εικονική αναπαράσταση μιας κλάσης ρότορα, με το τυποποιημένο όνομα κλάσης WROT). Οι λογικοί κόμβοι μοντελοποιούνται και ορίζονται από την άποψη της εννοιολογικής εφαρμογής. Οι λογικοί κόμβοι συλλέγονται σε μια λογική συσκευή που αντιπροσωπεύει για παράδειγμα μια πλήρη ανεμογεννήτρια.

Με βάση τη λειτουργικότητά τους, ένας λογικός κόμβος περιέχει μια λίστα δεδομένων (π.χ. ταχύτητα δρομέα) με ειδικές πληροφορίες. Τα δεδομένα έχουν μια δομή και μια καλά καθορισμένη σημασιολογία (δηλαδή στο πλαίσιο των συστημάτων αιολικής ενέργειας). Οι πληροφορίες που αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα ανταλλάσσονται από τις υπηρεσίες σύμφωνα με τις υπηρεσίες ανταλλαγής πληροφοριών που ορίζονται.

Οι λογικοί κόμβοι και τα δεδομένα που περιέχονται είναι ζωτικής σημασίας για το μοντέλο πληροφοριών και τις υπηρεσίες ανταλλαγής πληροφοριών για ανεμογεννήτριες για την επίτευξη διαλειτουργικότητας.

**3.** Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διακομιστή και πελάτη απαιτεί ομοιόμορφο πρωτόκολλο επικοινωνίας και στις δύο πλευρές. Μια συγκεκριμένη χαρτογράφηση σε ένα προφίλ επικοινωνίας καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο υλοποιούνται τα αντικείμενα στο μοντέλο πληροφοριών αιολικής ενέργειας και οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες που ορίζονται στο μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη στοιβή πρωτοκόλλων, δηλαδή ένα πλήρες πρωτόκολλο επικοινωνίας. Το IEC 61400-25-4 καθορίζει λεπτομερώς τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που εφαρμόζονται στη σειρά IEC 61400-25.

#### 5.1.4 Μοντέλο πληροφοριών για τους σταθμούς αιολικής ενέργειας

Για λόγους μοντελοποίησης, οι πληροφορίες θα μπορούσαν να είναι λογικοί κόμβοι, δεδομένα ή χαρακτηριστικά γνωρίσματα των δεδομένων. Τα δεδομένα αποτελούνται από χαρακτηριστικά δεδομένων που μπορεί να είναι για παράδειγμα η τιμή (ενός μέτρου, της κατάστασης, της τιμής ρύθμισης κλπ.), Το συνοδευτικό όνομα, ο χρόνος, η ποιότητα, η ακρίβεια, η μονάδα κ.λπ.

Ένας αιολικός σταθμός αποτελείται από διαφορετικούς τύπους πληροφοριών. Εκτός από τα δεδομένα πηγών, οι ελεγκτές ανεμογεννητριών συνήθως παράγουν μια τεράστια ποσότητα πρόσθετων πληροφοριών (μέσος όρος 10 λεπτών, συναγερμοί, αρχεία καταγραφής, μετρητές, χρονοδιακόπτες κ.λπ.). Αυτές οι πολύτιμες πληροφορίες αποθηκεύονται τοπικά και διατίθενται για μελλοντική χρήση ή ανάλυση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών πληροφοριών και ο ορισμός τους χρησιμοποιείται στη σειρά IEC 61400-25.

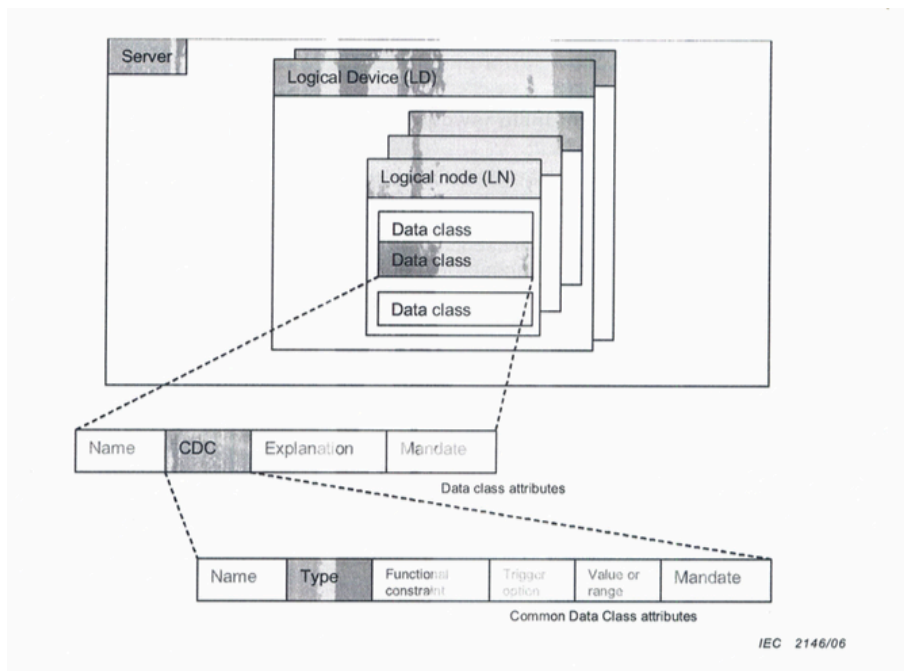
Πίνακας 5.1 – Κατηγορίες πληροφοριών σταθμών αιολικής ενέργειας

<b>category</b>	<b>description</b>
<b>process information</b>	
state information	Discrete information concerning the current condition or behaviour of a component or system
status	Condition of a component or system (st1/st2/ ..stn)
alarm	Statement of safety intervention by for example the turbine control system
event	State transition (status, alarm, command)
analogue information	Continuous information concerning the current condition or behaviour of a component or system
measured data	(Sampled) value of a process quantity
processed data	Measured value, which has been processed (IOM-average/. ...)
three fase data	Measured value of a three phase electric power quantity
<b>control information</b>	
control information	Discrete information concerning the current condition or behaviour of a component or system
command	Controllable status for system behaviour (enable/disable, activate/deactivate etc)
set point	Reference value for a process quantity
parameter	Controllable value for system behaviour (adjustment)
<b>derived information</b>	
statistical information	The result of applying a statistical algorithm to a set of data.
timing data	Total time duration of a specific state
counting data	Total number of occurrences of a specific event
characteristic data	Properties of information or data observed (min, max, average, std. dev, etc.)
historical information	Information about the time passed
log	Chronological list of events for a specific period of time



transient log	Event triggered chronological list of high resolution source information for a short period of time.
report	Periodical notification comprising the information that represent the state and data requested in the report control block.

Επειδή όλες οι κατηγορίες πληροφοριών που παρατίθενται στον πίνακα 5.1 περιλαμβάνουν τις δικές τους μορφές και ιδιότητες, η σειρά IEC 61400-25 πρέπει να καθορίσει ένα γενικό μοντέλο πληροφόρησης για την αιολική ενέργεια. Η δομή αυτού του μοντέλου ορατότητας από την κορυφή προς την κάτω πλευρά είναι ιεραρχική και βασίζεται στην προσέγγιση μοντελοποίησης όπως ορίζεται στο IEC 61850-7-1, άρθρο 6 (προσέγγιση μοντελοποίησης της σειράς IEC 61850) όπου η βάση περιγράφεται στο IEC 61850-7-2: 2003, παράγραφος 5. Αναφέροντας ιεραρχικά σημαίνει ότι τα διαφορετικά επίπεδα κοινής πληροφορίας διακρίνονται και ομαδοποιούνται σε τάξεις. Οι κλάσεις χαμηλότερου επιπέδου κληρονομούν αυτόματα τις ιδιότητες όπως καθορίζονται από τις ανώτερες τάξεις. Η δομή του μοντέλου πληροφόρησης του σταθμού αιολικής ενέργειας παρουσιάζεται συνοπτικά στο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4 - Δομή του μοντέλου πληροφοριών

Το υψηλότερο επίπεδο ονομάζεται **Λογική Συσκευή (LD)**, η οποία αποσυντίθεται σε **Λογικούς κόμβους (LN)**. Ένας λογικός κόμβος αποτελείται από μια συλλογή σχετικών δεδομένων, που ονομάζονται **τάξεις δεδομένων (DC)**. Κάθε κλάση δεδομένων κληρονομεί μια συλλογή ιδιοτήτων, όπως ορίζεται από μια λεγόμενη **Κοινή Τάξη Δεδομένων (CDC)** στην οποία έχει εκχωρηθεί. Μια κοινή κατηγορία δεδομένων αποτελείται από μια συλλογή αρχείων δεδομένων.



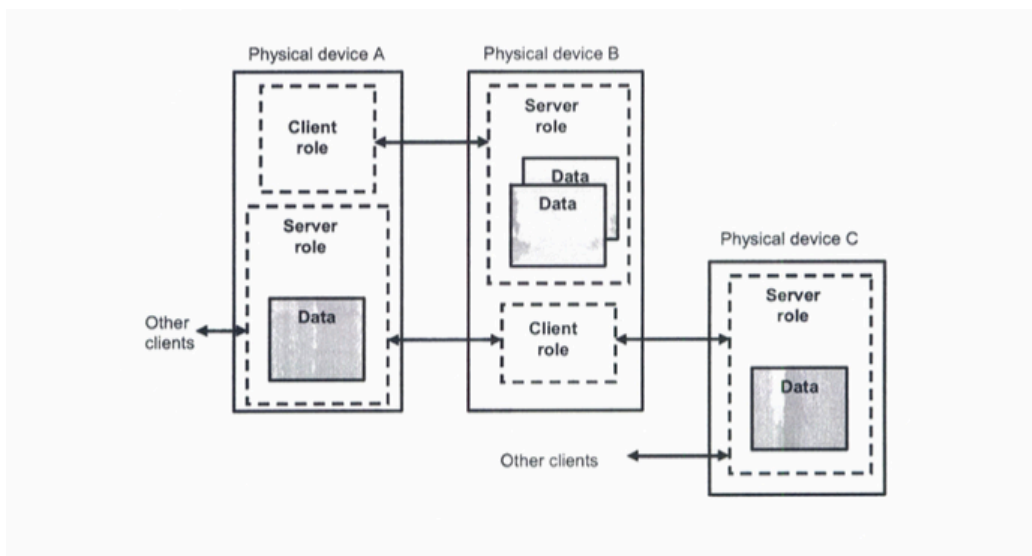
Η πιο βασική λεπτομέρεια των δεδομένων μπορεί να βρεθεί στον ορισμό τύπου μιας κοινής κλάσης δεδομένων.

### 5.1.5 Μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών για τους σταθμούς αιολικής ενέργειας

Ο πρωταρχικός στόχος του μοντέλου ανταλλαγής πληροφοριών αιολικής ενέργειας που ορίζεται στο IEC 61400-25-3 είναι η ανταλλαγή πληροφοριών που παρέχονται από το τυποποιημένο πληροφοριακό μοντέλο των διαφόρων κλάσεων, όπως οι λογικοί κόμβοι, τα δεδομένα, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των δεδομένων ή τα μπλοκ ελέγχου. Το IEM ορίζει ένα διακομιστή που παρέχει:

- Ένα παράδειγμα του μοντέλου πληροφόρησης του σταθμού αιολικής ενέργειας, και
- Απαιτούμενες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων των σχετικών υπηρεσιών (Get, Set, Control, Query, Report, κ.λπ.), οι οποίες επιτρέπουν σε έναν πελάτη να έχει πρόσβαση στο μοντέλο πληροφοριών.

Η σειρά IEC 61400-25 ορίζει μόνο τον ρόλο του διακομιστή. Ένας πελάτης εκδίδει αιτήσεις παροχής υπηρεσιών προς το διακομιστή, αποστέλλοντας μηνύματα αίτησης και λαμβάνει μηνύματα απόκρισης ή αναφορές από το διακομιστή. Ένας εξυπηρετητής παρέχει πρόσβαση στην παρουσίαση του μοντέλου πληροφορίας του σταθμού αιολικής ενέργειας για πολλούς πελάτες, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.5. Κάθε πελάτης μπορεί, ανεξάρτητα από άλλους πελάτες, να επικοινωνήσει με το διακομιστή.

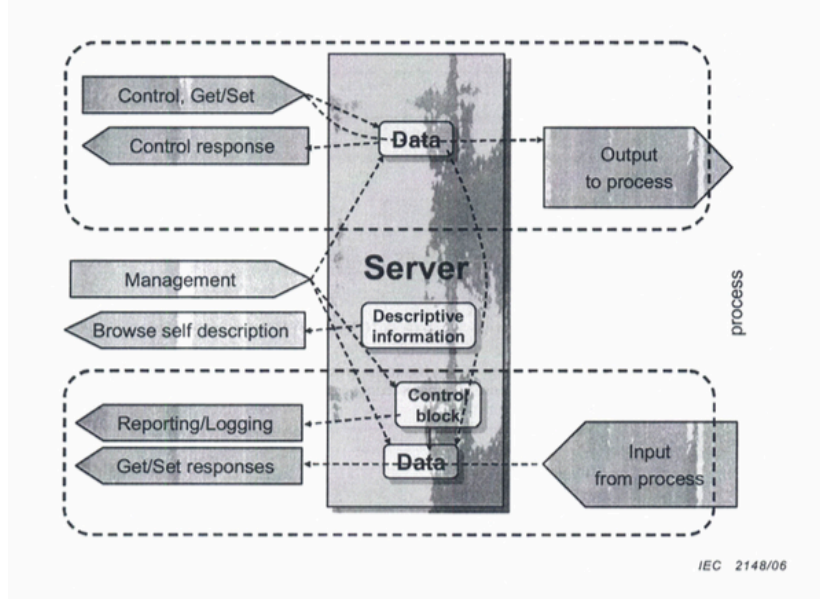


Σχήμα 5.5 - Ρόλος πελάτη και διακομιστή

Το μοντέλο πληροφόρησης του σταθμού αιολικής ενέργειας στο διακομιστή υποστηρίζει τις υπηρεσίες πρόσβασης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.6.

Η εστίαση του διακομιστή είναι να παρέχει δεδομένα που αποτελούν το μοντέλο πληροφόρησης της αιολικής ενέργειας. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα δεδομένων περιέχουν τις τιμές που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών. Το IEM παρέχει υπηρεσίες για:

- Έλεγχο εξωτερικών λειτουργικών συσκευών ή εσωτερικών λειτουργιών της συσκευής,
- Την παρακολούθηση τόσο των διεργασιών όσο και των επεξεργασμένων δεδομένων,
- Διαχείριση συσκευών καθώς και ανάκτηση μοντέλου πληροφόρησης αιολικής ενέργειας.



Σχήμα 5.6 - Μοντέλα υπηρεσιών IEM

Δίνεται η δυνατότητα για πρόσβαση στις υπηρεσίες Get, Set, Control για άμεση ενέργεια (πληροφορίες επιστροφής, ρυθμίσεις τιμών σε δεδομένα, συσκευή ή λειτουργία ελέγχου) στις πληροφορίες δεδομένων μοντέλου πληροφοριών αιολικής ενέργειας που περιέχονται στο διακομιστή.

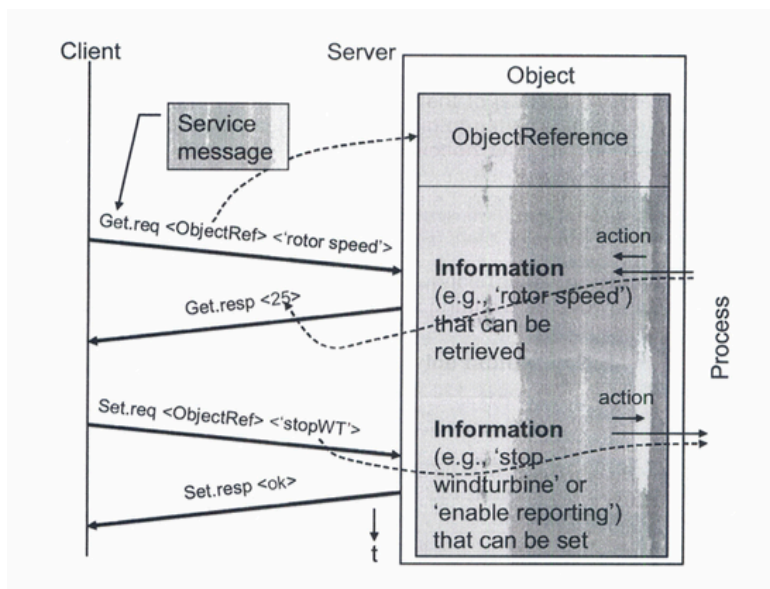
Η αναφορά και η καταγραφή παρέχουν τα μέσα για την αυτόματη και αυθόρμητη αποστολή πληροφοριών από τον διακομιστή στον πελάτη που εκδίδονται από ένα εσωτερικό συμβάν (αναφορά) ή για την αποθήκευση αυτών των πληροφοριών στο διακομιστή για μεταγενέστερη ανάκτηση (καταγραφή).

Το σύνολο των βασικών υπηρεσιών που χρησιμοποιεί η διεπαφή επικοινωνιών για την πραγματοποίηση της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ του εξωτερικού κόσμου και των διαφόρων συνιστωσών της συσκευής του πραγματικού κόσμου αναφέρονται ως Αφηρημένη Διασύνδεση Σέρβις Επικοινωνιών (ACSI).

### 5.1.5.1 Σύμβαση μοντελοποίησης υπηρεσιών

Οι υπηρεσίες ορίζονται γενικά από:

- Ένα σύνολο κανόνων για τον ορισμό των μηνυμάτων έτσι ώστε οι δέκτες να μπορούν να κατανοούν ξεκάθαρα τα μηνύματα που αποστέλλονται από ομότιμους,
- Τις παραμέτρους του αιτήματος παροχής υπηρεσιών καθώς και τα αποτελέσματα και τα σφάλματα που ενδέχεται να επιστραφούν στον καλούντα της υπηρεσίας και
- Μια συμφωνημένη ενέργεια που πρέπει να εκτελεστεί από την υπηρεσία (η οποία μπορεί να έχει ή να μην επηρεάζει τη διαδικασία).



Σχήμα 5.7 - Μοντέλο υπηρεσίας IEM με παραδείγματα

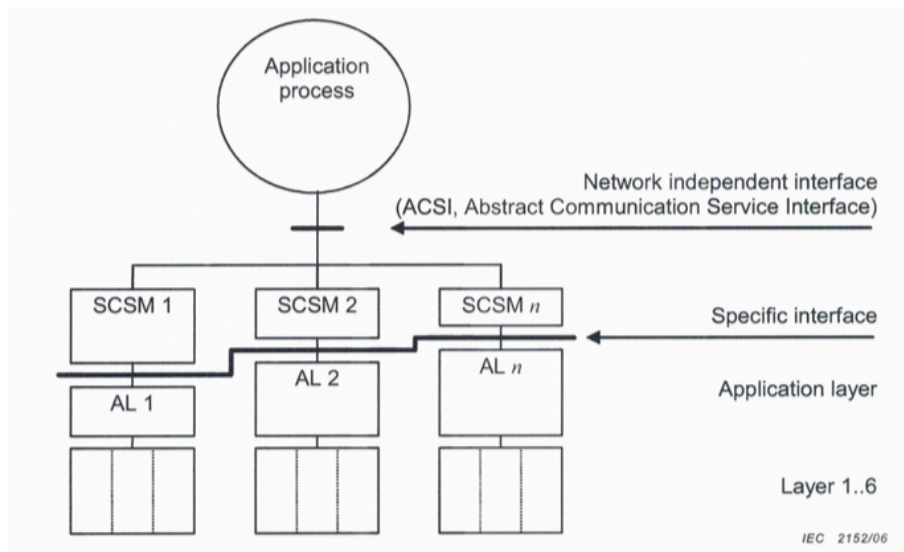
Όλες οι υπηρεσίες βασίζονται σε τρία θεμελιακά στοιχεία μηνυμάτων: αίτημα, θετική ανταπόκριση και αρνητική απάντηση. Το πρωτόκολλο αιτήματος χρησιμοποιείται από τον πελάτη για την έκδοση κλήσης υπηρεσίας στο διακομιστή και τα πρωτότυπα απόκρισης επιτρέπουν στο διακομιστή να επιστρέψει πληροφορίες στον πελάτη. Η θετική απόκριση υποδεικνύει ότι η ενέργεια που συμφωνήθηκε με την υπηρεσία εκτελέστηκε ή πρόκειται να εκτελεστεί, ενώ μια αρνητική απάντηση δείχνει ότι η ενέργεια δεν εκτελέστηκε ή δεν θα εκτελεστεί. Ένα πρωτόκολλο μηνύματος μπορεί να έχει έναν αριθμό παραμέτρων, που ονομάζονται αποτελέσματα και σφάλματα σε περίπτωση θεμελιακών απαντήσεων.

### 5.1.6 Χαρτογράφηση σε πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η συγκεκριμένη χαρτογράφηση υπηρεσιών επικοινωνίας (specific communication service mapping - SCSM) καθορίζει τον τρόπο χαρτογράφησης των υπηρεσιών και των μοντέλων (Server, λογικές συσκευές, λογικοί κόμβοι, δεδομένα, σύνολα δεδομένων, έλεγχοι αναφοράς, έλεγχοι

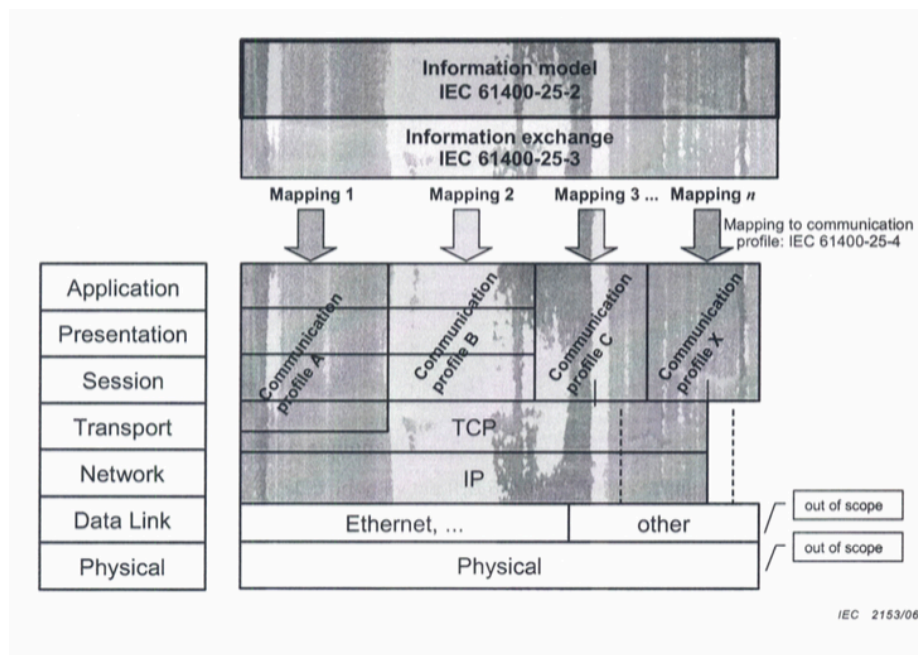
καταγραφής, ομάδες ρυθμίσεων κλπ.). Οι αντιστοιχίσεις και η χρησιμοποιούμενη στρώση εφαρμογής καθορίζουν τη σύνταξη (concrete encoding) για τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μέσω του δικτύου.

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.8, το SCSM χαρτογραφεί τις αφηρημένες υπηρεσίες επικοινωνίας, τα αντικείμενα και τις παραμέτρους στα συγκεκριμένα επίπεδα εφαρμογής. Αυτά τα στρώματα εφαρμογής παρέχουν τη συγκεκριμένη κωδικοποίηση. Ανάλογα με την τεχνολογία του δικτύου επικοινωνίας, αυτές οι αντιστοιχίσεις μπορεί να έχουν διαφορετικές δυσκολίες και ορισμένες υπηρεσίες ACSI μπορεί να μην υποστηρίζονται σε όλες τις αντιστοιχίσεις, αλλά όταν παρέχεται μια υπηρεσία σε χαρτογράφηση, η υπηρεσία αυτή πρέπει να είναι ισοδύναμη με την έννοια της στην ίδια υπηρεσία τη χαρτογράφηση των σημείων αναφοράς. Ένα στρώμα εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες στοίβες (στρώμα 1 έως 6).



Σχήμα 5.8 - Η χαρτογράφηση ACSI σε στοίβα / προφίλ επικοινωνίας

Αρχιτεκτονική των χαρτογραφημάτων: Πολλαπλές χαρτογραφήσεις μπορούν να υποστηριχθούν από τη σειρά IEC 61400-25. Η εννοιολογική αρχιτεκτονική των χαρτογραφημάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9 - Προφίλ επικοινωνίας

Τα μοντέλα πληροφοριών και τα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών πρέπει να αντιστοιχιστούν σε κατάλληλα πρωτόκολλα. Οι απαιτήσεις χαρτογράφησης ορίζονται στο IEC 61400-25-4. Τα πρωτόκολλα TCP και IP είναι τα βασικά πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου που παρέχονται από όλες τις αντιστοιχίσεις. Ο συγκεκριμένος σύνδεσμος δεδομένων και τα φυσικά στρώματα υπερβαίνουν το πεδίο εφαρμογής της σειράς IEC 61400-25.

## 5.2 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 61400-25-2

### Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models [10]

#### 5.2.1 Επισκόπηση κατηγοριών λογικών κόμβων

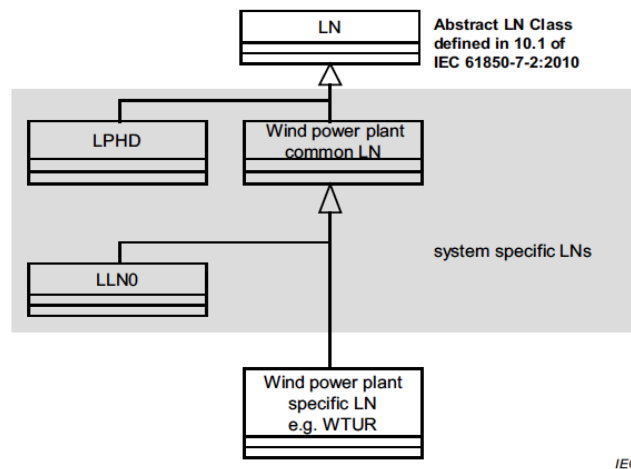
Οι βασικές πληροφορίες μιας ανεμογεννήτριας έχουν τυποποιηθεί. Κάθε συστατικό μέλος των συσκευών του συστήματος (ανεμογεννήτρια, κέντρο ελέγχου, μετεωρολογικό σύστημα, ...) έχει διαμορφωθεί σε μια δομή δεδομένων που ονομάζεται "**λογικός κόμβος**". Ένας λογικός κόμβος είναι ένας κάτοχος δεδομένων που μπορεί να περιέχει διαφορετικούς τύπους πληροφοριών που σχετίζονται με αυτό το στοιχείο. Οι διάφοροι τύποι δεδομένων περιλαμβάνουν κατάσταση, μετρήσεις, πληροφορίες ελέγχου και ρυθμίσεις.

Οι ακόλουθες δύο ομάδες κοινών κλάσεων λογικών κόμβων ορίζονται:

1. Λογικοί κόμβοι ειδικοί για το σύστημα,
2. Ειδικοί λογικοί κόμβοι για σταθμούς αιολικής ενέργειας.

Οι λογικοί κόμβοι που σχετίζονται με το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνουν όλες τις κοινές πληροφορίες για τις συνδεόμενες φυσικές συσκευές και τις ανεξάρτητες από την αιολική ενέργεια πληροφορίες. Οι ειδικοί λογικοί κόμβοι αιολικής ενέργειας κληρονομούν τουλάχιστον όλες τις υποχρεωτικές πληροφορίες των λογικών κόμβων του συστήματος.

Όλες οι κλάσεις λογικών κόμβων που ορίζονται σε αυτό το τμήμα της σειράς 61400-25 κληρονομούν τη δομή τους από την κλάση αφηρημένου λογικού κόμβου (GenLogicalNode) που ορίζεται στο 10.1 του IEC 61850-7: 2010.



Σχήμα 5.10 - Σχέση λογικών κόμβων

Οι κλάσεις λογικών κόμβων συγκεκριμένου συστήματος που παρατίθενται στον πίνακα 5.2 είναι όλες υποχρεωτικές. Το μηδέν λογικού κόμβου (LLNO) αντιπροσωπεύει τις κοινές πληροφορίες της λογικής συσκευής και η φυσική συσκευή λογικού κόμβου (LPHD) αντιπροσωπεύει κοινή πληροφορία για τις φυσικές συσκευές που φιλοξενούν τη λογική συσκευή.

Πίνακας 5.2 - Ειδικοί λογικοί κόμβοι του συστήματος

LN classes	Description	M/O
LLNO	Logical Node Zero	M
LPHD	Physical Device Information	M

Οι πληροφορίες για την αιολική ενέργεια ταξινομούνται στους ειδικούς λογικούς κόμβους του αιολικού σταθμού. Καταρχήν, η ταξινόμηση των πληροφοριών αιολικής ενέργειας σε διαφορετικούς λογικούς κόμβους είναι μια αυθαίρετη διαδικασία και η μέθοδος μοντελοποίησης προσφέρει ευελιξία. Από την άποψη της τυποποίησης είναι προτιμότερο όλες οι πληροφορίες για τις αιολικές εγκαταστάσεις να χτιστούν με αδιαμφισβήτητο τρόπο. Μια αιολική μονάδα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από διάφορα στοιχεία, μεταξύ των οποίων μία ή περισσότερες ανεμογεννήτριες, οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν ως μεμονωμένες συσκευές. Ο πίνακας δείχνει τη γενική κατανομή των αιολικών σταθμών σε λογικούς κόμβους που είναι κοινά για έναν πλήρη αιολικό σταθμό.

Πίνακας 5.3 - Λογικοί κόμβοι για τη μοντελοποίηση μιας ανεμογεννήτριας

<b>LN classes</b>	<b>Description</b>	<b>M/O</b>
WTUR	General information	M
WROT	Rotor information	M
WTRM	Transmission information	O
WGEN	Generator information	M
WCNV	Converter information	O
WTRF	Transformer information	O
WNAC	Nacelle information	M
WYAW	Yawing information	M
WTOW	Tower information	O
WALM	Alarm information	M
WMET	Meteorological information	O
WSLG	State log information	O
WALG	Analogue log information	O
WREP	Report information	O
WAVL	Availability information	O
LTIM	Time management	O

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την κατανομή της ανεμογεννήτριας σε λογικούς κόμβους που θα χρησιμοποιηθούν. Κάθε μοντέλο ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει τους υποχρεωτικούς λογικούς

κόμβους που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. Παρά το γεγονός ότι ορισμένοι λογικοί κόμβοι είναι προαιρετικοί για χρήση, συνιστάται στη σειρά IEC 61400-25 να αποκλίνει όσο το δυνατόν λιγότερο από τους λογικούς κόμβους όπως προτείνεται στον πίνακα 5.4 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.4 - Λογικοί κόμβοι για τη μοντελοποίηση μιας ανεμογεννήτριας

<b>LN classes</b>	<b>Description</b>	<b>M/O</b>
WTUR	General information	M
WROT	Rotor information	M
WTRM	Transmission information	O
WGEN	Generator information	M
WCNV	Converter information	O
WTRF	Transformer information	O
WNAC	Nacelle information	M
WYAW	Yawing information	M
WTOW	Tower information	O
WALM	Alarm information	M
WMET	Meteorological information	O
WSLG	State log information	O
WALG	Analogue log information	O
WREP	Report information	O
WAVL	Availability information	O
LTIM	Time management	O

Ο παρακάτω πίνακας 5.5 δείχνει ότι η ειδική πληροφορία της συσκευής αιολικής ενέργειας για συσκευές που δεν ανήκουν σε ανεμογεννήτριες υποδιαιρείται σε λογικούς κόμβους.

Πίνακας 5.5 - Λογικοί κόμβοι για τη μοντελοποίηση μιας συσκευής εκτός στροβίλου

<b>LN classes</b>	<b>Description</b>	<b>M/O</b>
WPPD	Wind power plant general information	O



WALM	Alarm information	0
WMET	Meteorological information	0
WAPC	Active power control information	0
WRPC	Reactive power control information	0
WSLG	State log information	0
WALG	Analogue log information	0
WREP	Report information	0
WAVL	Availability information	0
LTIM	Time management	0

Όπως φαίνεται στους πίνακες, οι πληροφορίες διαμορφώνονται κυρίως από ένα σύνολο κατηγοριών LN, οι οποίες ταξινομούνται με φυσική αποσύνθεση της ανεμογεννήτριας. Μια χρήσιμη πρακτική εξαίρεση περιλαμβάνει πληροφορίες συναγερμού. Όλοι οι συναγερμοί συλλέγονται σε ξεχωριστό λογικό κόμβο.

Εκτός από τις κοινές πληροφορίες για όλες τις ανεμογεννήτριες, οι περισσότερες πληροφορίες θα προσδιοριστούν στην πράξη από την ιδέα του στροβίλου, τον κατασκευαστή, τον τόπο και την τεχνολογία της τεχνολογίας ανεμογεννήτριας. Για το λόγο αυτό, ως καθοδηγητικό μοντέλο, τα ονόματα χαρακτηριστικών τάξης δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τις συγκεκριμένες πληροφορίες στους ειδικούς λογικούς κόμβους του αιολικού σταθμού επικεντρώνονται στην πλέον επικρατούσα σύγχρονη έννοια της ανεμογεννήτριας, δηλαδή με 3 πτερύγια, μεταβλητή ταχύτητα, ενεργό βήμα και κιβώτιο ταχυτήτων. Σε περίπτωση πρόσθετων πληροφοριών που προέρχονται από άλλα συστήματα ανεμογεννητριών ή εξαρτήματα, θα μπορούσαν να καθοριστούν νέες κατηγορίες δεδομένων ή εξειδικευμένες κατηγορίες δεδομένων σε υφιστάμενα LNs. Θα μπορούσαν επίσης να καθοριστούν πρόσθετα LN ειδικά για τον χρήστη.

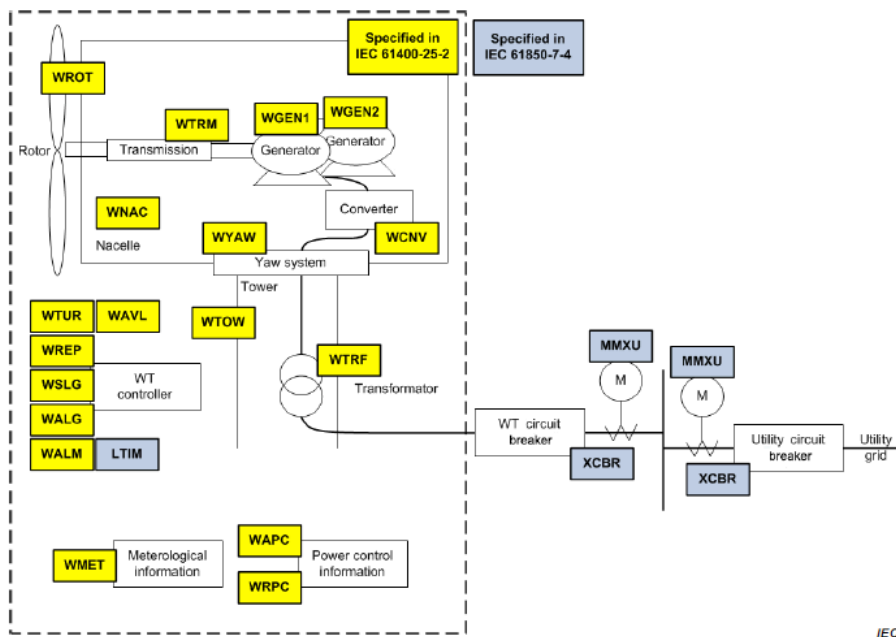
Τα τυποποιημένα ονόματα για τις κλάσεις λογικών κόμβων γράφονται με κεφαλαία γράμματα. Τα ονόματα δεδομένων του πρώτου επιπέδου στην ιεραρχία ξεκινούν με ένα κεφαλαίο γράμμα και τα ονόματα των χαρακτηριστικών και τα ονόματα των δεδομένων του δεύτερου και κατώτερου επιπέδου στην ιεραρχία με ένα μικρό γράμμα.

### 5.2.2 Χρήση κλάσεων λογικών κόμβων

Οι κλάσεις λογικών κόμβων που ορίζονται σε αυτό το μέρος του προτύπου και εκείνες που αναφέρονται από άλλα πρότυπα, πρέπει να παρουσιαστούν σε πραγματικό σύστημα. Το σχήμα

5.10 απεικονίζει ένα παράδειγμα μιας πραγματικής ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιεί πολλές περιπτώσεις λογικών κόμβων.

Το μοντέλο πληροφοριών που περιγράφεται σε αυτό το πρότυπο μπορεί να επεκταθεί με πρόσθετους λογικούς κόμβους και δεδομένα για μια συγκεκριμένη υλοποίηση. Εάν εφαρμόζεται διαφορετική τοπολογία ή χρησιμοποιούνται περισσότεροι αισθητήρες για λόγους παρακολούθησης, ο χρήστης είναι ελεύθερος να αναθέσει σχετικές πληροφορίες σε πρόσθετα ονόματα δεδομένων. Οποιαδήποτε δεδομένα μπορούν να προστεθούν σε οποιοδήποτε λογικό κόμβο.



Σχήμα 5.10 – Χρήση λογικών κόμβων

### 5.2.3 Βασικές έννοιες των κοινών κατηγοριών δεδομένων

Οι κοινές ιδιότητες μιας ομάδας κατηγοριών δεδομένων (δεδομένων που ορίζονται σε LNs) ορίζονται σε μια κοινή κλάση δεδομένων (CDC). Μια κλάση δεδομένων κληρονομεί όλες τις πληροφορίες που καθορίζονται στα συνοδευτικά χαρακτηριστικά της κοινής κλάσης δεδομένων. Με βάση τις απαιτήσεις πληροφόρησης για την αιολική ενέργεια, έχει καθοριστεί ένα σύνολο συγκεκριμένων κατηγοριών δεδομένων για τους αιολικούς σταθμούς. Προσδιορίζονται οι ακόλουθες ομάδες κοινών κατηγοριών δεδομένων.

1. Wind power plant specific common data classes:
  - Setpoint Value (SPV),
  - Status Value(STV),
  - Alarm (ALM),
  - Command (CMD),
  - Event counting (CTE),
  - State timing (TMS),
  - Alarm set status (AST).
  
2. Common data classes inherited from IEC 61850-7-3:
  - Single point status (SPS),
  - Integer status (INS),
  - Integer status setting (ING),
  - Object reference setting (ORG),
  - Enumerated status (ENS),
  - Binary counter reading (BCR),
  - Measured value (MV),
  - Phase to ground related measured values of a 3 phase system (WYE),
  - Phase to phase related measured values of a three phase system (WYE),
  - Controllable single point (SPC),
  - Controllable integer status (ENC),
  - Controllable enumerated status (ENC),
  - Controllable analogue process value (APC),
  - Enumerated status setting (ENG),
  - Logical node name plate (LPL).
  
3. Common data classes inherited from IEC 61850-7-3 and specialized:
  - Device name plate (DPL)->WDPL.

#### 5.2.4 Δομή κοινών κλάσεων δεδομένων

Τα συντομογραφημένα ονόματα των ειδικών κατηγοριών δεδομένων αιολικής ενέργειας είναι με κεφαλαία γράμματα, σύντομα (συνιστάται 3 χαρακτήρες) και να είναι μοναδικά. Μέσα σε μια κοινή κατηγορία δεδομένων, οι πληροφορίες μιας συγκεκριμένης κατηγορίας δεδομένων μοντελοποιούνται χωρίς αμφιβολία από μια επιγραφή πίνακα όπως φαίνεται στον πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6 - Γενική δομή πίνακα μιας κοινής κλάσης δεδομένων (CDC)

xxx class					
Data attribute name	Type	FC	TrgOp	Explanation and Value / Range	M/O
SubDataObject					
cdc attr. name	common data class				
DataAttribute					
Status					
cdc attr. name	attr type	fc		description and range	
Measured attributes					
cdc attr. name	attr type	fc		description and range	
Statistical information					
cdc attr. name	attr type	fc		description and range	
Historical information					
cdc attr. name	attr type	fc		description and range	
cdc attr. name	attr typeA	fc		description and range	
cdc attr. name	attr typeB	fc		description and range	
cdc attr. name	attr typeC	fc		description and range	
cdc attr. name	attr typeD	fc		description and range	
Status/measured attributes and control mirror					
cdc attr. name	attr type	fc		description and range	
Configuration, description and extension					
cdc attr. name	attr type	fc		description and range	

Για λόγους ευκολίας, όλα τα κοινά χαρακτηριστικά κατηγοριών δεδομένων χωρίζονται σε κατηγορίες. Μια κοινή κατηγορία δεδομένων έχει χαρακτηριστικά των τύπων που εξηγούνται εν συντομία στον πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7 - Κοινά χαρακτηριστικά κατηγορίας δεδομένων

Data class attribute	Description
----------------------	-------------

Data attribute name	Mnemonic abbreviation of the common data class attribute record
Type	Basic (for example INT, BOOLEAN) or composed data type definition
Functional constraint	<p>Label to build groups for efficient information exchange. The list of functional constraints shall be as defined in IEC 61850-7-2:2010</p> <p>Examples:</p> <p>ST    Status information</p> <p>MX    Measurands</p> <p>SP    Setting</p> <p>SV    Substitution</p> <p>CF    Configuration</p> <p>DC    Description</p> <p>OR    Operate received</p> <p>BL    Blocking</p> <p>EX    Extended definition</p>
Trigger option	<p>Conditional notification that a state or value change has occurred</p> <p>dchg: data change, qchg: quality change, dupd: data update</p>
Explanation/ Range	Description and range of an attribute record
Mandate	M: Mandatory, O: Optional, Conditional

### 5.3 Ανασκόπηση του διεθνούς προτύπου IEC 61400-25-3

#### Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models [11]

Αυτό το μέρος του IEC 61400-25 παρέχει τα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών που μπορούν να εφαρμοστούν από έναν πελάτη και έναν διακομιστή για πρόσβαση στο περιεχόμενο και τη δομή του μοντέλου πληροφόρησης της μονάδας αιολικής ενέργειας που ορίζεται στο IEC 61400-25-2.

Επίσης, παρέχει μια επισκόπηση των μοντέλων ανταλλαγής πληροφοριών για λειτουργικές λειτουργίες και λειτουργίες διαχείρισης.

### 5.3.1 Μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών

Τα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών παρέχουν υπηρεσίες για λειτουργίες επικοινωνίας που ομαδοποιούνται ως εξής:

- Επιχειρησιακές λειτουργίες,
- Λειτουργίες διαχείρισης.

Ένα παράδειγμα του μοντέλου πληροφόρησης της αιολικής μονάδας αιολικής ενέργειας θα πρέπει να προσεγγίζεται με παραδείγματα μοντέλων ανταλλαγής πληροφοριών που απαριθμούνται στον πίνακα 5.8. Οι δύο πρώτες στήλες απαριθμούν τις λειτουργικές ομάδες και τα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών που περιγράφονται συνοπτικά στην τρίτη στήλη. Η τέταρτη και η πέμπτη στήλη προσδιορίζουν ποια είδη δεδομένων και αρχές μεταβίβασης ισχύουν για κάθε μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών. Η τελευταία στήλη δείχνει τα μοντέλα υπηρεσιών ASCI που χρησιμοποιούνται για τα αντίστοιχα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών.

Πίνακας 5.8 - Μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών

Functional group	information exchange model	Short description	Information categories	Transfer principles	ASCI service models
Operational	Authorisation	Authorisation and restriction of access to operational and management functions	Short text messages	Data transfer on demand  Command transfer	ASSOCIATION
	Control	Control of operational devices	Setpoints Commands Parameters	Command transfer  Set point transfer	CONTROL

				Parameters transfer	
	Monitoring	Monitoring of current data and change of data of operational devices	Measured data Processed data Status Alarms Events Timer Counter Setpoints Parameters Time Series Data	Periodic data transfer	LOGICAL-DEVICE  LOGICAL-NODE  DATA  DATA-SET
	Reporting and logging	Trigger controlled continuous scanning and recording of values and events	Histories Reports Statistics Curves Trends Events Short text messages	Data transfer on demand  Event driven data transfer	BUFFERED-REPPORT-CONTROL  UNBUFFERED-REPPORT-CONTROL  LOG
	Diagnostics	Self-monitoring of devices	Monitoring, and reporting and logging information categories apply		LOG-CONTROL
Management	User and access management	Setting up users, access rights and monitoring access	System specific		
	Setup	Device configuration management	System specific		

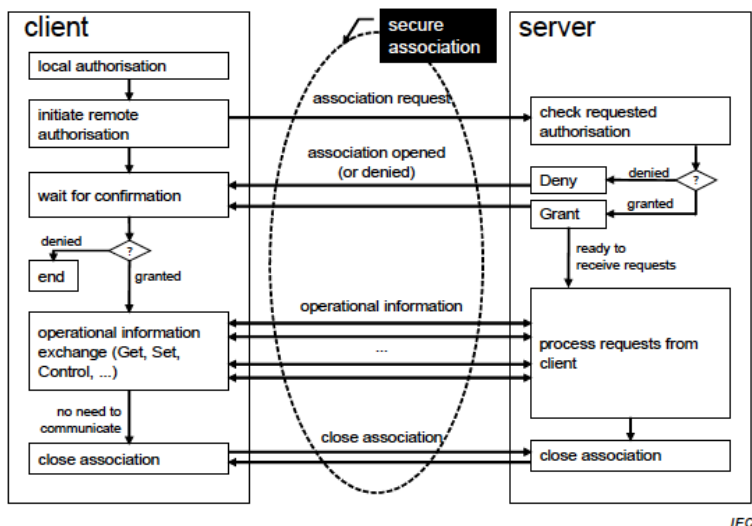
	Time synchronisation	Synchronisation of device clocks	SCSM specific
--	----------------------	----------------------------------	---------------

### 5.3.2 Επιχειρησιακές λειτουργίες

Τα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών για επιχειρησιακές λειτουργίες έχουν ως εξής:

- Μοντέλο σύνδεσης και εξουσιοδότησης,
- Μοντέλο ελέγχου,
- Μοντέλο παρακολούθησης, αναφοράς και καταγραφής.

Πρότυπο σύνδεσης και εξουσιοδότησης: Η πρόθεση είναι να παρέχεται μια ασφαλής ανταλλαγή πληροφοριών μέσω μιας σύνδεσης μεταξύ του χρήστη και ενός διακομιστή. Το μοντέλο παρέχει έλεγχο ταυτότητας πελάτη και ελέγχει την πρόσβαση στις λειτουργίες διακομιστή. Ο εννοιολογικός μηχανισμός παρουσιάζεται στο σχήμα 5.11.



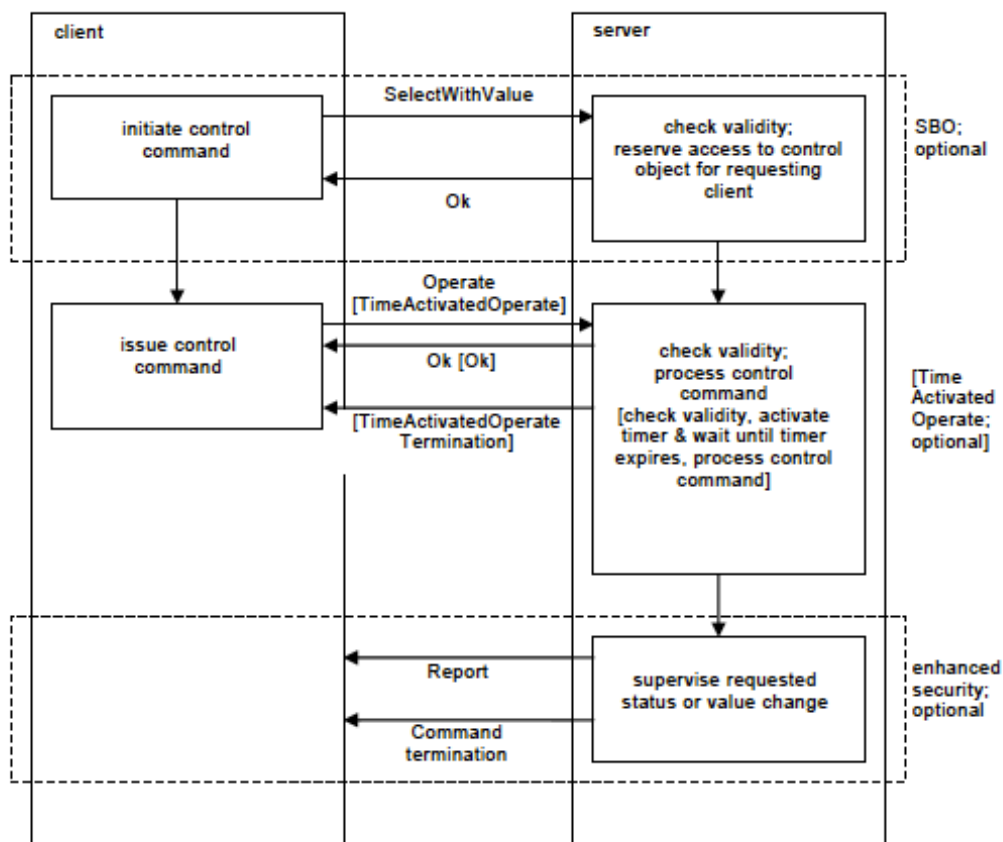
Σχήμα 5.11 - Πρότυπο σύνδεσης και εξουσιοδότησης (εννοιολογικά)

Οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται από μια σύνδεση μεταξύ ενός πελάτη και ενός διακομιστή έχουν ως εξής:



- ⇒ Έλεγχος ταυτότητας: καθορισμός της ταυτότητας του χρήστη / πελάτη,
- ⇒ Εξουσιοδότηση και έλεγχος πρόσβασης: βεβαιωθείτε ότι η οντότητα έχει τα κατάλληλα δικαιώματα πρόσβασης
- ⇒ Ακεραιότητα: τα μηνύματα και η υποδομή υπολογιστών προστατεύονται από μη εξουσιοδοτημένη τροποποίηση ή καταστροφή,
- ⇒ Εμπιστευτικότητα: τα αντικείμενα του μοντέλου πληροφόρησης του αιολικού σταθμού προστατεύονται και αποκαλύπτονται μόνο στους κατάλληλους χρήστες / πελάτες,
- ⇒ Μη απόρριψη: αποτροπή του αποκλεισμού ενός χρήστη / πελάτη που συμμετέχει σε μια ανταλλαγή δεδομένων που συμμετείχε στην ανταλλαγή,
- ⇒ Αποτροπή της άρνησης της συσκευής: παρεμπόδιση ενός πελάτη / διακομιστή να εμποδίζει την πρόσβαση σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Μοντέλο ελέγχου: Καθορίζει το μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών για εντολές λειτουργίας. Το μοντέλο ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε αντικείμενα ελέγχου και χρησιμοποιείται για την αλλαγή της κατάστασης μιας συσκευής ή για την αλλαγή της τιμής ενός καθορισμένου σημείου ή μιας παραμέτρου. Ο εννοιολογικός μηχανισμός του μοντέλου ελέγχου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.12.



Σχήμα 5.12 – Μοντέλο ελέγχου

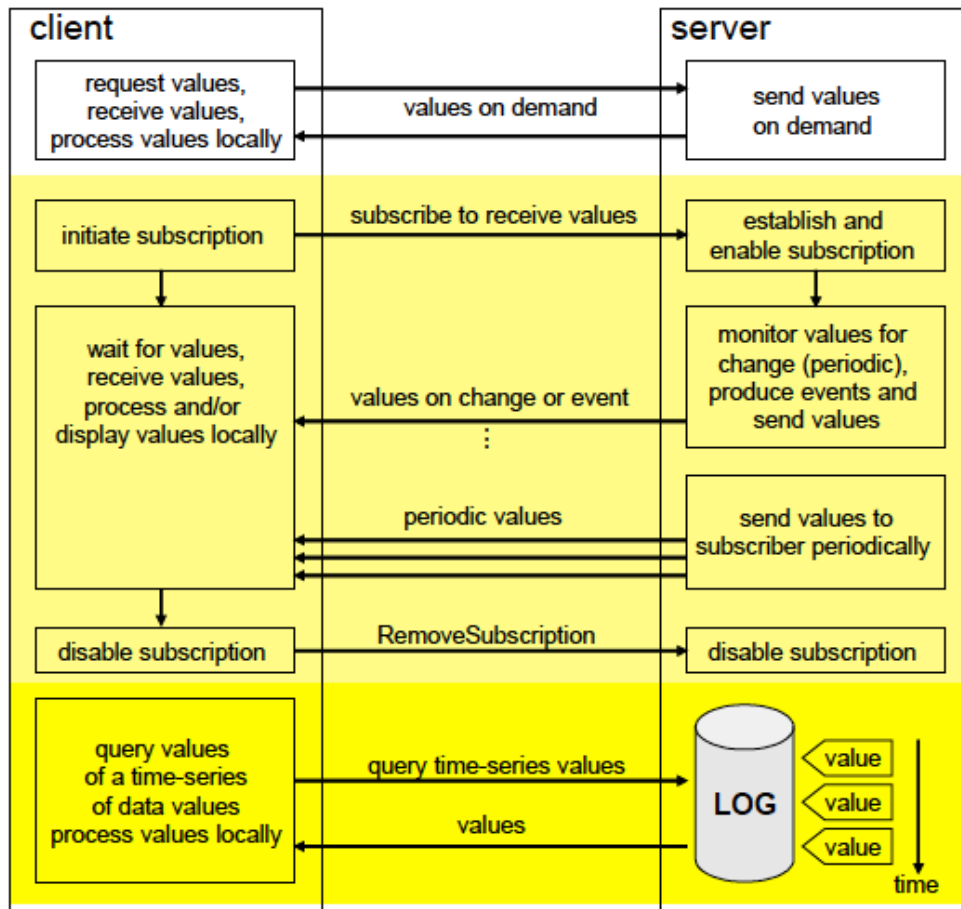
Μοντέλο παρακολούθησης, αναφοράς και καταγραφής: Τα μοντέλα περιλαμβάνουν τρεις ανεξάρτητες μεθόδους ανάκτησης πληροφοριών:

1. Οι τιμές μπορούν να ανακτηθούν κατόπιν αιτήματος από έναν πελάτη. Αυτό είναι κοινώς γνωστό ως λήψη ή ανάγνωση. Η απάντηση θα μεταδοθεί αμέσως.
2. Οι τιμές μπορούν να αναφερθούν στον πελάτη, ακολουθώντας ένα μοντέλο αναφοράς εκδοτών / συνδρομητών. Ο διακομιστής διαμορφώνεται (τοπικά ή μέσω μιας υπηρεσίας) για τη μετάδοση των τιμών αυθόρμητα ή περιοδικά. Ο πελάτης λαμβάνει μηνύματα όποτε πληρούνται οι συνθήκες ενεργοποίησης στο διακομιστή. Το μοντέλο του εκδότη / συνδρομητή μπορεί να αποκαταστήσει τα συμβάντα σε περίπτωση που ο σύνδεσμος επικοινωνίας μεταφέρει όλα τα καταχωρημένα συμβάντα σε σειρά, όταν ο σύνδεσμος λειτουργεί ξανά, σε περίπτωση έκθεσης με προσωρινή αποθήκευση. Σε περίπτωση έκθεσης χωρίς προειδοποίηση, δεν είναι εγγυημένη η παράδοση γεγονότων, σε περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης επικοινωνίας.
3. Οι τιμές μπορούν να καταγραφούν στη συσκευή. Το μοντέλο καταγραφής επιτρέπει τη ρύθμιση και την παράδοση των συμβάντων σε σωστή σειρά. Η καταγραφή των τιμών από πολλές πηγές δεδομένων θα καταγραφεί και κάθε πηγή μπορεί να ρυθμιστεί ανεξάρτητα από άλλες πηγές. Ο πελάτης μπορεί να ερωτήσει το αρχείο καταγραφής για καταχωρήσεις μεταξύ δύο χρονικών σημείων ή για όλες τις καταχωρήσεις μετά από μια συγκεκριμένη καταχώρηση.

Τα μοντέλα αναφοράς και καταγραφής περιλαμβάνουν:

- a) Μια κλάση δεδομένων (DS), για την αναφορά ομάδων δεδομένων προς καταγραφή ή αναφορά,
- b) Μια κλάση Block Control, για τον έλεγχο της δυναμικής συμπεριφοράς της καταγραφής ή αναφοράς πληροφοριών, και
- c) Μια κλάση καταγραφής, για τον ορισμό της αποθήκευσης αρχείων καταγραφής.

Τα εννοιολογικά μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών για την παρακολούθηση, την αναφορά και την καταγραφή παρουσιάζονται στο σχήμα 5.13.



IEC

Σχήμα 5.13 - Μοντέλο παρακολούθησης, αναφοράς και καταγραφής

Οι μέθοδοι ανάκτησης έχουν τα χαρακτηριστικά που δίνονται στον πίνακα 5.9. Κάθε μία από τις μεθόδους ανάκτησης έχει ειδικά χαρακτηριστικά. Δεν υπάρχει καμία μέθοδος που να πληροί όλες τις απαιτήσεις εφαρμογής.

Πίνακας 5.9 - Σύγκριση των μεθόδων ανάκτησης πληροφοριών

Retrieval method		Time-critical information exchange	Can lose changes (of sequence)	Multiple clients to receive information	Last change of data stored by	Typical client (but not exclusively)
Data on demand		NO	YES	YES	-	Brow ser
Report ing	Unbuffered reporting	YES	YES	YES	-	Real-time GUI

	<b>Buferrred reporting</b>	YES	NO	YES	Server	Data concentrator
<b>Logging</b>		NO	NO	YES	Client	Plant operation, engineering stations

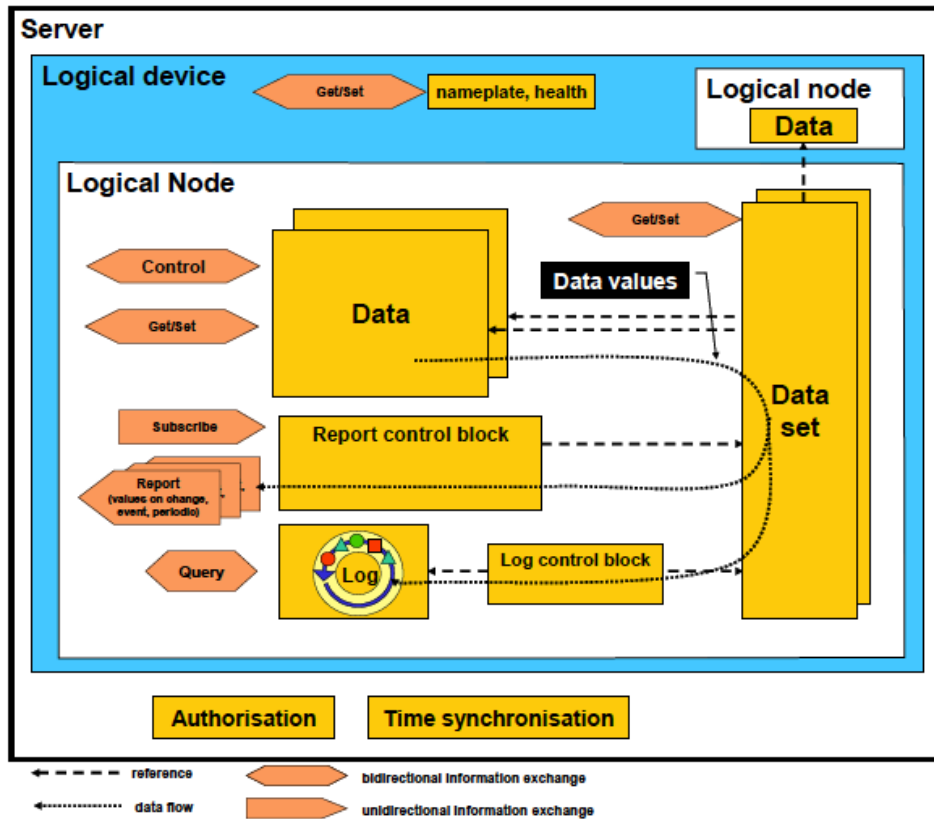
### 5.3.3 Λειτουργίες διαχείρισης

Οι λειτουργίες διαχείρισης χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση ή την εξέλιξη ενός συστήματος. Η διαμόρφωση και η συντήρηση του συστήματος περιλαμβάνουν τη ρύθμιση και την αλλαγή των δεδομένων διαμόρφωσης και την ανάκτηση των ρυθμίσεων από το σύστημα. Τα μοντέλα λειτουργίας διαχείρισης που περιγράφονται είναι τα εξής:

- Μοντέλο ασφάλειας χρήστη / πρόσβασης χρήστη,
- Μοντέλο εγκατάστασης,
- Μοντέλο συγχρονισμού χρόνου,
- Διαγνωστικό μοντέλο.

### 5.3.4 Τα μοντέλα πληροφοριών ACSI για τα αιολικά πάρκα

Τα μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών δημιουργούν μια επισκόπηση των μοντέλων που απαιτούνται για να είναι συμβατά με τη σειρά IEC 61400-25. Τα βασικά μοντέλα ανταλλαγής πληροφοριών απεικονίζονται στο σχήμα, που απεικονίζουν τα διάφορα στοιχεία των υπηρεσιών ACSI. Το σχήμα 5.14 χρησιμοποιείται για να παρέχει μια αφηγηματική περιγραφή του τρόπου με τον οποίο μια συνηθισμένη συσκευή αλληλοεπιδρά με τον έξω κόσμο χρησιμοποιώντας αυτές τις υπηρεσίες. Ο κανονιστικός ορισμός των λεπτομερειών των μοντέλων και υπηρεσιών ACSI ορίζεται στο IEC 61850-7-2.



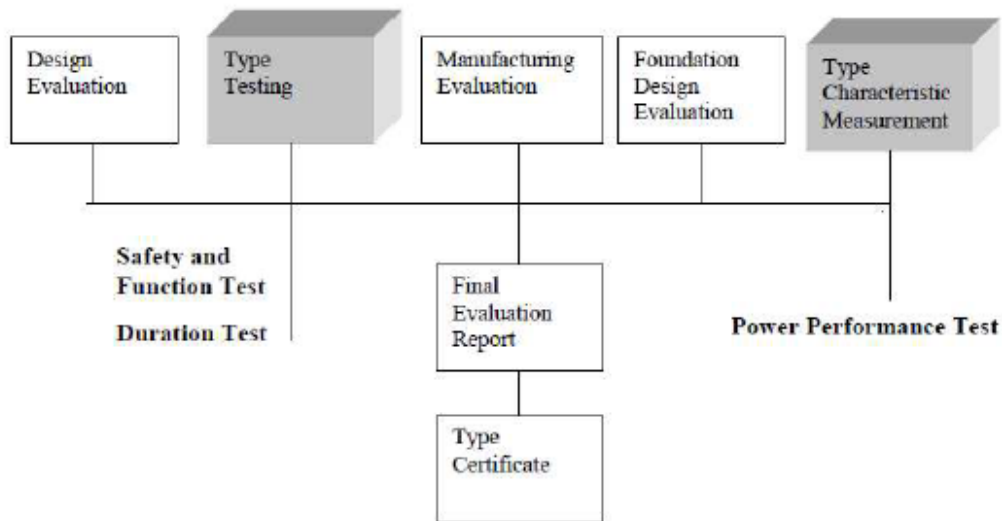
IEC

Σχήμα 5.14 - Μοντέλο ανταλλαγής πληροφοριών για ένα αιολικό σταθμό παραγωγής ενέργειας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

**ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ**

Στις μικρές ανεμογεννήτριες πέραν της μέτρησης της καμπύλης ισχύος τους, την οποία είδαμε διεξοδικά στο κεφάλαιο 3, πραγματοποιούνται κι άλλες δοκιμές που αφορούν στην απόδοσή τους, στις αντοχές τους, στις προδιαγραφές ασφαλείας τους και σε άλλα χαρακτηριστικά τους. Πολλοί από αυτούς τους ελέγχους γίνονται είτε από ειδικά εργαστήρια είτε από οργανισμούς αιολικής ενέργειας που υπάρχουν σε πολλές χώρες. Στην Ελλάδα, πραγματοποιούνται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ή από άλλα πιστοποιημένα εργαστήρια. Οι έλεγχοι αυτοί ζητούνται συνήθως από τις κατασκευάστριες εταιρείες πριν προωθήσουν κάποια Α/Γ στο εμπόριο ή σπανιότερα από ιδιώτες για να διαπιστωθούν το κατά πόσο οι πραγματικές δυνατότητες των Α/Γ τους προσεγγίζουν τα θεωρητικά δεδομένα των εγχειριδίων που τις συνοδεύουν κατά την πώληση τους.



Σχήμα 6.1 – Διάγραμμα ροής τυχαίου ελέγχου για την πιστοποίηση ανεμογεννήτριας

## 6.1 Έλεγχοι της απόδοσης

Η μέτρηση της καμπύλης ισχύος ανήκει σε αυτή την κατηγορία δοκιμών και πολλές φορές γίνεται προκειμένου να υπάρξει σύγκριση των πραγματικών δυνατοτήτων της Α/Γ σε σχέση με την καμπύλη ισχύος που παρέχεται από τον κατασκευαστή της. Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, μπορεί να γίνει και καταγραφή της συχνότητας μέσω της οποίας προκύπτει η ταχύτητα περιστροφής, όταν πρόκειται για σύγχρονες γεννητριών, έτσι ώστε να μπορεί να προκύψει ο λόγος των ταχυτήτων του ακροπερυγίου λ. Παράλληλα, γνωρίζοντας την απόδοση της γεννήτριας αναλόγως των στροφών ή του ρεύματος, είναι δυνατόν να υπολογισθεί ο

αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος  $c_p$ , με τελικό αποτέλεσμα ο υπολογισμός της καμπύλης  $c_p$ - $\lambda$  που αφορά την αεροδυναμική ικανότητα των πτερυγίων.

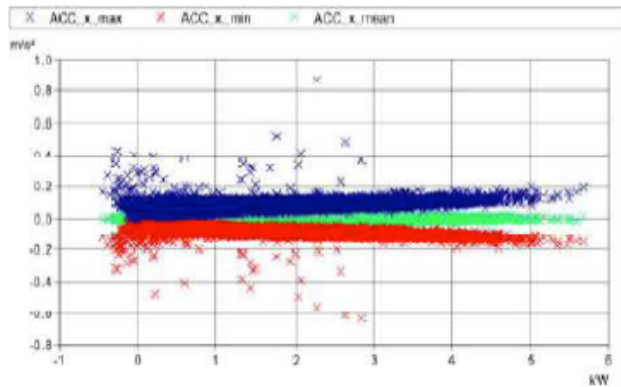
Ένας ακόμα έλεγχος που μπορεί να γίνει στις τριφασικές Α/Γ είναι ο έλεγχος της ποιότητας ισχύος, που πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο IEC standard 61400-21. Το τεστ αυτό περιλαμβάνει μετρήσεις της άεργου ισχύος, του flicker, των μεταβολών και των διακυμάνσεων της τάσεως και των αρμονικών που παράγονται. Μετά την επεξεργασία αυτών των μετρήσεων, συμπεραίνεται το κατά πόσο τα μεγέθη αυτά παρουσιάζονται στα επιθυμητά επίπεδα που ορίζονται από το πρότυπο IEC [12].

Σπουδαίας σημασίας αποτελεί και ο έλεγχος της διάρκειας των Α/Γ. Η δοκιμή διάρκειας εκτελείται για να προκύψει η απόδοση της Α/Γ κατά τη διάρκεια μακροπρόθεσμων περιόδων. Τα πειραματικά δεδομένα ταξινομούνται μηνιαία στις κατηγορίες χρόνου που διευκρινίζονται από τα πρότυπα και τα οποία υποβάλλονται σε μια άτυπη έκθεση. Η δοκιμή διάρκειας εκτελείται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61400-2. Το τεστ αυτό μπορεί να αντικαταστήσει τους ελέγχους των πτερυγίων και των δυναμικών φορτίων που αναπτύσσονται σε μία μικρή Α/Γ. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται και κατά πολύ το κόστος των συνολικών ελέγχων που μπορούν να διεξαχθούν για μία μικρή Α/Γ. Προφανώς, οι έλεγχοι αυτοί διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα, περίπου 6 μήνες ή περισσότερο μέχρι να υπάρξει ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων ιδιαίτερα για τις μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου [13].

## 6.2 Έλεγχοι των αντοχών

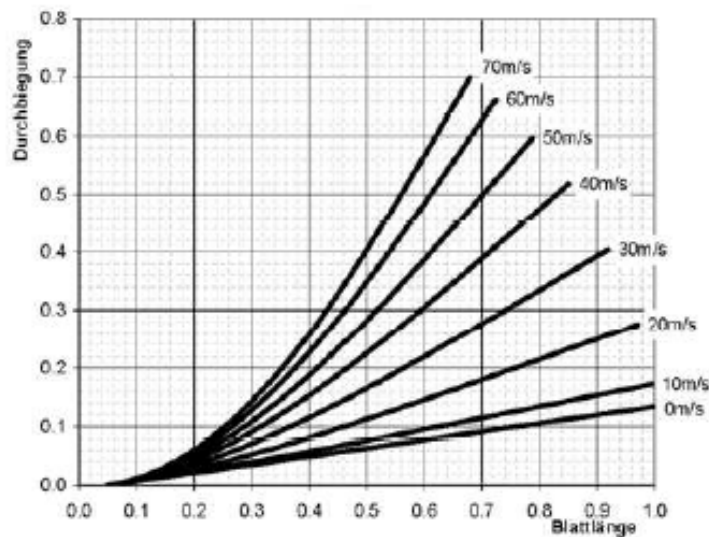
Ο κύριος έλεγχος που αφορά την αντοχή των Α/Γ, είναι η μέτρηση των δυναμικών φορτίων που αναπτύσσονται σε αυτές. Γίνεται καταγραφή των φορτίων στα διάφορα τμήματα μίας Α/Γ και συσχέτιση τους με τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του πνέοντος ανέμου (ταχύτητα, ένταση τύρβης, κτλ) και με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της (ταχύτητα περιστροφής, ρυθμίσεις ελέγχου, κτλ) με στόχο την ανάλυση της δυναμικής και κοπωτικής συμπεριφοράς της Α/Γ. Αυτές οι μετρήσεις αποτελούν έναν κρίσιμο παράγοντα για τον έλεγχο του σχεδιασμού μίας Α/Γ ή για τη βελτίωση των κατασκευαστικών της χαρακτηριστικών. Συνήθως, τέτοιου είδους μετρήσεις ζητούνται από τους κατασκευαστές των ανεμογεννητριών προκειμένου να ελεγχθούν τα νέα προϊόντα τους και να αποκτήσουν το πιστοποιητικό από τους οργανισμούς πιστοποίησης ανεμογεννητριών. Τα εν λόγω φορτία που υπολογίζονται, μετρούνται με τη βοήθεια ηλεκτρικών αισθητήρων παραμόρφωσης (strain gages), τα οποία τοποθετούνται σε κατάλληλα επιλεγμένα σημεία των τμημάτων της Α/Γ (στα πτερύγια, στον πύργο, στον κύριο άξονα, κτλ). Οι μετρήσεις και επεξεργασία αυτών γίνεται με το πρότυπο IEC 61400-13, διαρκούν περίπου τέσσερις μήνες και στόχος είναι η προσομοίωση όλων εκείνων των περιπτώσεων λειτουργίας (load cases) που έχουν προβλεφθεί από τον κατασκευαστή.





Σχήμα 6.2 – Έλεγχος αντοχής του πύργου: διάγραμμα της επιτάχυνσης του πύργου συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος της Α/Γ

Ένα εξίσου σημαντικό τεστ είναι κι η δοκιμή των πτερυγίων μίας Α/Γ. Κατά τη δοκιμή αυτή πραγματοποιείται πειραματικός προσδιορισμός της στατικής, δυναμικής και κοπωτικής συμπεριφοράς των πτερυγίων σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61400-23. Αναλυτικότερα, γίνεται εφαρμογή στατικών κι εναλλασσόμενων φορτίων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με στόχο την πιστοποίηση της δυσκαμψίας κι αντοχής του πτερυγίου κι εφαρμογή δυναμικών φορτίων συγκεκριμένης μορφής με στόχο τον προσδιορισμό των ιδιοσυχνοτήτων, των ιδιομορφιών και των συντελεστών απόσβεσης αυτού. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών καταγράφονται οι παραμορφώσεις, οι μετατοπίσεις, οι κλίσεις κι οι επιταχύνσεις που αναπτύσσονται από το πτερύγιο, οι επιβαλλόμενες δυνάμεις κι οι επικρατούσες περιβαλλοντολογικές συνθήκες για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του πτερυγίου.



Σχήμα 6.3 - Δοκιμή της εκτροπής των πτερυγίων για μεγάλα δυναμικά φορτία σε υψηλούς ανέμους

### 6.3 Έλεγχος της ασφαλούς λειτουργίας

Ο σκοπός του ελέγχου ασφαλείας και λειτουργίας μίας Α/Γ είναι να επιβεβαιωθεί ότι διαθέτει τις κατάλληλες δυνατότητες να λειτουργήσει με ασφάλεια υπό όλες τις δυνατές συνθήκες, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για οποιονδήποτε κι οτιδήποτε βρίσκεται κοντά σε αυτήν. Διεξάγεται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61400-2. Κατά τη διάρκεια των διάφορων δοκιμών, ελέγχονται ακραίες καταστάσεις, όπως η επείγουσα διακοπή λειτουργίας και η αεροδυναμική ικανότητα του stall των πτερυγίων σε πολύ μεγάλους ανέμους [13]. Επιπλέον, αυτές οι προδιαγραφές θα πρέπει να εξασφαλίζουν [14]:

- Το συνεχή έλεγχο της ισχύος και της ταχύτητας περιστροφής της Α/Γ
- Τον έλεγχο της περιστροφής γύρω από τον πυλώνα της Α/Γ
- Τη σωστή συμπεριφορά του συστήματος στην περίπτωση διακοπής της σύνδεσης με το φορτίο
- Την προστασία σε περίπτωση υπερτάχυνσης της πτερύγωσης
- Την επιβράδυνση της Α/Γ σε περίπτωση εκτάκτου κινδύνου

Επιπροσθέτως, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιβεβαίωση των παραπάνω προδιαγραφών :

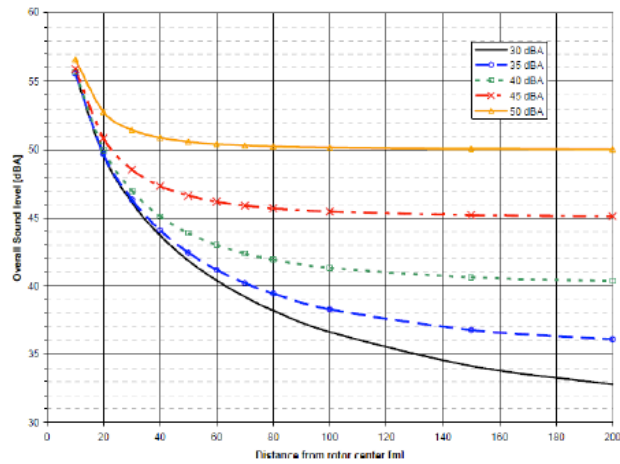
- Οι εξωτερικές συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα κι οι ακραίες τιμές ταχύτητας ανέμου, ο ριπαιός άνεμος, το ποσοστό της τύρβης, οι ακρότατες θερμοκρασίες, η σεισμικότητα της περιοχής, το είδος του εδάφους, κτλ.
- Η συμπεριφορά των διάφορων τμημάτων του συστήματος στις πιο δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας, όπως προκύπτουν από τους συνδυασμούς φορτίων, κοπωτικών ή μη.

### 6.4 Έλεγχος των ακουστικών εκπομπών θορύβου

Ένα σύνηθες τεστ είναι κι αυτό της μέτρησης της ακουστικής ισχύος του θορύβου που εκπέμπεται από τη λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας και συσχετίσή του με τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του πνέοντος ανέμου καθώς και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της Α/Γ. Στόχος των δοκιμών αυτών είναι να διαπιστωθούν τα επίπεδα του παραγόμενου θορύβου σε έναν νέο τύπο Α/Γ προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία πιστοποίησης της ή να επιβεβαιωθεί η "εγγύηση" ακουστικών εκπομπών που δίνει ο κατασκευαστής της και οι τιμές της οποίας χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των αναμενόμενων επιπέδων θορύβου στη γύρω περιοχή. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται, γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61400-11. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετρήσεων περιλαμβάνουν:

- Τη στάθμη της εκπεμπόμενης ακουστικής ισχύος

- Την ηχοστάθμη ακουσικής πίεσης για το εύρος ταχυτήτων 6 - 10 m/s
- Την ανάλυση ανά 3dB του εκπεμπόμενου ακουστικού φάσματος
- Την ανάλυση τονικότητας του εκπεμπόμενου ακουστικού φάσματος



Σχήμα 6.4 - Έλεγχος των ακουστικών εκπομπών θορύβου : διάγραμμα που αναπαριστά τα επίπεδα θορύβου μίας Α/Γ σε συνάρτηση με την απόσταση από τη δρομέα της  
 (κάθετος άξονας: overall sound level [dBA] –  
 οριζόντιος άξονας: distance from motor center [m])

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ένας απολογισμός όσων αναφέρθηκαν σε όλα αυτά τα κεφάλαια προκειμένου να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα αλλά και προτάσεις για τη βελτίωση της εργασίας.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε μια προσπάθεια με σκοπό να συλλέξουμε λεπτομερή στοιχεία σχετικά με τις αρχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, αποθήκευση και ανάλυση μετρήσεων δεδομένων, σχετικά με εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών. Αυτή η εργασία επιχειρεί να παράσχει μια συνεπή τεκμηρίωση σχετικά με τη διεθνή μεθοδολογία και τις κατευθυντήριες γραμμές, όσον αφορά τη μέτρηση της απόδοσης ισχύος για τις εφαρμογές ανεμογεννητριών, μαζί με τις αντίστοιχες για την αξιολόγηση των ορίων ακριβείας και των τιμών εξόδου των μορφοτροπέων που σχετίζονται με την ηλεκτρική ισχύ, στο πλαίσιο των προαναφερθεισών εφαρμογών. Επίσης εξετάζονται και παρουσιάζονται πρότυπα σχετικά με τους μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος που χρησιμοποιούνται με ηλεκτρικά όργανα μέτρησης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία διασφαλίζει ότι το κάθε μέρος των πληροφοριών που περιγράφονται και αξιολογούνται, τηρεί τα αντίστοιχα πρότυπα και σχετικές μεθοδολογίες.

Η ανάγκη για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης προσπάθειας δημιουργήθηκε από τις δραστηριότητες και το αντικείμενο έρευνας του εργαστηρίου Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα πρότυπα μέτρησης τεκμηριώνουν τις επαγγελματικές αρχές και πρακτικές που πρέπει να τηρούνται καθώς και το επίπεδο ποιότητας και προσπάθειας που αναμένεται σε όλες τις δραστηριότητες του εργαστηρίου, όπως η σχεδίαση και κατασκευή μικρών ανεμογεννητριών, η υλοποίηση μετρητικού συστήματος και η οργάνωση του πεδίου δοκιμών.

Η καινοτομία της παρούσας εργασίας, πέραν της δημιουργίας μεθοδολογίας των διεθνών πρακτικών μέσω της ανασκόπησης των προτύπων, ήταν η αξιοποίηση της εμπειρίας ανθρώπων που έχουν πολυετή εμπειρία στις εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η εθελοντική συμμετοχή των χρηστών αυτών στη έρευνα, που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, συγκέντρωσε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα που πρέπει να μετρηθούν και να αποθηκευτούν, τις προδιαγραφές της πλειοψηφίας των εφαρμογών, τον τύπο των περιβαλλοντικών παραμέτρων που πρέπει να μετρηθούν, δηλαδή με λίγα λόγια να προσδιοριστεί τι πραγματικά πρέπει να μετρήσουμε σε μια τυπική μικρή εφαρμογή ανεμογεννητριών.

Προτάσεις για βελτίωση:

1. Το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να αναβαθμιστεί καθώς δύο από τα πρότυπα τα οποία έχουν μελετηθεί έχουν αντικατασταθεί από νεότερη έκδοση κατά τη διάρκεια της έρευνας και δεν καταφέραμε να τα αποκτήσουμε.

2. Επόμενο βήμα είναι η έρευνα των διεθνών προτύπων σε μεγαλύτερο βάθος. Δηλαδή, ο εμπλουτισμός με περισσότερες πληροφορίες και απαιτήσεις που προκύπτουν από τις αναφορές των προτύπων σε άλλα πρότυπα. Αυτή η διαδικασία είναι αρκετά δύσκολη λόγω του τεράστιου όγκου των δεδομένων και του κόστους απόκτησης των προτύπων.
3. Η δημιουργία μεθοδολογίας των διεθνών πρακτικών μέσω της ανασκόπησης των προτύπων είναι μια διαδικασία η οποία συνεχώς εξελίσσεται, καθώς καινούρια πρότυπα και απαιτήσεις τίθενται σε ισχύ. Για να είναι χρήσιμο το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αναθεωρήσεις των προτύπων κατά διαστήματα.
4. Μία ακόμη πρόταση είναι οι πρακτικές, οι δοκιμές και οι απαιτήσεις που περιγράφονται στην παρούσα εργασία να εφαρμοστούν και να δοκιμαστούν στον εξοπλισμό των εφαρμογών μικρών ανεμογεννητριών του εργαστηρίου καθώς και να ληφθούν υπόψη σε μελλοντικές εργασίες.
5. Τέλος, μία ακόμη πρόταση για την βελτίωση της εργασίας είναι η συμμετοχή ακόμη περισσότερων χρηστών στην έρευνα, με αποτέλεσμα να συγκεντρώσουμε καλύτερα στατιστικά δεδομένα, να συλλέξουμε σχόλια και απόψεις για τις εφαρμογές μικρών ανεμογεννητριών. Με τον τρόπο αυτό θα επικεντρωθεί το ενδιαφέρον της ερευνητικής διαδικασίας σε θέματα που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον, βοηθώντας στην διασφάλιση της ποιότητας δημιουργώντας ευνοϊκό περιβάλλον για την ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Το παρόν παράρτημα αφορά τις απαιτήσεις για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας στις μετρήσεις και τη θεωρητική βάση για τον καθορισμό της αβεβαιότητας χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των διαστημάτων.

Η μετρούμενη καμπύλη ισχύος πρέπει να συμπληρώνονται με μια εκτίμηση της αβεβαιότητας της μέτρησης. Η εκτίμηση πρέπει να βασίζεται στις πληροφορίες έκδοσης "Οδηγός για την έκφραση της αβεβαιότητας στις μετρήσεις" ISO. Ακολουθώντας τον οδηγό ISO, υπάρχουν δύο τύποι των αβεβαιοτήτων: κατηγορίας Α, το μέγεθος των οποίων μπορεί να συναχθεί από τις μετρήσεις, και της κατηγορίας Β, το οποίο εκτιμάται με άλλα μέσα. Και στις δύο κατηγορίες, οι αβεβαιότητες που εκφράζονται ως τυπικές αποκλίσεις και δηλώνονται τυπικές αβεβαιότητες.

Πίνακας Α.1 - Κατάλογος εξαρτημάτων αβεβαιότητας

Measured parameter	Uncertainty component	Uncertainty category
Electric power	Current transformers	B
	Voltage transformers	B
	Power transducer or power measurement device	B
	Data acquisition system (see note)	B
	Variability of electric power	A
Wind speed	Anemometer calibration	B
	Operational characteristics	B
	Mounting effects	B
	Data acquisition system (see note)	B
	Flow distortion due to terrain	B
Air temperature	Temperature sensor	B
	Radiation shielding	B
	Mounting effects	B
	Data acquisition system (see note)	B
Air pressure	Pressure sensor	B
	Mounting effects	B
	Data acquisition system (see note)	B
Data acquisition system	Signal transmission	B
	System accuracy	B
	Signal conditioning	B

α) Τα μετρούμενα μεγέθη: Τα μετρούμενα μεγέθη είναι η καμπύλη ισχύος, που καθορίζεται από τις μετρούμενες και κανονικοποιημένες τιμές κάδου της ηλεκτρικής ενέργειας και της ταχύτητας του ανέμου και η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Οι αβεβαιότητες των μετρήσεων μετατρέπονται σε αβεβαιότητα στο μετρούμενο μέγεθος με τη βοήθεια των συντελεστών ευαισθησίας.

β) Πως προκύπτει η αβεβαιότητα: Ο πίνακας Α.1 παρέχει μία λίστα παραμέτρων αβεβαιότητας που πρέπει να περιλαμβάνονται στην ανάλυση αβεβαιότητας.

### Α.1 Θεωρητική βάση για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της μέτρησης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των κάδων, γενικά.

Στην πιο γενική της μορφή η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάδο  $i$ ,  $u_{c,i}$  μπορεί να εκφραστεί από

$$u_{c,i}^2 = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M c_{k,i} u_{k,i} c_{l,i} u_{l,i} \rho_{k,l,i,j}$$

όπου,

- $c_{k,i}$  is the sensitivity factor of component  $k$  in bin  $i$ ;
- $u_{k,i}$  is the standard uncertainty of component  $k$  in bin  $i$ ;
- $M$  is the number of uncertainty components in each bin;
- $\rho_{k,l,i,j}$  is the correlation coefficient between uncertainty component  $k$  in bin  $i$  and uncertainty component  $l$  in bin  $j$  (in the expression the components  $k$  and  $l$  are both in bin  $i$ ).

Το στοιχείο της αβεβαιότητας είναι η ατομική ποσότητα εισόδου στην αβεβαιότητα της κάθε μετρούμενης παραμέτρου. Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα στην εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας, ΑΕΡ, μπορεί στην πιο γενική της μορφή να εκφράζεται με

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M f_i c_{k,i} u_{k,i} f_j c_{l,j} u_{l,j} \rho_{k,l,i,j}$$

όπου,

- $f_i$  is the relative occurrence of wind speed between  $V_{i-1}$  and  $V_i$ :  $F(V_i) - F(V_{i-1})$  within bin  $i$ ;
- $F(V)$  is the Rayleigh cumulative probability distribution function for wind speed;
- $N$  is the number of bins;
- $N_h$  is the number of hours in one year  $\approx 8760$ .

Σπανίως είναι δυνατόν να συμπεράνουμε σαφώς όλες τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης  $\rho_{i,j,k,l}$  και συνήθως σημαντικές απλοποιήσεις είναι απαραίτητες. Σε πρακτικό επίπεδο για να



γίνει απλοποίηση των συντελεστών συνδυασμένης αβεβαιότητας , μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες υποθέσεις:

- Οι συντελεστές της αβεβαιότητας είναι είτε πλήρως συσχετισμένοι ( $\rho = 1$ , υποδηλώνοντας γραμμική άθροιση για να ληφθεί η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα) ή ανεξάρτητοι ( $\rho = 0$ , πράγμα που σημαίνει τετραγωνικό άθροισμα, δηλαδή η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος τετραγώνων των συντελεστών αβεβαιότητας)
- Όλοι οι συντελεστές αβεβαιότητας κατηγορίας A είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους και οι συντελεστές αβεβαιότητας κατηγορίας A και B είναι ανεξάρτητοι (είτε είναι από τον ίδιο κάδο ή προέρχονται από διαφορετικούς κάδους), ενώ οι συντελεστές αβεβαιότητας κατηγορίας B είναι πλήρως συσχετισμένοι μεταξύ τους (π.χ. αβεβαιότητα σε μετατροπέα ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικά διαστήματα).

Χρησιμοποιώντας αυτές τις υποθέσεις, η συνδυασμένη αβεβαιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα σε ένα κάδο,  $U_{c,i}$  μπορεί να εκφράζεται από

$$u_{c,i}^2 = \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + \sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 u_{k,i}^2 = s_i^2 + u_i^2$$

όπου,

$M_A$	is the number of category A uncertainty components;
$M_B$	is the number of category B uncertainty components;
$s_{k,i}$	is the category A standard uncertainty of component k in bin i;
$s_i$	are the combined category A uncertainties in bin i;
$u_i$	are the combined category B uncertainties in bin i.

Οι παραδοχές αυτές υποδεικνύουν ότι η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα στην παραγωγή ενέργειας,  $u_{AEP}$ , είναι:

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^N f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + N_h^2 \sum_{k=1}^{M_B} \left( \sum_{i=i}^N f_i c_{k,i} u_{k,i} \right)^2$$

Η σημασία του δεύτερο όρου σε αυτήν την εξίσωση είναι ότι κάθε στοιχείο αβεβαιότητας επιμέρους κατηγορίας B συμπεριλαμβάνεται μέσα στην αντίστοιχη αβεβαιότητα AEP, εφαρμόζοντας την παραδοχή της πλήρους συσχέτισης για κάδους για τους μεμονωμένους

συντελεστές. Τέλος, οι cross-bin συνδυασμένοι συντελεστές της αβεβαιότητας προστίθενται τετραγωνικώς σε μια προκύπτουσα αβεβαιότητα AEP. Στην πράξη, μπορεί να μην είναι βολικό να συνοψίσουμε τους συντελεστές αβεβαιότητας της κατηγορίας B σε όλους τους κάδους πριν συνδυαστούν ξεχωριστά. Μια προσέγγιση, επιτρέποντας τους συντελεστές της αβεβαιότητας της κατηγορίας B να συνδυάζονται στους κάδους ξεχωριστά πριν συνδυαστούν σε όλους μαζί, οδηγεί στην πιο βολική έκφραση:

$$\begin{aligned}
 u_{AEP}^2 &= N_h^2 \sum_{i=1}^N f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + N_h^2 \left( \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{\sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 u_{k,i}^2} \right)^2 \\
 &= N_h^2 \sum_{i=1}^N f_i^2 s_i^2 + N_h^2 \left( \sum_{i=1}^N f_i u_i \right)^2
 \end{aligned}$$

## A.2 Αυξημένη αβεβαιότητα

Οι συνδυασμένες τυπικές αβεβαιότητες της καμπύλης ισχύος και της AEP μπορούν επιπροσθέτως να εκφράζονται με διευρυμένη αβεβαιότητα. Αναφορικά με τον οδηγό ISO και υποθέτοντας κανονικές κατανομές, διαστήματα που έχουν επίπεδα εμπιστοσύνης που φαίνονται στον πίνακα A.2 μπορούν να βρεθούν από τον πολλαπλασιασμό αυτών των συνδυασμένων τυπικών αβεβαιοτήτων με συντελεστή κάλυψης ο οποίος φαίνεται επίσης στον πίνακα.

Πίνακας A.2 – Αυξημένες αβεβαιότητες

Level of confidence %	Coverage factor
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

## A.3 Αβεβαιότητα κατηγορίας A

Η μόνη αβεβαιότητα κατηγορίας A που πρέπει να εξεταστεί είναι η αβεβαιότητα των μετρούμενων και κανονικοποιημένων δεδομένων ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε διάστημα.

### A.3.1 Αβεβαιότητα κατηγορίας A στην ηλεκτρική ενέργεια

Η τυπική απόκλιση της κατανομής των κανονικοποιημένων δεδομένων ισχύος σε κάθε κάδο υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\sigma_{P,i} = \sqrt{\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^{N_i} (P_i - P_{n,i,j})^2}$$

όπου,

$\sigma_{P,i}$  is the standard deviation of the normalized power data in bin i;

$N_i$  is the number of 10 min data sets in bin i;

$P_i$  is the normalized and averaged power output in bin i;

$P_{n,i,j}$  is the normalized power output of data set j in bin i.

Η τυπική αβεβαιότητα της κανονικοποιημένης και κατά μέσο όρο ηλεκτρικής ενέργειας στον κάδο υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$s_i = s_{P,i} = \frac{\sigma_{P,i}}{\sqrt{N_i}}$$

όπου,

$s_{P,i}$  is the category A standard uncertainty of power in bin i;

$\sigma_{P,i}$  is the standard deviation of the normalized power data in bin i;

$N_i$  is the number of 10 min data sets in bin i.

Πίνακας Α.3 – Λίστα αβεβαιοτήτων κατηγοριών Α και Β

Category B: Instruments	Note	Standard	Uncertainty	Sensitivity
<b>Power output</b>			$u_{P,j}$	$c_{P,j} = 1$
Current transformers *	a	IEC 60044-1	$u_{P1,j}$	
Voltage transformers *	a	IEC 60044-2	$u_{P2,j}$	
Power transducer or	a	IEC 60888	$u_{P3,j}$	
Power measurement device *	c		$u_{P4,j}$	
<b>Wind speed</b>			$u_{V,j}$	
Anemometer *	b		$u_{V1,j}$	$c_{V,j} = \left  \frac{P_i - P_{i-1}}{V_i - V_{i-1}} \right $
Operational characteristics *	cd		$u_{V2,j}$	
Mounting effects *	c		$u_{V3,j}$	
<b>Air density</b>				
<u>Temperature</u>			$u_{T,j}$	$c_{T,j} \approx \frac{P_i}{288,15K}$
Temperature sensor *	a		$u_{T1,j}$	$c_{B,j} \approx \frac{P_i}{1013hPa}$
Radiation shielding *	cd		$u_{T2,j}$	
Mounting effects *			$u_{T3,j}$	
<u>Air pressure</u>		ISO 2533	$u_{B,j}$	
Pressure sensor *	a		$u_{B1,j}$	
Mounting effects *	c		$u_{B2,j}$	
<b>Data acquisition system</b>			$u_{d,j}$	Sensitivity factor is derived from actual uncertainty parameter
Signal transmission *	b		$u_{d1,j}$	
System accuracy *	cd		$u_{d2,j}$	
Signal conditioning *			$u_{d3,j}$	
<b>Category B: Terrain</b>				
Flow distortion due to terrain *	bc		$u_{V4,j}$	$c_{V,j}$ (see above)
<b>Category B: Method</b>				
<b>Method</b>			$u_{m,j}$	
Air density correction	cd		$u_{m1,j}$	$c_{T,j}$ and $c_{B,j}$
<b>Category A: Statistical</b>				
Electric power *	e		$s_{P,j}$	$c_{P,j} = 1$
Climatic variations	e		$s_w$	---
* parameter required for the uncertainty analysis				
NOTE Identification of uncertainties: a = reference to standard; b = calibration; c = other "objective" method; d = "gustimate"; e = statistics.				

### A.3.2 Αβεβαιότητα κατηγορίας Α στις κλιματικές αλλαγές

Η δοκιμή απόδοσης ισχύος μπορεί να έχει πραγματοποιηθεί υπό ειδικές ατμοσφαιρικές συνθήκες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα του τεστ συστηματικά, όπως πολύ σταθερή (μεγάλη

κάθετη διάτμηση και χαμηλή τύρβη) ή ασταθή (μικρή διάτμηση και υψηλή τύρβη) ατμοσφαιρική διαστρωμάτωση ή συχνή και / ή μεγάλες αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου. Η τάξη μεγέθους αυτής της κλιματικής αβεβαιότητας,  $s_w$ , μπορεί να ελεγχθεί με:

- Υποδιαίρεση της εγγραφής δεδομένων σε τμήματα, κάθε ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να έχει μικρή (στατιστική) αβεβαιότητα στην ισχύ
- την εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας για κάθε μία από τις καμπύλες ισχύος που προκύπτουν, και
- υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των ετήσιων εκτιμήσεων παραγωγής ενέργειας.

#### A.4 Αβεβαιότητα κατηγορίας B

Οι αβεβαιότητες της κατηγορίας B θεωρείται ότι σχετίζονται με τα όργανα, το σύστημα απόκτησης δεδομένων, και το έδαφος γύρω από το χώρο δοκιμών απόδοσης ισχύος. Εάν οι αβεβαιότητες εκφράζονται ως όρια αβεβαιότητας, ή έχουν έμμεση, non-unity coverage factors, η τυπική αβεβαιότητα πρέπει να εκτιμάται ή να πρέπει να μετατραπεί κατάλληλα σε τυπική αβεβαιότητα.

If a rectangular probability distribution is assumed,  $\sigma = \frac{U}{\sqrt{3}}$

If a triangular probability distribution is assumed,  $\sigma = \frac{U}{\sqrt{6}}$

#### E.4.1 Αβεβαιότητα κατηγορίας B στο σύστημα απόκτησης δεδομένων

Μπορεί να υπάρχουν αβεβαιότητες όσον αφορά τη μετάδοση, επεξεργασία σήματος, την αναλογική στην ψηφιακή μετατροπή και επεξεργασία δεδομένων στο σύστημα απόκτησης δεδομένων. Οι αβεβαιότητες μπορεί να είναι διαφορετικές για κάθε κανάλι μέτρησης. Η τυπική αβεβαιότητα του συστήματος συλλογής δεδομένων για το πλήρες φάσμα ενός συγκεκριμένου καναλιού μέτρησης,  $u_{d,i}$  είναι

$$u_{d,i} = \sqrt{u_{d1,i}^2 + u_{d2,i}^2 + u_{d3,i}^2}$$

$u_{d1,i}$  is the uncertainty in signal transmission and signal conditioning in bin i;

$u_{d2,i}$  is the uncertainty in digitization in bin i, for example from quantization resolution;

$u_{d3,i}$  is the uncertainty in other parts of the integrated data acquisition system (software, storage system) in bin  $i$ .

Υποθέτουμε σε αυτό το παράδειγμα το σύστημα απόκτησης δεδομένων να έχουν τυπική αβεβαιότητα  $u_{d,i}$  0,1% του πλήρους φάσματος του κάθε καναλιού μέτρησης.

#### A.4.2 Αβεβαιότητα κατηγορίας B στην ηλεκτρική ενέργεια

Η αβεβαιότητα του αισθητήρα ισχύος έχει συνεισφορές αβεβαιότητας από μετασχηματιστές τάσης και έντασης και από τον μετατροπέα ρεύματος. Οι αβεβαιότητες αυτών των επιμέρους στοιχείων του συστήματος υπό κανονικές συνθήκες πρέπει να αναφέρονται στην τυποποίηση τους.

Η τυπική αβεβαιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε κάδο,  $u_{P,i}$ , υπολογίζεται με το συνδυασμό των τυπικών αβεβαιοτήτων από τον μετατροπέα ρεύματος, των μετασχηματιστών τάσης και έντασης και το σύστημα απόκτησης δεδομένων:

$$u_{P,i} = \sqrt{u_{P1,i}^2 + u_{P2,i}^2 + u_{P3,i}^2 + u_{dP,i}^2}$$

όπου,

$u_{P1,i}$  is the uncertainty in current transformers in bin  $i$ ;

$u_{P2,i}$  is the uncertainty in voltage transformers in bin  $i$ ;

$u_{P3,i}$  is the uncertainty in the power transducer in bin  $i$ ;

$u_{dP,i}$  is the uncertainty in the data acquisition system for the power channel in bin  $i$ .

Οι μετασχηματιστές ρεύματος της κλάσης 0.5 (τα ονομαστικά φορτία των μετασχηματιστών ρεύματος έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ταιριάζουν με την ονομαστική ισχύ, 1 000 kW και όχι 200% της ονομαστικής ισχύος). Έχουν όρια αβεβαιότητας, αναφερόμενα στο IEC 60044-1,  $\pm 0.5\%$  του ρεύματος στο φορτίο 100%. Σε φορτία 20% και 5%, ωστόσο, τα όρια αβεβαιότητας αυξάνονται σε  $\pm 0.75\%$  και  $\pm 1.5\%$  του ρεύματος, αντίστοιχα. Για τις μετρήσεις ισχύος σε ανεμογεννήτριες, η πιο σημαντική παραγωγή ενέργειας παράγεται με μειωμένη ισχύ. Έτσι, αναμένουμε τα όρια αβεβαιότητας  $\pm 0.75\%$  του ρεύματος σε 20% φορτίο να είναι ένας καλός μέσος όρος. Η κατανομή της αβεβαιότητας θεωρείται ορθογώνια. Υποθέτουμε ότι οι αβεβαιότητες των τριών μετασχηματιστών ρεύματος προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες επιρροής όπως η θερμοκρασία του αέρα, η συχνότητα του δικτύου κ.λπ. Συνεπώς, θεωρούνται πλήρως συσχετισμένες (εξαιρέση από τη γενική παραδοχή) και αθροίζονται γραμμικά. Καθώς κάθε μετασχηματιστής ρεύματος συμβάλλει κατά το ένα τρίτο στη μέτρηση

ισχύος, προκύπτει ότι η αβεβαιότητα όλων των μετασχηματιστών ρεύματος είναι ανάλογη προς την ισχύ ως εξής:

$$u_{P1,i} = \frac{0.75\%P_i(kW)}{\sqrt{3}} \frac{1}{3} = 0.43\% P_i (kW)$$

Οι μετασχηματιστές τάσης της κλάσης 0,5 έχουν όρια αβεβαιότητας, που αναφέρονται στο IEC 60044-2,  $\pm 0.5\%$  της τάσης σε όλα τα φορτία. Η κατανομή της αβεβαιότητας θεωρείται ορθογώνια. Η τάση του δικτύου είναι κανονικά μάλλον σταθερή και ανεξάρτητη από την ισχύ του ανεμοστρόβιλου. Οι αβεβαιότητες των τριών μετασχηματιστών τάσης είναι όπως και για τους μετασχηματιστές ρεύματος που υποτίθεται ότι προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες επιρροής όπως η θερμοκρασία του αέρα, η συχνότητα του δικτύου κλπ. Συνεπώς, θεωρούνται πλήρως συσχετισμένες (εξαίρεση από τη γενική παραδοχή) και αθροίζονται γραμμικά. Καθώς κάθε μετασχηματιστής τάσης συνεισφέρει κατά το ένα τρίτο στη μέτρηση ισχύος, προκύπτει ότι η αβεβαιότητα όλων των μετασχηματιστών τάσης είναι ανάλογη με την ισχύ ως εξής:

$$u_{P2,i} = \frac{0.5\%P_i(kW)}{\sqrt{3}} \frac{1}{3} = 0.29\% P_i (kW)$$

Εάν οι μετασχηματιστές ρεύματος και τάσης δεν λειτουργούν εντός των ορίων λειτουργικού φορτίου δευτερεύοντος βρόχου, προστίθενται πρόσθετες αβεβαιότητες.

Ο μετατροπέας ισχύος κατηγορίας 0.5, που αναφέρεται στο IEC 60688, με ονομαστική ισχύ 2 000 kW (200% της ονομαστικής ισχύος, 1 000 kW της ανεμογεννήτριας) έχει όριο αβεβαιότητας 10 kW. Η κατανομή της αβεβαιότητας θεωρείται ορθογώνια. Η αβεβαιότητα του μετατροπέα ισχύος είναι:

$$u_{P3,i} = \frac{10kW}{\sqrt{3}} = 5.8kW$$

#### **A.4.3 Αβεβαιότητα κατηγορίας B στην ταχύτητα του ανέμου**

Η αβεβαιότητα της μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου είναι ένας συνδυασμός από διάφορα στοιχεία αβεβαιότητας. Συνήθως, οι πιο σημαντικές από αυτές είναι η στρέβλωση της ροής που οφείλεται στη μορφολογία του εδάφους, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ανεμόμετρου,

αβεβαιότητες που προκύπτουν στη βαθμονόμηση του και την τοποθέτησή του. Αν το έδαφος είναι σύμφωνο με τις απαιτήσεις του εδάφους του, η στρέβλωση της ροής λόγω του εδάφους προσδιορίζεται ως 2% ή 3%, ανάλογα με την απόσταση του μετεωρολογικού ιστού από την ανεμογεννήτρια. Αν μια πειραματική βαθμονόμηση του πεδίου δοκιμών γίνεται σύμφωνα με το παράρτημα Β, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η τυπική αβεβαιότητα που προέρχεται από τη βαθμονόμηση του πεδίου δοκιμών. Η στρέβλωση της ροής που οφείλεται σε επιδράσεις τοποθέτησης μπορεί να είναι σημαντική, εκτός αν το ανεμόμετρο είναι τοποθετημένο σε ένα σωλήνα στην κορυφή του ιστού. Η αβεβαιότητα της βαθμονόμησης ανεμόμετρου και η αβεβαιότητα που οφείλεται σε λειτουργικά χαρακτηριστικά μπορεί να κυριαρχούν στη μέτρηση.

Η αβεβαιότητα της κατηγορίας Β από την ταχύτητα του ανέμου σε κάδο  $i$ ,  $u_{V,i}$  μπορεί να εκφραστεί ως:

$$u_{V,i} = \sqrt{u_{V1,i}^2 + u_{V2,i}^2 + u_{V3,i}^2 + u_{V4,i}^2 + u_{dV,i}^2}$$

- $u_{V1,i}$  is the uncertainty of the anemometer calibration in bin  $i$
- $u_{V2,i}$  is the uncertainty due to operational characteristics of the anemometer in bin  $i$
- $u_{V3,i}$  is the uncertainty of flow distortion due to mounting effects in bin  $i$
- $u_{V4,i}$  is the uncertainty of flow distortion due to the terrain in bin  $i$
- $u_{dV,i}$  is the uncertainty in the data acquisition system for the wind speed in bin  $i$ .

Ο συντελεστής ευαισθησίας προσδιορίζεται ως η τοπική κλίση της καμπύλης ισχύος που μετράται:

$$c_{V,i} = \left| \frac{P_i - P_{i-1}}{V_i - V_{i-1}} \right|$$

Η τυπική αβεβαιότητα της βαθμονόμησης ανεμόμετρου υπολογίζεται να είναι 0.1 m / s. Η αβεβαιότητα λόγω λειτουργικών χαρακτηριστικών του ανεμόμετρου εξάγεται από την ταξινόμηση, η οποία εκτιμάται ότι θα είναι μια κλάση 1.2Α. Υποθέτοντας μια ορθογώνια κατανομή αβεβαιότητας, η κλάση αντιστοιχεί σε μια τυπική αβεβαιότητα των 0.034 m / s + 0,0034 Vi. Η τυπική αβεβαιότητα της παραμόρφωσης της ροής οφείλεται σε επιδράσεις τοποθέτησης υπολογίζεται να είναι 1% της ταχύτητας του ανέμου. Λαμβάνοντας υπόψη ένα εύρος ταχυτήτων ανέμου 30 m / s του καναλιού μέτρησης και την αβεβαιότητα του συστήματος απόκτησης δεδομένων 0.1% της περιοχής αυτής, η τυπική αβεβαιότητα από την απόκτηση δεδομένων είναι 0.03 m / s. Σε αυτό το παράδειγμα, υποτίθεται δεν πραγματοποιείται βαθμονόμηση, και η παραμόρφωση της ροής λόγω του εδάφους εκτιμάται σε 3% της ταχύτητας του ανέμου. Η αβεβαιότητα του κάθε κάδου ταχύτητας του ανέμου είναι:



$$u_{V,i} = \sqrt{\left(\frac{0.1m}{s}\right)^2 + \left(\frac{0.034m}{s} + 0.0034V_i \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2 + \left(0.01V_i \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2 + \left(0.03V_i \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2 + \left(0.00130 \frac{m}{s}\right)^2}$$

Στην περίπτωση κατά την οποία έχει γίνει η βαθμονόμηση στο πεδίο δοκιμών, η αβεβαιότητα από τη βαθμονόμηση συνυπολογίζεται ως την αβεβαιότητα της παραμόρφωσης της ροής λόγω του εδάφους  $u_{V4,i}$ , αντί της σταθερής τιμής (2% ή 3%). Η αβεβαιότητα κατηγορίας A των παραγόντων διόρθωσης ροής του κάθε κάδου κατεύθυνσης του ανέμου καθορίζεται από την κατανομή των μετρούμενων παραγόντων διόρθωσης ροής (λόγος της ταχύτητας του ανέμου σε ανεμογεννήτρια και η ταχύτητα του ανέμου στο μετεωρολογικό ιστό). Η τυπική απόκλιση της κατανομής σε κάθε κάδο είναι  $S_{a,j}$ , και η αβεβαιότητα κατηγορίας A είναι η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής  $S_{a,i}/\sqrt{N_j}$ , όπου  $N_j$  είναι ο αριθμός των λόγων της ταχύτητας του ανέμου στον κάδο διεύθυνσης του ανέμου j. Η αβεβαιότητα βαθμονόμησης είναι η ίδια όπως για τη μέτρηση της καμπύλης ισχύος. Αβεβαιότητες όσο αφορά τη λειτουργία των δύο ανεμόμετρων στη βαθμονόμηση του πεδίου δοκιμών μπορεί να θεωρηθεί ότι συσχετίζονται αν τα ανεμόμετρα είναι του ίδιου τύπου και μπορεί, συνεπώς, να παραμεληθεί. Η αβεβαιότητα βαθμονόμησης του πεδίου δοκιμών (λόγοι ταχυτήτων του ανέμου για κάθε κάδο κατεύθυνσης j) μπορεί να εκφραστεί ως:

$$u_{a,i,j} = \sqrt{2u_{V1,i}^2/V_i^2 + 2u_{dV,i}^2/V_i^2 + S_{a,j}^2/N_j}$$

όπου,

- $u_{a,i,j}$  is the uncertainty of site calibration in wind speed bin i and wind direction bin i
- $u_{V1,i}$  is the uncertainty of anemometer calibration in bin i
- $u_{dV,i}$  is the uncertainty in data acquisition system for the wind speed in bin i
- $S_{a,j}$  is the standard deviation of wind speed ratios in wind direction bin j
- $N_i$  is the number of wind speed ratios in wind direction bin j.

Η αβεβαιότητα βαθμονόμησης στην περιοχή δοκιμών εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Συνιστάται να παρουσιάζεται η αβεβαιότητα βαθμονόμησης τοποθεσία δοκιμών για μια συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου, για παράδειγμα 10m/s.

Όταν η αβεβαιότητα βαθμονόμησης πεδίου δοκιμών συμπεριλαμβάνεται στην αβεβαιότητα ταχύτητας του ανέμου, η αβεβαιότητα βαθμονόμησης πεδίου δοκιμών πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή ευαισθησίας, ο οποίος είναι ίσος με την ταχύτητα του ανέμου κάθε κάδο:

$$u_{V4,i,j} = \sqrt{2u_{V1,i}^2 + 2u_{dV,i}^2 + S_{a,j}^2 V_i^2 / N_j}$$

Η αβεβαιότητα για κάθε κάδο ταχύτητας του ανέμου της καμπύλης ισχύος πρέπει να σταθμίζεται με τον αριθμό των στοιχείων σε αυτόν για κάθε κάδο κατεύθυνσης του ανέμου του πεδίου βαθμονόμησης:

$$u_{V4,i} = \frac{\sum_j u_{V4,i,j} N_{i,j}}{\sum_j N_{i,j}}$$

#### A.4.4 Αβεβαιότητες κατηγορίας B στην πυκνότητα του αέρα

Η πυκνότητα του αέρα προέρχεται από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα και την πίεση του αέρα.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα μπορεί να περιλαμβάνει τους ακόλουθους παράγοντες αβεβαιότητας:

- Αβεβαιότητα της βαθμονόμησης του αισθητήρα θερμοκρασίας
- Αβεβαιότητα λόγω της ατελούς θωράκισης της ακτινοβολίας του αισθητήρα θερμοκρασίας (κακή θωράκιση αυξάνει τη θερμοκρασία στον αισθητήρα)
- Αβεβαιότητα που οφείλεται στις επιπτώσεις τοποθέτησης (παραλλαγές κάθετου προφίλ θερμοκρασίας του αέρα από μέρα σε νύχτα, που επηρεάζει την εκτίμηση της θερμοκρασίας, αν ο αισθητήρας θερμοκρασίας δεν είναι στο ύψος του στροβίλου).

Η τυπική αβεβαιότητα της μετρούμενης θερμοκρασίας του αέρα για κάθε κάδο,  $u_{T,i}$ , μπορεί να εκφραστεί ως:

$$u_{T,i} = \sqrt{u_{T1,i}^2 + u_{T2,i}^2 + u_{T3,i}^2 + u_{dT,i}^2}$$

όπου,

- $u_{T1,i}$  is the uncertainty of temperature sensor calibration in bin i
- $u_{T2,i}$  is the uncertainty due to imperfect radiation shielding of temperature sensor in bin i
- $u_{T3,i}$  is the uncertainty due to mounting effects of temperature sensor in bin i
- $u_{dT,i}$  are the uncertainties in the data acquisition system for the air temperature in bin i.

Ο συντελεστής ευαισθησίας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα είναι, για τις συνθήκες της στάθμης της θάλασσας, εκτιμάται από

$$c_{T,i} \approx \frac{P_i}{288.5} [kW/K]$$

Η μέτρηση του αισθητήρα πίεσης αέρα μπορεί να περιλαμβάνει εξ αρχής παράγοντα για διόρθωση της πίεσης του αέρα στο ύψος του κόμβου εάν ο αισθητήρας δεν είναι τοποθετημένος στο ύψος του στροβίλου. Θα μπορούσε να θεωρηθεί μια αβεβαιότητα λόγω της διόρθωσης, και θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η αβεβαιότητα (βαθμονόμηση) του αισθητήρα πίεσης. Η τυπική αβεβαιότητα στην μετρούμενη πίεση του αέρα για κάθε κάδο,  $u_{B,i}$ , είναι:

$$u_{B,i} = \sqrt{u_{B1,i}^2 + u_{B2,i}^2 + u_{dB,i}^2}$$

όπου,

$u_{B1,i}$  is the uncertainty of air pressure sensor calibration in bin i

$u_{B2,i}$  is the uncertainty due to mounting effects of air pressure sensor in bin i

$u_{dB,i}$  are the uncertainties in data acquisition system for the air pressure in bin i.

Ο συντελεστής ευαισθησίας για τη μέτρηση της πίεσης του αέρα είναι, για τις συνθήκες της στάθμης της θάλασσας, που εκτιμάται με

$$c_{B,i} \approx \frac{P_i}{1013} [kW/hPa]$$

#### A.4.5 Συνδυασμένες αβεβαιότητες κατηγορίας B

Οι αβεβαιότητες της κατηγορίας B σε κάθε κάδο συνδυάζονται ως:

$$u_i = \sqrt{u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2}$$

#### A.4.6 Combined standard uncertainty – Power curve

Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα του κάθε κάδου της καμπύλης ισχύος βρίσκεται συνδυάζοντας την αβεβαιότητα της κατηγορίας A με όλες τις αβεβαιότητες της κατηγορίας B.

$$u_{c,i} = \sqrt{S_i^2 + u_i^2} =$$

$$\sqrt{S_{P,i}^2 + u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2}$$

#### A.4.7 Συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα - Παραγωγή ενέργειας

Η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα της ετήσιας παραγωγής ενέργειας βρίσκεται συνδυάζοντας μοναδικά τις αβεβαιότητες κατηγοριών A και B bin-wise:

$$u_{AEP} = N_h \sqrt{\sum_{i=1}^N f_i^2 s_i^2 + \left(\sum_{i=1}^N f_i u_i\right)^2}$$

όπου,

$f_i = \frac{(F_{i+1}-F_i)+(F_i-F_{i-1})}{2}$  είναι η μέση πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου σε κάδο i.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Διαδικασία βαθμονόμησης ιστότοπου.

Μια βαθμονόμηση τοποθεσίας ποσοτικοποιεί και δυνητικά μειώνει τις επιπτώσεις του εδάφους και των εμποδίων στη μέτρηση της απόδοσης. Το έδαφος και τα εμπόδια μπορεί να προκαλέσουν συστηματική διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου μεταξύ της θέσης του μετεωρολογικού ιστού όπου είναι τοποθετημένο το ανεμόμετρο ισχύος και του κέντρου του στροφείου του στροβίλου.

Βασικό αποτέλεσμα μιας δοκιμής βαθμονόμησης τοποθεσίας είναι ένας πίνακας συντελεστών διόρθωσης ροής για όλες τις κατευθύνσεις ανέμου στον τομέα μέτρησης. Ένα άλλο αποτέλεσμα είναι μια εκτίμηση της αβεβαιότητας αυτών των διορθωτικών παραγόντων. Η δοκιμή μπορεί να παρέχει πληροφορίες που δικαιολογούν αλλαγή στον επιτρεπόμενο τομέα μέτρησης.

#### **B.1 Δοκιμή ρύθμισης**

Πριν από την εγκατάσταση ή μετά την αφαίρεση του ανεμοστρόβιλου πρέπει να ανεγερθούν δύο μετεωρολογικοί ιστοί. Ένας ιστός είναι ο μετεωρολογικός ιστός θέσης αναφοράς που χρησιμοποιείται και για τη δοκιμή απόδοσης ισχύος. Ο δεύτερος ιστός είναι ο ιστός στροβίλου. Η διάταξη δοκιμής απαιτεί δύο ανεμόμετρα, ένα ανεμοδείκτη και ένα σύστημα επεξεργασίας / καταγραφής δεδομένων. Το ανεμόμετρο θέσης αναφοράς και ο ανεμοδείκτης τοποθετούνται στον μετεωρολογικό ιστό που χρησιμοποιείται επίσης για τη δοκιμή ισχύος. Το ανεμόμετρο θέσης στροβίλου τοποθετείται σε προσωρινό ιστό όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση όπου θα βρίσκεται ή θα βρισκόταν το κέντρο του στροβίλου. Αυτό το ανεμόμετρο πρέπει να βρίσκεται εντός του 2.5% του ύψους του κέντρου και του ιστού όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς την κεντρική γραμμή του πύργου του στροβίλου, αλλά όχι περισσότερο από 0.2 Η από την κεντρική γραμμή όπου το Η είναι το ύψος του κέντρου του στροβίλου. Ένας δεύτερος ανεμοδείκτης μπορεί να τοποθετηθεί στον προσωρινό ιστό στη θέση του στροβίλου για να παράσχει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την παραμόρφωση της ροής στο χώρο.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη δοκιμή βαθμονόμησης τοποθεσίας πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του κεφαλαίου 3. Τα ανεμόμετρα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου με τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας. Τα ανεμόμετρα βαθμονομούνται κατά την ίδια διαδικασία βαθμονόμησης του ανεμομέτρου. Τα όργανα μετεωρολογικού ιστού πρέπει να είναι τα ίδια για τη μέτρηση της καμπύλης ισχύος καθώς και για τη βαθμονόμηση του χώρου. Σε αντίθετη περίπτωση, λαμβάνεται υπόψη η πρόσθετη αβεβαιότητα.

## B.2 Ανάκτηση και ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα συλλέγονται συνεχώς με τον ίδιο ρυθμό δειγματοληψίας όπως για τη δοκιμή απόδοσης ισχύος. Τα σύνολα δεδομένων βασίζονται σε περιόδους 10 λεπτών που προέρχονται από συνεχόμενα μετρημένα δεδομένα. Η μέση τυπική απόκλιση, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές για κάθε περίοδο 10 λεπτών παράγονται και αποθηκεύονται. Τα σύνολα δεδομένων ταξινομούνται σε διαστήματα κατεύθυνσης ανέμου. Το κάθε διάστημα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 10 °. Τα διαστήματα κατεύθυνσης ανέμου δεν πρέπει να είναι μικρότερα από την αβεβαιότητα του αισθητήρα κατεύθυνσης ανέμου.

Τα σύνολα δεδομένων απορρίπτονται από τη βάση δεδομένων υπό τις ακόλουθες περιστάσεις:

- 1) Αποτυχία ή υποβάθμιση (π.χ. λόγω πάγου) του εξοπλισμού δοκιμής.
- 2) Κατεύθυνση ανέμου εκτός των τομέων μέτρησης.
- 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 τη δοκιμή απόδοσης ισχύος.

Τουλάχιστον το σύνολο δεδομένων βαθμονόμησης θέσης αποτελείται από 24 ώρες δεδομένων για κάθε μη εξαιρούμενο διάστημα κατεύθυνσης ανέμου. Από αυτά, κάθε διάστημα πρέπει να έχει τουλάχιστον 6 ώρες δεδομένων όπου οι άνεμοι είναι πάνω από 8 m/s και τουλάχιστον 6 ώρες δεδομένων όπου οι άνεμοι είναι κάτω από 8 m/s. Πέραν αυτών των ελάχιστων απαιτήσεων, η δοκιμή πρέπει να παρακολουθείται για να υποδεικνύει τη σύγκλιση των δεδομένων.

Από τη βάση δεδομένων βαθμονόμησης τοποθετούνται οι μέσοι όροι των συντελεστών διόρθωσης της ροής λόγω του εδάφους  $a_r$ , (αναλογία ταχύτητας ανέμου στη θέση του ανεμοστρόβιλου διαιρούμενο με την ταχύτητα ανέμου στον μετεωρολογικό ιστό) για κάθε τομέα.

## B.3 Επιλογή τομέα τελικής μέτρησης

Οι συντελεστές διόρθωσης μπορεί να αλλάξουν απότομα μεταξύ των διαστημάτων κατεύθυνσης ανέμου. Συνιστάται η εξάλειψη των διευθύνσεων ανέμου από τους τομείς μέτρησης όταν οι συντελεστές διόρθωσης της ροής αλλάζουν κατά περισσότερο από 0.02 μεταξύ γειτονικών τομέων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η δοκιμή βαθμονόμησης τοποθεσίας μπορεί να υποδεικνύει ότι ένα εμπόδιο δεν έχει διακριτή επίδραση στους συντελεστές διόρθωσης της μετρούμενης ροής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο τομέας μέτρησης μπορεί να αυξηθεί πέραν των απαιτήσεων που αναφέρονται στο κεφάλαιο 3. Η αύξηση στον τομέα

μέτρησης πρέπει να συνυπολογίζει το ενδεχόμενο ένα εμπόδιο να επηρεάσει τον στρόβιλο του στρόβιλου, ακόμη και αν δεν επηρεάζει ένα ανεμόμετρο στο κεντρικό σημείο.

#### **B.4 Επαλήθευση των αποτελεσμάτων**

Εάν πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση τοποθεσίας, η ίδια η βαθμονόμηση της τοποθεσίας, η οποία προκύπτει από μετρήσεις με δύο ιστούς, μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας δεδομένα που μετρούνται απευθείας στον στρόβιλο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της καμπύλης ισχύος. Κάτω από την ονομαστική ισχύ, η ταχύτητα ανέμου που προσπίπτει στην ανεμογεννήτρια μπορεί να προκύψει από τη στιγμιαία μέση τιμή μέσης τιμής της ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση της μετρούμενης καμπύλης ισχύος. Η αναλογία της ταχύτητας ανέμου που εκτιμάται από την ηλεκτρική ισχύ και την ταχύτητα ανέμου που μετράται 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 τον συντελεστή διόρθωσης ταχύτητας ανέμου που καθορίζεται από τη βαθμονόμηση του χώρου πριν από την ανέγερση του ανεμοστρόβιλου.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### Διαδικασία βαθμονόμησης ανεμόμετρου κυπέλλου

#### Γ.1 Γενικές απαιτήσεις

Οι γενικές απαιτήσεις για τη βαθμονόμηση του ανεμομέτρου συνοψίζονται ως εξής:

- Όλοι οι μετατροπείς και ο εξοπλισμός μέτρησης πρέπει να έχουν ανιχνεύσιμες βαθμονομήσεις. Τα πιστοποιητικά βαθμονόμησης και οι εκθέσεις περιέχουν όλες τις σχετικές πληροφορίες ανιχνευσιμότητας. Όλα τα πρότυπα αναφοράς που χρησιμοποιούνται κατά τη βαθμονόμηση του ανεμόμετρου δηλώνονται στο πλαίσιο της έκθεσης δοκιμής της διαδικασίας βαθμονόμησης.
- Οι σωλήνες pitot που χρησιμοποιούνται πρέπει να βαθμονομηθούν για τις κατάλληλες κλίμακες ταχύτητας ανέμου και να τεκμηριωθούν.
- Πριν από κάθε βαθμονόμηση, η ακεραιότητα της πειραματικής ρύθμισης επαληθεύεται μέσω συγκριτικής βαθμονόμησης ενός «ανεμόμετρου αναφοράς» του ινστιτούτου.
- Πραγματοποιείται η μέτρηση της ποιότητας ροής.
- Επαληθεύεται η επαναληψιμότητα της βαθμονόμησης.
- Η βαθμονόμηση του ανεμόμετρου πρέπει να υποστηρίζεται από διεξοδική αξιολόγηση της αβεβαιότητας βαθμονόμησης, η οποία πραγματοποιείται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ISO.

#### Γ.2 Απαιτήσεις της αεροδυναμικής σήραγγας

Η αεροσήραγγα πρέπει να είναι καλά εξοπλισμένη και να προετοιμάζεται προσεκτικά για τη διενέργεια ακριβών βαθμονομήσεων του ανεμομέτρου.

Η παρουσία του ανεμόμετρου δεν πρέπει να επηρεάζει ουσιωδώς το πεδίο ροής στη σήραγγα αέρα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το ανεμόμετρο θα επηρεαστεί σε κάποιο βαθμό από την απόφραξη της αεροδυναμικής σήραγγας ή από τα οριακά φαινόμενα. Η αναλογία παρεμπόδισης - που ορίζεται ως ο λόγος της μετωπικής επιφάνειας του ανεμόμετρου (συμπεριλαμβανομένου του συστήματος τοποθέτησης) ως προς τη συνολική περιοχή της δοκιμαστικής περιοχής - δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.1 για το ανοικτό τμήμα δοκιμής και το 0.05 για το κλειστό τμήμα δοκιμής.

Η ροή στην περιοχή που καλύπτεται από το ανεμόμετρο πρέπει να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία ροής αξιολογείται πριν από τη βαθμονόμηση του ανεμομέτρου. Η ομοιομορφία



ροής μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση συσκευών ανίχνευσης ταχύτητας, δηλαδή για παράδειγμα σωλήνων pitot, θερμών συρμάτων ή Velocimetry Laser Doppler και η μέτρηση να γίνει για προφίλ ροής σε διαμήκη, εγκάρσια και κατακόρυφη διεύθυνση. Η ροή πρέπει να είναι ομοιόμορφη έως 0.2%. Οι έρευνες αυτές διεξάγονται για τη σήραγγα αέρα μία φορά και επιπλέον μετά από κάθε τροποποίηση της αεροδυναμικής του αεροδυναμικής σήραγγας.

Τα ανεμόμετρα κυπέλλου είναι πολύ ευαίσθητα στις οριζόντιες κλίσεις του ανέμου. Διαφορετικές οριζόντιες κλίσεις του ανέμου μπορούν να παρατηρηθούν ανάλογα με τις συσκευές εξομάλυνσης. Ως εκ τούτου, είναι χρήσιμο να ελέγχεται η οριζόντια κλίση ανέμου χρησιμοποιώντας δύο ταυτόσημους σωλήνες pitot. Θα τοποθετηθούν στην ακριβή θέση όπου θα τοποθετηθεί το ανεμόμετρο, με τα κεφάλια τους να καλύπτουν περίπου την περιοχή που καλύπτεται από τα περιστρεφόμενα κύπελλα των ανεμομέτρων κυπέλλου. Πρέπει να γίνει μια σειρά μετρήσεων και να υπολογισθεί η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των δυναμικών επαναλήψεων που μετρώνται από τους δύο σωλήνες pitot. Η διαφορά πρέπει να είναι μικρότερη από 0.2%. Η ένταση του αξονικού στροβιλισμού στη θέση του ανεμομέτρου πρέπει να είναι κάτω από 2%.

Ο συντελεστής βαθμονόμησης της αεροδυναμικής σήραγγας, ο οποίος δίνει τη σχέση μεταξύ των συνθηκών στη θέση αναφοράς και στη θέση ανεμομέτρου, αξιολογείται χρησιμοποιώντας σωλήνες pitot.

Η εγκατάσταση θα υποβληθεί σε λεπτομερή εξέταση της επαναληψιμότητας των βαθμονομήσεων του ανεμομέτρου. Η εγκατάσταση ορίζει ένα ανεμόμετρο αναφοράς για χρήση σε αυτές τις δοκιμές. Το ανεμόμετρο αναφοράς χρησιμοποιείται μόνο για τον έλεγχο της απόδοσης αυτής και άλλων εγκαταστάσεων ανεμομέτρου. Η εξέταση επαναληψιμότητας περιλαμβάνει τουλάχιστον 5 βαθμονομήσεις του ανεμομέτρου αναφοράς (σε διάφορες ατμοσφαιρικές συνθήκες). Η μέγιστη διαφορά μεταξύ βαθμονομήσεων πρέπει να είναι μικρότερη από 0.5% σε ταχύτητα ανέμου 10 m / s. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μετά από κάθε τροποποίηση ή επαναβαθμονόμηση της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση πρέπει να αποδείξει, ότι τα αποτελέσματά της είναι συγκρίσιμα με άλλες εγκαταστάσεις βαθμονόμησης του ανεμομέτρου. Η μέση βαθμονόμηση του ανεμομέτρου αναφοράς (όπως προσδιορίζεται από τις δοκιμές επαναληψιμότητας που περιεγράφηκαν ανωτέρω) πρέπει να συμφωνεί με το μέσο όρο των διαβαθμίσεων των άλλων εγκαταστάσεων στο 1% στην περιοχή από 4 m/s έως 16 m/s.

### **Γ.3 Απαιτήσεις ρύθμισης οργάνων και βαθμονόμησης**

Η ανάλυση του συστήματος συλλογής δεδομένων πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.02 m/s. Πρέπει επίσης να ασκείται προσοχή στην περίπτωση οργάνου αναλογικής τάσης, ώστε να εξασφαλίζεται ότι το σήμα είναι επαρκώς ρυθμισμένο ώστε να αποφεύγεται η εξασθένησή του με εξοπλισμό καταγραφής χαμηλής σύνθετης αντίστασης.

Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, το ανεμόμετρο τοποθετείται πάνω από ένα σωλήνα προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση της ροής. Ο σωλήνας αυτός πρέπει να έχει τις ίδιες διαστάσεις με εκείνο στο οποίο θα τοποθετηθεί το ανεμόμετρο σε λειτουργία στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Οι διατάξεις συναρμολόγησης μπορούν να έχουν δραματικές επιπτώσεις στην ευαισθησία του οργάνου, ιδιαίτερα εάν ο λόγος της διαμέτρου του σωλήνα προς τη διάμετρο του ρότορα είναι υψηλός.

Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι το ανεμόμετρο δεν επηρεάζεται από την παρουσία οποιουδήποτε εξοπλισμού μέτρησης της ταχύτητας ανέμου αναφοράς. Αντίθετα, η παρουσία του ανεμόμετρου δεν πρέπει να επηρεάζει τη ροή στην περιοχή του οργάνου αναφοράς. Εάν προκύψουν επιδράσεις παραμόρφωσης της ροής, επανατοποθετείται ο σωλήνας pitot. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εκτιμηθεί αφαιρώντας και στη συνέχεια αποκαθιστώντας το ανεμόμετρο και έπειτα το όργανο αναφοράς (είτε πρόκειται για σωλήνα pitot είτε για ανεμόμετρο αναφοράς) και βεβαιώνοντας εάν αλλάζει η έξοδος του υπόλοιπου οργάνου. Για να εξαιρεθεί η αβεβαιότητα που προκαλείται από την ανεξέλεγκτη μετατόπιση της σήραγγας, προτείνεται η διαδικασία αυτή να επαναλαμβάνεται πολλές φορές.

Οι σωλήνες pitot τοποθετούνται στο τμήμα δοκιμής κάθετα στο πεδίο ροής της αεροσήραγγας όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση είναι  $1^\circ$ .

Το ανεμόμετρο τοποθετείται στο τμήμα δοκιμής κάθετα προς το πεδίο ροής της αεροδυναμικής σήραγγας όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Η επιτρεπόμενη μέγιστη απόκλιση είναι  $1^\circ$ .

#### **Γ.4 Διαδικασία βαθμονόμησης**

Το ανεμόμετρο πρέπει να λειτουργεί για περίπου 5 λεπτά πριν ξεκινήσει η διαδικασία βαθμονόμησης, προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο κατά το οποίο μπορεί να προκύψουν μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας στη μηχανική τριβή των ρουλεμάν του ανεμομέτρου. Η βαθμονόμηση εκτελείται τόσο κατά την αύξηση της ταχύτητας ανέμου όσο και κατά την πτώση στην περιοχή από 4 m/s έως 16 m/s σε διάστημα βαθμονόμησης 1 m/s ή μικρότερο. Παίρνοντας αναγνώσεις τόσο για την αύξηση των βημάτων όσο και για τη μείωση των βημάτων, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί κατά πόσο υπάρχουν επιπτώσεις υστέρησης στον εξοπλισμό μέτρησης.

Η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 Hz και το διάστημα δειγματοληψίας τουλάχιστον 30 s. Αυτός ο χρόνος θα αυξηθεί όταν ανεμόμετρα χαμηλής ανάλυσης βαθμονομηθούν. Είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι οι αναγνώσεις ανεμόμετρου και αναφοράς ταχύτητας ανέμου θα καλύπτουν την ίδια χρονική περίοδο. Πριν από τη συλλογή δεδομένων σε κάθε ταχύτητα ανέμου, επιτρέπεται επαρκής χρόνος για την καθιέρωση σταθερών συνθηκών ροής. Αυτό συνήθως θα διαρκέσει 1 λεπτό, αλλά θα διαφέρει από

εγκατάσταση σε εγκατάσταση. Η σταθερότητα μπορεί να θεωρηθεί εάν δύο διαδοχικά μέσα 30 δευτερολέπτων είναι μεταξύ τους 0.05 m/s.

Η πυκνότητα αέρα  $\rho$  υπολογίζεται με βάση τη μέση θερμοκρασία αέρα του αεροθαλάμου  $T$ , τη σχετική υγρασία  $\varphi$  και τη βαρομετρική πίεση  $B$ , χρησιμοποιώντας την εξίσωση Γ.1

$$\rho = \frac{1}{T} \left( \frac{B}{R_0} - \varphi P_w \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \right) \quad \Gamma.1$$

όπου,

- B is the barometric pressure [Pa]
- T is the absolute temperature [K]
- $\varphi$  is the relative humidity (range 0 to 1);
- $R_0$  is the gas constant of dry air [287.05 J/kgK];
- $R_w$  is the gas constant of water vapour [461.5 J/kgK];
- $P_w$  is the vapour pressure [Pa].

$$P_w = 0,0000205 \exp(0,0631846 \cdot T) \quad \Gamma.2$$

όπου η τάση ατμών  $P_w$  εξαρτάται από τη μέση θερμοκρασία του αέρα.

Η μέση ταχύτητα ροής στη θέση ανεμόμετρου υπολογίζεται από τη μέση διαφορική πίεση  $\Delta p_{ref}$  στη θέση αναφοράς χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\bar{V} = k_b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{2k_c \Delta p_{ref}}{c_h \rho}} \quad \Gamma.3$$

όπου,

- $C_h$  is the pitot tube head coefficient
- $K_c$  is the wind tunnel calibration factor as previously defined
- $k_b$  is the blockage correction factor
- n is the number of samples within the sampling interval.

Ο συντελεστής διόρθωσης απόφραξης για τις περιπτώσεις κλειστών αεροδυναμικών σηράγγων θα πρέπει να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το Θεώρημα Maskells. Εάν δεν υπολογίζεται συντελεστής διόρθωσης παρεμπόδισης, τότε περίπου το 1/4 του λόγου απόφραξης

χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας για κλειστές αεροδυναμικές σήραγγες και 1/16 για ανοιχτές σήραγγες.

### **Γ.5 Ανάλυση δεδομένων**

Πρέπει να γίνει ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης στα δεδομένα βαθμονόμησης για την εκτίμηση των ακόλουθων παραμέτρων παλινδρόμησης: Απόκλιση, κλίση, συντελεστής παλινδρόμησης, τυποποιημένη αβεβαιότητα στην κλίση και το σημείο τομής και συνδιακύμανση της κλίσης και ανάσχεση της ταχύτητας του ανέμου. Οι τιμές της ταχύτητας ανέμου πρέπει να υποχωρούν στις εξόδους ανεμόμετρου. Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, η έξοδος του ανεμομέτρου είναι συνήθως γνωστή με υψηλό βαθμό ακρίβειας, ενώ η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου είναι πολύ λιγότερο επιβεβαιωμένη.

Εάν ο συντελεστής συσχέτισης  $r$ , για τα δεδομένα είναι μικρότερος από 0,99995, η βαθμονόμηση επαναλαμβάνεται. Εάν ο συντελεστής εξακολουθεί να είναι ανεπαρκώς υψηλός, τότε είτε η εγκατάσταση βαθμονόμησης είναι ανεπαρκής είτε το ανεμόμετρο είναι υπερβολικά μη γραμμικό και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται.

### **Γ.6 Ανάλυση αβεβαιότητας**

Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η αβεβαιότητα με την οποία είναι γνωστή η οριζόντια συμβολή ταχύτητας ανέμου στο ανεμόμετρο. Απαιτείται η διενέργεια ανάλυσης αβεβαιότητας σύμφωνα με τον οδηγό ISO για την έκφραση της αβεβαιότητας που περιλαμβάνει αμφότερες την αβεβαιότητα τύπου A και τύπου B. Το μέγεθος της καθαρής αβεβαιότητας αξιολογείται στατιστικά και λαμβάνει υπόψη:

- Αβεβαιότητα μέτρησης της ταχύτητας ροής (σωλήνες pitot, μορφοτροπείς, αξιολόγηση πυκνότητας αέρα, κτλ).
- Μετρήσεις συχνότητας.
- Βαθμονόμηση αεροδυναμικής σήραγγας συμπεριλαμβανομένου του αποτελέσματος απόφραξης.
- Μεταβλητότητα ροής πλησίον του ανεμόμετρου.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] T. Forsyth, Jay Burch, Francisco Boshell, Ruth Baranowski, *“Quality Infrastructure for Renewable Energy Technologies”*, IRENA 2015
- [2] Wind Turbines - Part 2: Design requirements for small wind turbines, IEC 61400-2, 2006
- [3] Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, IEC 61400-12-1, 2005
- [4] Electrical measuring transducers for converting A.C. and D.C. electrical quantities to analogue or digital signals, IEC 60688, 2012
- [5] Instrument transformers - Part 1: General requirements, IEC 61869-1, 2007
- [6] Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers, IEC 61869-2, 2012
- [7] Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers, IEC 61869-3, 2011
- [8] E. San Telmo, I. Canales, J. L. Villate, E. Robles, S. Apinaniz, *“ THE USE OF IEC 61400-25 STANDARD TO INTEGRATE WIND POWER PLANTS INTO THE CONTROL OF POWER SYSTEM STABILITY”*, European Wind Energy Conference & Exhibition, 2007
- [9] Wind turbines - Part 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models, IEC 61400-25-1, 2006
- [10] Wind turbines - Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models, IEC 61400-25-2, 2015
- [11] Wind turbines - Part 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models, IEC 61400-25-3, 2015
- [12] A. Bowen, A. Huskey, H. Link, K. Sinclair, T. Forsyth, D. Jager, J. van Dam, J. Smith, *“Small Wind Turbine Testing Results from the National Renewable Energy Laboratory”*, NREL 2010
- [13] D. Corbus, H. Link, S. Butterfield, C. Stork, C. Newcomb, T. Sasseen, *“Certification Testing for Small Wind Turbines”*, NREL 1999
- [14] Κ.Γ. Κονταξάκης, Δ.Γ. Χρηστάκης, Ε.Ι. Τζανάκη, Ι.Ι. Πατρουδάκης, Μ. Σερπετσιδάκης, *“Προδιαγραφές μικρών ανεμογεννητριών για αυτόνομα ενεργειακά συστήματα”*, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων, ΑΤΕΙ Κρήτης