

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind energy generation systems –
Part 12: Power performance measurements of electricity producing wind
turbines – Overview**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 12: Mesurages de performance de puissance des éoliennes de production
d'électricité – Vue d'ensemble**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind energy generation systems –
Part 12: Power performance measurements of electricity producing wind
turbines – Overview**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 12: Mesurages de performance de puissance des éoliennes de production
d'électricité – Vue d'ensemble**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-5620-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Symbols, units and abbreviated terms	8
5 Power performance method overview	9
6 Interfaces between International Standards	12
Bibliography.....	14
Figure 1 – Overview of relationship between standards in the IEC 61400-12 and IEC 61400-50 series	13
Table 1 – Overview of wind measurement configurations for power curve measurements that meet the requirements of this document.....	12

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –**Part 12: Power performance measurements
of electricity producing wind turbines – Overview****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 61400-12 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems. It is an International Standard.

This first edition of IEC 61400-12 is part of a structural revision that cancels and replaces the performance standards IEC 61400-12-1:2017 and IEC 61400-12-2:2013. The structural revision contains no technical changes with respect to IEC 61400-12-1:2017 and IEC 61400-12-2:2013, but the parts that relate to wind measurements, measurement of site calibration and assessment of obstacle and terrain have been extracted into separate standards.

The purpose of the re-structure was to allow the future management and revision of the power performance standards to be carried out more efficiently in terms of time and cost and to provide a more logical division of the wind measurement requirements into a series of separate standards which could be referred to by other use case standards in the IEC 61400 series and subsequently maintained and developed by appropriate experts.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
88/830/CDV	88/866/RVC

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts in the IEC 61400 series, published under the general title *Wind energy generation systems*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The IEC 61400-12 series comprises a sub-set of standards which are for use in the evaluation and measurement of the power performance characteristics of wind turbines. The power performance characterization of wind turbines of all types and sizes is covered.

IEC TC 88 has made this revision to reduce the complexity and to improve the maintainability of the previous version. Wind measurement procedures have been extracted from the performance standard, recognizing that wind measurements need to be referenced from other standards, such as in loads, noise and resource assessment measurements. IEC TC 88 recommends that the restructured standards gradually take over the previous standards before Maintenance Cycle Reports are written on the restructured standards introducing new technical requirements. Revision of the restructured documents should be proposed at the same time to incorporate such technical changes, recommendations, clarifications and simplifications.

The purpose of the IEC 61400-12 series is to provide a uniform methodology that will ensure consistency, accuracy and reproducibility in the measurement and analysis of power performance by wind turbines. These International Standards have been prepared with the anticipation that they would be applied by:

- a) a wind turbine manufacturer striving to meet well-defined power performance requirements and/or a possible declaration system;
- b) a wind turbine purchaser in specifying such performance requirements;
- c) a wind turbine operator who can be required to verify that stated, or required, power performance specifications are met for new or refurbished units;
- d) a wind turbine planner or regulator who needs to be able to accurately and fairly define power performance characteristics of wind turbines in response to regulations or permit requirements for new or modified installations.

The IEC 61400-12 series provides guidance in the measurement, analysis, and reporting of power performance testing for wind turbines. These International Standards will benefit those parties involved in the manufacture, installation planning and permitting, operation, utilization, and regulation of wind turbines. The technically accurate measurement and analysis techniques recommended in these standards should be applied by all parties to ensure that continuing development and operation of wind turbines is carried out in an atmosphere of consistent and accurate communication relative to wind turbine performance. These standards present measurement and reporting procedures expected to provide accurate results that can be replicated by others. Meanwhile, a user of these standards should be aware of differences in performance or the measurement of performance that arise from large variations in wind shear and turbulence. Not all of the test methods specified in the IEC 61400-12 series enable quantification of the impact of shear and turbulence. Therefore, a user should consider the influence of these differences, the most appropriate test method/standard and the data selection criteria in relation to the purpose of the test before contracting the power performance measurements.

Procedures for calibration, classification and uncertainty assessment of cup anemometers and ultrasonic anemometers are given in IEC 61400-50-1. Procedures for calibration, classification and uncertainty assessment of remote sensing devices are given in IEC 61400-50-2. Special care should be taken in the selection of the instruments chosen to measure the wind speed because it can influence the result of the power performance test.

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 12: Power performance measurements of electricity producing wind turbines – Overview

1 Scope

This part of IEC 61400 defines procedures for assessing the power performance characteristics of wind turbines.

This document provides a general introduction to the available options for power performance measurement and the contributing evaluations which are further detailed in the other parts of the IEC 61400-12 series. Although this document (along with other parts of the IEC 61400-12 series) also defines the specifications of the meteorological variables (and in particular wind speed) required for the power performance evaluation, the methods and procedures for measuring or otherwise acquiring the wind speed data are defined in the IEC 61400-50 wind measurement series.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61400-12-1, *Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*

IEC 61400-12-2, *Wind energy generation systems – Part 12-2: Power performance of electricity producing wind turbines based on nacelle anemometry*

IEC 61400-12-3, *Wind energy generation systems – Part 12-3: Power performance – Measurement based site calibration*

IEC 61400-12-5, *Wind energy generation systems – Part 12-5: Power performance – Assessment of obstacles and terrain*

IEC 61400-12-6, *Wind energy generation systems – Part 12-6: Measurement based nacelle transfer function of electricity producing wind turbines*

IEC 61400-50, *Wind energy generation systems – Part 50: Wind measurement – Overview*

IEC 61400-50-1, *Wind energy generation systems – Part 50-1: Wind measurement – Application of meteorological mast, nacelle and spinner mounted instruments*

IEC 61400-50-2, *Wind energy generation systems – Part 50-2: Wind measurement – Application of ground-mounted remote sensing technology*

IEC 61400-50-3, *Wind energy generation systems – Part 50-3: Use of nacelle-mounted lidars for wind measurements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

annual energy production

AEP

estimate of the total energy production of a wind turbine over a one-year period by applying the measured power curve to different reference wind speed frequency distributions at hub height, assuming 100 % availability

3.2

data set

collection of data sampled over a continuous period

3.3

flow distortion

change in air flow caused by obstacles, topographical variations, or other wind turbines that results in the wind speed at the measurement location being different from the wind speed at the wind turbine location

3.4

hub height

<of a wind turbine> height of the centre of the swept area of the wind turbine rotor above the ground at the tower

Note 1 to entry: For a vertical axis wind turbine the hub height is defined as the height of the centroid of the swept area of the rotor above the ground at the tower.

3.5

measured power curve

table and graph that represents the measured, corrected and normalized net power output of a wind turbine as a function of measured wind speed, measured under a well-defined measurement procedure

Note 1 to entry: For each bin, the number of data sets or samples and their sum are recorded, and the average parameter value within each bin is calculated.

3.6

net active electric power

measure of the wind turbine electric power output that is delivered to the electrical power network

3.7

obstacle

obstruction that blocks the wind and creates distortion of the flow

Note 1 to entry: Buildings and trees are examples of obstacles.

3.8

power performance

measure of the capability of a wind turbine to produce electric power and energy

3.9

rotor equivalent wind speed

wind speed corresponding to the kinetic energy flux through the swept rotor area when accounting for the variation of the wind speed with height

SEE: Equation (3)

3.10

test site

location of the wind turbine under test and its surroundings

3.11

uncertainty in measurement

parameter, associated with the result of a measurement, which characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand

3.12

wind measurement equipment

meteorological mast or remote sensing device

3.13

wind shear

change of wind speed with height across the wind turbine rotor

3.14

wind veer

change of wind direction with height across the wind turbine rotor

4 Symbols, units and abbreviated terms

Symbol or abbreviated term	Description	Unit
A	swept area of the wind turbine rotor	m^2
AEP	annual energy production	Wh
P_{kin}	kinetic energy flux	W
RSD	remote sensing device	
V	wind speed	m/s
V_i	wind speed at height i	m/s
v_{eq}	measured equivalent wind speed	m/s
WME	wind measurement equipment	
ρ	air density	kg/m^3
Φ	relative humidity (range 0 % to 100 %)	
ω	angular speed	s^{-1}
φ	wind direction	rad
φ_{hub}	wind direction at hub height	rad
φ_i	wind direction at height i	rad

5 Power performance method overview

Wind turbine power performance characteristics are determined from a measured power curve and an associated estimated annual energy production (AEP) and its uncertainty. The measured power curve, defined as the relationship between the wind speed and the wind turbine power output, is determined by collecting simultaneous measurements of meteorological variables (including wind speed), as well as wind turbine signals (including power output) at the test site for a period that is long enough to establish a statistically significant database over a range of wind speeds and under varying wind and atmospheric conditions. The AEP is calculated by applying the measured power curve to reference wind speed frequency distributions, assuming 100 % availability.

The power performance measurement method used in the IEC 61400-12 series is based on a definition of the power curve that expresses power produced versus the wind speed that represents effectively the kinetic energy flux in the wind flowing across the swept area of the rotor.

The kinetic energy flux (referring to a certain point in time or period of time, typically 10 min, assuming that the wind speed does not change within this time across the vertical capture area is in general terms expressed as:

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho V^3 dA \quad (1)$$

Here the wind speed V , measured at a point in space over the rotor area, is the horizontal wind speed.

NOTE 1 Wind turbine power seems to correlate better with the horizontal wind speed definition than with a vector wind speed definition for a one-point hub height wind speed measurement.

NOTE 2 If the wind speed changes (i.e. if the turbulence intensity is greater than zero) during a certain time period, then the kinetic power (averaged over this time period) is higher than in the case of a constant wind speed, whereas a wind turbine has only a limited possibility to transform this additional kinetic power into additional electric power. This issue is not taken into further consideration in this document. As a simplification, Equations (1), (2), (3) are considered valid here, even in the case of a turbulence intensity greater than zero. The impact of wind speed changes on the time averaged kinetic power and the associated impact on the wind turbine power curve are treated by the turbulence normalization procedure as included in IEC 61400-12-1.

The horizontal wind speed is defined as the average magnitude of the horizontal component of the instantaneous wind velocity vector, including only the longitudinal and lateral (but not the vertical) components. When we consider a horizontal axis wind turbine the wind veer is also taken into account and the kinetic energy in the wind is corrected according to the wind direction at hub height:

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho (V \cos(\varphi - \varphi_{\text{hub}}))^3 dA \quad (2)$$

Here φ_{hub} is the wind direction at hub height. The wind veer can vary significantly over the rotor height of large wind turbines for extreme atmospheric stability conditions and it is also dependent on topography at the site.

In this document we do not consider wind shear and wind veer in the horizontal plane. Thus, the energy equivalent wind speed that corresponds to the kinetic energy in the wind as derived from the expression of kinetic energy in Equation (2) in general is described as:

$$V_{eq} = \left(\frac{1}{A} \int_i (V_i \cos(\varphi_i - \varphi_{hub}))^3 dA_i \right)^{1/3} \quad (3)$$

In this document, the index i refers to the height within the rotor area.

NOTE 3 When wind speed is mentioned in this document, it is by default referring to the hub height wind speed definition unless specifically stated to be this energy equivalent wind speed definition.

Although horizontal wind speed is considered to be the influential wind speed parameter, on sites with significant non-horizontal flow (upflow or downflow), there is additional uncertainty associated with both the measurement of the horizontal wind speed and the response of the wind turbine.

The wind shear and wind veer can vary significantly over the rotor height of large wind turbines due to atmospheric stability conditions and it is also dependent on topography at the site. The occurrence of extreme atmospheric stability conditions is a site-specific issue, and if occurring during a power performance test the power curve can vary significantly.

At sites with low and homogeneous wind shear and wind veer over the rotor (and for turbines with small rotor diameters in possibly more complex wind flow conditions), the wind speed measured at hub height can be a good representation of the kinetic energy to be captured by the rotor. Hub height wind speed is the wind speed upon which power curves have historically been defined in all previous editions of parts of the IEC 61400-12 series. For that reason, the wind speed measured at hub height is the default definition of wind speed and shall always be measured and reported, even when more comprehensive measurements of wind speed are available over the rotor height.

At sites and seasons where extreme atmospheric stability conditions are expected to be frequent, it is recommended always to measure wind shear. Not all power curve measurement methods can provide measurements of wind shear (e.g. the measurements described in IEC 61400-12-2 cannot provide information on wind shear). Therefore, the choice of power curve measurement methodology can be driven by the site-specific atmospheric stability conditions expected.

If wind shear and wind veer are not measured over the full height of the rotor there is added uncertainty in the rotor equivalent wind speed. This uncertainty in measurement decreases as more wind speed and wind direction measurement heights are used. If measurements are limited to only hub height and there is no measurement of wind shear over the most significant parts of the rotor, then this implies an uncertainty in determination of the rotor equivalent wind speed.

For small wind turbines (refer to IEC 61400-2), where the influence of the wind shear and wind veer are insignificant, the wind speed shall be represented by a hub height wind speed measurement alone without adding uncertainty due to lack of wind shear and wind veer measurements.

For vertical axis wind turbines, where the influence of the wind veer is not present, the wind veer shall be neglected.

As the wind conditions at the position of the test turbine and at the position of the wind measurement can differ significantly if the test turbine and/or the wind measurement is located in the wakes of any wind turbines, such situations shall be excluded from the test. IEC 61400-12-5 shall be used to identify wake-affected situations. Additionally, the wind conditions at the position of the test turbine and at the position of the wind measurement can differ significantly due to the impact of the surrounding terrain, in which case a site calibration

according to IEC 61400-12-3 shall be performed. The complexity of the terrain shall be assessed according to the procedures described in IEC 61400-12-5.

The air density ρ also varies over the height of a large wind turbine rotor. However, this variation is small. For practical implementation of the power performance measurement method, it is sufficient to define and determine the air density at hub height only. The power curve is normalized to the average air density at the measurement site over the measurement period or to a pre-defined reference air density.

Power curves are also influenced by the turbulence at the test site, and turbulence can vary over the rotor. In the IEC 61400-12 series only the site turbulence at hub height is considered. As with shear measurement, not all power performance (and wind measurement) methods are amenable to the measurement of turbulence and consequently this can influence the choice of power curve test and wind measurement method. High turbulence increases the radius of curvature of the power curve at cut-in and at the start of power regulation at nominal power while low turbulence will make these corners of the power curve sharper. Site turbulence shall be measured and presented as a supplement to the power curve. If needed, a normalization to a specified turbulence can be done using the method of IEC 61400-12-1.

In summary, the power curve according to the IEC 61400-12 series is a climate-specific power curve, where:

- a) the wind speed at a point in space is defined as the horizontal wind speed;
- b) the wind speed of a power curve is defined as the hub height wind speed. This definition may be supplemented with the rotor equivalent wind speed, as defined in Equation (3) and further described in IEC 61400-12-1, taking account of vertical wind shear and wind veer;

NOTE 1 For vertical axis wind turbines the wind veer is omitted in Equation (3) (setting $\varphi_i = \varphi_{\text{hub}}$).

- c) air density is measured at hub height and the power curve is normalized to a site average air density during the measurement period or to a pre-defined reference air density;
- d) turbulence is measured at hub height (if the measurement method allows) and the power curve is presented without a turbulence normalization;
- e) the power curve can be normalized to a broader range of climatic conditions (e.g. specific air density, turbulence intensity, vertical shear and veer).

NOTE 2 The power curve normalization is only valid for limited ranges of climatic conditions from the actual site conditions.

In the IEC 61400-12 series all necessary procedures for measurements, calibration, classification, data correction, data normalization and determination of uncertainties are either provided within the different parts or referred to in the relevant parts of IEC 61400-50. However, if not all parameters are sufficiently measured, then uncertainty shall be applied due to the lack of measurement. This applies, for example, to the measurement of a power curve of a large wind turbine with only a hub height wind speed sensor. In this case an uncertainty shall be applied for the variability of the wind shear and of the wind veer.

The best results from the use of the IEC 61400-12 series are achieved by measurement of all required parameters and use of all relevant procedures. However, if this is not possible, there are options both for the measurement setup and for the use of the procedures. These minimum requirements are specified in Table 1. The options refer to the use of wind measurement equipment, the applied normalizations, and additional uncertainties connected to the lack of measurements.

Table 1 – Overview of wind measurement configurations for power curve measurements that meet the requirements of this document

Wind measurement configuration	1. Meteorological mast at hub height and remote sensing at all heights	2. Meteorological mast below hub height and remote sensing at all heights	3. Meteorological mast above hub height	4. Meteorological mast at hub height	5. Nacelle-mounted anemometer
Typical application	Large wind turbines ^a in flat terrain (see IEC 61400-12-5)	Large wind turbines in flat terrain (see IEC 61400-12-5)	Large and small wind turbines in all types of terrain	Large and small wind turbines in all types of terrain	Large and small wind turbines in all types of terrain
Wind measurement sensors	IEC 61400-50-1 for cup and sonic anemometers and IEC 61400-50-2 for remote sensing	IEC 61400-50-1 for cup and sonic anemometers and IEC 61400-50-2 for remote sensing	IEC 61400-50-1 for cup and sonic anemometers	IEC 61400-50-1 for cup and sonic anemometers	IEC 61400-12-2 for allowable sensors and mounting locations. IEC 61400-50-1 for cup and sonic anemometer requirements.
Normalization procedures for climate-specific power curve determination	Air density, wind shear; IEC 61400-12-1	Air density, wind shear; IEC 61400-12-1	Air density, wind shear; IEC 61400-12-1	Air density; IEC 61400-12-1	Air density; IEC 61400-12-2
Additional uncertainty due to lack of wind shear measurement	No additional uncertainty dependent on measurement height coverage	No additional uncertainty dependent on measurement height coverage	No additional uncertainty dependent on measurement height coverage	Additional gross uncertainty for large wind turbines due to lack of vertical wind shear	Additional gross uncertainty for large wind turbines due to lack of vertical wind shear
Optional normalization procedures ^b	Turbulence, wind veer and upflow angle; IEC 61400-12-1	Turbulence, wind veer and upflow angle; IEC 61400-12-1	Turbulence, wind veer and upflow angle; IEC 61400-12-1. Meteorological mast flow distortion; IEC 61400-50-1, Site calibration; IEC 61400-12-3	Turbulence and upflow angle; IEC 61400-12-1. Site calibration; IEC 61400-50-1.	Not applicable.
^a Refer to IEC 61400-2 for definition of large and small turbines. ^b Upflow influences the power curve and can be measured with 3D sonic anemometers or upflow vanes. If an upflow angle normalization is applied then the method should be documented (uncertainty on upflow is considered in IEC 61400-50-1). However, no specific procedure is described in the IEC 61400-12 series on how to normalize for upflow angle.					

6 Interfaces between International Standards

The implementation of a power performance test according to the IEC 61400-12 series requires measurement and analysis methods and specifications from various standards in the IEC 61400-12 and IEC 61400-50 series to be used. Figure 1 specifies the relationship between the standards and the direction of flow of information.

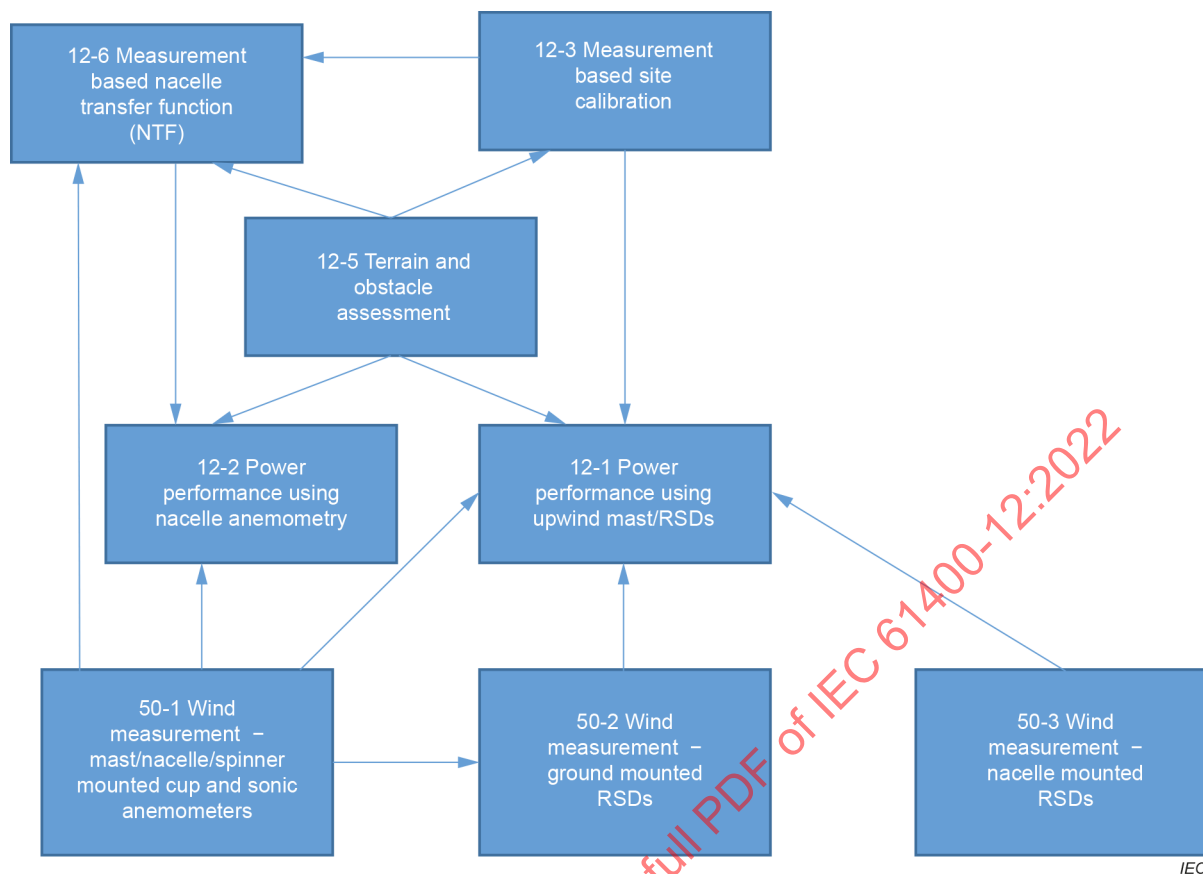


Figure 1 – Overview of relationship between standards in the IEC 61400-12 and IEC 61400-50 series

Bibliography

IEC TR 61400-12-4, *Wind energy generation systems – Part 12-4: Numerical site calibration for power performance testing of wind turbines*

IEC 61400-2, *Wind turbines – Part 2: Small wind turbines*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12:2022

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12:2022

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	19
1 Domaine d'application	20
2 Références normatives	20
3 Termes et définitions	21
4 Symboles, unités et termes abrégés	22
5 Vue d'ensemble de la méthode de performance de puissance	23
6 Interfaces entre les Normes internationales	27
Bibliographie.....	29
Figure 1 – Vue d'ensemble de la relation entre normes dans les séries IEC 61400-12 et IEC 61400-50.....	28
Tableau 1 – Vue d'ensemble des configurations de mesure du vent pour les mesurages de la courbe de puissance qui satisfont aux exigences du présent document.....	26

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

**Partie 12: Mesurages de performance de puissance des éoliennes
de production d'électricité – Vue d'ensemble****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 61400-12 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne. Il s'agit d'une Norme internationale.

La présente première édition de l'IEC 61400-12 fait partie d'une révision structurelle qui annule et remplace les normes de performance IEC 61400-12-1:2017 et IEC 61400-12-2:2013. Cette révision structurelle ne contient aucune modification technique par rapport à l'IEC 61400-12-1:2017 et l'IEC 61400-12-2:2013. Toutefois, les parties relatives aux mesurages du vent, au mesurage de l'étalonnage du site et à l'évaluation des obstacles et du terrain ont été extraites vers des normes distinctes.

Cette restructuration a pour objet de permettre, à l'avenir, une gestion et une révision plus efficaces des normes de performance de puissance en matière de temps et de coût, ainsi que

de fournir une division plus logique des exigences de mesure du vent en une série de normes distinctes auxquelles d'autres normes de cas d'utilisation de la série IEC 61400 pourront faire référence. Ces normes distinctes pourront ultérieurement être maintenues et élaborées par les experts appropriés.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
88/830/CDV	88/866/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, publiées sous le titre général *Systèmes de génération d'énergie éolienne*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La série IEC 61400-12 comprend un sous-ensemble de normes qui sont destinées être utilisées lors de l'évaluation et du mesurage des caractéristiques de performance de puissance des éoliennes. La caractérisation de performance de puissance des éoliennes de tous types et toutes tailles est couverte.

Le comité d'études 88 a réalisé cette révision pour réduire la complexité et pour améliorer la maintenabilité de la version précédente. Les procédures de mesure du vent ont été extraites de la norme de performance, avec la reconnaissance que les mesurages du vent ont besoin d'être référencés à partir d'autres normes, comme dans les mesurages d'évaluation de charges, de bruits et de ressources. Le comité d'études 88 recommande que les normes restructurées remplacent progressivement les normes précédentes avant la rédaction de rapports du cycle de maintenance concernant les normes restructurées avec l'introduction de nouvelles exigences techniques. Il convient de proposer conjointement la révision des documents restructurés afin d'intégrer de telles modifications techniques, recommandations, clarifications et simplifications.

La série IEC 61400-12 a pour objet de fournir une méthodologie uniforme qui assure la cohérence, l'exactitude et la reproductibilité du mesurage et de l'analyse de la performance de puissance des éoliennes. Ces Normes internationales ont été établies en vue d'être appliquées par:

- a) les fabricants d'éoliennes dans le cadre de leurs efforts pour satisfaire à des exigences de performance de puissance bien définies et/ou à un système de déclaration éventuel;
- b) les acheteurs d'éoliennes lors de la spécification de telles exigences de performance;
- c) les opérateurs d'éoliennes qui peuvent devoir vérifier que les unités neuves ou remises en état satisfont aux spécifications de performance de puissance indiquées, voire exigées;
- d) les autorités d'urbanisme ou de régulation en matière d'éoliennes, qui ont besoin d'être en mesure de définir avec exactitude et de manière acceptable les caractéristiques de performance de puissance des éoliennes au titre de la réglementation ou des exigences relatives aux autorisations applicables aux installations neuves ou modifiées.

La série IEC 61400-12 fournit des recommandations relatives au mesurage, à l'analyse et à la consignation des rapports d'essai de performance de puissance des éoliennes. Ces Normes internationales sont utiles aux parties impliquées dans la fabrication, l'installation, la planification et la délivrance de permis, le fonctionnement, l'exploitation et la réglementation des éoliennes. Il convient que toutes les parties appliquent les techniques de mesure et d'analyse techniquement exactes recommandées dans ces normes pour assurer le développement et l'exploitation en continu des éoliennes dans un climat de communication cohérente et exacte vis-à-vis de la performance des éoliennes. Ces normes décrivent les procédures de mesure et de rapport qui sont réputées donner des résultats exacts pouvant être reproduits par d'autres personnes. D'autre part, il convient que les utilisateurs de ces normes soient informés des différences de performance ou du mesurage de performance qui apparaissent en cas de variations importantes du cisaillement du vent et des turbulences. Toutes les méthodes d'essai spécifiées dans la série IEC 61400-12 ne favorisent pas la quantification de l'impact du cisaillement et des turbulences. Par conséquent, il convient que les utilisateurs prennent en considération l'influence de ces différences, de la norme/méthode d'essai la plus convenable ainsi que des critères de choix des données par rapport à l'objectif de l'essai avant de procéder aux mesurages de performance de puissance.

Les procédures d'étalonnage, de classification et d'évaluation de l'incertitude des anémomètres à coupelles et à ultrasons sont données dans l'IEC 61400-50-1. Les procédures d'étalonnage, de classification et d'évaluation de l'incertitude des dispositifs de télédétection sont données dans l'IEC 61400-50-2. Il convient de porter une attention particulière au choix des instruments utilisés pour mesurer la vitesse du vent car ce choix peut avoir une influence sur le résultat de l'essai de performance de puissance.

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 12: Mesurages de performance de puissance des éoliennes de production d'électricité – Vue d'ensemble

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 définit les procédures d'évaluation des caractéristiques de performance de puissance des éoliennes.

Le présent document fournit une introduction générale aux options disponibles des mesurages de performance de puissance et des évaluations de contribution présentes dans les autres parties de la série IEC 61400-12, avec de plus amples informations. Les méthodes et les procédures de mesure ou d'acquisition des données de la vitesse du vent sont définies dans la série IEC 61400-50 relatives au mesurage du vent, bien que le présent document (ainsi que d'autres parties de la série IEC 61400-12) donne aussi les spécifications des variables météorologiques (la vitesse du vent, en particulier) exigées pour l'évaluation de performance de puissance.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61400-12-1, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 12-1: Mesurages de performance de puissance des éoliennes de production d'électricité*

IEC 61400-12-2, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 12-2: Performance de puissance des éoliennes de production d'électricité fondée sur l'anémométrie de nacelle*

IEC 61400-12-3, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 12-3: Performance de puissance – Étalonnage du site fondé sur le mesurage*

IEC 61400-12-5, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 12-5: Performance de puissance – Évaluation des obstacles et du terrain*

IEC 61400-12-6, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 12-6: Fonction de transfert de la nacelle fondée sur le mesurage des éoliennes de production d'électricité*

IEC 61400-50, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 50: Mesurage du vent – Vue d'ensemble*

IEC 61400-50-1, *Wind energy generation systems – Part 50-1: Wind measurement – Application of meteorological mast, nacelle and spinner mounted instruments* (disponible en anglais seulement)

IEC 61400-50-2, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 50-2: Mesurage du vent – Application de la technologie de télédétection montée au sol*

IEC 61400-50-3, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 50-3: Utilisation de lidars montés sur nacelle pour le mesurage du vent*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

production annuelle d'énergie

AEP

estimation de la production totale annuelle d'énergie d'une éolienne en appliquant la courbe de puissance mesurée à différentes distributions de fréquence de vitesses du vent de référence à la hauteur du moyeu, en prenant pour hypothèse une disponibilité de 100 %

Note 1 to entry: L'abréviation "AEP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "annual energy production".

3.2

ensemble de données

collection de données échantillonnées sur une période continue

3.3

distorsion de l'écoulement

changement dans l'écoulement de l'air causé par des obstacles, des variations topographiques ou par d'autres éoliennes, qui se traduit par un écart entre la vitesse du vent à l'emplacement de mesure et la vitesse du vent à l'emplacement de l'éolienne

3.4

hauteur du moyeu

<d'une éolienne> hauteur du centre de la surface balayée par le rotor de l'éolienne par rapport au sol au niveau du mât

Note 1 à l'article: Pour une éolienne à axe vertical, la hauteur du moyeu est la hauteur du centroïde de la surface balayée par le rotor par rapport au sol au niveau du mât.

3.5

courbe de puissance mesurée

tableau et graphique qui représentent la puissance de sortie nette d'une éolienne mesurée, corrigée et normalisée, en fonction de la vitesse du vent mesurée selon une procédure de mesure bien définie

Note 1 à l'article: Pour chaque tranche, le nombre d'ensembles de données ou d'échantillons et leur somme sont enregistrés, et la moyenne de la valeur du paramètre à l'intérieur de chaque tranche est calculée.

3.6

puissance électrique active nette

mesure de la puissance de sortie électrique de l'éolienne fournie au réseau électrique

3.7

obstacle

objet qui fait obstacle au vent et qui crée une distorsion de l'écoulement

Note 1 à l'article: Les bâtiments et les arbres sont des exemples d'obstacles.

3.8

performance de puissance

mesure de l'aptitude d'une éolienne à produire de la puissance et de l'énergie électriques

3.9

vitesse du vent équivalente du rotor

vitesse du vent qui correspond au flux d'énergie cinétique traversant la surface balayée par le rotor en tenant compte de la variation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur

VOIR: Équation (3)

3.10

site d'essai

emplacement de l'éolienne en essai et ses environs

3.11

incertitude de mesure

paramètre, associé au résultat de mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent raisonnablement être attribuées au mesurande

3.12

matériel de mesure du vent

mât météorologique ou dispositif de télédétection

3.13

cisaillement du vent

variation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur sur le rotor de l'éolienne

3.14

déviati on de la trajectoire du vent

variation de la direction du vent en fonction de la hauteur sur le rotor de l'éolienne

4 Symboles, unités et termes abrégés

Symbole ou terme abrégé	Description	Unité
A	surface balayée par le rotor de l'éolienne	m^2
AEP	annual energy production (production annuelle d'énergie)	Wh
P_{kin}	flux d'énergie cinétique	W
RSD	remote sensing device (dispositif de télédétection)	
V	vitesse du vent	m/s
V_i	vitesse du vent à la hauteur i	m/s
v_{eq}	vitesse du vent équivalente mesurée	m/s
WME	wind measurement equipment (matériel de mesure du vent)	
ρ	masse volumique de l'air	kg/m^3
ϕ	humidité relative (plage de 0 % à 100 %)	
ω	vitesse angulaire	s^{-1}
φ	direction du vent	rad
φ_{hub}	direction du vent à la hauteur du moyeu	rad
φ_i	direction du vent à la hauteur i	rad

5 Vue d'ensemble de la méthode de performance de puissance

Les caractéristiques de performance de puissance des éoliennes sont déterminées par la courbe de puissance mesurée et une production annuelle d'énergie (AEP) estimée associée et son incertitude. La courbe de puissance mesurée, définie comme la relation entre la vitesse du vent et la puissance de sortie de l'éolienne, est déterminée en compilant des mesurages simultanés des variables météorologiques (notamment la vitesse du vent), ainsi que des signaux d'éoliennes (notamment la puissance de sortie) sur le site d'essai pendant une période suffisamment longue pour constituer une base de données statistiquement significative sur une plage donnée de vitesses du vent et dans des conditions de vent et des conditions atmosphériques variables. La production annuelle d'énergie (AEP) est calculée en appliquant la courbe de puissance mesurée aux distributions de fréquence de vitesses du vent de référence, en prenant pour hypothèse une disponibilité de 100 %.

La méthode de mesure de performance de puissance utilisée dans la série IEC 61400-12 s'appuie sur une définition de la courbe de puissance qui exprime la puissance produite par rapport à la vitesse du vent, et qui représente le flux d'énergie cinétique effectif dans l'écoulement du vent sur la surface balayée par le rotor.

Le flux d'énergie cinétique (à un instant donné ou sur une période donnée, habituellement 10 min, en prenant pour hypothèse que la vitesse du vent ne varie pas pendant cette période) sur la surface balayée verticale est généralement exprimé par l'équation suivante:

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho V^3 dA \quad (1)$$

Dans le cas présent, la vitesse du vent V , mesurée en un point donné dans l'espace sur la surface du rotor, correspond à la vitesse horizontale du vent.

NOTE 1 La puissance de l'éolienne semble concorder davantage avec la définition de la vitesse horizontale du vent qu'avec la définition d'une vitesse vectorielle du vent pour un mesurage de la vitesse du vent en un point donné à la hauteur du moyeu.

NOTE 2 Lorsque la vitesse du vent varie (c'est-à-dire lorsque l'intensité des turbulences est supérieure à 0) pendant une période donnée, la puissance cinétique (moyennée sur la période donnée) est plus élevée que lorsque la vitesse du vent est constante; or une éolienne ne dispose que d'une capacité limitée à transformer cette énergie cinétique supplémentaire en puissance électrique supplémentaire. Le présent document ne traite pas cette question de manière approfondie. Pour des raisons de simplification, les Équations (1), (2), (3) sont réputées valides, même en cas d'intensité des turbulences supérieure à 0. L'impact des variations de la vitesse du vent sur la puissance cinétique moyennée dans le temps et l'impact associé sur la courbe de puissance de l'éolienne sont traités par la procédure de normalisation des turbulences donnée dans l'IEC 61400-12-1.

La vitesse horizontale du vent est définie comme l'amplitude moyenne de la composante horizontale de la vitesse vectorielle instantanée du vent, qui inclut uniquement les composantes de turbulences longitudinale et latérale (mais pas la composante verticale). Dans le cas d'une éolienne à axe horizontal, la déviation de la trajectoire du vent est également prise en compte et l'énergie cinétique du vent est corrigée en fonction de la direction du vent à la hauteur du moyeu:

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho (V \cos(\varphi - \varphi_{\text{hub}}))^3 dA \quad (2)$$

Dans le cas présent, φ_{hub} est la direction du vent à la hauteur du moyeu. La déviation de la trajectoire du vent peut varier de manière considérable sur la hauteur du rotor des grandes éoliennes dans des conditions extrêmes de stabilité atmosphérique, mais également en fonction de la topographie du site.

Dans le présent document, le cisaillement du vent et la déviation de la trajectoire du vent ne sont pas étudiés dans le plan horizontal. Par conséquent, la vitesse du vent équivalente de

l'énergie, qui correspond à l'énergie cinétique du vent déduite par l'Équation (2) est généralement exprimée par l'équation suivante:

$$V_{eq} = \left(\frac{1}{A} \int_i (V_i \cos(\varphi_i - \varphi_{hub}))^3 dA_i \right)^{1/3} \quad (3)$$

Dans le présent document, l'indice i se réfère à la hauteur au sein de la surface du rotor.

NOTE 3 Lorsque la vitesse du vent est mentionnée dans le présent document, il s'agit par défaut de la vitesse du vent à la hauteur du moyeu, sauf spécification indiquant qu'il s'agit de la vitesse du vent équivalente de l'énergie.

Même si la vitesse horizontale du vent est réputée être le paramètre de vitesse du vent d'influence, sur les sites présentant un écoulement non horizontal significatif (écoulement ascendant ou descendant), une incertitude supplémentaire est associée d'une part au mesurage de la vitesse horizontale du vent et d'autre part à la réponse de l'éolienne.

Le cisaillement du vent et la déviation de la trajectoire du vent peuvent varier de manière considérable sur la hauteur du rotor des grandes éoliennes en raison des conditions de stabilité atmosphérique, mais également en fonction de la topographie du site. L'occurrence de conditions extrêmes de stabilité atmosphérique est une problématique spécifique au site. Si elles surviennent lors d'un essai de performance de puissance, la courbe de puissance peut varier de manière significative.

Sur les sites qui présentent un cisaillement du vent et une déviation de la trajectoire du vent faibles et homogènes sur la surface du rotor (ainsi que pour les éoliennes équipées de rotors de diamètre réduit dans des conditions d'écoulement du vent potentiellement plus complexes), la vitesse du vent mesurée à la hauteur du moyeu peut constituer un bon indicateur de l'énergie cinétique que le rotor doit capter. La vitesse du vent à la hauteur du moyeu est la vitesse du vent à partir de laquelle ont été définies les courbes de puissance dans toutes les éditions précédentes des parties de la série IEC 61400-12. Pour cette raison, la vitesse du vent mesurée à la hauteur du moyeu est la définition par défaut de la vitesse du vent et doit toujours être mesurée et consignée, même lorsque des mesurages plus complets sont disponibles sur la hauteur du rotor.

Sur les sites et pendant les saisons où des conditions extrêmes de stabilité atmosphérique sont fréquemment attendues, il est recommandé de procéder à un mesurage systématique du cisaillement du vent. Toutes les méthodes de mesure de la courbe de puissance ne peuvent pas fournir des mesurages du cisaillement du vent (par exemple, des informations relatives au cisaillement du vent ne peuvent pas être fournies par les mesurages décrits dans l'IEC 61400-12-2). Cependant, les conditions de stabilité atmosphérique spécifiques au site attendues peuvent procéder au choix de la méthodologie de mesure de la courbe de puissance.

Lorsque le cisaillement du vent et la déviation de la trajectoire du vent ne sont pas mesurés sur la totalité de la hauteur du rotor, une incertitude supplémentaire est associée à la vitesse du vent équivalente du rotor. Cette incertitude de mesure diminue au fur et à mesure qu'augmente le nombre de hauteurs de mesure de la vitesse et de la direction du vent. Dans le cas où les mesurages se limitent à la hauteur du moyeu et lorsque les parties les plus significatives du rotor n'ont pas fait l'objet d'un mesurage du cisaillement du vent, cela entraîne une incertitude dans la détermination de la vitesse du vent équivalente du rotor.

Pour les petits aérogénérateurs (voir l'IEC 61400-2), pour lesquels l'influence du cisaillement du vent et de la déviation de la trajectoire du vent est négligeable, la vitesse du vent doit être déterminée en mesurant uniquement la vitesse du vent à la hauteur du moyeu, sans introduire une incertitude supplémentaire due au manque de mesurages du cisaillement du vent et de la déviation de la trajectoire du vent.

Pour les éoliennes à axe vertical, pour lesquelles la déviation de la trajectoire du vent n'a aucune influence, la déviation de la trajectoire du vent doit être ignorée.

Les conditions de vent à l'emplacement de l'éolienne en essai et à l'emplacement de mesure du vent peuvent varier de manière considérable si ces emplacements se trouvent dans le sillage d'éoliennes; de telles situations doivent donc être exclues de l'essai. L'IEC 61400-12-5 doit être utilisée pour identifier les situations affectées dans le sillage. De plus, les conditions de vent à l'emplacement de l'éolienne en essai et à l'emplacement de mesure du vent peuvent varier de manière considérable en raison de l'impact du terrain environnant. Dans un tel cas, un étalonnage du site selon l'IEC 61400-12-3 doit être effectué. La complexité du terrain doit être évaluée selon les procédures décrites dans l'IEC 61400-12-5.

La masse volumique de l'air ρ varie également en fonction de la hauteur du rotor d'une grande éolienne. Néanmoins, cette variation est mineure. Pour la mise en œuvre pratique de la méthode de mesure de performance de puissance, il suffit de définir et de déterminer la masse volumique de l'air seulement à la hauteur du moyeu. La courbe de puissance est normalisée à la masse volumique de l'air moyenne sur le site de mesure pendant la période de mesure ou à la masse volumique de l'air de référence prédéfinie.

Les courbes de puissance sont également influencées par les turbulences sur le site d'essai, lesquelles peuvent varier sur la surface du rotor. Dans la série IEC 61400-12 seules les turbulences du site à la hauteur du moyeu sont étudiées. En ce qui concerne le mesurage du cisaillement, toutes les méthodes de performance de puissance (y compris le mesurage du vent) ne sont pas soumises au mesurage des turbulences. Elles peuvent, par conséquent, avoir une influence sur le choix de la méthode de mesure du vent et l'essai de courbe de puissance. Les fortes turbulences augmentent le rayon de courbure de la courbe de puissance au démarrage et au début de la régulation de puissance à la puissance nominale. En revanche, de faibles turbulences accentuent les angles de la courbe de puissance. Les turbulences du site doivent être mesurées et présentées comme un complément à la courbe de puissance. Si cela est nécessaire, les turbulences peuvent être normalisées à une valeur donnée à l'aide de la méthode donnée dans l'IEC 61400-12-1.

En résumé, la courbe de puissance selon la série IEC 61400-12 est une courbe de puissance spécifique au climat, où:

- a) la vitesse du vent en un point donné dans l'espace est définie comme la vitesse horizontale du vent;
- b) la vitesse du vent d'une courbe de puissance est définie comme la vitesse du vent à la hauteur du moyeu. À cette définition peut s'ajouter la vitesse du vent équivalente du rotor définie dans l'Équation (3) et décrite dans l'IEC 61400-12-1, en tenant compte du cisaillement du vent vertical et de la déviation de la trajectoire du vent;

NOTE 1 Pour les éoliennes à axe vertical, la déviation de la trajectoire du vent est omise dans l'Équation (3) (en définissant $\phi_r = \phi_{\text{hub}}$).

- c) la masse volumique de l'air est mesurée à la hauteur du moyeu, et la courbe de puissance est normalisée à la masse volumique de l'air moyenne du site pendant la période de mesure ou à la masse volumique de l'air de référence prédéfinie;
- d) les turbulences sont mesurées à la hauteur du moyeu (lorsque cela est permis par la méthode de mesure), et la courbe de puissance est présentée sans normalisation des turbulences;
- e) la courbe de puissance peut être normalisée selon une plage plus large de conditions climatiques (par exemple, masse volumique de l'air spécifique, intensité des turbulences, cisaillement vertical et déviation de la trajectoire).

NOTE 2 La normalisation de la courbe de puissance n'est valide que pour des plages limitées de conditions climatiques parmi les conditions réelles du site.

Dans la série IEC 61400-12, toutes les procédures nécessaires pour le mesurage, l'étalonnage, la classification, la correction des données, la normalisation des données et la détermination des incertitudes sont soit fournies dans les différentes parties ou font référence aux parties pertinentes de l'IEC 61400-50. Cependant, dans le cas où tous les paramètres ne sont pas suffisamment mesurés, une incertitude doit être appliquée en raison du manque de mesurages. Par exemple, cela s'applique au mesurage de la courbe de puissance d'une grande éolienne