IEC 61400-12-1

Edition 3.0 2022-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-5621-3

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 8
INTRODUCTION 10
1 Scope 12
2 Normative references 12
3 Terms and definitions 13
4 Symbols, units and abbreviated terms 16
5 Power performance method overview 23
6 Preparation for performance test 26
6.1 General 26
6.2 Wind turbine and electrical connection 26
6.3 Test site 27
6.3.1 General 27
6.3.2 Location of the wind measurement equipment 27
6.3.3 Measurement sector 27
6.3.4 Correction factors and uncertainty due to flow distortion originating from topography 28
7 Test equipment 28
7.1 Electric power 28
7.2 Wind speed 29
7.2.1 General 29
7.2.2 General requirements for meteorological mast mounted anemometers 30
7.2.3 Top-mounted anemometers 30
7.2.4 Side-mounted anemometers 31
7.2.5 Remote sensing device (RSD) 31
7.2.6 Rotor equivalent wind speed measurement 31
7.2.7 Hub height wind speed measurement 32
7.2.8 Wind shear measurements 32
7.3 Wind direction 34
7.4 Air density 34
7.5 Rotational speed and pitch angle 35
7.6 Blade condition 35
7.7 Wind turbine control system 35
7.8 Data acquisition system 35
8 Measurement procedure 36
8.1 General 36
8.2 Wind turbine operation 36
8.3 Data collection 36
8.4 Data rejection 36
8.5 Database 37
9 Derived results 37
9.1 Data normalization 37
9.1.1 General 37
9.1.2 Correction for meteorological mast flow distortion of side-mounted anemometer 38
9.1.3 Wind shear correction (when REWS measurements available) 38
9.1.4 Wind veer correction 41

9.1.5 Air density normalization 41
9.1.6 Turbulence normalization 42
9.2 Determination of the measured power curve 42
9.3 Annual energy production (AEP) 43
9.4 Power coefficient 45
10 Reporting format 45
Annex A (normative) Assessment of obstacles 53
Annex B (normative) Assessment of terrain at the test site 54
Annex C (normative) Site calibration procedure 55
Annex D (normative) Evaluation of uncertainty in measurement 56
Annex E (informative) Theoretical basis for determining the uncertainty of measurement using the method of bins 60
E.1 General 60
E.2 Combining uncertainties 61
E.2.1 General 61
E.2.2 Expanded uncertainty 63
E.2.3 Basis for the uncertainty assessment 63
E.3 Category A uncertainties 68
E.3.1 General 68
E.3.2 Category A uncertainty in electric power 68
E.3.3 Category A uncertainties in the site calibration 68
E.4 Category B uncertainties: Introduction and data acquisition system 68
E.4.1 Category B uncertainties: Introduction 68
E.4.2 Category B uncertainties: Data acquisition system 69
E.5 Category B uncertainties: Power output 69
E.5.1 General 69
E.5.2 Category B uncertainties: Power output – Current transformers 70
E.5.3 Category B uncertainties: Power output – Voltage transformers 70
E.5.4 Category B uncertainties: Power output – Power transducer or other power measurement device 71
E.5.5 Category B uncertainties: Power output – Data acquisition 71
E.6 Category B uncertainties: Wind speed – Introduction and sensors 72
E.6.1 Category B uncertainties: Wind speed – Introduction 72
E.6.2 Category B uncertainties: Wind speed – Hardware 72
E.6.3 Category B uncertainties: Wind speed – Meteorological mast mounted sensors 72
E.7 Category B uncertainties: Wind speed – RSD 74
E.7.1 General 74
E.7.2 Category B uncertainties: Wind speed – RSD – Calibration 74
E.7.3 Category B uncertainties: Wind speed – RSD – In-situ check 75
E.7.4 Category B uncertainties: Wind speed – RSD – Classification 75
E.7.5 Category B uncertainties: Wind speed – RSD – Mounting 75
E.7.6 Category B uncertainties: Wind speed – RSD – Flow variation 75
E.7.7 Category B uncertainties: Wind speed – RSD – Monitoring test 76
E.8 Category B uncertainties: Wind speed – REWS 76
E.8.1 General 76
E.8.2 Category B uncertainties: Wind speed – REWS – Wind speed measurement over whole rotor 76
E.8.3 Category B uncertainties: Wind speed – REWS – Wind veer 77

E.9 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain 78
E.9.1 General 78
E.9.2 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Pre-calibration 78
E.9.3 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Post-calibration 79
E.9.4 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Classification 79
E.9.5 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Mounting 79
E.9.6 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Data acquisition 79
E.9.7 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Lightning finial 80
E.9.8 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Change in correction between adjacent bins 80
E.9.9 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Removal of WD sensor 80
E.9.10 Category B uncertainties: Wind speed – Terrain – Seasonal variation 80
E.10 Category B uncertainties: Air density 80
E.10.1 General 80
E.10.2 Category B uncertainties: Air density – Temperature – Introduction 81
E.10.3 Category B uncertainties: Air density – Temperature – Calibration 82
E.10.4 Category B uncertainties: Air density – Temperature – Radiation shielding 82
E.10.5 Category B uncertainties: Air density – Temperature – Mounting 82
E.10.6 Category B uncertainties: Air density – Temperature – Data acquisition 82
E.10.7 Category B uncertainties: Air density – Pressure – Introduction 83
E.10.8 Category B uncertainties: Air density – Pressure – Calibration 84
E.10.9 Category B uncertainties: Air density – Pressure – Mounting 84
E.10.10 Category B uncertainties: Air density – Pressure – Data acquisition 84
E.10.11 Category B uncertainties: Air density – Relative humidity – Introduction 84
E.10.12 Category B uncertainties: Air density – Relative humidity – Calibration 85
E.10.13 Category B uncertainties: Air density – Relative humidity – Mounting 85
E.10.14 Category B uncertainties: Air density – Relative humidity – Data acquisition 86
E.10.15 Category B uncertainties: Air density – Correction 86
E.11 Category B uncertainties: Method 86
E.11.1 General 86
E.11.2 Category B uncertainties: Method – Wind conditions 87
E.11.3 Category B uncertainties: Method – Seasonal effects 92
E.11.4 Category B uncertainties: Method – Turbulence normalization (or the lack thereof) 92
E.11.5 Category B uncertainties: Method – Cold climate 93
E.12 Category B uncertainties: Wind direction 93
E.12.1 General 93
E.12.2 Category B uncertainties: Wind direction – Vane or sonic 94
E.12.3 Category B uncertainties: Wind direction – RSD 95
E.13 Combining uncertainties 96
E.13.1 General 96
E.13.2 Combining Category B uncertainties in electric power ($u_{P,i}$) 96
E.13.3 Combining uncertainties in the wind speed measurement ($u_{V,i}$) 96
E.13.4 Combining uncertainties in the wind speed measurement from cup or sonic ($u_{VS,i}$) 97
E.13.5 Combining uncertainties in the wind speed measurement from RSD ($u_{VR,i}$) 97

E.13.6 Combining uncertainties in the wind speed measurement from REWS $u_{\mathrm{VREWS},i}$ 98
E.13.7 Combining uncertainties in the wind speed measurement for REWS for either a meteorological mast significantly above hub height or an RSD with a lower-than-hub-height meteorological mast 98
E.13.8 Combining uncertainties in the wind speed measurement for REWS for a hub height meteorological mast plus RSD for shear using an absolute wind speed 101
E.13.9 Combining uncertainties in the wind speed measurement for REWS for hub height meteorological mast RSD for shear using a relative wind speed 103
E.13.10 Combining uncertainties in the wind speed measurement from REWS due to wind veer across the whole rotor $u_{\mathrm{VREWS,veer},i}$ 104
E.13.11 Combining uncertainties in the wind speed measurement from flow distortion due to site calibration $u_{\mathrm{VT},i}$ 108
E.13.12 Combining uncertainties for the temperature measurement $u_{\mathrm{T},i}$ 109
E.13.13 Combining uncertainties for the pressure measurement $u_{\mathrm{B},i}$ 109
E.13.14 Combining uncertainties for the humidity measurement $u_{\mathrm{RH},i}$ 110
E.13.15 Combining uncertainties for the method related components $u_{\mathrm{M},i}$ 111
E.13.16 Combining uncertainties for the wind direction measurement with wind vane or sonic anemometer $u_{\mathrm{WV},i}$ 111
E.13.17 Combining uncertainties for the wind direction measurement with RSD $u_{\mathrm{WR},i}$ 112
E.13.18 Combined category B uncertainties 112
E.13.19 Combined standard uncertainty – Power curve 112
E.13.20 Combined standard uncertainty – Energy production 112
E.14 Relevance of uncertainty components under specified conditions 113
E.15 Reference tables 113
Annex F (normative) Wind tunnel calibration procedure for anemometers 117
Annex G (normative) Mounting of instruments on the meteorological mast 118
Annex H (normative) Power performance testing of small wind turbines 119
H.1 General 119
H.2 Wind turbine system definition and installation 119
H.3 Meteorological mast location 120
H.4 Test equipment 120
H.5 Measurement procedure 121
H.6 Derived results 122
H.7 Reporting 122
H.8 Assessment of influence of wind turbines and obstacles at the test site 122
H.9 Assessment of terrain at test site 122
H.10 Site calibration procedure (refer to IEC 61400-12-3) 123
Annex I (normative) Classification of cup and sonic anemometry 124
Annex J (normative) Assessment of cup and sonic anemometry 125
Annex K (normative) In-situ comparison of anemometers 126
Annex L (normative) The application of remote sensing technology 127
L.1 General 127
L.2 Classification requirements specific to power performance tests 128
L.3 Verification requirements specific to power performance tests 128

L.4 Uncertainty evaluation specific to power performance tests 128
L.5 Additional checks specific to power performance tests 129
L.5.1 Monitoring the performance of the remote sensing device at the application site 129
L.5.2 Identification of malfunctioning of the remote sensing device 129
L.5.3 Consistency check of the assessment of the remote sensing device systematic uncertainties 129
L.5.4 In-situ test of the remote sensing device 129
L.6 Other requirements specific to power performance testing 129
Annex M (informative) Normalization of power curve data according to the turbulence intensity 132
M.1 General 132
M.2 Turbulence normalization procedure 132
M.3 Determination of the zero turbulence power curve 134
M.4 Order of wind shear correction (normalization) and turbulence normalization 140
M.5 Uncertainty of turbulence normalization or of power curves due to turbulence effects 140
Annex N (informative) Wind tunnel calibration procedure for wind direction sensors 142
Annex O (informative) Power performance testing in cold climate 143
O.1 Overview 143
O.2 Recommendations 143
O.2.1 General 143
O.2.2 Sonic anemometers 143
O.2.3 Cup anemometers 143
O.3 Uncertainties 144
O.4 Reporting 144
Annex P (informative) Wind shear normalization procedure 145
Annex Q (informative) Definition of the rotor equivalent wind speed under consideration of wind veer 147
Q.1 Overview 147
Q.2 Definition of rotor equivalent wind speed under consideration of wind veer 148
Q.3 Measurement of wind veer 148
Q.4 Combined wind shear and wind veer normalization 148
Annex R (informative) Uncertainty considerations for tests on multiple turbines 149
Annex S (informative) Mast flow distortion correction for lattice masts 153
Bibliography 154

Figure 1 – Requirements as to distance of the wind measurement equipment and maximum allowed measurement sectors 28
Figure 2 – Wind shear measurement heights appropriate to measurement of rotor equivalent wind speed 33
Figure 3 – Wind shear measurement heights when no wind speed measurements above hub height are available (for wind shear exponent determination only) 34
Figure 4 – Process of application of the various normalizations 38
Figure 5 – Presentation of example database: power performance test scatter plot sampled at 1 Hz (mean values averaged over 10 min) 49
Figure 6 – Presentation of example measured power curve 49
Figure 7 – Presentation of example C_P curve 50

Figure H.1 – Definition of hub height and meteorological mast location for vertical axis wind turbines 120
Figure L.1 – Example of permitted range of locations for measurement volume 130
Figure M.1 – Process for obtaining a power curve for a specific turbulence intensity (I_{ref}) 133
Figure M.2 – Process for obtaining the initial zero turbulence power curve parameters from the measured data 135
Figure M.3 – First approach for initial zero turbulence power curve 135
Figure M.4 – Process for obtaining the theoretical zero-turbulence power curve from the measured data 137
Figure M.5 – Adjusted initial zero turbulence power curve (green) compared to first approach (red) 138
Figure M.6 – Process for obtaining the final zero-turbulence power curve from the measured data 139
Figure M.7 – Adjusted initial zero turbulence power curve (green) compared to final zero turbulence power curve (black) 139
Figure Q.1 – Wind profiles measured with lidar over flat terrain 148

Table 1 – Overview of wind measurement configurations for power curve measurements that meet the requirements of this document 26
Table 2 – Wind speed measurement configurations (X indicates allowable configuration) 29
Table 3 – Example of REWS calculation 40
Table 4 – Example of presentation of a measured power curve 50
Table 5 – Example of presentation of estimated annual energy production 52
Table D.1 – List of uncertainty components 57
Table E.1 – Expanded uncertainties 63
Table E.2 – List of category A and B uncertainties 65
Table E.3 – Example of standard uncertainties due to absence of a wind shear measurement 89
Table E.4 – Example of standard uncertainties due to absence of a wind veer measurement 90
Table E.5 – Uncertainty contributions due to lack of upflow knowledge 91
Table E.6 – Uncertainty contributions due to lack of turbulence knowledge 92
Table E.7 – Suggested assumptions for correlations of measurement uncertainties between different measurement heights 100
Table E.8 – Suggested correlation assumptions for relative wind direction measurement uncertainties at different measurement heights 106
Table E.9 – Uncertainties from air density normalization 113
Table E.10 – Sensitivity factors 114
Table E.11 – Category B uncertainties 115
Table H.1 – Battery bank voltage settings 121
Table R.1 – List of correlated uncertainty components 150

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

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 61400-12-1 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems. It is an International Standard.

This third edition of IEC 61400-12-1 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
88/822/CDV	88/867/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.

The content of the corrigendum 1 (2025-05) has been included in this copy.

INTRODUCTION

IEC TC 88 has made this third edition in order to reduce the complexity of the previous edition. 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. This document has been prepared with the anticipation that it 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.

This document provides guidance in the measurement, analysis, and reporting of power performance testing for wind turbines. This document 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 this document 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. This document presents measurement and reporting procedures expected to provide accurate results that can be replicated by others. Meanwhile, a user of this document should be aware of differences that arise from large variations in wind shear and turbulence. Therefore, a user should consider the influence of these differences and the data selection criteria in relation to the purpose of the test before contracting the power performance measurements.

The wind turbine power performance characteristics are determined by the measured power curve and the estimated annual energy production (AEP). 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.

A key element of power performance testing is the measurement of wind speed. This document specifies the use of cup or sonic anemometers or remote sensing devices (RSD) in conjunction with anemometers to measure wind. Even though suitable procedures for calibration, validation and classification are adhered to, the nature of the measurement principle of these devices can potentially cause them to perform differently. These instruments are robust and have been regarded as suitable for this kind of test with the limitation of some of them to certain classes of terrain.

Recognizing that, as wind turbines become ever larger, a wind speed measured at a single height is increasingly unlikely to accurately represent the wind speed through the entire turbine rotor, this document introduces an additional definition of wind speed. Whereas previously wind speed was defined as that measured at hub height only, this can now be supplemented with a

so-called rotor equivalent wind speed (REWS) defined by an arithmetic combination of simultaneous measurements of wind speed at a number of heights spanning the complete rotor diameter between lower tip and upper tip. The power curves defined by hub height wind speed and REWS are not the same and indeed the wind speed distributions defined by hub height wind speed and REWS are also not the same such that the annual energy production (AEP) is defined by the combination of a measured power curve and wind speed distribution, both of which are based on an identical definition of wind speed.

The technical requirements in this document have been extracted from and are identical to those in IEC 61400-12-1:2017. The corrections in IEC 61400-12-1:2017/Cor.1:2019, IEC 61400-12-1:2017/Cor.2:2020 and IEC 61400-12-1:2017/Cor.3:2021 have been incorporated in this document. Specifically, technical corrections have been applied to Equations (E.8), (E.44) and (E.17). A further technical correction to Equation (E.45) has been made to correct inconsistent units in the components of the summation. Refer to IEC 61400-12:2022 for an overview of the re-structuring of the IEC 61400-12 series and the relationships between different parts of the standard.

Procedures for calibration, classification and uncertainty of cup anemometers and ultrasonic anemometers are given in IEC 61400-50-1. Procedures for calibration, classification and uncertainty 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 test.

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

1 Scope

This part of IEC 61400 specifies a procedure for measuring the power performance characteristics of a single wind turbine and applies to the testing of wind turbines of all types and sizes connected to the electrical power network. In addition, this document defines a procedure to be used to determine the power performance characteristics of small wind turbines (as defined in IEC 61400-2) when connected to either the electric power network or a battery bank. The procedure can be used for performance evaluation of specific wind turbines at specific locations, but equally the methodology can be used to make generic comparisons between different wind turbine models or different wind turbine settings when site-specific conditions and data filtering influences are taken into account.

Considerations which can be of relevance to the assessment of uncertainty of power performance tests on multiple turbines are presented in Annex R on an informative basis.

This document defines a measurement methodology that requires the measured power curve and derived energy production figures to be supplemented by an assessment of uncertainty sources and their combined effects. Uncertainty sources of wind measurements are assessed from procedures described in the relevant wind measurement equipment standards while uncertainty of the power curve and annual energy production are assessed by procedures in this document.

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 60688, *Electrical measuring transducers for converting AC and DC electrical quantities to analogue or digital signals*

IEC 61400-2, *Wind turbines – Part 2: Small 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 61400-50-1, *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 61869-1, *Instrument transformers – Part 1: General requirements*

IEC 61869-2, *Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers*

IEC 61869-3, *Instrument transformers – Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers*

ISO 2533, *Standard Atmosphere*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 163
INTRODUCTION 165
1 Domaine d’application 167
2 Références normatives 167
3 Termes et définitions 168
4 Symboles, unités et termes abrégés 172
5 Vue d'ensemble de la méthode de performance de puissance 178
6 Préparation de l'essai de performance 182
6.1 Généralités 182
6.2 Éolienne et raccordement électrique 183
6.3 Site d'essai 183
6.3.1 Généralités 183
6.3.2 Emplacement du matériel de mesure du vent 183
6.3.3 Secteur de mesure 184
6.3.4 Facteurs de correction et incertitude due à la distorsion de l'écoulement résultant de la topographie 184
7 Matériel d'essai 185
7.1 Puissance électrique 185
7.2 Vitesse du vent 185
7.2.1 Généralités 185
7.2.2 Exigences générales concernant les anémomètres montés en tête de mât météorologique 186
7.2.3 Anémomètres montés en tête de mât 187
7.2.4 Anémomètres montés latéralement 187
7.2.5 Dispositif de télédétection (RSD) 188
7.2.6 Mesurage de la vitesse du vent équivalente du rotor 188
7.2.7 Mesurage de la vitesse du vent à la hauteur du moyeu 189
7.2.8 Mesurages du cisaillement du vent 189
7.3 Direction du vent 191
7.4 Masse volumique de l'air 191
7.5 Vitesse de rotation et angle de pas 192
7.6 Condition des pales 192
7.7 Système de contrôle de l'éolienne 192
7.8 Système d'acquisition de données 192
8 Procédure de mesure 193
8.1 Généralités 193
8.2 Fonctionnement de l'éolienne 193
8.3 Collecte des données 193
8.4 Rejet des données 193
8.5 Base de données 194
9 Résultats déduits 195
9.1 Normalisation des données 195
9.1.1 Généralités 195
9.1.2 Correction de la distorsion de l'écoulement au niveau du mât météorologique par les anémomètres montés latéralement 196
9.1.3 Correction du cisaillement du vent (lorsque des mesurages de REWS sont disponibles) 196

9.1.4 Correction de la déviation de la trajectoire du vent 198
9.1.5 Normalisation de la masse volumique de l'air 199
9.1.6 Normalisation des turbulences 200
9.2 Détermination de la courbe de puissance mesurée 200
9.3 Production annuelle d'énergie (AEP) 201
9.4 Coefficient de puissance 203
10 Format de rapport 203
Annexe A (normative) Évaluation des obstacles 211
Annexe B (normative) Évaluation du terrain sur le site d'essai 212
Annexe C (normative) Procédure d'étalonnage du site 213
Annexe D (normative) Évaluation de l'incertitude de mesure 214
Annexe E (informative) Fondements théoriques de la détermination de l'incertitude de mesure à l'aide de la méthode des tranches 217
E.1 Généralités 217
E.2 Composition des incertitudes 218
E.2.1 Généralités 218
E.2.2 Incertitude élargie 220
E.2.3 Fondements de l'évaluation de l'incertitude 220
E.3 Incertitudes de catégorie A 224
E.3.1 Généralités 224
E.3.2 Incertitude de catégorie A sur la puissance électrique 225
E.3.3 Incertitudes de catégorie A sur l'étalonnage du site 225
E.4 Incertitudes de catégorie B: Introduction et système d'acquisition de données 225
E.4.1 Incertitudes de catégorie B: Introduction 225
E.4.2 Incertitudes de catégorie B: système d'acquisition de données 226
E.5 Incertitudes de catégorie B: Puissance de sortie 226
E.5.1 Généralités 226
E.5.2 Incertitudes de catégorie B: Puissance de sortie – Transformateurs de courant 227
E.5.3 Incertitudes de catégorie B: Puissance de sortie – Transformateurs de tension 227
E.5.4 Incertitudes de catégorie B: Puissance de sortie – Transducteur de puissance ou autre dispositif de mesure de puissance 228
E.5.5 Incertitudes de catégorie B: Puissance de sortie – Acquisition de données 228
E.6 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Introduction et capteurs 228
E.6.1 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Introduction 228
E.6.2 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Matériel 229
E.6.3 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Capteurs montés sur mât météorologique 229
E.7 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD 231
E.7.1 Généralités 231
E.7.2 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD – Étalonnage 232
E.7.3 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD – Contrôle in situ 232
E.7.4 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD – Classification 232
E.7.5 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD – Montage 232
E.7.6 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD – Variation de l'écoulement 233

E.7.7 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – RSD – Essai de surveillance 233
E.8 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – REWS 233
E.8.1 Généralités 233
E.8.2 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – REWS – Mesurage de la vitesse du vent sur l'ensemble du rotor 233
E.8.3 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – REWS – Déviation de la trajectoire du vent 235
E.9 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain 235
E.9.1 Généralités 235
E.9.2 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Pré-étalonnage 236
E.9.3 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Étalonnage postérieur 236
E.9.4 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Classification 236
E.9.5 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Montage 237
E.9.6 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Acquisition de données 237
E.9.7 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Paratonnerre 237
E.9.8 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Variation de correction entre tranches adjacentes 237
E.9.9 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Enlèvement du capteur de direction du vent 237
E.9.10 Incertitudes de catégorie B: Vitesse du vent – Terrain – Variation saisonnière 238
E.10 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air 238
E.10.1 Généralités 238
E.10.2 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Température – Introduction 238
E.10.3 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Température – Étalonnage 239
E.10.4 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Température – Protection contre le rayonnement 240
E.10.5 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Température – Montage 240
E.10.6 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Température – Acquisition de données 240
E.10.7 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Pression – Introduction 240
E.10.8 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Pression – Étalonnage 241
E.10.9 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Pression – Montage 241
E.10.10 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Pression – Acquisition de données 242
E.10.11 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Humidité relative – Introduction 242
E.10.12 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Humidité relative – Étalonnage 243
E.10.13 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Humidité relative – Montage 243
E.10.14 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Humidité relative – Acquisition de données 243
E.10.15 Incertitudes de catégorie B: Masse volumique de l'air – Correction 243

E.11 Incertitudes de catégorie B: Méthode 244
E.11.1 Généralités 244
E.11.2 Incertitudes de catégorie B: Méthode – Conditions de vent 244
E.11.3 Incertitudes de catégorie B: Méthode – Variations saisonnières 250
E.11.4 Incertitudes de catégorie B: Méthode – Normalisation des turbulences (ou absence de normalisation des turbulences) 250
E.11.5 Incertitudes de catégorie B: Méthode – Climat froid 251
E.12 Incertitudes de catégorie B: Direction du vent 251
E.12.1 Généralités 251
E.12.2 Incertitudes de catégorie B: Direction du vent – Girouette ou anémomètre à ultrasons 252
E.12.3 Incertitudes de catégorie B: Direction du vent – RSD 253
E.13 Composition des incertitudes 254
E.13.1 Généralités 254
E.13.2 Composition des incertitudes de catégorie B relatives à la puissance électrique ($u_{P,i}$) 255
E.13.3 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent ($u_{V,i}$) 255
E.13.4 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent par un anémomètre à coupelles ou à ultrasons ($u_{VS,i}$) 255
E.13.5 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent par un RSD ($u_{VR,i}$) 256
E.13.6 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent selon la REWS $u_{VREWS,i}$ 256
E.13.7 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent selon la REWS pour un mât météorologique significativement au-dessus de la hauteur du moyeu ou un RSD avec un mât météorologique en dessous de la hauteur du moyeu 257
E.13.8 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent selon la REWS pour un mât météorologique à la hauteur du moyeu plus un RSD pour le mesurage du cisaillement avec une vitesse du vent absolue 260
E.13.9 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent selon la REWS pour un mât météorologique à la hauteur du moyeu plus un RSD pour le mesurage du cisaillement avec une vitesse du vent relative 262
E.13.10 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent selon la REWS en raison de la déviation de la trajectoire du vent sur l'ensemble du rotor $u_{VREWS,veer,i}$ 263
E.13.11 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la vitesse du vent en raison de la distorsion de l'écoulement due à l'étalonnage du site uVT,i 267
E.13.12 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la température $u_{T,i}$ 268
E.13.13 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la pression $u_{B,i}$ 268
E.13.14 Composition des incertitudes pour le mesurage de l'humidité $u_{RH,i}$ 269
E.13.15 Composition des incertitudes pour les composantes relatives à la méthode $u_{M,i}$ 269
E.13.16 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la direction du vent par une girouette ou un anémomètre à ultrasons $u_{WV,i}$ 270

E.13.17 Composition des incertitudes relatives au mesurage de la direction du vent par un RSD $u_{\mathrm{WR},i}$ 270
E.13.18 Incertitudes de catégorie B composées 271
E.13.19 Incertitude-type composée – Courbe de puissance 271
E.13.20 Incertitude-type composée – Production d'énergie 271
E.14 Pertinence des composantes d'incertitude dans les conditions spécifiées 272
E.15 Tableaux de référence 272
Annexe F (normative) Procédure d'étalonnage de la soufflerie pour les anémomètres 276
Annexe G (normative) Montage des instruments sur le mât météorologique 277
Annexe H (normative) Essai de performance de puissance sur les petits aérogénérateurs 278
H.1 Généralités 278
H.2 Définition et installation d'un système éolien 278
H.3 Emplacement du mât météorologique 279
H.4 Matériel d'essai 280
H.5 Procédure de mesure 281
H.6 Résultats déduits 281
H.7 Rapports 282
H.8 Évaluation de l'influence des éoliennes et des obstacles sur le site d'essai 282
H.9 Évaluation du terrain sur le site d'essai 282
H.10 Procédure d'étalonnage du site (se reporter à l'IEC 61400 12-3) 283
Annexe I (normative) Classification des anémomètres à coupelles et à ultrasons 284
Annexe J (normative) Évaluation des anémomètres à coupelles et à ultrasons 285
Annexe K (normative) Comparaison in situ des anémomètres 286
Annexe L (normative) Application de la technologie de télédétection 287
L.1 Généralités 287
L.2 Exigences de classification spécifiques aux essais de performance de puissance 288
L.3 Exigences de vérification spécifiques aux essais de performance de puissance 288
L.4 Évaluation des incertitudes spécifiques aux essais de performance de puissance 289
L.5 Contrôles supplémentaires spécifiques aux essais de performance de puissance 289
L.5.1 Surveillance de la performance du dispositif de télédétection sur le site d'application 289
L.5.2 Identification du dysfonctionnement du dispositif de télédétection 289
L.5.3 Contrôle de cohérence de l'évaluation des incertitudes systématiques du dispositif de télédétection 289
L.5.4 Essai in situ du dispositif de télédétection 289
L.6 Autres exigences spécifiques à l'essai de performance de puissance 290
Annexe M (informative) Normalisation des données de courbe de puissance selon l'intensité des turbulences 293
M.1 Généralités 293
M.2 Procédure de normalisation des turbulences 293
M.3 Détermination de la courbe de puissance en l'absence de turbulences 295
M.4 Ordre de la correction du cisaillement du vent (normalisation) et de la normalisation des turbulences 302
M.5 Incertitude de la normalisation des turbulences ou des courbes de puissance due aux effets des turbulences 302

Annexe N (informative) Procédure d'étalonnage de la soufflerie pour les capteurs de direction du vent 304
Annexe O (informative) Essai de performance de puissance dans un climat froid 305
O.1 Vue d'ensemble 305
O.2 Recommandations 305
O.2.1 Généralités 305
O.2.2 Anémomètres à ultrasons 305
O.2.3 Anémomètres à coupelles 305
O.3 Incertitudes 306
O.4 Rapports 306
Annexe P (informative) Procédure de normalisation du cisaillement du vent 307
P.1 Généralités 307
Annexe Q (informative) Définition de la vitesse du vent équivalente du rotor compte tenu de la déviation de la trajectoire du vent 309
Q.1 Vue d'ensemble 309
Q.2 Définition de la vitesse du vent équivalente du rotor compte tenu de la déviation de la trajectoire du vent 310
Q.3 Mesurage de la déviation de la trajectoire du vent 311
Q.4 Normalisation du cisaillement du vent et de la déviation de la trajectoire du vent combinés 311
Annexe R (informative) Considérations relatives aux incertitudes pour les essais sur plusieurs éoliennes 312
Annexe S (informative) Correction de la distorsion de l'écoulement au niveau du mât pour les mâts en treillis 317
Bibliographie 318

Figure 1 – Exigences de distance entre le matériel de mesure du vent et les secteurs de mesure maximaux admis 184
Figure 2 – Hauteurs de mesure du cisaillement du vent appropriées pour le mesurage de la vitesse du vent équivalente du rotor 190
Figure 3 – Hauteurs de mesure du cisaillement du vent lorsqu'aucun mesurage de la vitesse du vent à une hauteur supérieure à celle du moyeu n'est disponible (uniquement pour la détermination de l'exposant de cisaillement du vent) 191
Figure 4 – Processus d'application des différentes normalisations 195
Figure 5 – Présentation d'un exemple de base de données: diagramme de dispersion de l'essai de performance de puissance échantillonné à 1 Hz (valeurs moyennes moyennées sur une période de 10 min) 207
Figure 6 – Présentation d'un exemple de courbe de puissance mesurée 207
Figure 7 – Présentation d'un exemple de courbe C_P 208
Figure H.1 – Définition de la hauteur du moyeu et de l'emplacement du mât météorologique pour les éoliennes à axe vertical 280
Figure L.1 – Exemple de plage d'emplacements admise du volume de mesure 291
Figure M.1 – Processus d'obtention d'une courbe de puissance pour une intensité des turbulences spécifique (I_{ref}) 294
Figure M.2 – Processus d'obtention des paramètres de la courbe de puissance initiale en l'absence de turbulences à partir des données mesurées 296
Figure M.3 – Première approche pour la courbe de puissance initiale en l'absence de turbulences 297

Figure M.4 – Processus d'obtention de la courbe de puissance théorique en l'absence de turbulences à partir des données mesurées 299
Figure M.5 – Courbe de puissance initiale en l'absence de turbulences ajustée (verte) comparée à la première approche (rouge) 300
Figure M.6 – Processus d'obtention de la courbe de puissance finale en l'absence de turbulences à partir des données mesurées 301
Figure M.7 – Courbe de puissance initiale en l'absence de turbulences ajustée (verte) comparée à la courbe de puissance finale en l'absence de turbulences (noire) 301
Figure Q.1 – Profils de vent mesurés à l'aide d'un lidar sur un terrain plat 310

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 182
Tableau 2 – Configurations de mesure de la vitesse du vent (X indique une configuration admissible) 186
Tableau 3 – Exemple de calcul de REWS 197
Tableau 4 – Exemple de présentation d'une courbe de puissance mesurée 209
Tableau 5 – Exemple de présentation d'une production annuelle d'énergie estimée 210
Tableau D.1 – Liste des composantes d'incertitude 214
Tableau E.1 – Incertitudes élargies 220
Tableau E.2 – Liste des incertitudes de catégories A et B 221
Tableau E.3 – Exemples d'incertitudes-types dues au manque de mesurages du cisaillement du vent 246
Tableau E.4 – Exemples d'incertitudes-types dues au manque de mesurages de la déviation de la trajectoire du vent 248
Tableau E.5 – Contributions d'incertitude dues au fait que l'écoulement ascendant n'est pas connu 249
Tableau E.6 – Contributions d'incertitude dues au fait que l'intensité des turbulences n'est pas connue 250
Tableau E.7 – Hypothèses proposées pour les corrélations des incertitudes de mesure entre différentes hauteurs de mesure 259
Tableau E.8 – Hypothèses de corrélation proposées pour les incertitudes de mesure de la direction du vent relative à différentes hauteurs de mesure 265
Tableau E.9 – Incertitudes liées à la normalisation de la masse volumique de l'air 272
Tableau E.10 – Facteurs de sensibilité 273
Tableau E.11 – Incertitudes de catégorie B 275
Tableau H.1 – Réglages de la tension du banc de batteries 281
Tableau R.1 – Liste des composantes d'incertitude corrélées 313

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 12-1: Mesurages de performance de puissance des éoliennes de production d'électricité

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique 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 du présent document 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 61400-12-1 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 troisième édition de l'IEC 61400-12-1 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
88/822/CDV	88/867/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/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 ce document indique qu'il 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.

Le contenu du corrigendum 1 (2025-05) a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTRODUCTION

Le comité technique 88 a réalisé cette troisième édition pour réduire la complexité de l'édition 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 technique 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 de normes 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. Le présent document a été établi en vue d'être appliqué 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.

Le présent document fournit des recommandations relatives au mesurage, à l'analyse et à la consignation des rapports d'essai de performance de puissance des éoliennes. Le présent document est utile 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 le présent document pour assurer le développement et le fonctionnement en continu des éoliennes dans un climat de communication cohérente et exacte vis-à-vis de la performance des éoliennes. Le présent document décrit les procédures de mesure et de rapport qui sont réputées donner des résultats exacts qui peuvent être reproduits par d'autres personnes. D'autre part, il convient que les utilisateurs du présent document soient informés des différences qui apparaissent en cas de variations importantes du cisaillement du vent et des turbulences. Par conséquent, il convient que les utilisateurs tiennent compte de l'influence de ces différences 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 caractéristiques de performance de puissance des éoliennes sont déterminées par la courbe de puissance mesurée et la production annuelle d'énergie (AEP – *annual energy production*) estimée. La courbe de puissance mesurée, définie comme la relation entre la vitesse du vent et la puissance de sortie de l'éolienne, est déterminée par compilation 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 par application de la courbe de puissance mesurée aux distributions de fréquence de vitesses du vent de référence, en prenant pour hypothèse une disponibilité de 100 %.

Le mesurage de la vitesse du vent constitue un élément fondamental des essais de performance de puissance. Pour mesurer le vent, le présent document spécifie l'utilisation d'anémomètres à coupelles, d'anémomètres à ultrasons ou de dispositifs de télédétection (RSD – *remote sensing device*) utilisés en conjonction avec des anémomètres. Même si les procédures appropriées sont appliquées pour l'étalonnage, la validation et la classification, la nature même du principe de mesure de ces dispositifs peut potentiellement altérer leur

fonctionnement. Ces instruments sont résistants et ont été jugés appropriés pour ce type d'essai, à ceci près que certains d'entre eux sont limités à des classes spécifiques de terrains.

Compte tenu du fait que la taille des éoliennes ne cesse d'augmenter, la vitesse du vent mesurée à une même hauteur est de moins en moins susceptible de représenter avec exactitude la vitesse du vent qui traverse le rotor de l'éolienne dans son ensemble. Par conséquent, le présent document introduit une définition supplémentaire de la vitesse du vent. Auparavant, la vitesse du vent était mesurée à la hauteur du moyeu seulement. À présent, cette caractéristique peut être complétée par la vitesse du vent équivalente du rotor (REWS – *rotor equivalent wind speed*), déterminée par une combinaison arithmétique de mesurages simultanés de la vitesse du vent à différentes hauteurs comprises entre l'extrémité inférieure et l'extrémité supérieure du rotor, couvrant ainsi la totalité du diamètre du rotor. Les courbes de puissance définies par la vitesse du vent à la hauteur du moyeu et par la REWS ne sont pas identiques. En effet, les distributions des vitesses du vent définies par la vitesse du vent à la hauteur du moyeu et par la REWS ne sont pas non plus les mêmes de sorte que la production annuelle d'énergie (AEP) est définie par la combinaison d'une courbe de puissance mesurée et d'une distribution des vitesses du vent, les deux reposant sur la même définition de la vitesse du vent.

Les exigences techniques contenues dans le présent document ont été extraites de l'IEC 61400-12-1:2017 et sont identiques à celles de ladite norme. Les corrigenda IEC 61400-12-1:2017/Cor.1:2019, IEC 61400-12-1:2017/Cor.2:2020 and IEC 61400-12-1:2017/Cor.3:2021 ont été intégrés dans le présent document. Les Équations (E.8), (E.44) et (E.17), de manière spécifique, ont fait l'objet de corrections techniques. Une autre correction technique a été appliquée à l'Équation (E.45) pour corriger les unités incompatibles qui figurent dans les composantes de la sommation. Se reporter à l'IEC 61400-12:2022 pour une vue d'ensemble de la restructuration de la série IEC 61400-12 et des relations entre les différentes parties de la norme.

Les procédures d'étalonnage, de classification et d'évaluation de l'incertitude des anémomètres à coupelles et des anémomètres 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.

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 12-1: Mesurages de performance de puissance des éoliennes de production d'électricité

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 spécifie une procédure de mesure des caractéristiques de performance de puissance d'une éolienne simple et s'applique aux essais d'éoliennes, de tous types et de toutes tailles, raccordées au réseau électrique. En outre, le présent document définit une procédure à utiliser pour déterminer les caractéristiques de performance de puissance des petits aérogénérateurs (comme cela est défini dans l'IEC 61400-2) raccordés soit au réseau électrique, soit à un banc de batteries. La procédure peut être utilisée pour évaluer la performance d'éoliennes spécifiques sur des sites spécifiques, mais la méthodologie peut également être utilisée pour procéder à des comparaisons génériques entre différents modèles d'éoliennes ou différents réglages d'éoliennes lorsque les influences des conditions spécifiques au site et du filtrage de données sont étudiées.

L'Annexe R présente, à titre informatif, les considérations qui peuvent être pertinentes pour l'évaluation de l'incertitude des essais de performance de puissance sur plusieurs éoliennes.

Le présent document définit une méthodologie de mesure qui exige que les valeurs de la courbe de puissance mesurée et de la production d'énergie déduite soient complétées par une évaluation des sources d'incertitude et de leurs effets associés. Les sources d'incertitude des mesurages du vent sont évaluées à partir des procédures décrites dans les normes appropriées de matériel de mesure du vent, tandis que les procédures spécifiées dans le présent document évaluent l'incertitude de la courbe de puissance et de la production annuelle d'énergie.

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 60688, *Transducteurs électriques de mesure convertissant les grandeurs électriques alternatives ou continues en signaux analogiques ou numériques*

IEC 61400-2, *Éoliennes – Partie 2: Petits aérogénérateurs*

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 61400-50-1, *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: Mesurages du vent – Application de la technologie de télédétection montée au sol*

IEC 61869-1, *Transformateurs de mesure – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61869-2, *Transformateurs de mesure – Partie 2: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant*

IEC 61869-3, *Transformateurs de mesure – Partie 3: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs inductifs de tension*

ISO 2533, *Atmosphère Type*

Guide ISO/IEC 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*