

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12-5:2022



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 12-5: Power performance – Assessment of obstacles and terrain**

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-5603-9

**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

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Symbols, units and abbreviated terms	9
5 General	9
6 Measurement sector procedure to be used for power performance measurements according to IEC 61400-12-1	10
6.1 General.....	10
6.2 Requirements regarding neighbouring and operating wind turbines.....	11
6.3 Requirements regarding obstacles	11
6.4 Method for calculation of sectors to exclude.....	12
6.5 Special requirements for extended obstacles	15
7 Measurement sector procedure to be used during the determination of the nacelle transfer function (NTF) between free wind speed and nacelle anemometer wind speed	15
8 Measurement sector procedure to be used during the determination of the nacelle power curve (NPC)	15
8.1 General.....	15
8.2 Requirements regarding neighbouring and operating wind turbines.....	16
8.3 Requirements regarding obstacles.....	16
8.4 Calculation of the excluded sector	17
8.5 Self-consistency check procedure for the measurement sector	18
9 Assessment of terrain at the test site.....	19
10 Terrain classification for evaluation of NTF and NPC	22
10.1 General.....	22
10.2 RIX indices	22
10.3 Average slope.....	22
10.4 Determine terrain class	23
10.5 Ridge formations.....	24
Figure 1 – Sectors to exclude due to wakes of neighbouring and operating wind turbines and significant obstacles	13
Figure 2 – An example of sectors to exclude due to wakes of the wind turbine under test, a neighbouring and operating wind turbine and a significant obstacle.....	14
Figure 3 – Example of the result of a sector self-consistency check	19
Figure 4 – Illustration of area to be assessed, top view	20
Figure 5 – Example of determination of slope and terrain variation from the best-fit plane: "2L to 4L" and the case "measurement sector" (Table 5, line 2).....	21
Figure 6 – Determination of slope for the distance "2L to 4L" and "8L to 16L" and the case "outside measurement sector" (Table 5, line 3 and line 5).....	21
Table 1 – Interfaces from other International Standards to this document	10
Table 2 – Interfaces from this document to other International Standards	10
Table 3 – Obstacle requirements: relevance of obstacles.....	12

Table 4 – Obstacle requirements: relevance of obstacles.....	17
Table 5 – Test site requirements: topographical variations.....	20
Table 6 – Slope terrain classification	23
Table 7 – RIX terrain classification.....	23
Table 8 – Final terrain class.....	23
Table 9 – Maximum ridge step effects on terrain class	24

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12-5:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 12-5: Power performance – Assessment of obstacles and terrain

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 61400-12-5 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems. It is an International Standard.

This first edition of IEC 61400-12-5 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
88/825/CDV	88/870/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 purpose of this part of IEC 61400 is to describe procedures to determine a measurement sector that is not influenced by turbines or other obstacles for a specific wind turbine. The measurement sector is used to assess the terrain and determine if a site calibration is required. This measurement sector can be used to evaluate wind turbine power performance.

Clause 6 describes a procedure to determine one or more sectors which are not usable for a power performance measurement because the flow at the wind turbine under test and/or the flow at the position of the wind measurement equipment (WME: a meteorological mast or a remote sensing device) might be affected by an operating wind turbine and/or by an obstacle.

Clause 7 describes a procedure for establishing the measurement sector during the determination of the nacelle transfer function.

Clause 8 describes a procedure for establishing the measurement sector during the determination of the nacelle power curve.

Clause 9 describes a procedure to assess the terrain surrounding the site and to determine if it is sufficiently complex to require site calibration. The purpose of site calibration is generally to measure the change in the boundary layer as it follows the orography, which is generally attached flow, whereas obstacles often generate more turbulent wakes associated with them, which are affected by sharp edges and vertical surfaces that can trigger flow separation.

Clause 10 describes a procedure to classify the terrain in order to apply the nacelle transfer function for a nacelle power curve measurement. The classification is used to estimate the uncertainty of the nacelle transfer function (NTF) and nacelle power curve (NPC) and also to determine under what terrain condition the NTF can be used for the NPC.

The creation of this new standard was mandated with the restriction that no technical changes to the content copied from the source documents (IEC 61400-12-1 and IEC 61400-12-2) would be allowed. Therefore, in this first edition of the new standard IEC 61400-12-5, there are some obvious areas of technical disagreement (e.g. assessment of terrain in Clauses 9 and 10) where a choice needs to be made depending on whether the intended use case is as an input to a IEC 61400-12-1 or to a IEC 61400-12-2 power curve evaluation. It is recommended that future revisions of this document aim to harmonise the technical content.

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 12-5: Power performance – Assessment of obstacles and terrain

1 Scope

This part of IEC 61400 specifies the procedures for assessing the significance of obstacles and terrain variations on a proposed power performance measurement site and applies to the performance testing of wind turbines of all types and sizes connected to the electrical power network as described in other parts of the IEC 61400 series. The procedure applies to the performance evaluation of specific wind turbines at specific locations.

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

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

complex terrain

terrain surrounding the test site that features significant variations in topography and terrain obstacles (refer to 3.10) that may cause flow distortion

3.2

cut-in wind speed

lowest wind speed at which a wind turbine will begin to produce power

3.3

data set

collection of data sampled over a continuous period

3.4

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 to be different from the wind speed at the wind turbine location

3.5

free stream wind speed

horizontal wind speed measured upstream of the rotor of the wind turbine generator that is unaffected by rotor aerodynamics

3.6

hub height

<of 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.

3.7

measured power curve

table and graph that represent 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

3.8

measurement sector

sector of wind directions from which data are selected for the measured power curve

3.9

nacelle transfer function

NTF

transfer function applied to estimate the free stream wind speed from the nacelle anemometer wind speed

3.10

obstacle

obstruction that blocks and distorts the flow of the wind, such as a building or tree

3.11

power performance

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

3.12

test site

location of the wind turbine under test and its surroundings

3.13

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

[SOURCE: IEC 60050-415:1999, 415-05-13]

3.14**wind measurement equipment**

meteorological mast or remote sensing device

4 Symbols, units and abbreviated terms

Symbol or abbreviated term	Description	Unit
D	rotor diameter	[m]
D_e	equivalent rotor diameter	[m]
D_n	rotor diameter of neighbouring and operating wind turbine	[m]
d_i	distance from turbine to point in terrain for worst case scenario of slope	[m]
H	hub height of wind turbine	[m]
h	height of obstacle	[m]
L	distance between the wind turbine and the wind measurement equipment	[m]
L_e	distance between the wind turbine or the wind measurement equipment and an obstacle	[m]
L_n	distance between the wind turbine or the wind measurement equipment and a neighbouring and operating wind turbine	[m]
l_h	height of obstacle	[m]
l_w	width of obstacle	[m]
RIX	Ruggedness index	
VP	wind speed evaluated from the power output	[m/s]
V_{free}	measured nacelle wind speed, corrected with nacelle transfer function	[m/s]
WME	wind measurement equipment	
z	height above ground	[m]
z_i	terrain elevation at point of the worst-case scenario for slope	[m]

5 General

For a power performance measurement carried out according to IEC 61400-12-1 or IEC 61400-12-2, the wind speed experienced at the measurement location and at the test turbine location can be influenced both by obstacles (e.g. buildings, forests, other turbines) in the surroundings and by the terrain (severity of terrain slopes and deviations within the terrain). The presence of such influences should be checked and the valid direction sector reduced accordingly in the case of obstacles or a site calibration (according to IEC 61400-12-3) carried out in the case of sufficiently complex terrain. Clause 6 and Clause 8 describe procedures to determine one or more sectors which are not usable for the test because the flow at the wind turbine under test and/or the flow at the position of the wind measurement equipment (WME: a meteorological mast or a remote sensing device) might be affected by an operating wind turbine and/or by an obstacle. Clause 9 describes the criteria to assess terrain to determine if a site can be considered flat (no site calibration required) or complex (site calibration required). Clause 10 describes the criteria to classify terrain as required for the application of an NTF.

As this method is closely related to both IEC 61400-12-1 and IEC 61400-12-2, both standards are referred to frequently in this document.

For this document, the interfaces are defined in Table 1 and Table 2; in order to facilitate the correct interpretation of the interfaces, a short description of the use of the interface has been added as well.

Table 1 – Other International Standards which refer to this document

Interface description	References to this document in other International Standards	Short use description	Format
Measurement sector	IEC 61400-12-1:2022, Clause 6	Filtering the data set	From [degree] to [degree]
Measurement sector (NTF)	IEC 61400-12-2:2022, Clause 7	Filtering the data set	From [degree] to [degree]
Measurement sector (NPC)	IEC 61400-12-2:2022, Clause 8	Filtering the data set	From [degree] to [degree]
Terrain assessment	IEC 61400-12-1:2022, Clause 9	Determination of site calibration requirement	Complex or not complex
Terrain class	IEC 61400-12-2:2022, Clause 10 IEC 61400-12-6:2022, Clause 10	Reporting of the transfer function validity	Terrain class [1; 2; 3; 4; 5]

Table 2 – Interfaces from this document to other International Standards

Interface description	Relevant content in this document	Reference to other standards	Short use description	Format
Terrain assessment	Clause 9	IEC 61400-12-1:2022	Input to the wind speed measurement uncertainty calculation for the power curve	Operational characteristics of anemometer dependent on complexity of terrain or site-specific data
Terrain class	Clause 10	IEC 61400-12-2:2022	Input to the wind speed measurement uncertainty calculation for the nacelle transfer function (NTF)	Terrain class [1; 2; 3; 4; 5]

6 Measurement sector procedure to be used for power performance measurements according to IEC 61400-12-1

6.1 General

Clause 6 describes a procedure to determine one or more sectors which are not usable for the test because the flow at the wind turbine under test and/or the flow at the position of the wind measurement equipment (WME: a meteorological mast or a remote sensing device) might be affected by an operating wind turbine and/or by an obstacle.

The procedure consists of two steps, to be applied in the following order

- Evaluation of influences caused by operating wind turbines (wind turbine under test, as well as neighbouring and operating wind turbines), as described in 6.2;
- Evaluation of influences caused by obstacles, as described in 6.3 (under consideration of the special requirements for extended obstacles, as described in 6.5).

Step b) requires the preliminary measurement sector, which is the result of step a).

The valid sector which remains after this procedure shall be used for the terrain assessment according to Clause 9.

The purpose of site calibration (refer to IEC 61400-12-3) is generally to measure the change in the boundary layer as it follows the orography, which is generally attached flow, whereas obstacles often generate more turbulent wakes associated with them, which are affected by sharp edges and vertical surfaces that may trigger flow separation. A site calibration does not typically work well for correcting the effects of flow separation. This should be considered when deciding whether to treat an object as an obstacle or as terrain as flow separation and highly turbulent wakes are to be avoided. With this in mind, it is recommended that an object (including orographic elements which satisfy the dimensional criteria) whose height is more than half of its width be treated as an obstacle.

6.2 Requirements regarding neighbouring operating wind turbines

The WME shall not be influenced by the wind turbine under test.

The wind turbine under test and the WME shall not be influenced by neighbouring operating wind turbines. If a neighbouring wind turbine is operated at any time during the power performance test, its wake shall be determined and accounted for as described in this document (using the calculation given in 6.4). Small wind turbines of total height less than $(2/3)(H - D/2)$ shall be treated as obstacles, and accounted for as described in Clause 8.

If a wind turbine is stopped at all times during the power performance test, it shall be considered as an obstacle and accounted for as described in Clause 8.

The minimum distance from the wind turbine under test and the neighbouring operating wind turbines is defined in IEC 61400-12-1. The minimum distance from the WME to any neighbouring operating wind turbine is also defined in IEC 61400-12-1. The sectors to exclude due to wakes from neighbouring operating wind turbines shall be taken from Figure 1. The dimensions to be taken into account are the actual distance L_n and the rotor diameter D_n of the neighbouring operating wind turbine. The sectors to be excluded shall be derived for both the wind turbine under test and the WME, and they shall be centred on the direction from the neighbouring operating wind turbine to the wind measurement equipment or the wind turbine. An example is shown in Figure 2.

6.3 Requirements regarding obstacles

Obstacles near the wind turbine under test or near the WME shall be evaluated. Each obstacle shall be evaluated either as part of the orography (as described in Clause 9), or – alternatively – according to the procedure which is described in this Subclause 6.3 as follows.

NOTE The consideration of an obstacle as part of the orography (as described in Clause 9) will typically increase mainly the terrain variation, whereas the effect on the slope can be very small (except for extended obstacles, e.g. forests).

No significant obstacles (e.g. buildings, trees, parked wind turbines) shall exist in the measurement sector within a reasonable distance from the wind turbine or from the WME. Only small buildings, connected to the wind turbine operation or the wind measurement equipment, are acceptable. Where significant obstacles are present then the measurement sector shall be reduced as described in 6.4 and 6.5.

The criterion for the significance of an obstacle (with respect to the wind turbine under test and/or with respect to the WME) is to exceed one or more of the limits given in Table 3, where Table 3 shall be applied for all locations:

- for the evaluation of the surroundings of the wind turbine under test (i.e. using the centre of the wind turbine under test as centre of the $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$ circles);
- for the evaluation of the surroundings of the WME (i.e. using the position(s) of the equipment as centre of the $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$ circles).

Table 3 – Obstacle requirements: relevance of obstacles

Distance*	Sector**	Maximum obstacle height from terrain surface***
$< 2L$	360°	$< 1/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 2L$ and $< 4L$	Preliminary measurement sector	$< 2/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 4L$ and $< 8L$	Preliminary measurement sector	$< (H - 0,5 D)$
$\geq 8L$ and $< 16L$	Preliminary measurement sector	$< 4/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 2L$ and $< 16L$	Clearly outside preliminary measurement sector by 40° or more	No limit to height
* from obstacle to wind turbine under test, or from obstacle to WME – where L is the horizontal distance between wind turbine under test and wind measurement equipment. ** "Preliminary measurement sector" shall be understood here as the valid sector which remains after evaluation of neighbouring operating wind turbines (as described in 6.2, using the calculation described in 6.4), where all directions which are less than 40° outside shall also be considered. *** H is the hub height and D is the rotor diameter of the wind turbine under test.		

6.4 Method for calculation of sectors to exclude

The wind turbine under test shall always be evaluated according to Figure 1 with respect to its wake influence on the WME.

A neighbouring operating wind turbine shall always be evaluated according to Figure 1 with respect to its wake influence on the wind turbine under test and also with respect to its wake influence on the WME.

With respect to operating wind turbines, the dimensions to be taken into account are the actual distance L_n (from centre of wind turbine under test to the position of the WME) and the rotor diameter D_n of the wind turbine that causes the wake.

The influence of the turbine under test on the WME is evaluated by means of L (distance between turbine under test and wind measurement equipment) and D (rotor diameter of turbine under test).

An obstacle shall be evaluated according to Figure 1 with respect to its wake influence on the wind turbine under test if the obstacle is significant with respect to the wind turbine under test according to Table 3.

An obstacle shall be evaluated according to Figure 1 with respect to its wake influence on the WME if the obstacle is significant with respect to the WME according to Table 3.

With respect to obstacles, the dimensions to be taken into account are the actual horizontal distance L_e (from the centre of wind turbine under test or from the position of the WME as appropriate) and an equivalent rotor diameter D_e of the obstacle. A stopped neighbouring wind turbine may be treated as a cylinder with a diameter equal to the tower base diameter and a height equal to the upper tip height. The equivalent rotor diameter of the obstacle shall be defined as:

$$D_e = \frac{2l_h l_w}{l_h + l_w} \quad (1)$$

where

D_e is the equivalent rotor diameter;

l_h is the height of obstacle;

l_w is the width of obstacle as seen from the wind turbine under test or from the WME.

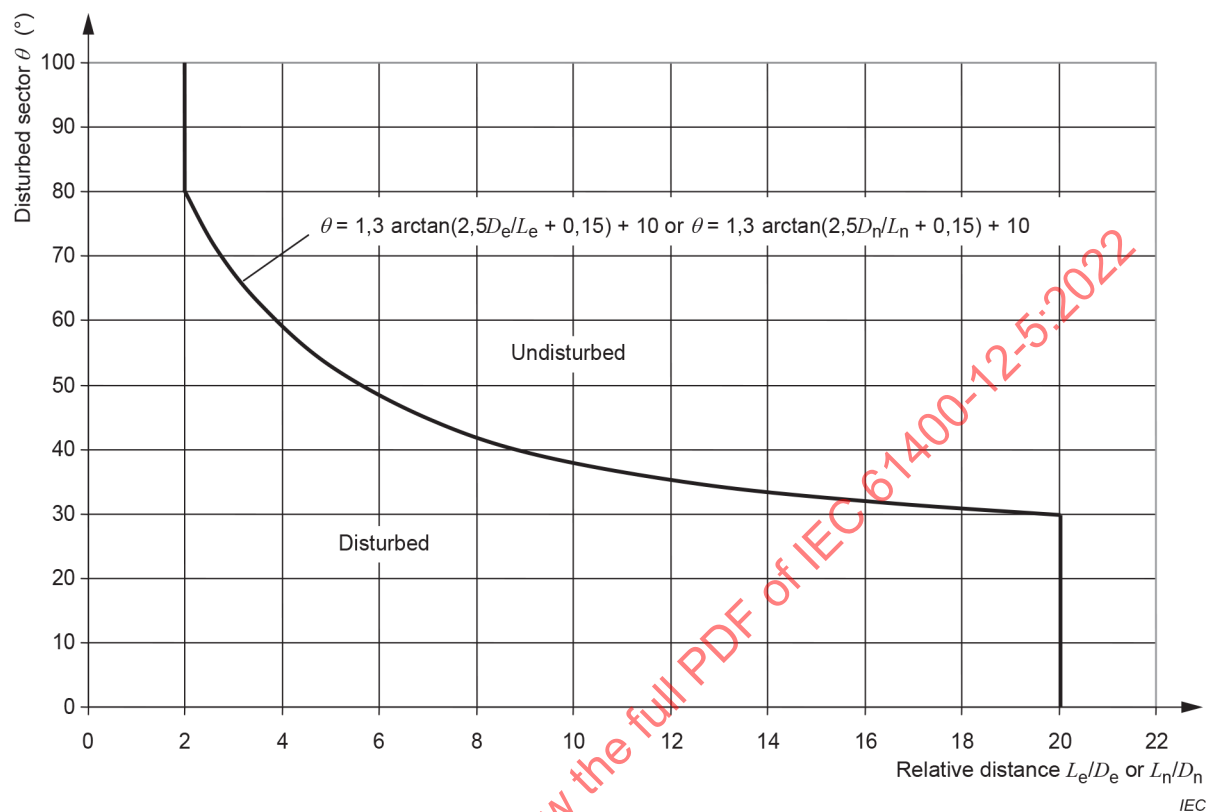


Figure 1 – Sectors to exclude due to wakes of neighbouring and operating wind turbines and significant obstacles

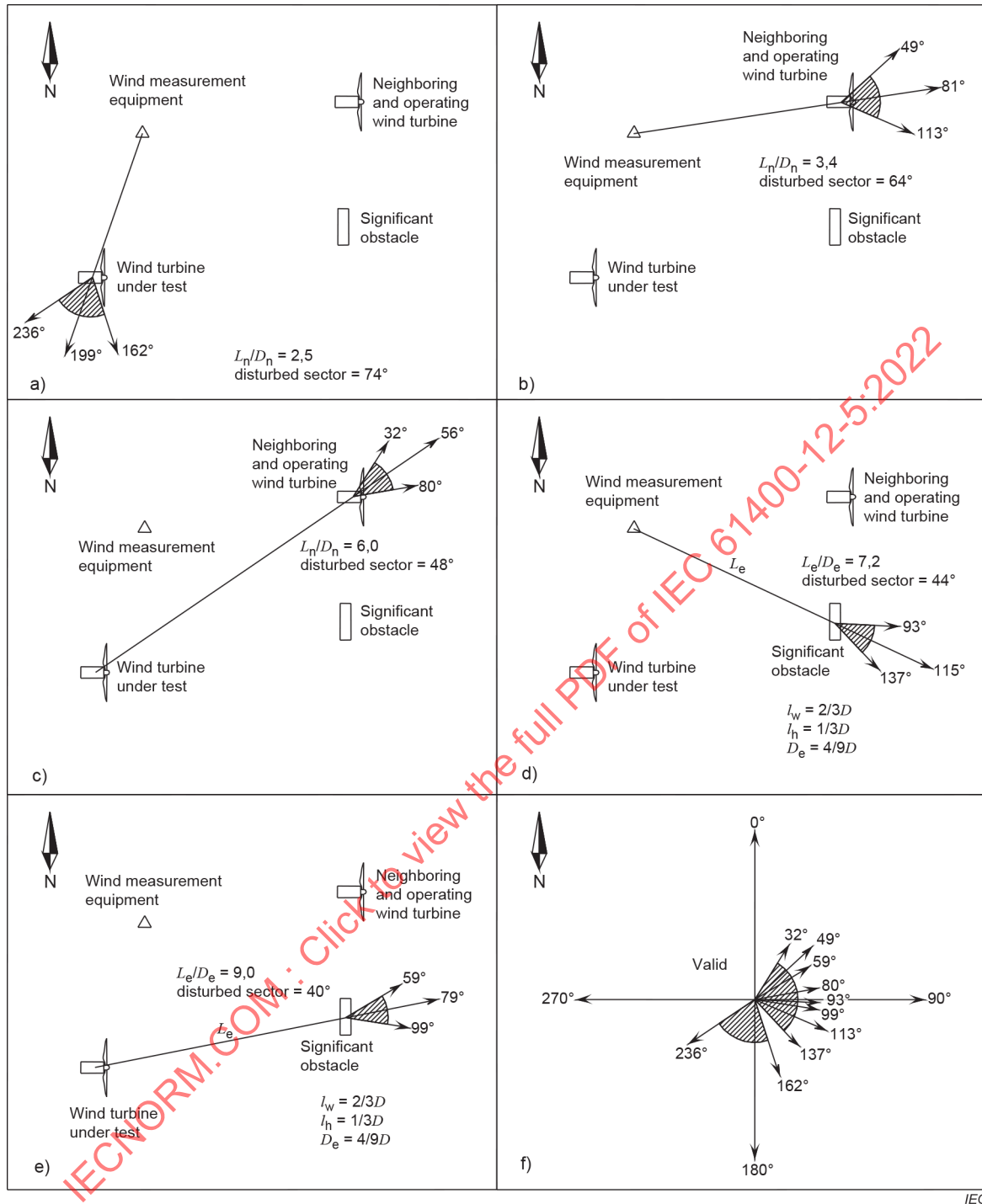


Figure 2 – An example of sectors to exclude due to wakes of the wind turbine under test, a neighbouring operating wind turbine and a significant obstacle

Figure 1 and Figure 2 show the sectors to exclude if:

- the WME (meteorological mast or remote sensing device) is in the wake of the wind turbine under test;
- the WME is in the wake of the neighbouring operating wind turbine;
- the wind turbine under test is in the wake of the neighbouring operating wind turbine;
- the WME is in the wake of the significant obstacle;
- the wind turbine under test is in the wake of the significant obstacle;

- f) all of the above effects a) to e) are combined.

NOTE The example shown in Figure 2 is based on the assumption that the obstacle is significant (according to Table 3) with respect to the wind turbine under test and also significant with respect to the wind measurement equipment.

6.5 Special requirements for extended obstacles

Obstacles within a distance of less than $4L$ (from centre of the wind turbine under test or from the wind measurement equipment) which extend more than 50 m in any horizontal direction shall be divided into partial obstacles that do not extend more than 50 m in any horizontal direction and that extend exactly 50 m in any dimension that is more than 50 m. These partial obstacles may overlap one another. The combination of these partial obstacles shall at least cover the original obstacle completely.

For practical purposes, it makes sense to create partial obstacles which all have the same shape (e.g. squares of 50 m × 50 m). This is a conservative approach and therefore permitted (in this case, the set union of all partial obstacles covers a larger area than the original obstacle).

Each partial obstacle shall be evaluated separately. The significance of each partial obstacle shall be assessed, and if it is found to be significant, the sector to be excluded shall be determined. For example:

- a) An obstacle 90 m by 90 m is divided into 4 partial obstacles 50 m by 50 m each. These partial obstacles are chosen such that they overlap one another by 10 m so that the set union of the 4 partial obstacles is identical to the original obstacle.
- b) An obstacle 70 m by 10 m is divided into 2 partial obstacles 50 m by 10 m each. These partial obstacles are chosen such that they overlap one another by 30 m so that the set union of the 2 partial obstacles is identical to the original obstacle.

A grouping of trees or forest shall be treated in this way.

7 Measurement sector procedure to be used during the determination of the nacelle transfer function (NTF) between free wind speed and nacelle anemometer wind speed

For the determination of the NTF, the measurement sector is defined according to the requirements in Clause 8.

8 Measurement sector procedure to be used during the determination of the nacelle power curve (NPC)

NOTE: NTF has already been determined.

8.1 General

Neighbouring wind turbines, obstacles and terrain can influence the power performance assessment of a wind turbine. In the case of power performance analysis by means of nacelle wind speed measurements, the anemometer is positioned at the location where the power is extracted from the wind, so that the effect of wind turbines, obstacles and terrain lies in a non-uniform distribution of the wind over the rotor plane.

The choice of suitable measurement sectors for the NPC should be based on the key requirement that the wind speed, as measured by the nacelle anemometer in combination with the NTF, results in a wind speed which is representative for the wind speed incident onto the rotor of the wind turbine.

The wind direction measurement in a nacelle power curve contains two uncertainty components, namely the uncertainty of the yaw angle and the uncertainty of the wind direction measurement

in the nacelle. This potentially large uncertainty is reflected in the measurement sector procedure (see also Annex B of IEC 61400-12-2:2022).

The measurement sector procedure requires two steps.

At first, a measurement sector compliant with the requirements described in Clause 6 shall be derived, based on theoretical assessment.

The requirements in Clause 6 are taken to support measurements according to IEC 61400-12-1, where they are applied to ensure that the measured wind speed is representative for the wind turbine rotor, and, to this end, any situations where the mast or the turbine is exposed to wakes or to the influence of obstacles are excluded, as specified in IEC 61400-12-1.

It is possible that this condition will not be completely appropriate for the NPC as defined in IEC 61400-12-2. Even if there are closer neighbouring wind turbines or obstacles, the test turbine has a power curve and the NTF may be valid. Other factors, on the other hand, may lead to a situation where this is not achieved. For example:

- The NTF may become invalid if the vertical flow inclination is too high and the sector requirements described in Clause 6 do not avoid sectors with overly steep slopes.
- The effect of the influence of obstacles is more complex and more difficult to interpret compared to the case considered by Clause 6.

For these reasons, as a second step, the self-consistency check method described in 8.4 shall be used to check the validity of the measurement sector.

If the self-consistency check method shows that there are problems, the sector shall be reduced accordingly, as indicated in 6.2. If the measurement sector contains 10° sectors where the average slopes have both positive and negative signs there is a risk of unsatisfactory results. It is recommended that the average slope in the measurement sector has the same tendency (up or down) across all 10° sectors.

8.2 Requirements regarding neighbouring operating wind turbines

The wind turbine under test shall not be influenced by neighbouring wind turbines. If a neighbouring turbine is operated at any time during the power performance test, its wake shall be determined and accounted for as described in this document. If the neighbouring turbine is stopped at all times during the power performance test, it shall be considered as an obstacle.

The minimum distance from the wind turbine under test to neighbouring operating wind turbines shall be two rotor diameters D_n of the neighbouring wind turbine or two rotor diameters D of the wind turbine under test if it has a larger diameter. The size of the sectors to exclude due to wakes from neighbouring operating wind turbines shall be taken from Figure 1 and 6.4. The dimensions to be taken into account are the actual distance L_n and the rotor diameter D_n of the neighbouring operating wind turbine.

The sectors shall be centred on the direction from the neighbouring operating wind turbine to the tested wind turbine.

8.3 Requirements regarding obstacles

No significant obstacles (e.g. buildings, trees, parked wind turbines) shall exist in the measurement sector within a reasonable distance from the wind turbine. Only small buildings connected to the wind turbine operation or the measurement equipment are acceptable.

An obstacle model is used to predict the influence of obstacles upon the turbine position at hub height. The criterion for determining a significant obstacle is that the flow at hub height is

affected by 1 % or more for any wind direction in the measurement sector. This criterion shall be applied to the flow effect on the turbine.

The criterion for determining a significant obstacle is that the obstacle exceeds the limits in Table 4.

Table 4 – Obstacle requirements: relevance of obstacles

Distance to obstacle	Sector	Maximum obstacle height in relation to wind turbine tower base
$< 2L$	360°	$< 0,04 (H + D)$
$\geq 2L$ and $\leq 4L$	Measurement sector	$< 0,08 (H + D)$
$\geq 4L$ and $\leq 8L$	Measurement sector	$< 0,13 (H + D)$
$\geq 8L$ and $\leq 16L$	Measurement sector	$< 0,25 (H + D)$
$\geq 2L$ and $\leq 16L$	Outside measurement sector	Not applicable

Sectors with a significant obstacle shall be excluded with reference to Figure 1 and 6.4. The dimensions to be taken into account are the actual distance L_e and an equivalent rotor diameter D_e of the obstacle. The equivalent rotor diameter of the obstacle shall be defined as:

$$D_e = \frac{2l_h l_w}{l_h + l_w} \quad (2)$$

where

D_e is the equivalent rotor diameter;

l_h is the height of the obstacle;

l_w is the width of the obstacle.

Obstacles which extend more than 50 m in any direction shall be divided into partial obstacles that do not extend more than 50 m in any direction. These partial obstacles may overlap one another. The combination of these partial obstacles shall cover the original obstacle completely.

Each partial obstacle shall be evaluated separately. The significance of each partial obstacle shall be assessed and if it is found to be significant the sector to be excluded shall be determined. For example:

- A quadratic obstacle of 90 m by 90 m is divided into 4 partial obstacles of 50 m by 50 m each. These partial obstacles are chosen in such a way that they overlap each other by 10 m so that the combination of the 4 partial obstacles is identical to the original obstacle.
- A squared obstacle of 70 m by 10 m is divided into 2 partial obstacles of 50 m by 10 m each. These partial obstacles are chosen in such a way that they overlap each other by 30 m in the direction which has to be reduced so that the combination of the 2 partial obstacles is identical to the original obstacle.

8.4 Calculation of the excluded sector

After the size of the disturbed sector has been established using Figure 1, the excluded sector(s) per obstacle or neighbouring turbine can be calculated by adding the one-sigma uncertainty of the absolute wind direction (i.e. the combination of nacelle yaw position and relative wind direction measurement) signal to both the upper and lower limit of the disturbed sector for that obstacle or neighbouring wind turbine. (This means that the disturbed sector grows by twice the one-sigma wind direction uncertainty.)

The uncertainty of the wind direction measurement is discussed in more detail in IEC 61400-12-1 and IEC 61400-12-2.

As an example of calculation, consider an operating neighbouring turbine located due east (at 90°) from the test turbine at a distance of four times the rotor diameter of the neighbouring turbine. This means that the size of the disturbed sector is 58° . If the 1 sigma uncertainty of the wind direction measurement is 10° , then the size of the excluded sector is 78° . This means that data where the measured wind direction is between 51° and 129° cannot be used.

It should be noted that it is possible that in complex terrain the wind flow experienced by all turbines will not be from the same direction. Hence the geometric treatment of wakes as described above may not predict all wake conditions on the test turbine.

8.5 Self-consistency check procedure for the measurement sector

IEC 61400-12-2 requires a minimum distance to neighbouring turbines of at least 2 rotor diameters. This requirement has been taken from IEC 61400-12-1. In IEC 61400-12-1 this requirement is applied to ensure that the mast wind speed is representative for the wind turbine rotor. However, even if there are closer neighbouring wind turbines the test turbine has a power curve and the NTF may be valid. A proper solution to avoid sectors with overly high influences of very close obstacles, neighbouring wind turbines or excessive vertical wind components due to terrain slope is the application of the sector self-consistency check as described below in this Subclause 8.5.

Sectors in which it is determined that the wind speed measurement with the nacelle anemometer in combination with the NTF is not representative for the wind speed incident to the rotor of the test turbine shall be excluded from the NPC test.

Sectors where the NTF loses its representativeness shall be evaluated with the following sector self-consistency check:

- a) First evaluate an initial NPC from a sector, which is evaluated according to IEC 61400-12-5. Perform also a bin average of the wind speed as function of the power output (reverse NPC).
- b) Apply the reverse NPC in order to evaluate the wind speed representative of the wind turbine rotor from the measurement of the active power for each 10-min interval in which the test turbine is operational. This evaluation should cover all wind directions and not only the wind direction applied for the evaluation of the NPC. For stall-regulated wind turbines the measured power shall be normalised to the reference air density before the wind speed is evaluated in accordance with the reverse NPC. For this, Equation (4) of IEC 61400-12-2:2022 has to be applied inversely.
- c) Ideally, the wind speed evaluated from the power output VP should be identical to the wind speed V_{free} determined with the nacelle anemometer under application of the NTF and normalised to the reference air density. The ratio of VP and V_{free} shall be investigated as a function of the wind direction. For this, only wind speeds higher than cut-in wind speed and below rated wind speed should be considered. The ratio of VP and V_{free} of the data filtered in this way shall be bin-averaged as function of the wind direction in sectors with a width of 5° .
- d) In sectors where the wind speed determined via the nacelle anemometer and the NTF is representative of the test turbine, the ratio of VP and V_{free} is near unity. Sectors with critical vertical flow inclination (NTF not valid), critical wake situations (ratio of VP and V_{free} too high) or critical obstacles can clearly be identified as variations of the bin-averaged ratio of VP and V_{free} . These sectors shall be excluded from the final power curve test. For the identification of sectors to be excluded an allowable variation of the bin averaged ratio of VP and V_{free} should be defined. A variation between 0,98 and 1,02 is recommended. Under certain conditions the allowable range may be extended to 0,97 to 1,03, if otherwise no appropriate sector remains. The largest deviation between the bin averaged ratio of VP and

V_{free} and 1 in the chosen measurement sector shall be considered as uncertainty of the NTF in terms of terrain effects.

- e) If the reverse NPC has not been evaluated from a sector in accordance with Clause 6, sectors with the lowest variation of the bin-averaged ratio of VP and V_{free} should be considered as the proper sectors for the power curve test. (The variation is defined as the statistical uncertainty, the ratio of standard deviation and the square root of the number of data points.) In this sector the bin-averaged ratio of VP and V_{free} may deviate from 1, as data from improper sectors may influence the reverse NPC. In this case a maximum variation around this stable ratio of VP and V_{free} shall be defined in order to identify the final power curve sector (e.g. $\pm 0,02$).
- f) The reverse NPC shall be re-evaluated from the identified measurement sector, and the sector self-consistency check shall be repeated with the re-calculated reverse NPC. If necessary, the measurement sector shall be adjusted in accordance with the results of the repeated test. If an adjustment is necessary, the reverse NPC and the self-consistency check shall be repeated again. This procedure shall be followed until the procedure converges. (Normally the procedure converges after the first step, i.e. no repetition of the test is necessary.)

An example of a result of a sector self-consistency check is shown in Figure 3.

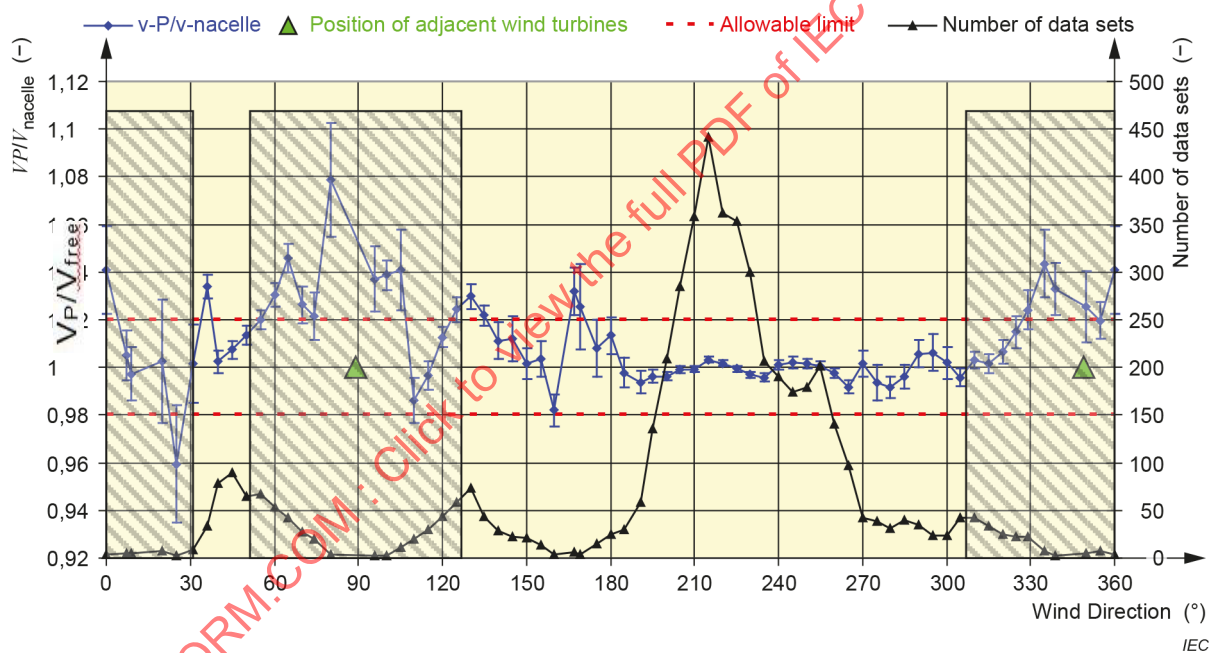


Figure 3 – Example of the result of a sector self-consistency check

In Figure 3, the blue bars indicate the statistical uncertainty of the bin averaged ratios of VP and V_{free} . The shaded sectors show the sectors which would have to be excluded for a power curve test in accordance with Clause 6 due to wakes of neighbouring wind turbines. In the directions of the neighbouring wind turbines (green triangles) VP is clearly increased compared to V_{free} .

9 Assessment of terrain at the test site

For testing without a site calibration (in terrain which is defined as "flat terrain"), the following criteria shall be kept (see Figure 4 and Table 5 for details):

- a) orography at the test site may only show minor variations from a plane, which passes both through the base of the tower of the wind turbine, and the terrain within the respective sector;

b) each of these planes shall not exceed a certain limit for the slope.

The assessment of the terrain shall be made using a digital model of the terrain with a grid resolution of 30 m or finer.

Table 5 shall be applied for the locations below for the measurement sector:

- for the evaluation of the surrounding of the wind turbine under test (i.e. using the centre of the wind turbine under test as centre of the $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$ circles);
- for the evaluation of the surrounding of the WME (i.e. using the position of the equipment as centre of the $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$ circles).

If the terrain complies with all of the requirements of Table 5 in both cases, then no site calibration is required due to orography.

NOTE Nevertheless, other aspects of the terrain such as roughness, distance to the sea coast, or other considerations, can lead to the conclusion that a site calibration is recommended.

Otherwise the terrain is defined as "complex terrain" and a site calibration measurement is required.

In Table 5, L is the distance between the wind turbine and the WME, H is the hub height and D is the rotor diameter (of the wind turbine under test).

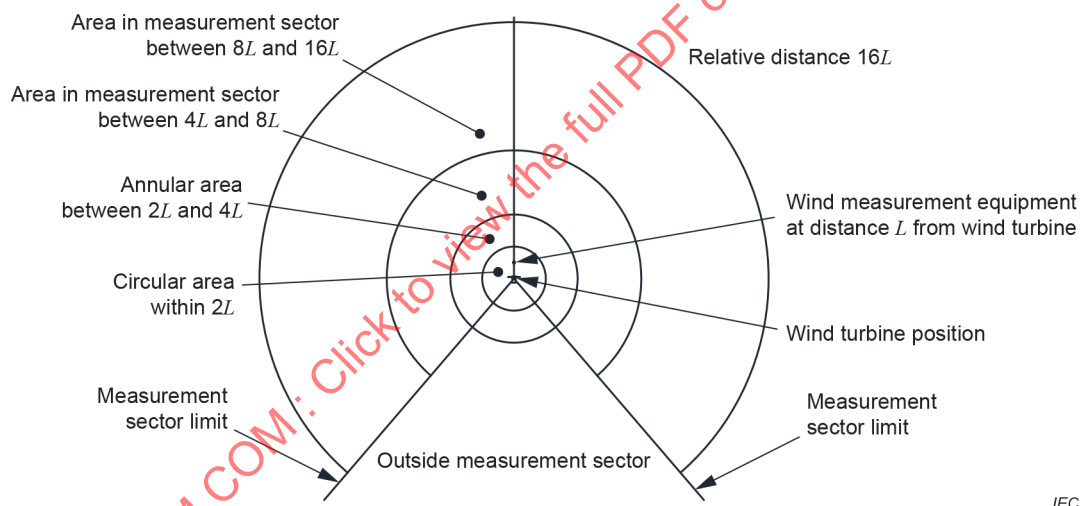


Figure 4 – Illustration of area to be assessed, top view

Table 5 – Test site requirements: topographical variations

Distance	Sector*	Maximum slope %	Maximum terrain variation from plane
$< 2L$	360°	$< 3^{**}$	$< 1/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 2L$ and $< 4L$	Measurement sector	$< 5^{**}$	$< 2/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 2L$ and $< 4L$	Outside measurement sector	$< 10^{***}$	Not applicable
$\geq 4L$ and $< 8L$	Measurement sector	$< 10^{**}$	$< (H - 0,5 D)$
$\geq 8L$ and $< 16L$	Measurement sector	$< 10^{***}$	Not applicable

- * "Measurement sector" is understood here by default as the remaining valid sector after execution of the procedure defined in Clause 6, whereas it is also permitted to use a smaller measurement sector ^a.
 - ** The maximum slope of the plane, which provides the best fit to the terrain in the sector being considered and passes through the tower base. See Figure 5 for an example.
 - *** The line of steepest slope that connects the tower base to individual terrain points on the surface of the terrain within the sector. See Figure 6 for an example.
- ^a It is additionally recommended to check if significant terrain variation exists slightly outside the borders of this sector. If this is the case, the final sector which is considered for the power performance test should keep a clear directional distance to these critical directions.

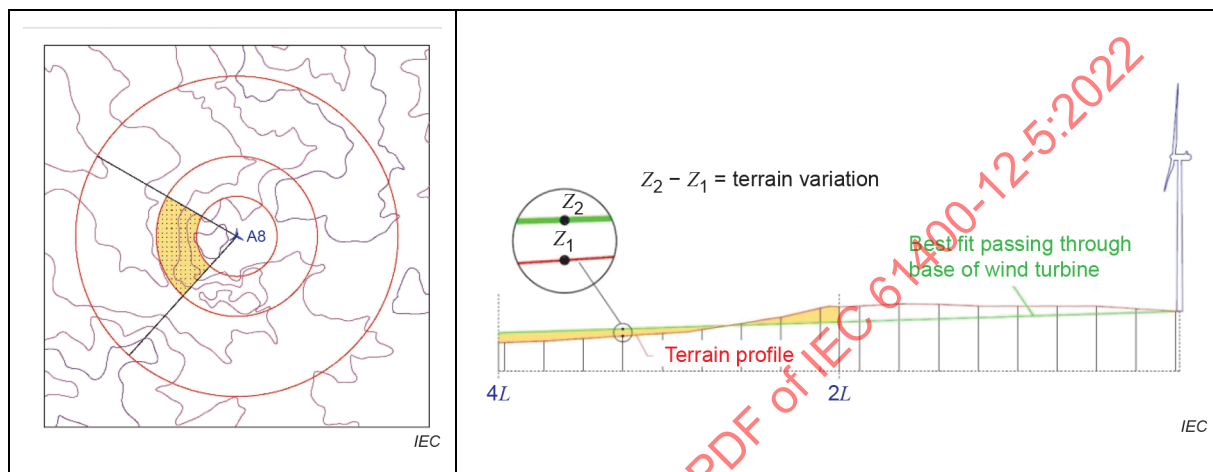


Figure 5 shows just one direction. All directions within the measurement sector have to be considered for the calculation of the plane which provides the best fit, and then the maximum terrain variation against this plane shall be determined by analysing all directions as shown in Figure 5.

Figure 5 – Example of determination of slope and terrain variation from the best-fit plane: "2L to 4L" and the case "measurement sector" (Table 5, row 2)

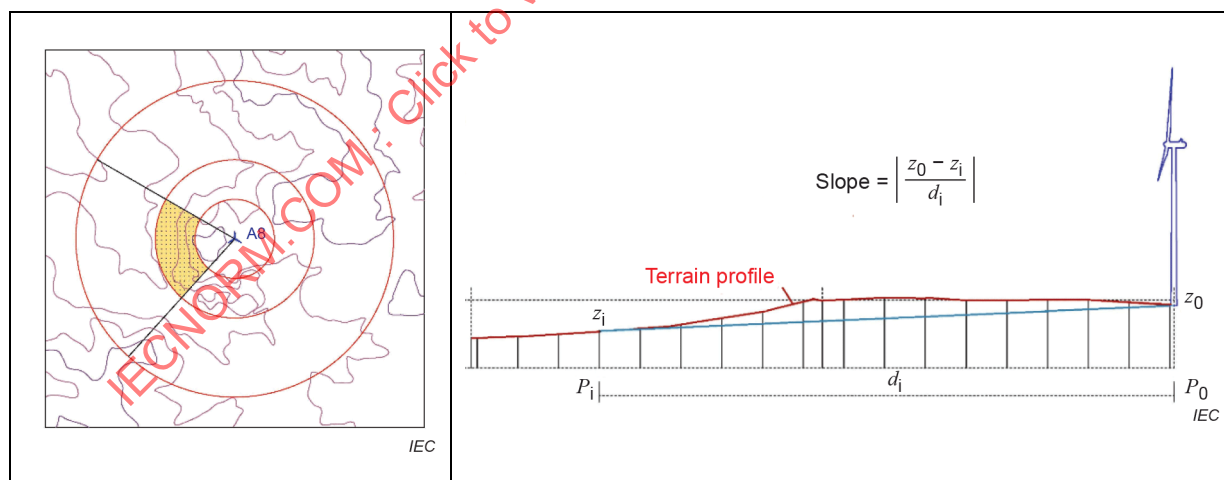


Figure 6 shows just one direction. All directions outside the measurement sector shall be analysed in the same way, and the worst-case result (i.e. highest slope) shall be considered.

Figure 6 – Determination of slope for the distance "2L to 4L" and "8L to 16L" and the case "outside measurement sector" (Table 5, row 3 and row 5)

10 Terrain classification for evaluation of NTF and NPC

10.1 General

Since local terrain may influence the NTF and NPC, a terrain classification is proposed in this Clause 10 to allow an estimation of the uncertainty contribution of different types of terrain. This is done based on similar variables as Clause 9, namely the average terrain slope as well as local terrain variations.

10.2 RIX indices

In order to assess the terrain-related component of the uncertainty in the NTF from local terrain variations, a ruggedness index denoted by RIX shall be calculated for each 10° direction sector within the valid measurement sector (as defined in Clause 6, Clause 7 and Clause 8). The ruggedness index is calculated using the following method:

- a) a topographic map is digitised to a radius of 20 times the hub height from the test turbine.
(The topographic map shall have a contour interval of 5 m or smaller. Alternatively the evaluation can be based on a digital terrain model based on a 30 m × 30 m grid or smaller and having a height accuracy for adjacent points of 1,0 m or 0,02D, whichever is larger where D is the turbine diameter);
- b) in a given 10° direction sector, elevation points are determined every 30 m along a line that extends through the centre of the direction sector;
- c) the absolute difference in altitude Δz_i between adjacent elevation points is calculated as

$$\Delta z_i = \left| \frac{(z_i - z_{i-1})}{30} \right| \quad (3)$$

where:

z_i and z_{i-1} are the elevation levels expressed in metres for adjacent elevation points; this is calculated for all elevation points up to 20 times the hub height;

- d) the ruggedness index for the 10° sector is calculated as the percentage of calculated altitude differences within a given 10° sector that each exceed 0,04($D + H$) (called $RIX_{0,04}$), 0,06($D + H$) (called $RIX_{0,06}$) and 0,08($D + H$) (called $RIX_{0,08}$). Note that points included in $RIX_{0,08}$ are necessarily also included in $RIX_{0,06}$ and $RIX_{0,04}$ and points included in $RIX_{0,04}$ and $RIX_{0,06}$ are also included in $RIX_{0,08}$;
- e) the ruggedness index for the measurement sector is calculated as the average of the ruggedness indices of 10° sectors that make up the measurement sector. The measurement sector is therefore characterised by three RIX indices.

10.3 Average slope

The average slope that will be used in the terrain classification is determined as follows:

- a) For each 10° sector calculate the slope from a radius of 5 times the hub height to the tower base;
- b) The average slope for the measurement sector is the average of the slopes for all 10° sectors that are part of the measurement sector.

For correct application of the NTF it is important to distinguish between positive and negative slopes. The transfer function will likely be different if the terrain drops by 20° when the wind flows to the turbine than if the terrain increases by 20° when the wind flows to the turbine.

10.4 Determine terrain class

The terrain class is evaluated by looking at average slope and the three RIX indices for the measurement sector. If the measurement sector contains both positive and negative slopes the test engineer should consider reducing the measurement sector as the results may be difficult to interpret and apply as it is likely that different transfer functions exist for positive and negative slopes.

The slope terrain class is defined in Table 6. The RIX terrain class is defined in Table 7.

Table 6 – Slope terrain classification

Absolute slope (%)	Slope terrain class
Compliant to Clause 9 (use $L = 2,5D$)	1
$0^\circ \leq \text{slope} < 10^\circ$, but not class 1	2
$10^\circ \leq \text{slope} < 15^\circ$	3
$15^\circ \leq \text{slope} < 20^\circ$	4
$20^\circ \leq \text{slope}$	5

Table 7 – RIX terrain classification

RIX (%)	RIX terrain class
Compliant to Clause 9 (use $L = 2,5D$)	0
$RIX_{0,04} < 16$ AND $RIX_{0,06} < 8$ AND $RIX_{0,08} < 4$ but not class 0	1
$RIX_{0,04} < 32$ AND $RIX_{0,06} < 16$ AND $RIX_{0,08} < 8$ but not class 1	2
$RIX_{0,04} < 48$ AND $RIX_{0,06} < 32$ AND $RIX_{0,08} < 16$ but not class 2	3
$RIX_{0,04} \geq 48$ OR $RIX_{0,06} \geq 32$ OR $RIX_{0,08} \geq 16$	4

The terrain class is the sum of the slope terrain class and the RIX terrain class with the understanding that the maximum terrain class is 5. If the sum of slope and RIX terrain class is higher than 5, then the terrain class is 5.

The final terrain class is shown in Table 8.

Table 8 – Final terrain class

Slope terrain class	RIX terrain class				
	0	1	2	3	4
1	1	2	3	4	5
2	2	3	4	5	5
3	3	4	5	5	5
4	4	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5

10.5 Ridge formations

A ridge formation shall be treated differently as it possibly has only one point per 10° sector that is identified as complex terrain in the above procedure and could therefore be incorrectly classified as class 2. A ridge formation is defined as a step in terrain elevation where the step is larger than $0,08(H + D)$ between two adjacent elevated points. Additionally, such a step shall be present in five adjacent 10° sectors or in all 10° sectors if the measurement sector contains less than five 10° sectors. The maximum ridge step is defined as the maximum elevation difference in meters of the points that make up the ridge. The maximum ridge step determines how the ridge affects the terrain class.

Table 9 – Maximum ridge step effects on terrain class

Maximum ridge step	Increase in terrain class
$0 \leq \text{maximum ridge step} < 0,08(H + D)$	0 (No ridge)
$0,08(H + D) \leq \text{maximum ridge step} < 2 \times 0,08(H + D)$	1
$2 \times 0,08(H + D) \leq \text{maximum ridge step} < 3 \times 0,08(H + D)$	2
$3 \times 0,08(H + D) \leq \text{maximum ridge step}$	3
In this table: H is hub height; D is rotor diameter.	

A ridge therefore increases the terrain complexity class depending on how steep the maximum slope is as presented in Table 9. The maximum terrain class is 5, so a ridge with a steep slope in terrain class 4 still gives a class 5 terrain class.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12-5:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	31
4 Symboles, unités et termes abrégés	33
5 Généralités	33
6 Procédure du secteur de mesure à utiliser pour les mesurages de la performance de puissance conformément à l'IEC 61400-12-1	34
6.1 Généralités	34
6.2 Exigences relatives aux éoliennes voisines en fonctionnement	35
6.3 Exigences pour les obstacles	35
6.4 Méthode de calcul des secteurs à exclure	36
6.5 Exigences spéciales relatives aux obstacles étendus	39
7 Procédure du secteur de mesure à utiliser pour déterminer la fonction de transfert de la nacelle (NTF) entre la vitesse du vent libre et la vitesse du vent de l'anémomètre de la nacelle	39
8 Procédure du secteur de mesure à utiliser pour déterminer la courbe de puissance de la nacelle (NPC) (la NTF a déjà été déterminée).....	39
8.1 Généralités	39
8.2 Exigences relatives aux éoliennes voisines en fonctionnement	40
8.3 Exigences pour les obstacles	41
8.4 Calcul du secteur exclu	42
8.5 Procédure de vérification de la cohérence interne du secteur de mesure	42
9 Évaluation du terrain sur le site d'essai.....	44
10 Classification du terrain pour l'évaluation de la NTF et de la NPC.....	46
10.1 Généralités	46
10.2 Indices RIX	47
10.3 Pente moyenne.....	47
10.4 Déterminer la classe de terrain	47
10.5 Formations de crêtes	48
Figure 1 – Secteurs à exclure en raison des sillages d'éoliennes voisines en fonctionnement et d'obstacles significatifs	37
Figure 2 – Exemple de secteurs à exclure en raison des sillages de l'éolienne en essai, d'une éolienne voisine en fonctionnement et d'un obstacle significatif.....	38
Figure 3 – Exemple de résultat d'une vérification de la cohérence interne d'un secteur.....	44
Figure 4 – Représentation de la surface à évaluer, vue de dessus	45
Figure 5 – Exemple de détermination de la pente et de la variation du terrain par rapport au plan idéal pour la distance: "2L à 4L" et le cas "secteur de mesure"(Tableau 5, ligne 2).....	46
Figure 6 – Détermination de la pente pour les distances "2L à 4L" et "8L à 16L" et le cas "à l'extérieur du secteur de mesure" (Tableau 5, ligne 3 et ligne 5).....	46
Tableau 1 – Interfaces d'autres normes avec le présent document	34
Tableau 2 – Interfaces du présent document avec d'autres normes	34

Tableau 3 – Exigences relatives aux obstacles: pertinence des obstacles.....	36
Tableau 4 – Exigences relatives aux obstacles: pertinence des obstacles.....	41
Tableau 5 – Exigences relatives au site d'essai: variations topographiques	45
Tableau 6 – Classification du terrain en fonction de la pente.....	48
Tableau 7 – Classification du terrain en fonction du RIX	48
Tableau 8 – Classe finale du terrain.....	48
Tableau 9 – Effets de marche maximale de la crête sur la classe de terrain.....	49

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-12-5:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 12-5: Performance de puissance – Évaluation des obstacles et du terrain

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 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 61400-12-5 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 61400-12-5 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
88/825/CDV	88/870/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 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.

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 61400 a pour objet de décrire les procédures qui permettent de déterminer un secteur de mesure non influencé par les éoliennes ou autres obstacles concernant une éolienne spécifique. Le secteur de mesure est utilisé pour évaluer le terrain et déterminer si un étalonnage du site est exigé. Ce secteur de mesure peut être utilisé pour évaluer la performance de puissance des éoliennes.

L'Article 6 décrit une procédure permettant de déterminer un ou plusieurs secteurs qui ne sont pas aptes à être utilisés pour mesurer la performance de puissance, car l'écoulement au niveau de l'éolienne en essai et/ou l'écoulement à l'emplacement du matériel de mesure du vent (WME – wind measurement equipment – mât météorologique ou dispositif de télédétection) peuvent être affectés par une éolienne en fonctionnement et/ou par un obstacle.

L'Article 7 décrit une procédure qui permet d'établir le secteur de mesure lors de la détermination de la fonction de transfert de la nacelle.

L'Article 8 décrit une procédure qui permet d'établir le secteur de mesure lors de la détermination de la courbe de puissance de la nacelle.

L'Article 9 décrit une procédure qui permet d'évaluer le terrain qui entoure le site et de déterminer s'il est assez complexe pour exiger un étalonnage du site. L'étalonnage du site a généralement pour objet de mesurer les variations qui interviennent dans la couche limite, car elles suivent l'orographie, qui est généralement un écoulement associé, alors que les obstacles produisent souvent des sillages plus turbulents, lesquels sont affectés par les bords saillants et les surfaces verticales qui peuvent entraîner une séparation de l'écoulement.

L'Article 10 décrit une procédure qui permet de classer les terrains afin d'appliquer la fonction de transfert de la nacelle dans le cadre du mesurage de la courbe de puissance de la nacelle. La classification est utilisée pour estimer l'incertitude de la fonction de transfert de la nacelle (NTF – nacelle transfer function), de la courbe de puissance de la nacelle (NPC – nacelle power curve) et également pour déterminer les conditions de terrain dans lesquelles la NTF peut être utilisée pour la NPC.

Pour la création de cette nouvelle norme, il a été décidé qu'aucune modification technique du contenu reproduit à partir des documents sources (IEC 61400-12-1 et IEC 61400-12-2) n'est autorisée. Par conséquent, dans cette première édition de la nouvelle norme IEC 61400-12-5, il subsiste des zones évidentes de désaccord technique (par exemple, l'évaluation du terrain dans l'Article 9 et l'Article 10) pour lesquelles un choix doit être fait selon que le cas d'utilisation prévu est destiné à une évaluation de la courbe de puissance IEC 61400-12-1 ou IEC 61400-12-2. Il est recommandé que les révisions ultérieures du présent document visent à harmoniser le contenu technique.

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 12-5: Performance de puissance – Évaluation des obstacles et du terrain

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 spécifie les procédures d'évaluation de l'importance des obstacles et des variations de terrain sur un site proposé pour le mesurage de la performance de puissance et s'applique aux essais de performance des éoliennes de tous types et de toutes tailles raccordées au réseau électrique comme cela est décrit dans d'autres parties de la série IEC 61400. La procédure s'applique à l'évaluation de la performance d'éoliennes spécifiques sur des sites spécifiques.

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 61400-12-6, *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*

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

terrain complexe

terrain qui entoure le site d'essai et qui présente des variations topographiques notables et des obstacles (voir 3.10) qui peuvent entraîner une distorsion de l'écoulement de l'air

3.2

vitesse de démarrage

vitesse du vent la plus basse à laquelle une éolienne commence à produire de la puissance

3.3

ensemble de données

collection de données qui ont été échantillonnées sur une période continue

3.4

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

3.5

vitesse du vent en écoulement libre

vitesse horizontale du vent mesurée en amont du rotor de l'aérogénérateur, non perturbée par l'aérodynamisme du rotor

3.6

hauteur du moyeu

<des éoliennes> 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.

3.7

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

3.8

secteur de mesure

secteur des directions du vent à partir duquel les données sont choisies pour la courbe de puissance mesurée

3.9

fonction de transfert de la nacelle

NTF

fonction de transfert appliquée visant à estimer la vitesse du vent en écoulement libre en fonction de la vitesse à l'anémomètre de la nacelle

Note 1 à l'article: L'abréviation "NTF" est dérivée du terme anglais développé correspondant "nacelle transfer function".

3.10

obstacle

objet qui fait obstacle au vent et qui crée une distorsion de l'écoulement, tel qu'un bâtiment ou un arbre

3.11

performance de puissance

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

3.12

site d'essai

emplacement de l'éolienne en essai et ses environs

3.13

incertitude de mesure

paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande

[SOURCE: IEC 60050-415:1999, 415-05-13]

3.14**matériel de mesure du vent**

mât météorologique ou dispositif de télédétection

4 Symboles, unités et termes abrégés

Symbole ou termes abrégés	Description	Unité
D	diamètre du rotor	[m]
D_e	diamètre équivalent du rotor	[m]
D_n	diamètre du rotor de l'éolienne voisine en fonctionnement	[m]
d_i	distance entre l'éolienne et le point du terrain présentant la pente la plus défavorable	[m]
H	hauteur du moyeu de l'éolienne	[m]
h	hauteur de l'obstacle	[m]
L	distance entre l'éolienne et le matériel de mesure du vent	[m]
L_e	distance entre l'éolienne ou le matériel de mesure du vent et un obstacle	[m]
L_n	distance entre l'éolienne ou le matériel de mesure du vent et une éolienne voisine en fonctionnement	[m]
l_h	hauteur de l'obstacle	[m]
l_w	largeur de l'obstacle	[m]
RIX	ruggedness index (Indice de rugosité)	
V_P	vitesse du vent évaluée à partir de la puissance de sortie	[m/s]
V_{free}	vitesse du vent de la nacelle mesurée et rectifiée par la fonction de transfert de la nacelle	[m/s]
WME	matériel de mesure du vent	
z	hauteur au-dessus du sol	[m]
z_i	altitude du terrain correspondant au point auquel la pente est la plus défavorable	[m]

5 Généralités

Pour un mesurage de la performance de puissance effectué conformément à l'IEC 61400-12-1 ou à l'IEC 61400-12-2, la vitesse du vent à l'emplacement de mesure et à l'emplacement de l'éolienne en essai peut être influencée à la fois par des obstacles (par exemple, des bâtiments, des forêts, d'autres éoliennes) dans les environs et par le terrain (gravité des pentes et des écarts). Il convient de vérifier la présence de ces influences et de réduire le secteur de direction valide en conséquence en cas d'obstacles ou d'effectuer un étalonnage du site (conformément à l'IEC 61400-12-3) en cas de terrain assez complexe. L'Article 6 et l'Article 8 décrivent les procédures permettant de déterminer un ou plusieurs secteurs qui ne sont pas aptes à l'essai, car l'écoulement au niveau de l'éolienne en essai et/ou l'écoulement à l'emplacement du matériel de mesure du vent (WME: mât météorologique ou dispositif de télédétection) peuvent être affectés par une éolienne en fonctionnement et/ou par un obstacle. L'Article 9 décrit les critères d'évaluation du terrain qui permettent de déterminer si un site peut être considéré comme plat (pas d'étalonnage du site exigé) ou complexe (étalonnage du site exigé). L'Article 10 décrit les critères qui permettent de classer le terrain comme cela est exigé pour l'application d'une NTF.

Étant donné que cette méthode est étroitement liée à l'IEC 61400-12-1 et à l'IEC 61400-12-2, les deux normes sont fréquemment mentionnées dans le présent document.

Pour le présent document, les interfaces sont définies dans le Tableau 1 et le Tableau 2; afin de faciliter l'interprétation correcte des interfaces, une brève description de l'utilisation de l'interface a également été ajoutée.

Tableau 1 – Autres Normes Internationales faisant référence à ce document

Description de l'interface	Références à ce document dans d'autres Normes Internationales	Brève description de l'utilisation	Format
Secteur de mesure	IEC 61400-12-1:2022, Article 6	Filtrage de l'ensemble de données	De [degré] à [degré]
Secteur de mesure (NTF)	IEC 61400-12-2:2022, Article 7	Filtrage de l'ensemble de données	De [degré] à [degré]
Secteur de mesure (NPC)	IEC 61400-12-2:2022, Article 8	Filtrage de l'ensemble de données	De [degré] à [degré]
Évaluation du terrain	IEC 61400-12-1:2022, Article 9	Détermination de l'exigence relative à l'étalonnage du site	Complexe ou non complexe
Classe de terrain	IEC 61400-12-2:2022, Article 10 IEC 61400-12-6:2022, Article 10	Rapport sur la validité de la fonction de transfert	Classe de terrain [1; 2; 3; 4; 5]

Tableau 2 – Interfaces du présent document avec d'autres normes

Description de l'interface	Contenu pertinent du présent document	Référence à d'autres normes	Brève description de l'utilisation	Format
Évaluation du terrain	Article 9	IEC 61400-12-1:2022	Élément d'entrée destiné au calcul de l'incertitude de mesure de la vitesse du vent pour la courbe de puissance	Les caractéristiques de fonctionnement de l'anémomètre dépendent de la complexité du terrain ou des données relatives au site
Classe de terrain	Article 10	IEC 61400-12-2:2022	Élément d'entrée destiné au calcul de l'incertitude de mesure de la vitesse du vent pour la fonction de transfert de la nacelle (NTF)	Classe de terrain [1; 2; 3; 4; 5]

6 Procédure du secteur de mesure à utiliser pour les mesurages de la performance de puissance conformément à l'IEC 61400-12-1

6.1 Généralités

L'Article 6 décrit une procédure permettant de déterminer un ou plusieurs secteurs qui ne sont pas aptes à l'essai, car l'écoulement au niveau de l'éolienne en essai et/ou l'écoulement à l'emplacement du matériel de mesure du vent (WME) peuvent être affectés par une éolienne en fonctionnement et/ou par un obstacle.

La procédure comporte deux étapes à appliquer dans l'ordre suivant:

- Évaluation des influences des éoliennes en fonctionnement (les éoliennes en essai, mais aussi les éoliennes voisines en fonctionnement), décrite au 6.2;
- Évaluation des influences des obstacles décrite au 6.3 (compte tenu des exigences spéciales pour les obstacles étendus, décrites au 6.5).

Cette étape b) exige un secteur de mesure préliminaire, qui est le résultat de l'étape a).

Le secteur valide retenu à l'issue de cette procédure doit être utilisé pour l'évaluation du terrain conformément à l'Article 9.

L'étalonnage du site (voir l'IEC 61400-12-3) a généralement pour objet de mesurer les variations qui interviennent dans la couche limite, car elles suivent l'orographie, qui est généralement un écoulement associé, alors que les obstacles produisent souvent des sillages plus turbulents, lesquels sont affectés par les bords saillants et les surfaces verticales qui peuvent entraîner une séparation de l'écoulement. En général, l'étalonnage du site ne permet donc pas de corriger correctement les effets de la séparation de l'écoulement. Il convient de tenir compte de ce fait au moment de décider de traiter un objet comme un obstacle ou comme un terrain, car la séparation de l'écoulement et les sillages très turbulents doivent être évités. En ce sens, il est recommandé de traiter comme un obstacle (y compris les éléments orographiques qui satisfont aux critères dimensionnels) un objet dont la hauteur est supérieure à la moitié de sa largeur.

6.2 Exigences relatives aux éoliennes voisines en fonctionnement

Le WME ne doit pas être influencé par l'éolienne en essai.

L'éolienne en essai et le WME ne doivent pas être influencés par des éoliennes voisines en fonctionnement. Si une éolienne voisine fonctionne à un moment donné pendant l'essai de performance de puissance, son sillage doit être déterminé et pris en compte, comme cela est décrit dans le présent document (à l'aide des calculs donnés au 6.4). Les petites éoliennes dont la hauteur totale est inférieure à $(2/3)(H - D/2)$ doivent être traitées comme des obstacles et prises en compte comme cela est décrit à l'Article 8.

Si une éolienne est arrêtée à un moment donné pendant l'essai de performance de puissance, elle doit être considérée comme un obstacle et prise en compte comme cela est décrit à l'Article 8.

La distance minimale entre l'éolienne en essai et les éoliennes voisines en fonctionnement est définie dans l'IEC 61400-12-1. La distance minimale entre le WME et une éolienne voisine en fonctionnement est également définie dans l'IEC 61400-12-1. Les secteurs à exclure en raison des sillages des éoliennes voisines en fonctionnement doivent être choisis à partir de la Figure 1. Les dimensions à prendre en compte sont la distance réelle L_n et le diamètre du rotor D_n de l'éolienne voisine en fonctionnement. Les secteurs à exclure doivent être déduits pour l'éolienne en essai et pour le WME; ils doivent également être centrés sur la direction entre l'éolienne voisine en fonctionnement et le WME ou l'éolienne. Un exemple est représenté à la Figure 2.

6.3 Exigences pour les obstacles

Les obstacles proches de l'éolienne en essai ou du WME doivent être évalués. Chaque obstacle doit être évalué comme élément de l'orographie (comme cela est décrit à l'Article 9) ou, à défaut, conformément à la procédure décrite ci-après en 6.3.

NOTE En règle générale, la prise en considération d'un obstacle comme élément de l'orographie (voir l'Article 9) augmente essentiellement la variation du terrain, tandis que l'effet sur la pente peut être très faible (sauf pour les obstacles étendus, par exemple les forêts).

Aucun obstacle significatif (par exemple, des bâtiments, des arbres, des éoliennes immobilisées) ne doit être présent dans le secteur de mesure à une distance raisonnable de l'éolienne ou du WME. Seuls des petits bâtiments liés au fonctionnement de l'éolienne ou du matériel de mesure du vent sont acceptables. Lorsque des obstacles significatifs sont présents, le secteur de mesure doit être réduit, comme cela est décrit aux 6.4 et 6.5.

Le critère qui permet de déterminer l'importance d'un obstacle (par rapport à l'éolienne en essai et/ou au WME) consiste à dépasser au moins l'une des limites données dans le Tableau 3, le Tableau 3 devant être appliqué pour tous les emplacements:

- a) à des fins d'évaluation des environs de l'éolienne en essai (c'est-à-dire en utilisant le centre de l'éolienne en essai comme centre des cercles $2L$, $4L$, $8L$, et $16L$)
- b) aux fins d'évaluation des environs du WME (c'est-à-dire en utilisant la ou les positions du matériel comme centre des cercles $2L$, $4L$, $8L$, et $16L$).

Tableau 3 – Exigences relatives aux obstacles: pertinence des obstacles

Distance*	Secteur**	Hauteur maximale de l'obstacle par rapport à la surface du terrain***
$< 2L$	360°	$< 1/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 2L$ et $< 4L$	Secteur de mesure préliminaire	$< 2/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 4L$ et $< 8L$	Secteur de mesure préliminaire	$< (H - 0,5 D)$
$\geq 8L$ et $< 16L$	Secteur de mesure préliminaire	$< 4/3 (H - 0,5 D)$
$\geq 2L$ et $< 16L$	Nettement à l'extérieur du secteur de mesure préliminaire de 40° ou plus	Aucune limite de hauteur
* de l'obstacle à l'éolienne en essai ou de l'obstacle au WME – où L est la distance horizontale entre l'éolienne en essai et le WME. ** Le "secteur de mesure préliminaire" doit être entendu ici comme le secteur valide restant après évaluation des éoliennes voisines en fonctionnement (comme cela est décrit en 6.2, selon le calcul donné au 6.4), où toutes les directions inférieures à 40° à l'extérieur doivent également être prises en considération. *** H est la hauteur du moyeu, et D est le diamètre du rotor de l'éolienne en essai.		

6.4 Méthode de calcul des secteurs à exclure

L'influence du sillage de l'éolienne en essai sur le WME doit toujours être évaluée conformément à la Figure 1.

L'influence du sillage d'une éolienne voisine en fonctionnement sur l'éolienne en essai doit toujours être évaluée conformément à la Figure 1, de même que l'influence de son sillage sur le WME.

Concernant les éoliennes en fonctionnement, les dimensions à prendre en compte sont la distance réelle L_n (entre le centre de l'éolienne en essai et la position du WME) et le diamètre du rotor D_n de l'éolienne qui produit le sillage.

L'influence de l'éolienne en essai sur le WME est évaluée au moyen de L (distance entre l'éolienne en essai et le matériel de mesure du vent) et de D (diamètre du rotor de l'éolienne en essai).

L'influence du sillage d'un obstacle sur l'éolienne en essai doit être évaluée conformément à la Figure 1 si l'obstacle est significatif par rapport à l'éolienne en essai selon le Tableau 3.

L'influence du sillage d'un obstacle sur le WME doit être évaluée conformément à la Figure 1 si l'obstacle est significatif par rapport au WME selon le Tableau 3.

Concernant les obstacles, les dimensions à prendre en compte sont la distance horizontale réelle L_e (depuis le centre de l'éolienne en essai ou la position du WME, selon le cas) et un diamètre équivalent D_e du rotor de l'obstacle. Une éolienne voisine arrêtée peut être traitée comme un cylindre d'un diamètre égal à celui de la base du mât et d'une hauteur égale à celle de son extrémité supérieure. Le diamètre équivalent du rotor de l'obstacle doit être défini comme suit:

$$D_e = \frac{2l_h l_w}{l_h + l_w} \quad (1)$$

où

D_e est le diamètre équivalent du rotor;

l_h est la hauteur de l'obstacle;

l_w est la largeur de l'obstacle examinée à partir de l'éolienne en essai ou du WME.

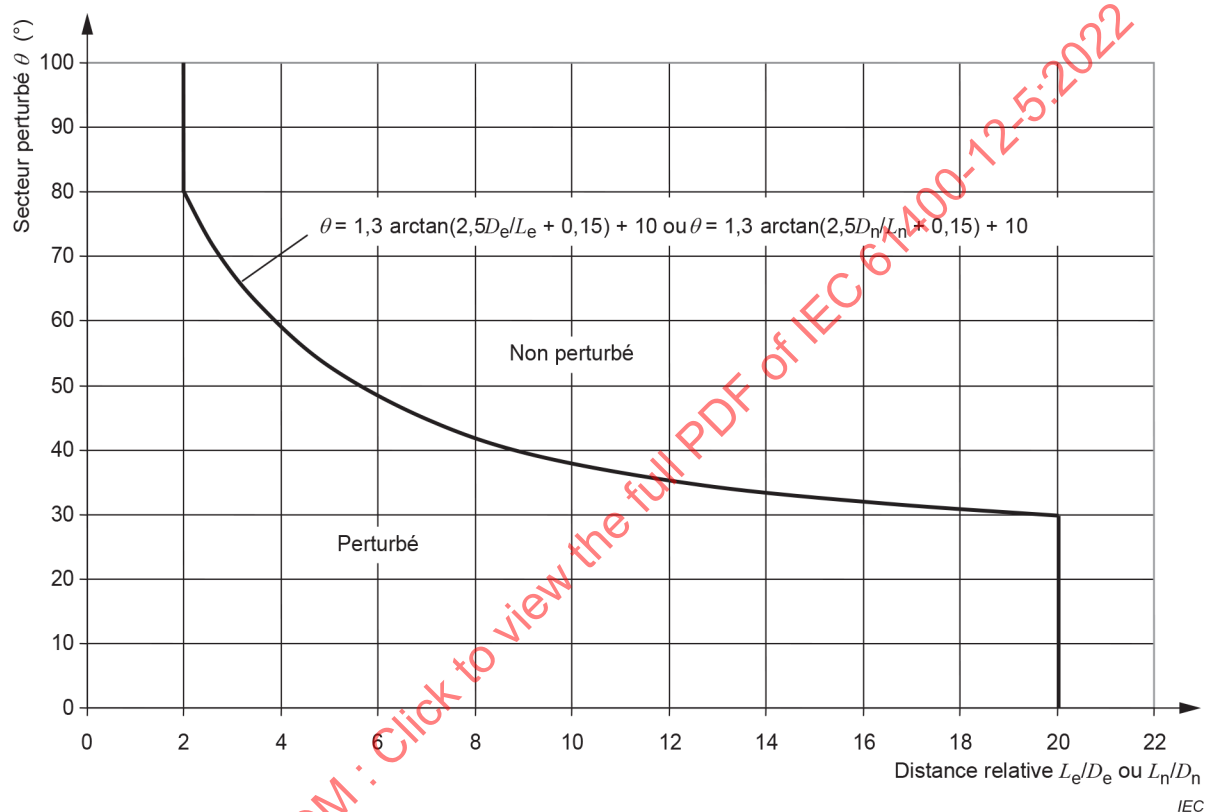


Figure 1 – Secteurs à exclure en raison des sillages d'éoliennes voisines en fonctionnement et d'obstacles significatifs

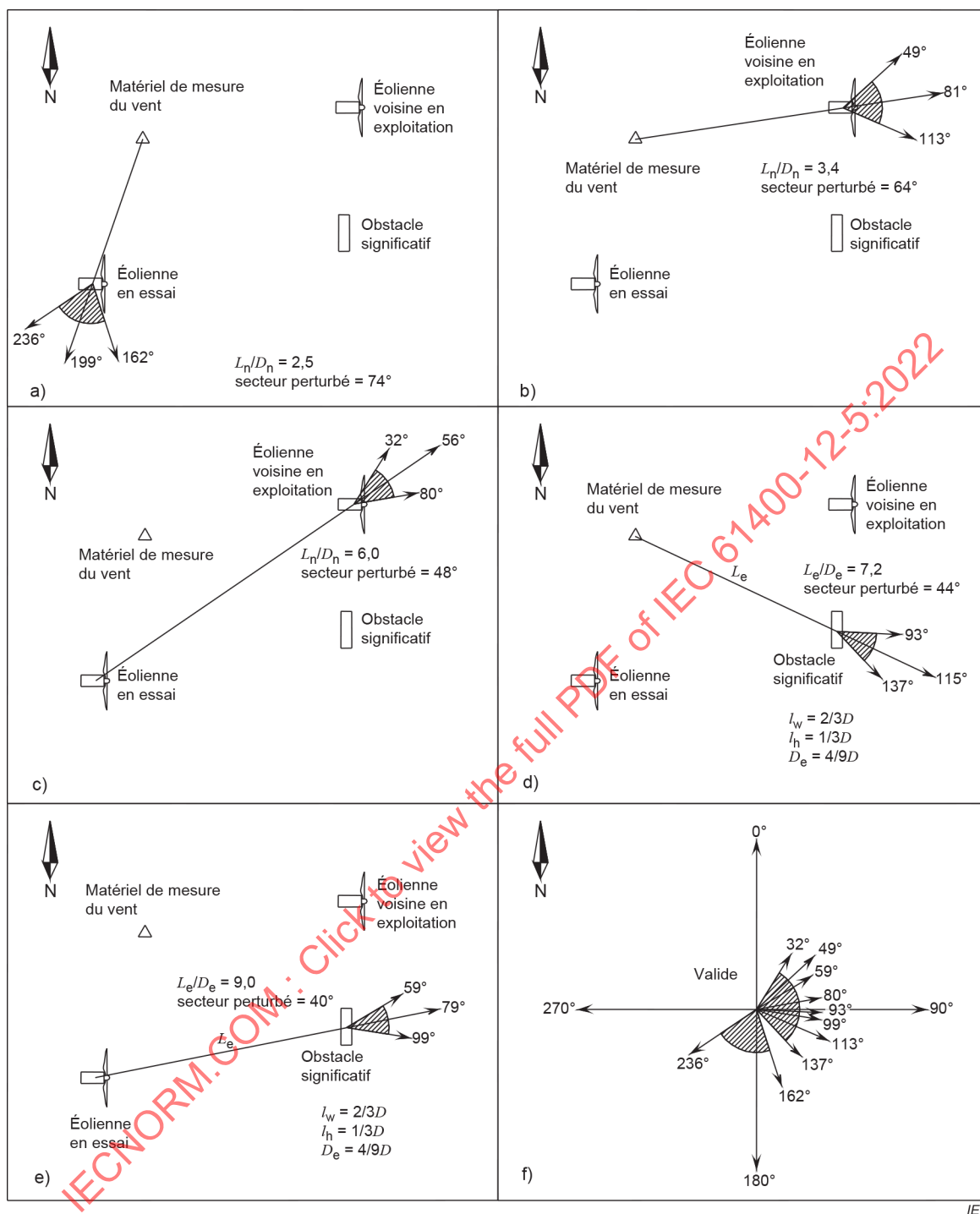


Figure 2 – Exemple de secteurs à exclure en raison des sillages de l'éolienne en essai, d'une éolienne voisine en fonctionnement et d'un obstacle significatif

Les Figures 1 et 2 représentent les secteurs à exclure si:

- a) le WME (mât météorologique ou dispositif de télédétection) se trouve dans le sillage de l'éolienne en essai;
- b) le WME se trouve dans le sillage de l'éolienne voisine en fonctionnement;
- c) l'éolienne en essai se trouve dans le sillage de l'éolienne voisine en fonctionnement;
- d) le WME se trouve dans le sillage de l'obstacle significatif;
- e) l'éolienne en essai se trouve dans le sillage de l'obstacle significatif;

f) tous les effets a) à e) ci-dessus sont combinés.

NOTE L'exemple de la Figure 2 est fondé sur l'hypothèse que l'obstacle est significatif (conformément au Tableau 3) par rapport à l'éolienne en essai, mais aussi par rapport au matériel de mesure du vent.

6.5 Exigences spéciales relatives aux obstacles étendus

Les obstacles situés à une distance inférieure à $4L$ (depuis le centre de l'éolienne en essai ou le matériel de mesure du vent) qui s'étendent sur plus de 50 m dans toute direction horizontale doivent être divisés en obstacles partiels ne dépassant pas 50 m dans toute direction horizontale et s'étendant sur 50 m exactement pour les dimensions supérieures à 50 m. Ces obstacles partiels peuvent se chevaucher. La combinaison de ces obstacles partiels doit au moins couvrir entièrement l'obstacle d'origine.

Pour des raisons pratiques, il est judicieux de créer des obstacles partiels qui ont tous la même forme (par exemple, des carrés de 50 m × 50 m). Il s'agit d'une approche prudente, qui est donc admise. (Dans ce cas, l'union de tous les obstacles partiels couvre une surface plus grande que l'obstacle initial).

Chaque obstacle partiel doit être évalué séparément. L'importance de chaque obstacle partiel doit être évaluée; si elle se révèle significative, le secteur à exclure doit être déterminé. Par exemple:

- a) Un obstacle de 90 m sur 90 m est divisé en 4 obstacles partiels de 50 m sur 50 m chacun. Ces obstacles partiels sont choisis de manière qu'ils se chevauchent sur 10 m, afin que l'union définie des 4 obstacles partiels soit identique à l'obstacle d'origine.
- b) Un obstacle de 70 m sur 10 m est divisé en 2 obstacles partiels de 50 m sur 10 m chacun. Ces obstacles partiels sont choisis de manière qu'ils se chevauchent sur 30 m, afin que l'union définie des 2 obstacles partiels soit identique à l'obstacle d'origine.

Un bosquet d'arbres ou une forêt doivent être traités de cette manière.

7 Procédure du secteur de mesure à utiliser pour déterminer la fonction de transfert de la nacelle (NTF) entre la vitesse du vent libre et la vitesse du vent de l'anémomètre de la nacelle

Pour déterminer la NTF, le secteur de mesure est défini conformément aux exigences de l'Article 8.

8 Procédure du secteur de mesure à utiliser pour déterminer la courbe de puissance de la nacelle (NPC)

NOTE La NTF a déjà été déterminée

8.1 Généralités

Les éoliennes voisines, les obstacles et le terrain peuvent avoir une influence sur l'évaluation de la performance de puissance d'une éolienne. Dans le cas d'une analyse de la performance de puissance au moyen de mesurages de la vitesse du vent de la nacelle, l'anémomètre est positionné à l'endroit où la puissance est extraite du vent, afin que l'effet des éoliennes, des obstacles et du terrain se situe dans une distribution non uniforme du vent sur le plan du rotor.

Il convient de choisir des secteurs de mesure appropriés pour la NPC en fonction de l'exigence clé selon laquelle la vitesse du vent, telle que mesurée par l'anémomètre de nacelle en combinaison avec la NTF, donne une vitesse du vent représentative de la vitesse du vent incidente sur le rotor de l'éolienne.

Le mesurage de la direction du vent dans une courbe de puissance de nacelle comporte deux composantes d'incertitude, à savoir l'incertitude de l'angle d'orientation et l'incertitude de

mesure de la direction du vent dans la nacelle. Cette incertitude éventuellement importante est prise en compte dans la procédure du secteur de mesure (voir également l'Annexe B de l'IEC 61400-12-2:2022).

La procédure du secteur de mesure exige deux étapes.

Dans un premier temps, un secteur de mesure conforme aux exigences décrites dans l'Article 6 doit être dérivé, selon une évaluation théorique.

Les exigences de l'Article 6 sont prises en charge pour les mesurages conformément à l'IEC 61400-12-1, qui sont appliquées pour assurer que la vitesse du vent mesurée est représentative du rotor de l'éolienne, et, pour cela, il est exclu toute situation pour laquelle le mât ou l'éolienne est exposé à des sillages ou à l'influence d'obstacles, comme cela est spécifié dans l'IEC 61400-12-1.

Cette condition peut ne pas être totalement appropriée pour la NPC telle qu'elle est définie dans l'IEC 61400-12-2. Même en présence d'éoliennes voisines très proches ou d'obstacles, l'éolienne en essai a une courbe de puissance et la NTF peut être valide. Par ailleurs, d'autres facteurs peuvent conduire à une situation pour laquelle cet objectif n'est pas atteint. Par exemple:

- La NTF peut devenir invalide si l'inclinaison verticale de l'écoulement est trop élevée et que les exigences relatives aux secteurs décrits à l'Article 6 ci-dessus n'évitent pas les secteurs qui présentent des pentes trop raides.
- L'effet de l'influence des obstacles est plus complexe et plus difficile à interpréter par rapport au cas pris en considération par l'Article 6.

Par conséquent, dans un deuxième temps, la méthode de vérification de la cohérence interne décrite au 8.4 doit être utilisée pour vérifier la validité du secteur de mesure.

Si la méthode de vérification de la cohérence interne indique qu'il y a des problèmes, le secteur doit être réduit en conséquence, comme cela est indiqué au 6.2. Si le secteur de mesure contient des secteurs de 10° dont les pentes moyennes présentent à la fois un signe positif et négatif, les résultats peuvent s'avérer insatisfaisants. Il est recommandé que la pente moyenne du secteur de mesure présente la même tendance (vers le haut ou vers le bas) dans tous les secteurs de 10° .

8.2 Exigences relatives aux éoliennes voisines en fonctionnement

L'éolienne en essai ne doit pas être influencée par les éoliennes voisines. Si une éolienne voisine fonctionne à un moment donné pendant l'essai de performance de puissance, son sillage doit être déterminé et pris en compte, comme cela est décrit dans le présent document. Si une éolienne voisine est arrêtée à un moment donné pendant l'essai de performance de puissance, elle doit être considérée comme un obstacle.

La distance minimale entre l'éolienne en essai et les éoliennes voisines en fonctionnement doit être égale à deux fois le diamètre du rotor D_n de l'éolienne voisine ou du rotor D de l'éolienne en essai si celle-ci a un diamètre supérieur. La taille des secteurs à exclure en raison des sillages des éoliennes voisines en fonctionnement doit être choisie à partir de la Figure 1 et de 6.4. Les dimensions à prendre en compte sont la distance réelle L_n et le diamètre du rotor D_n de l'éolienne voisine en fonctionnement.

Les secteurs doivent être centrés sur la direction entre l'éolienne voisine en fonctionnement et l'éolienne en essai.

8.3 Exigences pour les obstacles

Aucun obstacle significatif (par exemple, des bâtiments, des arbres, des éoliennes immobilisées) ne doit être présent dans le secteur de mesure à une distance raisonnable de l'éolienne. Seuls des petits bâtiments liés au fonctionnement de l'éolienne ou du matériel de mesure sont acceptables.

Un modèle d'obstacle est utilisé pour anticiper l'influence des obstacles sur la position de l'éolienne à la hauteur du moyeu. Le critère pour déterminer un obstacle significatif est que l'écoulement à la hauteur du moyeu est affecté de 1 % ou plus pour une direction de vent quelconque dans le secteur de mesure. Ce critère doit être appliqué à l'effet de l'écoulement sur l'éolienne.

Le critère qui permet de déterminer l'existence d'un obstacle significatif est que l'obstacle dépasse les limites du Tableau 4.

Tableau 4 – Exigences relatives aux obstacles: pertinence des obstacles

Distance par rapport à l'obstacle	Secteur	Hauteur maximale de l'obstacle par rapport à la base du mât de l'éolienne
$< 2L$	360°	$< 0,04 (H + D)$
$\geq 2L$ et $\leq 4L$	Secteur de mesure	$< 0,08 (H + D)$
$\geq 4L$ et $\leq 8L$	Secteur de mesure	$< 0,13 (H + D)$
$\geq 8L$ et $\leq 16L$	Secteur de mesure	$< 0,25 (H + D)$
$\geq 2L$ et $\leq 16L$	À l'extérieur du secteur de mesure	Non applicable

Les secteurs qui comportent un obstacle significatif doivent être exclus en référence à la Figure 1 et au 6.4. Les dimensions à prendre en compte sont la distance réelle L_e et un diamètre équivalent du rotor D_e de l'obstacle. Le diamètre équivalent du rotor de l'obstacle doit être défini comme suit:

$$D_e = \frac{2l_h l_w}{l_h + l_w} \quad (2)$$

où

D_e est le diamètre équivalent du rotor;

l_h est la hauteur de l'obstacle;

l_w est la largeur de l'obstacle.

Les obstacles qui s'étendent sur plus de 50 m dans toute direction doivent être divisés en obstacles partiels ne dépassant pas 50 m dans toute direction. Ces obstacles partiels peuvent se chevaucher. La combinaison de ces obstacles partiels doit couvrir entièrement l'obstacle d'origine.

Chaque obstacle partiel doit être évalué séparément. L'importance de chaque obstacle partiel doit être évaluée, et si elle se révèle significative, le secteur à exclure doit être déterminé. Par exemple:

- a) Un obstacle quadratique de 90 m sur 90 m est divisé en 4 obstacles partiels de 50 m sur 50 m chacun. Ces obstacles partiels sont choisis de manière à se chevaucher sur 10 m, afin que la combinaison des 4 obstacles partiels soit identique à l'obstacle d'origine.