

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial electroheating installations – Test methods for infrared electroheating installations

Installations électrothermiques industrielles – Méthodes d'essais relatives aux installations électrothermiques par rayonnement infrarouge





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

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

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 62693

Edition 1.0 2013-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial electroheating installations – Test methods for infrared electroheating installations

Installations électrothermiques industrielles – Méthodes d'essais relatives aux installations électrothermiques par rayonnement infrarouge

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 25.180.10

ISBN 978-2-83220-866-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 General	7
3.2 States and parts	8
3.3 Workload.....	8
4 Boundaries of the installation during tests	9
4.1 Energy considerations	9
4.2 Batch type installations.....	9
4.3 Continuous type installations	10
5 Types of tests and general test conditions	10
5.1 General	10
5.2 List of tests	11
5.3 Test conditions	11
5.3.1 Operating conditions during tests	11
5.3.2 Environmental conditions during tests.....	11
5.3.3 Supply voltage.....	12
5.4 Infrared dummy workload	12
6 Measurements.....	12
6.1 General.....	12
6.2 Time resolution.....	12
6.3 Measurements of electric data.....	12
6.4 Temperature measurement.....	13
7 Technical tests	13
7.1 Installation performance dependence on supply voltage	13
7.2 Energy consumption and time of cold start-up operation.....	14
7.3 Power consumption of hot standby operation.....	14
7.4 Power consumption of holding operation	14
7.5 Shut-down operation energy consumption and time	15
7.6 Energy consumption during a regular maintenance operation	15
7.7 Energy consumption during normal operation	15
7.8 Cumulative energy consumption and peak power consumption.....	16
7.9 Net production capacity	16
7.10 Efficiency of energy transfer to the workload	17
7.11 Processing range of intended operation.....	17
7.12 Homogeneity of the processed workload	17
7.13 Infrared radiation distribution in the heating chamber	17
8 Efficiency of the installation	17
8.1 General	17
8.2 Infrared electric conversion efficiency.....	18
8.2.1 General	18
8.2.2 Calculation	19
8.3 Electroheating efficiency	19
8.4 Power usage efficiency.....	19

8.5 Energy consumption of the workload	19
Annex A (normative) Energy transfer efficiency.....	21
Annex B (normative) Homogeneity of the workload	25
Annex C (informative) Measurement of radiation distribution inside the installation	28
Bibliography.....	29

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL ELECTROHEATING INSTALLATIONS –
TEST METHODS FOR INFRARED ELECTROHEATING INSTALLATIONS**

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.

International Standard IEC 62693 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating and electromagnetic processing.

The text of this standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
27/877/CDV	27/902/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

INTRODUCTION

This standard on particular test methods for infrared electroheating installations is one of TC 27 standards that describe test methods for various types of electroheating installations.

Test methods for ovens under the scope of IEC 60397 [3]¹ are also covered in this standard when infrared radiation is the intended heat transfer in such equipment – this is assumed to be valid above an actual or processing temperature of 700 °C, independently of the rated temperature of the oven.

This standard is solely concerned with tests for infrared equipment and installations. Tests that focus on the performance of infrared emitters will be covered by IEC 62798 ² [11]. The rationale for this separation is that infrared installations are usually manufactured by other companies than infrared emitters. Still, infrared emitters are a very important and distinct part of infrared installations and a set of tests that allow for proper comparison of different infrared emitters will be valuable to manufacturers of infrared installations.

The major guiding principle in this standard is to define tests that can be performed with the usual test and measuring equipment available to most kinds of companies, large or small.

The tests focus on the performance and efficiency of installations, as these are of major interest for manufacturers and users of such installations. The tests are intended to enable a fair comparison of installations belonging to a given class. The standard includes considerations and tests concerned with energy efficiency, so that the tests can be used for assessment of energy use and for energetic optimisation of installations as well.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

² Under consideration.

INDUSTRIAL ELECTROHEATING INSTALLATIONS – TEST METHODS FOR INFRARED ELECTROHEATING INSTALLATIONS

1 Scope and object

This International Standard specifies test procedures, conditions and methods according to which the main parameters and the main operational characteristics of industrial infrared electroheating installations are established.

A limitation of the scope is that the infrared emitters have a maximum spectral emission at longer wavelengths than 780 nm in air or vacuum, and are emitting wideband continuous spectra such as by thermal radiation or high pressure arcs.

In industrial infrared electroheating installations, infrared radiation is usually generated by infrared emitters and infrared radiation is significantly dominating over heat convection or heat conduction as means of energy transfer to the workload.

IEC 60519-1:2010 defines infrared as optical radiation within the frequency range between about 400 THz and 300 GHz. This corresponds to the wavelength range between 780 nm and 1 mm in vacuum. Industrial infrared heating usually uses infrared sources with rated temperatures between 500 °C and 3 000 °C; the emitted radiation from these sources dominates in the wavelength range between 780 nm and 10 µm.

Installations under the scope of this standard typically use the Joule effect for the conversion of electric energy inside one or several sources into infrared radiation emitted onto the workload. Such infrared emitters are especially

- thermal infrared emitters in the form of tubular, plate-like or otherwise shaped ceramics with a resistive element inside;
- infrared quartz glass tube or halogen lamp emitters with a hot filament as a source;
- non insulated elements made from molybdenum disilicide, silicon carbide or comparable materials;
- restive metallic heating elements made e.g. from nickel based alloys or iron-chromium-aluminium alloys;
- wide-spectrum arc lamps.

This standard is not applicable to

- infrared installations with lasers or light-emitting diodes (LEDs) as main sources – they are covered by IEC 62471:2006 [9], IEC 60825-1:2007 [6] and IEC/TR 60825-9:1999 [7];
- appliances for use by the general public;
- appliances for laboratory use – they are covered by IEC 61010-1:2010 [8];
- electroheating installations where resistance heated bare wires, tubes or bars are used as heating elements, and infrared radiation is not a dominant side effect of the intended use, covered by IEC 60519-2:2006 [5];
- infrared heating equipment with a nominal combined electrical power of the infrared emitters of less than 250 W;
- handheld infrared equipment.

The tests are intended to be used to enable a fair comparison of the performance of installations belonging to the same class.

Tests related to safety of the installations are defined in IEC 60519-12:2013. Tests related to the performance of infrared electroheating emitters are specified in IEC 62798:— [11].

Therefore, this standard is applicable to ovens and furnaces with resistive heating elements if they fall under the scope of this standard.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60519-1:2010, *Safety in electroheating installations – Part 1: General requirements*

IEC 60519-12:2013, *Safety in electroheating installations – Part 12: Particular Requirements for infrared electroheating installations*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions of IEC 60519-12:2013 and the following apply.

NOTE General definitions are given in the International Electrotechnical Vocabulary, IEC 60050 [2]. Terms relating to industrial electroheating are defined in IEC 60050-841.

3.1 General

3.1.1

installation class

group within a type of installation, using the same principle for processing the workload and the size of this as well as the production capacity

3.1.2

production capacity

measure of the production rate capability of equipment in normal operation

EXAMPLE Flow, mass or volume.

Note 1 to entry: The capacity does not refer to the volume of the working space.

3.1.3

electroheating efficiency, <of an installation>

ratio of the usable enthalpy increase in the workload to the electric energy supplied to it at the location of the equipment, during a cycle of batch operation or stationary operation during a suitable time period for measurements

[SOURCE IEC 60050-841:2004, 841-22-70, modified – The term itself has been modified and details with respect to the kind of operation have been added.]

3.1.4

electric conversion efficiency

quotient between the available electric active power output for the transfer to the workload, and the electric input active power from the supply network, at power settings for normal operation

Note 1 to entry: The concept does not apply to conversion of electric energy to infrared radiation by heated elements.

3.1.5
intended workload quality
product quality

degree to which a set of inherent characteristics of a processed workload fulfils requirements

Note 1 to entry: All workload that does not attain the intended workload quality is regarded as scrap or undergoes rework to reach intended workload quality.

3.2 States and parts

3.2.1
cold start-up

process by which the equipment is energised into hot standby operation, from the cold state, including all other start-up operations which enable the equipment to operate as intended

Note 1 to entry: This mode of operation applies to cases where there is a significant energy consumption needed for obtaining a state of the equipment allowing the actual processing of the workload.

3.2.2
holding power

electric power consumption during which the workload is kept in the treatment chamber at a specified temperature

Note 1 to entry: The temperature is typically maintained during a time intended to equalize the workload temperature.

Note 2 to entry: This mode of operation is not applicable for certain types of electroheating equipment.

3.2.3
hot standby operation

mode of operation of the installation occurring immediately after normal operation

Note 1 to entry: This mode of operation of the installation is with its hot state remaining, without workload, and with the means of operation ready for prompt normal operation.

3.2.4
normal operation

range of output settings with the normal workload in allowable working conditions of the installation, as specified in the manufacturer's documentation

3.2.5
shut-down operation

process by which the installation is de-energised safely into the cold state

3.2.6
port

entrance or exit opening in the treatment chamber or enclosure through which the workload moves

3.2.7
means of access

all structural features of the infrared electroheating installation which can be opened or removed without the use of a tool to provide access to the interior of the installation

3.3 Workload

3.3.1
normal workload

object intended to be processed as specified in the manufacturer's documentation

Note 1 to entry: The workload is called "charge" in some electroheating contexts.

Note 2 to entry: The workload includes any container, holder or other device necessary for the processing and which is directly or indirectly subjected to the output power.

3.3.2

dummy workload

artificial workload with known thermal properties, designed for accurate enthalpy increase measurements by absorbing the available output power

3.3.3

infrared dummy workload

IDW

dummy workload intended to mimic the physical behaviour of the workload, especially its radiation absorption behaviour, allowing for the effective measurement of specific parameters of the process

Note 1 to entry: Example for a specific parameter is the homogeneity of processing of the surface of the workload.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

4 Boundaries of the installation during tests

4.1 Energy considerations

It is necessary to define boundaries or limits of the installation with respect to equipment and energy uses included in or excluded from considerations during tests and calculations. The following definitions of boundaries are intended to enable fair comparisons for both batch and continuous type installations:

- a) Energy of compression or decompression of steam, air or any other gas in the process chamber shall be included in the used and lost energy calculations of the installation.
- b) Exo- or endothermic chemical energy involving any reactive gases in the processing of the workload shall be included.
- c) Energy used for cooling action by any excess reactive and/or inert gases in the processing of the workload shall be included in the calculation of used and lost energy of the installation.
- d) Energy used for cooling of the processed workload to ambient temperature or as preparation for further treatment as part of normal operation shall be included, but stated separately in the calculation of used and lost energy. If a part of this thermal energy is transferred back into the installation or process, this recycling of thermal energy shall be reported separately, to allow comparisons with other installations in the same class but without this feature. Thermal energy used outside the process shall not be included in reporting.

4.2 Batch type installations

Batch type installations are characterised by a discontinuous processing. If there are means of access, these are opened and a workload is placed inside the treatment chamber of the installation and then undergoes normal operation. The means of access are then reopened and the workload is removed from the treatment chamber and the installation either goes into hot standby operation with closed means of access, or the process is restarted with another workload.

Normal operation always includes heating and can also include one or more of the following sub-processes:

- closing and opening of means of access;
- pressurising of the treatment chamber;
- transport of the workload – this includes for example wobbling movement during operation;

- holding the workload at a specified temperature for a specified time;
- introducing reactive or protective gases into the treatment chamber – including deposition processes;
- free or forced cooling of the workload – for example, if cooling is necessary to avoid damage by exposing the hot workload to ambient atmosphere.

The energy used to perform these sub-processes shall be included. The spatial boundary of the installation with respect to the process is defined by:

- a) an entrance port position where the workload is placed prior to normal operation or the equipment which transports the workload into the treatment chamber; this equipment and its energy use is a part of the installation;
- b) an exit port position where the workload is placed after normal operation for removal, or the equipment which moves the workload out of the treatment chamber; this equipment and its energy use is part of the installation;
- c) all equipment in between, including for example all switchgear, pumps, cooling means necessary to operate the equipment.

NOTE In vacuum equipment, the boundary between the infrared installation and another installation is typically a valve.

The cycle of batch operation relevant for measurement shall begin after hot standby operation.

4.3 Continuous type installations

Continuous type installations are characterised by a continuous or semi-continuous processing. The workload is conveyed through the treatment chamber of the installation during normal operation. The steps of treatment occur at consecutive positions inside the installation as the workload is transported through it – for example in roll to roll operations or in sheet feed installations. This kind of installation usually goes into hot standby operation when no workload is conveyed.

The normal operation always includes heating and can include one or more of the following sub-processes which occur at separated spatial positions inside the installation:

- holding the workload at a specified temperature;
- introducing reactive or protective gases – including deposition processes;
- free or forced cooling of the workload – for example if cooling is necessary to avoid damage by exposing the hot workload to ambient atmosphere.

The energy used to perform these processes shall be included. The boundary of the installation is defined by

- a) the entrance and exit ports;
- b) all equipment in between, including for example all switchgear, pumps, cooling means necessary for operation of the equipment.

The energy consumption of transport or roll handling in stand-alone installations is included in the used energy. It shall be stated separately in the calculations.

5 Types of tests and general test conditions

5.1 General

No tests are defined for installations in the cold state. All such tests are safety related and are not covered by the scope of this standard. Relevant safety related tests are described in IEC 60519-1 and IEC 60519-12.

5.2 List of tests

The following tests shall be conducted in the hot state of the installation during commissioning or when the installation is ready for normal operation as well as at regular intervals as specified by the manufacturer, following maintenance or after modifications:

- a) influence of supply voltage on the performance, refer to 7.1;
- b) energy consumption during cold start-up operation and time needed, refer to 7.2;
- c) power consumption during standby operation, refer to 7.3;
- d) power consumption during holding operation, refer to 7.4;
- e) energy consumption during shutting down operation and time needed, refer to 7.5;
- f) energy consumption during regular maintenance operation, refer to 7.6;
- g) energy consumption during normal operation, refer to 7.7;
- h) energy consumption during a full operation cycle and peak power consumption, refer to 7.8;
- i) production capacity, refer to 7.9;
- j) efficiency of energy transfer to workload, refer to Annex A;
- k) processing range of the installation to perform the intended operation, refer to 7.11;
- l) homogeneity of workload processing, refer to Annex B;
- m) infrared radiation distribution inside the installation, refer to Annex C.

Additional tests may be specified in the commissioning and operation manuals issued by the manufacturer or may be agreed between the manufacturer and user.

5.3 Test conditions

5.3.1 Operating conditions during tests

Operating conditions during tests shall be in the range of normal operation conditions and thus reflect the manufacturer's intended use of the installation while excluding extreme usage patterns, deliberate misuse or unauthorized modifications of the installation or its operating parameters.

5.3.2 Environmental conditions during tests

All tests shall be performed

- a) under standardised environmental conditions, at ambient temperature in the range between 5 °C and 40 °C and air relative humidity of less than 95 %, or
- b) at the point of use of the installation under the available and specified environmental conditions there.

The environmental conditions shall not exceed those defined for the intended purpose of the installation. All environmental conditions affecting measurement results shall be monitored during the tests and be part of the measurement report. This includes

- air temperature and humidity near the installation;
- temperature and humidity of cooling air drawn into the installation;
- exhaust air temperature;
- temperature of the workload when entering the installation;
- moisture content of the workload when entering the installation, if applicable.

5.3.3 Supply voltage

The supply voltage shall not exceed the limits defined for the intended purpose.

NOTE Limits of variation of line voltage are set in IEC 60038 [1].

The supply voltage to the installation shall be monitored during the tests.

All measurements of specific electrical values, such as power consumption or current shall include the data of the supply voltage.

5.4 Infrared dummy workload

The following aspects shall be considered when using an infrared dummy workload (IDW):

- in case of a planar workload, the IDW shall be planar;
- the IDW shall have the same size in batch processes or the same width in continuous processes as the intended workload, if effects covering the full usable size of the installation are to be tested;
- in case it is intended to process workloads with a complex shape, the IDWs shape shall include all relevant geometrical features of the normal workload;
- for the measurement of temperature homogeneity, the IDW shall have a comparable heat absorbing capacity, i.e. the factor of volume, density and heat capacity c_p ;
- for the measurement of evaporation homogeneity, the IDW shall be made of the same material as the workload and be prepared with a comparable amount of evaporable substance;
- for the measurement of crosslinking homogeneity, the IDW shall be made of the same material as the workload.

6 Measurements

6.1 General

More than a single measurement is recommended for the tests defined in this standard. For time resolved measurements a data logger or multi-channel electronic data acquisition system shall be used, which automatically measures and stores the necessary data in a computer readable format.

6.2 Time resolution

The necessary time resolution of the measuring equipment and the data saving rate of the storage devices depends on the installation and the specific tests to be undertaken. The measurement and storage frequency shall be so high that all relevant signal variations are recorded.

6.3 Measurements of electric data

6.3.1 All equipment for voltage measurement shall be of class 2.0 or better. The measuring equipment for a.c. current shall be able to show true rms independently of the waveform.

6.3.2 All equipment for current measurement shall be of class 2.0 or better. The current measuring equipment for a.c. current shall be able to measure true rms independently of the waveform.

6.3.3 All equipment for energy consumption measurement shall be of class 2.0 or better. The measuring equipment shall be able to measure active and reactive energy independently of the waveform.

6.3.4 All equipment for power consumption measurement shall be of class 2.0 or better. The measuring equipment shall be able to measure active and reactive power independently of the waveform.

6.3.5 Measurements of all electric values, which are part of a test of energy or power use of the installation shall be performed at the power inlet to the installation.

6.3.6 Measurements of all electric values, which are part of a test of energy or power use of the infrared emitters of the installation, shall be performed at the power outlet of the switchgear connected to the emitters; transformers, capacitor circuits or comparable devices necessary to drive the emitter are part of the switchgear.

6.3.7 Measurements of all electric values, which are part of a test of energy or power use of auxiliary equipment, shall be performed at the respective power outlet of the switchgear connected to that equipment.

6.3.8 Specific access points may be installed during manufacturing of the installation. Measuring equipment may be part of the switchgear; its energy use is considered as part of the energy use of the switchgear.

6.4 Temperature measurement

The kind of equipment used for temperature measurement depends for example on the task, temperature range, available information on the surfaces being measured, and accessibility.

Contacting thermocouples are simple to use and reliable. They provide reliable and exact results if an intimate and non detachable contact to a surface of an object with high mass and good thermal conduction to the thermocouple is possible.

Pyrometers and infrared cameras summarised as thermographic methods may be used for all surfaces at elevated temperature, when the emissivity of the surface is well known and when the surface is considered as lambertian – i.e. following a cosine law of angular emissivity. The used value of emissivity, the measurement wavelength and the presumed error of emissivity shall be included in all measurement reports.

The relative measurement error for all temperature measurements in compliance with this standard shall not exceed 5 % of the temperature of the measured value stated in °C. Measurement accuracy shall be included in the measurement report.

NOTE The German VDI/VDE 3511 series [19 – 26] provides information on best practices for temperature measurement in industry.

7 Technical tests

7.1 Installation performance dependence on supply voltage

The actual supply voltage or its variation influences the performance of the infrared electroheating installation, if the infrared emitters operate on this directly or via fixed transformers. This effect can be even larger, if the actual supply voltage or the declared supply voltage differs from the rated supply voltage.

The variation of power consumption of individual infrared emitters with their applied working voltage depends on the type of emitter. This data may be supplied by the manufacturer of the emitter and the variation of power consumption with its actual working voltage

- shall either be calculated using this data,

- or may be measured by tracking the supply voltage of the installation and the power consumption of the installation or the emitters over a long period and at otherwise constant settings of the installation.

NOTE The future standard on infrared emitter tests [11] will consider the measurement of variation of power consumption depending on voltage.

Variation of power with the actual working voltage affects other parameters of the installation as well – for example wall temperature, processing time, heating up time.

The actual supply voltage can affect the results of all tests as well; it shall be part of the test report.

7.2 Energy consumption and time of cold start-up operation

The following applies for the measurement of cold start-up time and energy consumption for installations that by intent need to perform this operation prior to normal operation.

- a) The installation shall be heated up from ambient conditions as stated in 5.3.2.
- b) The installation is operated without a workload, if applicable.
- c) Any preheating of the treatment chamber or zone to arrive at a state as close as reasonable to hot standby operation is carried out, if applicable.
- d) The cold start-up total electric energy consumption and time are measured.

Cold start-up energy consumption can be measured for

- the complete infrared installation;
- the infrared emitters only;
- the auxiliary equipment only.

If the installation is intended to be heated up safely with workload only, this shall be considered.

7.3 Power consumption of hot standby operation

The following applies for the measurement of hot standby power consumption:

- a) The installation is operated without workload, if applicable.
- b) Conditions of hot standby operation are maintained.
- c) The total energy consumption during hot standby and duration of hot standby are measured.

Hot standby power can be measured for

- the complete infrared installation;
- the infrared emitters only;
- the auxiliary equipment only.

7.4 Power consumption of holding operation

The holding feature of an installation is usually needed to achieve workload temperature equilibration after the process proper and does not exist in some types of installations.

NOTE The major difference between hot standby and holding is that the workload is present in the latter case and can emit radiation, or supply convective or conductive energy to its ambient. This is usually compensated by variation of the external energy supply to maintain the workload temperature.

The following applies for the measurement of the power consumption during temperature holding operation with workload:

- a) The test is applicable if holding is part of normal operation.
- b) The installation is operated with a heated up workload.
- c) The temperature of the workload is kept constant, using particular control settings for this purpose.
- d) The total energy consumption during holding and the holding time are measured.

Holding power can be measured for

- the complete infrared installation;
- the infrared emitters only;
- the auxiliary equipment only.

7.5 Shut-down operation energy consumption and time

The following applies for the measurement of energy consumption during shut-down operation, if applicable:

- a) The installation is shut down as specified by the manufacturer.
- b) The total energy consumption during shut-down and the shut-down time are measured.

Shut-down power consumption can be measured for

- the complete infrared installation;
- the infrared emitters only – if applicable;
- the auxiliary equipment only.

7.6 Energy consumption during a regular maintenance operation

The following applies for the measurement of maintenance energy consumption and time, if applicable:

- a) Maintenance of the installation is performed as specified by the manufacturer.
- b) The total energy consumption during the maintenance operation and time for maintenance are measured.

Maintenance power consumption can be measured for

- the complete infrared installation;
- the infrared emitters only;
- the auxiliary equipment only;
- the specific maintenance equipment only.

7.7 Energy consumption during normal operation

All measurements of the electric energy consumption shall reflect specific consumption by defined parts of the installation during a defined time period or a specified operation. The following shall be reported, if applicable:

- a) The energy consumption of a batch type installation during one cycle; this may be measured and averaged over a defined number of cycles. The number of cycles and variation of energy consumption shall be recorded in the test report.
- b) The energy of a continuously operating installation during processing of a defined amount of workload.
- c) The energy consumption of the installation over a complete production cycle – for example, during a workday, one week or a complete year.

Normal operation energy consumption can be measured for

- the complete infrared installation;
- the infrared emitters only;
- the auxiliary equipment only.

7.8 Cumulative energy consumption and peak power consumption

The measurement of time resolved power consumption of the installation enables the calculation of the cumulative energy consumption for a complete operation of the installation and the measurement of peak power consumption. The test shall be made by monitoring the time resolved power consumption of the complete installation over:

- a) one cycle, if the installation cools down between cycles;
- b) one shift, if the installation is operating for some hours, but cools down at the end of a workday;
- c) or over the complete heating up period and one hour of operation if the installation is operating continuously.

The internal electric conversion and switchgear of the installation are designed for accepting specified peak power consumption. It defines the rated power used for the designing and dimensioning of the electric power supply of the installation. The actual peak power consumption shall be measured over a typical full process cycle from heating up to cooling down.

Peak power consumption of the installation can be reached during one of the following stages:

- preheating of continuous processing installation;
- heating up of a batch type installation;
- or during other modes of operation.

NOTE A process phase resolved mapping of power consumed is the base for smart control or energy efficient control of the installation. It allows the reduction of peaks or moving processing intervals with high energy consumption to periods with low consumption of the plant or periods with low electric power or energy costs.

7.9 Net production capacity

The net production capacity is a measure of output efficiency of the installation in view of the intended workload quality. Only those parts of the workload having the intended workload quality after undergoing the intended process are evaluated.

The amount of workload shall be counted or measured:

- a) when being placed into the installation and being of sufficient quality not to be rejected at that stage, checked for quality just before the processing is to begin;
- b) when leaving the installation and being of intended workload quality, checked for quality just after the processing is finished.

The amount of workload shall be

- counted, when countable;
- stated as unit mass per time, when not countable, or
- stated as unit area per time, when being in sheet form.

The net production rate considering only processed workload of intended quality shall be stated for a single batch process or for a defined time period. It is defined as amount of workload of intended quality divided by all workload processed.

Scrap rate is defined as amount workload not of intended quality divided by all workload processed.

7.10 Efficiency of energy transfer to the workload

The estimation of the efficiency of energy transfer to the workload is typically a complex task. Test methods concerning the efficiency of transfer from the installation to the workload are given in Annex A of this standard.

7.11 Processing range of intended operation

The processing range of an installation for a specific process is defined as the range between an upper and a lower limit of set parameters between which the processed workload exhibits intended quality. The processing conditions can still vary inside the installation and thus over the surface of the workload.

The processing range can be measured using the following approach:

- a) The installation is operated with workload and the power setting is increased until the complete workload is well processed – i.e. the part of the workload which gets the lowest amount of infrared radiation during processing is undergoing the necessary process. This is the lower limit.
- b) The installation is operated with workload and the power setting is further increased until the workload shows first signs of overheating – for example, the part of the workload which gets the highest amount of infrared radiation is showing signs of undergoing a destructive process. This is the upper limit.

7.12 Homogeneity of the processed workload

Testing the homogeneity of the processing over the surface of the workload is typically a complex issue. Test methods vary with the specific quantity or quality being the essential aim of the process performed in the installation. Specifications are given in Annex B.

7.13 Infrared radiation distribution in the heating chamber

Tests of the infrared radiation distribution inside the operating installation can be necessary for estimation of the infrared electric conversion efficiency (8.2) or for tracking the source of inhomogeneous processing of the workload. Test methods concerning the distribution of infrared radiation inside the installation are given in Annex C.

8 Efficiency of the installation

8.1 General

The results from the tests given in Clause 7 allow calculation of relevant efficiency values of the installation.

The minimum theoretically needed energy per piece, unit mass or unit area of the workload undergoing the intended process is

$$E_{\min} = m \cdot c_p(T) \cdot \Delta T + E_{\text{eva}} + R \quad (1)$$

where

- m is the mass of the workload;
- $c_p(T)$ is the specific heat of the workload;
- ΔT is the temperature change from ambient to maximum process temperature;
- E_{eva} is the energy needed for evaporation of solvents during the process for a mass of m of the workload;

R is the energy needed for intended chemical reactions to occur for a mass m of the workload.

Additional processes may be considered. Formula (1) is for calculating the minimum energy needed to perform the intended process, when no energy is lost and no energy is reused or recycled in the installation.

8.2 Infrared electric conversion efficiency

8.2.1 General

Infrared electric conversion efficiency is the efficiency of the conversion of electric power into infrared radiation inside the installation. It is a significant feature of industrial infrared electroheating installations, as it should be the dominating means of energy transfer. The infrared conversion efficiency is defined as

$$\eta_{\text{conv}} = \frac{E_{\text{irr}}}{E_{\text{inst}}} \quad (2)$$

where

η_{conv} is the electric-to-infrared conversion efficiency;

E_{irr} is the radiation energy irradiated onto the workload;

E_{inst} is the energy consumption of the installation.

This efficiency may either be stated for energy consumption of the complete installation or of the infrared emitters only.

A first step is the definition and calculation of the electric-to-infrared conversion ability

$$\eta_{\text{con-ab}} = \frac{\sum_i \eta_{i,\text{conv}} \cdot E_i}{\sum_i E_i} \quad (3)$$

where

$\eta_{\text{con-ab}}$ is the electric-to-infrared conversion ability of the installation;

$\eta_{i,\text{conv}}$ is the electric-to-infrared conversion efficiency of the i -th emitter;

E_i is the energy consumption under test conditions of the i -th emitter.

NOTE A test method for measuring the conversion efficiency of a single emitter will be given in future IEC 62798 [11].

This value does not describe the conversion efficiency, but the amount of infrared radiation generated by the infrared emitters inside the equipment under the assumption that all infrared emitters operate under single emitter test conditions, which can dramatically differ from operation conditions inside the installation. The electrical conversion efficiency of the equipment differs from the electrical conversion ability due to

- the difference in operating conditions of the single emitters at test condition for measuring the single emitter electrical conversion efficiency and the actual measurement conditions in the installation;
- re-absorption of radiation between the emitters;
- absorption of radiation by gases or fumes inside the equipment;

- absorption of radiation inside the equipment;
- loss of radiation from the equipment through openings;
- reflection of radiation from the workload;
- emission of radiation from other surfaces inside the equipment,

to name the most important effects. Thus the conversion efficiency can be larger or smaller than the conversion ability but tends to be smaller.

8.2.2 Calculation

The infrared conversion efficiency can be estimated from the data generated by a measurement as described in Annex C, if not only variation of irradiation is measured, but the irradiation itself is traced and effects otherwise caused by the workload are included in the measurement. Such measurements are usually beyond the ability of industry.

The electroheating efficiency as defined in 8.3 or in Annex A is usually applied (more accessible and with a smaller error margin).

8.3 Electroheating efficiency

The electroheating efficiency is calculated using

$$\eta_{\text{inst}} = E_{\text{min}}/E_{\text{inst}} \quad (4)$$

The efficiency shall be stated

- for the complete installation;
- for the infrared emitters only.

8.4 Power usage efficiency

The efficiency of power usage is defined as

$$\eta_{\text{power}} = \bar{P}_{\text{nop}}/P_{\text{max}} \quad (5)$$

where

- η_{power} is the efficiency of power usage;
- \bar{P}_{nop} is average power consumption during normal operation;
- P_{max} is the peak power consumption (see 7.6).

This is a measure for the capability or processing latitude of the installation. It indicates the possibilities for future process changes. It can also be interpreted as a measure of the design quality concerning especially the prediction of energy usage by the installation.

8.5 Energy consumption of the workload

The energy consumed for processing the workload per amount of workload is calculated using the energy consumption of the installation including start-up, holding, hot standby and shut-down energy consumption. It is the average total energy consumption of the installation divided by the amount of workload of intended quality made during time of measurement. It is

- energy consumption per piece, when the workload is countable, or
- energy consumption per unit mass, or

- energy consumption per unit area when the workload is a continuous sheet.

The calculation shall be made based on data from the test defined in 7.8. The reported value shall include the time base of the test.

Annex A (normative)

Energy transfer efficiency

A.1 General

Efficiency of energy transfer from the installation to the workload is defined as

$$\eta_{ete} = \frac{m \cdot c_p(T) \cdot \Delta T + E_{eva} + R}{E_{proc}} \quad (\text{A.1})$$

where

E_{proc} is the electric energy used by the installation for the process.

The measurement of temperature rise of the workload and the energy consumption by the installation shall be made according to Clauses 6 and 7.

The efficiency of energy transfer from the installation to the workload during processing is influenced by various particular features of the installation and the workload, such as the following:

- the emission spectrum of the emitter, depending on voltage and thus its operating conditions;
- the wavelength dependent absorption of the workload, which can change during the processing;
- the surface structure and the angular absorptivity of the workload, which can change during the processing;
- the relative orientation between workload and infrared emitter, which can change in continuously operating installations during the processing;
- the absorption by the atmosphere between emitter and workload, which can change during the processing due to evaporation of solvents;
- the convective transport of heat inside the installation and out of the installation – this includes intentional cooling of parts of the installation;
- losses through heat conduction from the workload or the heating chamber to the outside;
- windows, protective gratings, meshes, etc. between the emitter and workload;
- reflection or absorption of stray radiation by the installation.

Energy transfer efficiency therefore varies with test conditions and with the equipment, as considered by E_{proc} in Formula (6).

The provisions on test conditions according to 5.3 shall apply. Particular care shall be taken to monitor the test conditions and reduce effects that can influence the outcome of the test but are not kept constant or are not monitored.

A.2 Rationales for the measurement method

Whereas different infrared installations are intended for many different processes, only some of these processes allow the exact measurement of energy transferred into a workload. Many process parameters are hard to capture during processing:

- a) heat energy stored in the workload can be calculated from the temperature rise of the workload, if its mass and the specific heat $c_p(T)$ are known;
- b) the evaporation energy can be estimated, if temperature, evaporated mass, specific heat $c_p(T)$, and enthalpy of evaporation of the evaporating solvent ΔH_{eva} are known;
- c) the energy needed for chemical reactions can be estimated if the mass of workload undergoing a chemical reaction is known, as well as the energy needed for the reaction.

Tests employing an IDW give reasonably exact results, if the IDW mimics the relevant physical properties of the workload to be processed and the parameters set for the installation mimic the relevant aspects of the process. A clear discrepancy between workload and IDW with respect to any of the above listed makes the test irrelevant. Some examples for discrepancies are:

- A workload heated only from one side shows a temperature gradient inside the material. This temperature gradient depends on the thermal conductivity of the material k and the surfaces where energy is absorbed in the material.
- If energy is absorbed only at the surface, thermal conduction determines the temperature dependency depending on depth inside the material. If radiation is absorbed also at some depth in the material, the combination of exponentially decaying penetration and thermal conductivity determines the temperature profile.
- Evaporation measurements are usually made by weighing the IDW before and after processing. If some solvent remains in the IDW after the intended process, evaporation will continue during cooling of the IDW.

A.3 Use of a test installation instead of a production installation

Measurements performed in an installation used for production have limitations, since:

- if the design of the installation has been finished, performing tests at this late stage states the ability of the installation, but does not provide necessary input for the design process;
- completed installations can usually not be changed in performance or layout;
- completed installations can usually not be used for any tests after commissioning – for example, due to safety issues.

However, experience and data can be used for the design of the next generation of this kind of installation.

Therefore the use of a test installation preliminary to starting the design of new installations is encouraged instead of making trials on a non-fitting old installation, if some requirements are met. To allow for meaningful tests and to meet the requirements of this standard a test installation shall offer

- a) necessary means to mimic the process under consideration – for example, a conveyor belt of sufficient speed, installation of sufficient power;
- b) a sufficient variation of different types of infrared emitters – varying independently in spectral output, infrared radiation power available, their geometrical form;
- c) means to vary the conditions of the process space – for example, air flow, or thermal insulation;
- d) sufficient switchgear to drive the test installation at necessary power and to vary the power of the infrared emitters sufficiently.

Test equipment that consists of a single emitter type, operating in one specific spectral range and offers one single technical solution for tests, is of less value to the user and insufficient for tests.

A.4 Preparation of the dummy workload

A.4.1 General

The IDW shall either be a prepared piece of the intended workload, or it shall be prepared using the following considerations, as far as possible:

- it shall have an identical surface material as the workload;
- it shall have an identical surface structure as the workload;
- if only a coating is applied to a IDW that mimics the surface of the workload, the thermal contact between coating and IDW shall be good over the complete surface;
- it shall be planar or of another simple shape;
- it shall be comparable in size to the intended workload;
- it shall have a high thermal conductivity, if applicable.

A.4.2 Preparations for temperature measurements

If the IDW is made of a material with high thermal conductivity, a single sensing point on the front or back side is sufficient.

If a temperature gradient inside the IDW is expected, the temperature shall be measured on the exposed side and on the back side of it.

If the thickness of the IDW allows and its thermal conductivity is low, thermocouples can be placed inside to assess the temperature gradient inside.

If temperatures are measured with thermocouples, they shall be fixed:

- a) so that they have a low thermal resistivity contact to the IDW throughout the measurement time;
- b) so that they do not influence the irradiation or the convection inside the installation;
- c) on the irradiated side of the IDW only if a pyrometric measurement is not feasible.

Fixture of thermocouples may be done by:

- polyimide based tape;
- cement, or temperature resistant glue;
- metallic solder;
- heat bonding onto a thermoplastic material;
- placing the thermocouples in bored holes.

A.5 Tests for optimisation of the process

The goal of the test is:

- to characterise a specific installation to be used for a defined process, or
- to seek the optimum process parameters for a specific installation, or
- to prepare the design of a new installation by investigating relevant parameters – for example those listed in A.1.

To ensure that the test is relevant, the following applies:

- a) All environmental parameters shall be documented throughout the measurement process – they are ambient temperature and humidity.

- b) All settings of the test installation shall be documented.
- c) If settings are varied during the measurements, a data logger shall be used for documentation.
- d) The documentation of the test shall include the intended settings as well as the measured real values – for example of voltage, current or power.
- e) Temperature measurement of the workload or dummy workload shall be documented using a data logger with sufficient time resolution for all measurement points.
- f) All other changes of the installation during the test as well as other observations in connection with the test shall be documented.

A.6 Supporting calculations

For preparation of tests or for limiting the number of tests, numerical calculations may be used. Annex CC of IEC 60519-12:2013 states minimum requirements for good practice.

Annex B (normative)

Homogeneity of the workload

B.1 General

One or more of the following parameters can be measured over the surface of the workload or the infrared dummy workload (IDW), to get to a description of the homogeneity of processing in the installation:

- the temperature;
- the residual content of a solvent on the workload, for an assessment of the evaporation of that solvent;
- the obtained extent of crosslinking of a polymer or lacquer;
- the amount of deposited substance or coating on the surface;
- the mass loss of the surface;
- the obtained extent of chemical reaction, which may include phase changes;
- the surface gloss;
- any other surface related parameters.

The measurements of these parameters involve quite different equipment and measurement methods. Some measurements can best be made using 2D methods, such as an infrared camera, others need complex pointwise analysis. The simplest available measurement methods are preferred, if possible and if a simple connection between effects is known – for example, if a chemical reaction depends strongly on temperature, a 2D measurement of temperature homogeneity is sufficient.

An IDW specifically prepared for the test may be used, see Annex A.

In normal operation, the intent is that the complete usable surface (or volume) of the workload reaches a certain value of at least one of these parameters without some parts of the workload being overheated or otherwise suffering a destructive process.

B.2 Measurement sensor positions

If a 2D or scanning device is not available for the measurements, but only point methods are possible, the following applies:

- a) measurement positions shall include a sample of positions with highest exposure to the infrared emitters and of positions of lowest exposure during operation;
- b) in batch type installations and for sheet-like materials this shall include the centre of the sheet and the corners of it;
- c) in continuous type installations and for sheet-like materials this shall include the centre of the sheet and the edges of the sheet.

B.3 Temperature homogeneity

B.3.1 General

The measurement method for homogeneity of the temperature of the workload during the process or at the end of the process depends inter alia on the accessibility, the surface of the

workload, the type of process and various temperatures. The following measurement methods are examples of best practice, but are by no means exhaustive.

NOTE The German series of standards VDE/VDI 3511 [19 – 26] contains information on best practice for most aspects of temperature measurements.

B.3.2 Thermocouples

A number of thermocouples can be fixed on the workload or the IDW.

All thermocouples shall be fixed by the same means and on the same side of the workload. Methods for fixing of thermocouples are given in A.4.2.

All thermocouples shall be of comparable length, same material and preferably of a single type from the same supplier.

The measured signal shall be recorded by a data logger or a pen recorder.

B.3.3 Infrared camera

The temperature of the surface of the workload or IDW can be measured using an infrared camera directly after the workload exits the treatment chamber.

The temperature homogeneity of the workload or IDW in the transport direction depends on the ejection velocity, the workload or IDW itself and environmental factors. These effects shall be estimated and included in the data interpretation and the report.

The following effects shall be considered, when using the measured data:

- any reflections from hot surfaces of the workload or IDW, as well as from other heating or lighting sources can cause extraneous signals;
- even slight variations of the surface of the workload or IDW can cause strong variations in emissivity and thus cause signal errors;
- surfaces having non-Lambertian scattering properties can cause incorrect variations of measured temperatures over the surface.

NOTE Basic concepts are given in ISO 10878 [17]³.

B.3.4 Temperature scanning

A remote point temperature measuring system scanning over the complete width of the workload measures the temperature over a line on the workload, as the workload moves. Some sources of error encountered with an infrared camera system are then avoided.

B.3.5 Temperature indication by colour change of paint or crayon marks

These materials (commonly called thermo-paint) irreversibly change colour during heat-up. The colour change depends on the combination of maximum temperature and to some degree on the time spent at maximum temperature. A good practice for use is:

- to dot one side of an IDW with a thermo-paint;
- the dotted side of the IDW is not facing the infrared emitters;
- the side of the IDW facing the infrared emitters is identical to the intended workload.

³ To be published.

It is usually necessary to calibrate the colours of the temperature sensitive colour indicating paint to process parameters used for the tests.

B.4 Other tests

B.4.1 Homogeneity of evaporation of a solvent

The spatial distribution of evaporation of water from paper or printed matter can be measured.

NOTE ISO 638 [12] or ISO 11093-3 [18] provide standardised methods.

Other tests may be agreed on between the manufacturer and user.

B.4.2 Homogeneity of the chemical reaction

Tests may be agreed on between the manufacturer and user.

B.4.3 Homogeneity of the deposited substance

Tests may be agreed on between the manufacturer and user.

B.4.4 Homogeneity of gloss

The spatial variation of gloss on paint or varnishes can be measured.

NOTE 1 ISO 2813 [13] provides standardised methods.

The spatial variation of gloss of paper can be measured.

NOTE 2 The ISO 8254 series [14 – 16] provides standardised methods.

Annex C (informative)

Measurement of radiation distribution inside the installation

C.1 General

The methods as outlined in IEC 60519-12 are well suited to characterise the radiation inside an infrared electroheating installation during all stages of operation.

Major problems to be considered are:

- most or all of the measuring equipment needs more physical space than is available inside many installations;
- all common measuring equipment is not made for hot environments and is not able to survive long exposure to ambient temperatures above 50 °C;
- the measurement methods in IEC 60519-12:2013 are for point measurement only. To use them for the measurement of spatially resolved data a scanning operation is necessary for characterising the radiation or irradiation inside any installation;
- spectral scanning additionally needs time, so the measurement time can easily extend over days;
- the workload influences the radiation field inside the installation;
- the test equipment influences the radiation field inside the installation;
- spatial positions where radiation measurements are of most value are on the surface of the workload.

C.2 Calculating the radiation information

Annex CC of IEC 60519-12:2013 gives minimum requirements on ray tracing calculation of radiation for infrared electroheating installations and can be used for this purpose as well.

Verifications may be made by simpler experiments in only some parts of the installation.

C.3 Irradiation

A measurement of spectrally integrated irradiance can be made using the measurement device outlined in Annex FF of IEC 60519-12:2013, being placed inside a water cooled housing.

Bibliography

- [1] IEC 60038, *IEC standard voltages*
- [2] IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)
- [3] IEC 60397:1994, *Test methods for batch furnaces with metallic heating resistors*
- [4] IEC 60398:1999, *Industrial electroheating installations – General test methods*
- [5] IEC 60519-2:2006, *Safety in electroheat installations – Part 2: Particular requirements for resistance heating equipment*
- [6] IEC 60825-1:2007, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*
- [7] IEC/TR 60825-9:1999, *Safety of laser products – Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation*
- [8] IEC 61010-1:2010, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*
- [9] IEC 62471:2006, *Photobiological safety of lamps and lamp systems*
- [10] IEC/TS 62796:—⁴, *Energy efficiency in electroheating installations*
- [11] IEC 62798: —, *Industrial electroheating equipment – Test methods for infrared emitters*
- [12] ISO 638:2008, *Paper, board and pulps – Determination of dry matter content – Oven-drying method*
- [13] ISO 2813:1994, *Paints and varnishes – Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 °, 60 ° und 85 °*
- [14] ISO 8254-1:2009, *Paper and board – Measurement of specular gloss – Part 1: 75 ° gloss with a converging beam, TAPPI method*
- [15] ISO 8254-2:2003, *Paper and board – Measurement of specular gloss – Part 2: 75 gloss with a parallel beam, DIN method*
- [16] ISO 8254-3:2004, *Paper and board – Measurement of specular gloss – Part 3: 20 ° gloss with a converging beam, TAPPI method*
- [17] ISO 10878, *Non-destructive testing – Infrared thermography – Vocabulary*
- [18] ISO 11093-3:1994, *Paper and board – Testing of cores – Part 3: Determination of moisture content using the oven drying method*
- [19] VDI/VDE 3511-1:1996, *Temperature measurement in industry – Principles and special methods of temperature measurement*
- [20] VDI/VDE 3511-2:1996, *Temperature measurement in industry – Contact thermometers*
- [21] VDI/VDE 3511-3:1994, *Temperature measurement in industry – Measuring systems and measured quantity treatment for electrical contact thermometer*
- [22] VDI/VDE 3511-4.1:2010, *Temperature measurement in industry – Radiation thermometry*
- [23] VDI/VDE 3511-4.2:2002, *Temperature measurement in industry – Maintenance of the specification for radiation thermometers*

⁴ To be published.

- [24] VDI/VDE 3511-4.3:2005, *Temperature measurement in industry – Radiation thermometry – Standard test methods for radiation thermometers with one wavelength range*
 - [25] VDI/VDE 3511-4.4:2005, *Temperature measurement in industry – Radiation thermometry – Calibration of radiation*
 - [26] VDI/VDE 3511-5:1994, *Temperature measurement in industry – Installation of thermometers*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	34
INTRODUCTION.....	35
1 Domaine d'application et objet.....	36
2 Références normatives.....	37
3 Termes et définitions.....	37
3.1 Généralités.....	37
3.2 États et parties.....	38
3.3 Charge de travail.....	39
4 Limites de l'installation pendant les essais.....	39
4.1 Considérations liées à l'énergie.....	39
4.2 Installations de type discontinu.....	40
4.3 Installations de type continu.....	41
5 Types d'essais et conditions générales d'essais.....	41
5.1 Généralités.....	41
5.2 Liste des essais.....	41
5.3 Conditions d'essais.....	42
5.3.1 Conditions de fonctionnement pendant les essais.....	42
5.3.2 Conditions d'environnement pendant les essais.....	42
5.3.3 Tension d'alimentation.....	42
5.4 Charge de travail fictive avec rayonnement infrarouge.....	43
6 Mesures.....	43
6.1 Généralités.....	43
6.2 Résolution temporelle.....	43
6.3 Mesures des données électriques.....	43
6.4 Mesure de la température.....	44
7 Essais techniques.....	44
7.1 Performance de l'installation en fonction de la tension d'alimentation.....	44
7.2 Consommation d'énergie et durée de l'opération de démarrage à l'état froid.....	45
7.3 Consommation de puissance électrique en veille à l'état chaud.....	45
7.4 Consommation de puissance électrique de l'opération de maintien.....	46
7.5 Consommation d'énergie pour l'opération de mise à l'arrêt et durée correspondante.....	46
7.6 Consommation d'énergie au cours d'une opération de maintenance périodique.....	46
7.7 Consommation d'énergie pendant le fonctionnement normal.....	47
7.8 Consommation d'énergie cumulée et consommation de puissance électrique de crête.....	47
7.9 Capacité de production nette.....	48
7.10 Efficacité du transfert d'énergie vers la charge de travail.....	48
7.11 Plage de traitement du fonctionnement prévu.....	48
7.12 Homogénéité de la charge de travail traitée.....	48
7.13 Répartition du rayonnement infrarouge dans l'étuve.....	49
8 Rendement de l'installation.....	49
8.1 Généralités.....	49
8.2 Rendement de la conversion électrique en infrarouge.....	49
8.2.1 Généralités.....	49
8.2.2 Calcul.....	50

8.3 Rendement électrothermique.....	51
8.4 Efficacité de la consommation électrique.....	51
8.5 Consommation d'énergie de la charge de travail.....	51
Annexe A (normative) Efficacité du transfert d'énergie.....	52
Annexe B (normative) Homogénéité de la charge de travail.....	56
Annexe C (informative) Mesure de la répartition du rayonnement à l'intérieur de l'installation.....	59
Bibliographie.....	60

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTALLATIONS ÉLECTROTHERMIQUES INDUSTRIELLES –
MÉTHODES D'ESSAIS RELATIVES AUX INSTALLATIONS
ÉLECTROTHERMIQUES PAR RAYONNEMENT INFRAROUGE**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62693 a été établie par le comité d'études 27 de la CEI: Chauffage électrique industriel et traitement électromagnétique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
27/877/CDV	27/902/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

INTRODUCTION

La présente norme relative aux méthodes d'essais des installations électrothermiques par rayonnement infrarouge fait partie des normes du CE 27 décrivant les méthodes d'essais pour divers types d'installations électrothermiques.

Les méthodes d'essai pour les fours relevant du domaine d'application de la CEI 60397 [3]¹ sont également couvertes dans la présente norme lorsque le rayonnement infrarouge est le transfert de chaleur prévu dans un tel équipement – on présume que cela est valable au-dessus d'une température réelle ou d'une température de traitement de 700 °C, indépendamment de la température assignée du four.

La présente norme n'a trait qu'aux essais relatifs aux équipements et installations par rayonnement infrarouge. Les essais traitant de la performance des émetteurs de rayonnement infrarouge seront couverts par la CEI 62798 ² [11]. La raison de cette séparation réside dans le fait que les installations par rayonnement infrarouge sont généralement fabriquées par des entreprises distinctes de celles des émetteurs de rayonnement infrarouge. Pourtant, les émetteurs infrarouges constituent une partie très importante et distincte des installations par rayonnement infrarouge et un ensemble d'essais permettant une comparaison appropriée des différents émetteurs infrarouges constituera un élément précieux pour les fabricants d'installations par rayonnement infrarouge.

Le principe directeur majeur de la présente norme consiste à définir les essais pouvant être réalisés à l'aide des équipements d'essais et de mesure habituels disponibles dans la plupart des entreprises, qu'elles soient grandes ou petites.

Les essais traitent de la qualité de fonctionnement et du rendement des installations, car ces aspects revêtent un intérêt majeur pour les fabricants et les utilisateurs de telles installations. Les essais sont destinés à permettre une comparaison équitable des installations appartenant à une classe donnée. La norme inclut des considérations et des essais liés à l'efficacité énergétique, de sorte que les essais puissent être utilisés pour l'évaluation de la consommation d'énergie, ainsi que pour l'optimisation énergétique des installations.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

² À l'étude.

INSTALLATIONS ÉLECTROTHERMIQUES INDUSTRIELLES – MÉTHODES D'ESSAIS RELATIVES AUX INSTALLATIONS ÉLECTROTHERMIQUES PAR RAYONNEMENT INFRAROUGE

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale spécifie les procédures d'essais, les conditions et méthodes d'essais selon lesquelles sont établis les principaux paramètres et les principales caractéristiques de fonctionnement des installations électrothermiques industrielles par rayonnement infrarouge.

Une limitation du domaine d'application réside dans le fait que les émetteurs de rayonnement infrarouge comportent une émission spectrale maximale aux longueurs d'onde supérieures à 780 nm dans l'air ou dans le vide, et émettent des spectres continus à large bande tels que par le rayonnement thermique ou les arcs à haute pression.

Dans les installations électrothermiques industrielles par rayonnement infrarouge, le rayonnement infrarouge est habituellement généré par les émetteurs de rayonnement infrarouge et le rayonnement infrarouge prédomine de façon significative sur la convection de chaleur ou la conduction thermique comme moyen de transfert de l'énergie sur la charge de travail.

La CEI 60519-1:2010 définit le rayonnement infrarouge en tant que rayonnement optique dans la plage de fréquences comprises entre approximativement 400 THz et 300 GHz. Cela correspond à la plage de longueurs d'onde comprises entre 780 nm et 1 mm dans le vide. Le chauffage industriel par rayonnement infrarouge utilise habituellement des sources de rayonnement infrarouge dont les températures assignées sont comprises entre 500 °C et 3 000 °C; le rayonnement émis par ces sources prédomine dans la plage de longueurs d'onde comprises entre 780 nm et 10 µm.

Les installations relevant du domaine d'application de la présente norme utilisent typiquement l'effet Joule pour la conversion de l'énergie électrique à l'intérieur d'une ou de plusieurs sources en rayonnement infrarouge émis sur la charge de travail. Ces émetteurs de rayonnement infrarouge sont en particulier

- des émetteurs de rayonnement infrarouge thermiques en céramique de forme tubulaire, en forme de plaque ou encore d'autres formes comportant à l'intérieur un élément résistif;
- des émetteurs de rayonnement infrarouge à lampe halogène ou tube en verre de silice comportant un filament chaud en tant que source;
- des éléments non isolés constitués de disiliciure de molybdène, de carbure de silicium ou de matériaux comparables;
- des éléments chauffants résistifs métalliques constitués, par exemple, d'alliages de nickel ou d'alliages fer-chrome-aluminium;
- des lampes à arc à large spectre.

La présente norme ne s'applique pas aux

- installations par rayonnement infrarouge comportant des lasers ou des diodes électroluminescentes (LED) en tant que sources principales – elles sont, en effet, couvertes par la CEI 62471:2006 [9], la CEI 60825-1:2007 [6] et le CEI/TR 60825-9:1999 [7];
- appareils destinés au grand public;
- appareils de laboratoire – ils sont couverts par la CEI 61010-1:2010 [8];

- installations électrothermiques lorsque les fils nus, les tubes ou les barres chauffés par résistance sont utilisés comme éléments chauffants, et le rayonnement infrarouge ne constitue pas un effet secondaire prédominant de l'utilisation prévue, couvertes par la CEI 60519-2:2006 [5];
- équipements de chauffage par rayonnement infrarouge dont la puissance électrique combinée nominale des émetteurs de rayonnement infrarouge est inférieure à 250 W;
- appareils par rayonnement infrarouge portatifs.

Les essais sont destinés à permettre une comparaison équitable de la qualité de fonctionnement des installations appartenant à une même classe.

Les essais liés à la sécurité des installations sont définis dans la CEI 60519-12:2013. Les essais liés à la performance des émetteurs de rayonnement infrarouge sont spécifiés dans la CEI 62798:— [11].

Par conséquent, la présente norme est applicable aux étuves et aux fours comportant des éléments chauffants résistifs, s'ils entrent dans le domaine d'application de la présente norme.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

CEI 60519-1:2010, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 1: Exigences générales*

CEI 60519-12:2013, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 12 Exigences particulières pour les installations électrothermiques par rayonnement infrarouge*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60519-12:2013 ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Les définitions générales figurent dans le Vocabulaire Électrotechnique International, CEI 60050 [2]. Les termes liés au chauffage électrique industriel sont définis dans la CEI 60050-841.

3.1 Généralités

3.1.1

classe d'installation

groupe au sein d'un type d'installation, utilisant le même principe de traitement de la charge de travail et de la taille de celle-ci, ainsi que la capacité de production

3.1.2

capacité de production

mesure de la capacité et du taux de production de l'équipement lors d'un fonctionnement normal

EXEMPLE Débit, masse ou volume.

Note 1 à l'article: La capacité ne se réfère pas au volume de l'espace de travail.

3.1.3

rendement électrothermique, <d'une installation>

rapport entre l'augmentation de l'enthalpie utilisable dans la charge de travail et l'énergie électrique qui lui est fournie à l'emplacement de l'équipement, au cours d'un cycle de fonctionnement discontinu ou d'un fonctionnement stationnaire pendant une période de temps adaptée pour les mesures

[SOURCE CEI 60050-841:2004, 841-22-70, modifiée – Le terme lui-même a été modifié et les détails par rapport au type de fonctionnement ont été ajoutés.]

3.1.4

rendement de conversion électrique

quotient entre la puissance de sortie active électrique disponible pour le transfert vers la charge de travail, et la puissance active d'entrée électrique provenant du réseau d'alimentation, aux réglages de puissance en vue d'un fonctionnement normal

Note 1 à l'article: Le concept ne s'applique pas à la conversion de l'énergie électrique en rayonnement infrarouge par des éléments chauffés.

3.1.5

qualité de la charge de travail prévue qualité du produit

degré auquel un ensemble de caractéristiques intrinsèques d'une charge de travail traitée remplit les exigences

Note 1 à l'article: Toute charge de travail n'atteignant pas la qualité de charge de travail prévue est considérée comme à mettre au rebut ou à retoucher, en vue d'atteindre la qualité de charge de travail prévue.

3.2 États et parties

3.2.1

démarrage à l'état froid

processus par lequel l'équipement est mis sous tension pour atteindre le fonctionnement en mode veille à l'état chaud, en partant de l'état à froid, incluant toutes les autres opérations de démarrage permettant à l'équipement de fonctionner comme prévu

Note 1 à l'article: Ce mode de fonctionnement s'applique à des cas dans lesquels il existe une consommation d'énergie significative nécessaire pour obtenir un état de l'équipement permettant le traitement réel de la charge de travail.

3.2.2

puissance de maintien

consommation de puissance électrique pendant laquelle la charge de travail est maintenue dans l'enceinte de traitement à une température spécifiée

Note 1 à l'article: La température est généralement maintenue pendant une durée destinée à stabiliser la température de la charge de travail.

Note 2 à l'article: Ce mode de fonctionnement n'est pas applicable à certains types d'équipements électrothermiques.

3.2.3

fonctionnement en veille à l'état chaud

mode de fonctionnement de l'installation se produisant immédiatement après le fonctionnement normal

Note 1 à l'article: Ce mode de fonctionnement de l'installation demeure à l'état chaud, sans charge de travail, et ses modalités de fonctionnement étant prêtes rapidement pour un fonctionnement normal.

3.2.4

fonctionnement normal

plage de réglages de la puissance de sortie avec la charge de travail normale dans les conditions de travail admissibles de l'installation, comme spécifié par la documentation du fabricant

3.2.5

opération de mise à l'arrêt

processus par lequel l'installation est mise hors tension en toute sécurité pour atteindre l'état froid

3.2.6

port

ouverture d'entrée ou de sortie dans l'enveloppe ou l'enceinte de traitement à travers laquelle se déplace la charge de travail

3.2.7

moyen d'accès

tout élément structurel de l'installation électrothermique par rayonnement infrarouge pouvant être ouvert ou enlevé sans utiliser d'outil pour donner accès à l'intérieur de l'installation

3.3 Charge de travail

3.3.1

charge de travail normale

objet destiné à être traité tel que spécifié dans la documentation du fabricant

Note 1 à l'article: La charge de travail est appelée « charge » dans certains contextes électrothermiques.

Note 2 à l'article: La charge de travail inclut tout récipient, support ou autre dispositif nécessaire au traitement et qui est directement ou indirectement soumis à la puissance de sortie.

3.3.2

charge de travail fictive

charge de travail artificielle aux propriétés thermiques connues, conçue pour les mesures d'augmentation de l'enthalpie précises par absorption de la puissance de sortie disponible

3.3.3

charge de travail fictive avec rayonnement infrarouge

IDW (*infrared dummy workload*)

charge de travail fictive destinée à imiter le comportement physique de la charge de travail, en particulier son comportement d'absorption du rayonnement, permettant la mesure efficace des paramètres spécifiques du processus

Note 1 à l'article: À titre d'exemple d'un paramètre spécifique, on peut citer l'homogénéité de traitement de la surface de la charge de travail.

Note 2 à l'article: L'abréviation IDW vient de l'anglais « infrared dummy workload ».

4 Limites de l'installation pendant les essais

4.1 Considérations liées à l'énergie

Il est nécessaire de définir les limites de l'installation par rapport aux équipements et à la consommation d'énergie, à inclure dans les considérations ou à exclure de celles-ci pendant les essais et les calculs. Les définitions suivantes des limites sont destinées à permettre des comparaisons équitables tant pour les installations de type discontinu que continu:

- a) L'énergie de compression ou de décompression de vapeur, d'air ou de tout autre gaz dans l'enceinte de traitement doit être incluse dans les calculs de l'énergie consommée et perdue de l'installation.
- b) L'énergie chimique exothermique ou endothermique impliquant tous gaz réactifs dans le traitement de la charge de travail doit être incluse.
- c) L'énergie utilisée pour l'action de refroidissement par tous gaz réactifs et/ou inertes en excès dans le traitement de la charge de travail doit être incluse dans le calcul de l'énergie consommée et perdue de l'installation.
- d) L'énergie utilisée pour le refroidissement de la charge de travail traitée à température ambiante ou en tant que préparation pour un traitement ultérieur dans le cadre d'un fonctionnement normal doit être incluse, mais indiquée séparément dans le calcul de l'énergie consommée et perdue. Si une partie de cette énergie thermique est de nouveau transférée dans l'installation ou le processus, ce recyclage de l'énergie thermique doit figurer séparément dans un rapport, en vue de permettre des comparaisons avec d'autres installations de la même classe mais ne comportant pas cette caractéristique. L'énergie thermique utilisée à l'extérieur de ce processus ne doit pas figurer dans le rapport.

4.2 Installations de type discontinu

Les installations de type discontinu sont caractérisées par un traitement discontinu. Si des moyens d'accès sont présents, ils sont ouverts et une charge de travail est placée à l'intérieur de l'enceinte de traitement de l'installation puis elle est soumise à un fonctionnement normal. Les moyens d'accès sont ensuite rouverts et la charge de travail est retirée de l'enceinte de traitement et soit l'installation passe en mode de fonctionnement en veille à l'état chaud, les moyens d'accès étant fermés, soit le processus est redémarré avec une autre charge de travail.

Le mode de fonctionnement normal comprend toujours l'échauffement et peut également inclure un ou plusieurs des sous-processus suivants:

- fermeture et ouverture des moyens d'accès;
- mise sous pression de l'enceinte de traitement;
- transport de la charge de travail – cela inclut, par exemple, des mouvements d'oscillation au cours du fonctionnement;
- maintien de la charge de travail à une température spécifiée pendant une durée spécifiée;
- introduction de gaz réactifs ou protecteurs dans l'enceinte de traitement – y compris les procédés de dépôt;
- refroidissement naturel ou forcé de la charge de travail – par exemple, si le refroidissement est nécessaire pour éviter un endommagement par exposition de la charge de travail à l'état chaud à une atmosphère ambiante.

L'énergie utilisée pour réaliser ces sous-processus doit être incluse. La limite spatiale de l'installation par rapport au processus est définie par:

- a) une position du port d'entrée où est placée la charge de travail avant le fonctionnement normal ou l'équipement qui transporte la charge de travail dans l'enceinte de traitement; cet équipement et sa consommation d'énergie font partie de l'installation;
- b) une position du port de sortie où est placée la charge de travail après le fonctionnement normal en vue de son retrait, ou l'équipement qui déplace la charge de travail à l'extérieur de l'enceinte de traitement; cet équipement et sa consommation d'énergie font partie de l'installation;
- c) tous les équipements intermédiaires, y compris par exemple, tous les appareillages de commutation, les pompes, les dispositifs de refroidissement nécessaires pour faire fonctionner l'équipement.

NOTE Dans l'équipement à vide, la limite entre l'installation par rayonnement infrarouge et une autre installation est typiquement une vanne.

Le cycle de fonctionnement en discontinu approprié à la mesure doit débuter après le fonctionnement en veille à l'état chaud.

4.3 Installations de type continu

Les installations de type continu sont caractérisées par un traitement continu ou semi-continu. La charge de travail est acheminée à travers l'enceinte de traitement de l'installation pendant un fonctionnement normal. Les étapes du traitement ont lieu en des positions consécutives à l'intérieur de l'installation, tandis que la charge de travail y est transportée – par exemple dans le cadre d'opérations à rouleaux couplés ou dans des installations d'alimentation en feuilles. Ce type d'installation passe habituellement en fonctionnement en veille à l'état chaud lorsqu'aucune charge de travail n'est acheminée.

Le fonctionnement normal comprend toujours l'échauffement et peut inclure un ou plusieurs des sous-processus ayant lieu en des positions spatiales séparées à l'intérieur de l'installation:

- maintien de la charge de travail à une température spécifiée;
- introduction de gaz réactifs ou protecteurs – y compris les procédés de dépôt;
- refroidissement naturel ou forcé de la charge de travail – par exemple, si le refroidissement est nécessaire pour éviter un endommagement par exposition de la charge de travail à l'état chaud à une atmosphère ambiante.

L'énergie utilisée pour réaliser ces processus doit être incluse. La limite de l'installation est définie par

- a) les ports d'entrée ou de sortie;
- b) tous les équipements intermédiaires, y compris par exemple, tous les appareillages de commutation, les pompes, les dispositifs de refroidissement nécessaires pour le fonctionnement de l'équipement.

La consommation d'énergie du transport ou de la manipulation des rouleaux dans des installations autonomes est incluse dans l'énergie utilisée. Il faut l'indiquer séparément dans les calculs.

5 Types d'essais et conditions générales d'essais

5.1 Généralités

Aucun essai n'est défini pour les installations à l'état froid. Tous ces essais sont liés à la sécurité et ne sont pas compris dans le champ d'application de la présente norme. Les essais pertinents liés à la sécurité sont décrits dans la CEI 60519-1 et la CEI 60519-12.

5.2 Liste des essais

Les essais suivants doivent être conduits à l'état chaud de l'installation pendant la mise en service ou lorsque l'installation est prête pour un fonctionnement normal ainsi qu'à intervalles réguliers tels que spécifiés par le fabricant, à la suite de la maintenance ou après des modifications:

- a) influence de la tension d'alimentation sur la performance, se reporter au 7.1;
- b) consommation d'énergie pendant l'opération de démarrage à l'état froid et temps nécessaire, se reporter au 7.2;
- c) consommation de puissance électrique pendant le fonctionnement en veille, se reporter au 7.3;
- d) consommation de puissance électrique pendant l'opération de maintien, se reporter au 7.4;

- e) consommation d'énergie pendant l'opération de mise à l'arrêt et temps nécessaire, se reporter au 7.5;
- f) consommation d'énergie pendant l'opération de maintenance périodique, se reporter au 7.6;
- g) consommation d'énergie pendant le fonctionnement normal, se reporter au 7.7;
- h) consommation d'énergie pendant un cycle complet de fonctionnement et consommation de crête, se reporter au 7.8;
- i) capacité de production, se reporter au 7.9;
- j) l'efficacité du transfert d'énergie à la charge de travail, se reporter à l'Annexe A;
- k) plage de traitement de l'installation en vue de réaliser l'opération prévue, se reporter au 7.11;
- l) homogénéité du traitement de la charge de travail, se reporter à l'Annexe B;
- m) répartition du rayonnement infrarouge à l'intérieur de l'installation, se reporter à l'Annexe C.

Des essais additionnels peuvent être spécifiés dans les manuels de mise en service et de fonctionnement publiés par le fabricant ou ils peuvent être convenus entre le fabricant et l'utilisateur.

5.3 Conditions d'essais

5.3.1 Conditions de fonctionnement pendant les essais

Les conditions de fonctionnement pendant les essais doivent se situer dans des conditions de fonctionnement normal et ainsi refléter l'utilisation prévue par le fabricant de l'installation, tout en excluant des modes d'utilisation extrêmes, des mauvaises utilisations intentionnelles ou des modifications non autorisées de l'installation ou de ses paramètres de fonctionnement.

5.3.2 Conditions d'environnement pendant les essais

Tous les essais doivent être effectués

- a) dans des conditions d'environnement normalisées, à température ambiante dans la plage comprise entre 5 °C et 40 °C et en humidité relative de l'air inférieure à 95 %, ou
- b) au niveau du point d'utilisation de l'installation dans des conditions d'environnement disponibles et spécifiées ici.

Les conditions d'environnement ne doivent pas dépasser celles définies pour l'objectif visé de l'installation. Toutes les conditions d'environnement influant sur les résultats des mesures doivent être contrôlées pendant les essais et figurer dans le rapport de mesure. Ceci inclut

- la température de l'air et l'humidité de l'air à proximité de l'installation;
- la température et l'humidité de l'air de refroidissement aspiré dans l'installation;
- la température de l'air évacué;
- la température de la charge de travail au moment de son entrée dans l'installation;
- le taux d'humidité de la charge de travail au moment de son entrée dans l'installation, le cas échéant.

5.3.3 Tension d'alimentation

La tension d'alimentation ne doit pas dépasser les limites définies pour l'objectif visé.

NOTE Les limites de variation de la tension de ligne sont fixées dans la CEI 60038 [1].

La tension d'alimentation pour l'installation doit être contrôlée au cours des essais.

Toutes les mesures des valeurs électriques spécifiques, telles que la consommation de puissance électrique ou le courant doivent inclure les données liées à la tension d'alimentation.

5.4 Charge de travail fictive avec rayonnement infrarouge

Les aspects suivants doivent être pris en compte lors de l'utilisation d'une charge de travail fictive avec rayonnement infrarouge (ou IDW, *Infrared Dummy Workload*):

- dans le cas d'une charge de travail plane, l'IDW doit être plane;
- l'IDW doit avoir la même taille dans les processus de type discontinu ou la même largeur dans les processus continus que la charge de travail prévue, si les effets couvrant la pleine dimension utilisable de l'installation doivent être soumis à l'essai;
- dans le cas où il est prévu de traiter des charges de travail de forme complexe, la forme de l'IDW doit inclure toutes les caractéristiques géométriques pertinentes de la charge de travail normale;
- pour la mesure de l'homogénéité de température, l'IDW doit posséder une capacité d'absorption de chaleur comparable, à savoir le facteur de volume, de densité et de capacité thermique c_p ;
- pour la mesure de l'homogénéité de l'évaporation, l'IDW doit être constituée du même matériau que la charge de travail et être préparée avec une quantité comparable de substance évaporable;
- pour la mesure de l'homogénéité de réticulation, l'IDW doit être constituée du même matériau que la charge de travail.

6 Mesures

6.1 Généralités

Il est recommandé plus d'une mesure pour les essais définis dans la présente norme. Pour les mesures à résolution temporelle, un enregistreur de données ou un système d'acquisition des données électroniques multicanaux doit être utilisé, qui mesure et stocke automatiquement les données nécessaires sous forme lisible par ordinateur.

6.2 Résolution temporelle

La résolution temporelle nécessaire de l'équipement de mesure et du taux de sauvegarde des données des dispositifs de stockage dépend de l'installation et des essais spécifiques à entreprendre. La fréquence de mesure et la fréquence de stockage doivent être suffisamment élevées pour que toutes les variations de signal appropriées soient enregistrées.

6.3 Mesures des données électriques

6.3.1 Tous les équipements de mesure de la tension doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure du courant alternatif doit être en mesure d'indiquer la valeur efficace vraie indépendamment de la forme d'onde.

6.3.2 Tous les équipements de mesure du courant doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure du courant s'agissant du courant alternatif doit être à même de mesurer la valeur efficace vraie indépendamment de la forme d'onde.

6.3.3 Tous les équipements de mesure de la consommation d'énergie doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure doit être à même de mesurer l'énergie active ou réactive indépendamment de la forme d'onde.

6.3.4 Tous les équipements de mesure de la consommation de puissance électrique doivent être de classe 2.0 ou supérieure. L'équipement de mesure doit être à même de mesurer la puissance active ou réactive indépendamment de la forme d'onde.

6.3.5 Les mesures de toutes les valeurs électriques, qui font partie intégrante d'un essai de consommation d'énergie ou de puissance électrique de l'installation doivent être réalisées au niveau de l'entrée de puissance électrique de l'installation.

6.3.6 Les mesures de toutes les valeurs électriques qui font partie intégrante d'un essai de consommation d'énergie ou de puissance électrique des émetteurs de rayonnement infrarouge de l'installation doivent être réalisées au niveau de la sortie de puissance électrique de l'appareillage de commutation connecté aux émetteurs; les transformateurs, les circuits à condensateur ou dispositifs comparables nécessaires pour entraîner l'émetteur font partie intégrante de l'appareillage de commutation.

6.3.7 Les mesures de toutes les valeurs électriques qui font partie intégrante d'un essai de consommation d'énergie ou de puissance électrique de l'équipement auxiliaire doivent être réalisées au niveau de la sortie de puissance électrique de l'appareillage de commutation connecté à cet équipement.

6.3.8 Des points d'accès spécifiques peuvent être installés au cours de la fabrication de l'installation. L'équipement de mesure peut faire partie de l'appareillage de commutation; sa consommation d'énergie est considérée comme partie intégrante de la consommation d'énergie de l'appareillage de commutation.

6.4 Mesure de la température

Le type d'équipement utilisé pour la mesure de la température dépend par exemple de la tâche, de la plage de températures, des informations disponibles sur les surfaces mesurées, et de l'accessibilité.

Les thermocouples de contact sont simples à l'utilisation et fiables. Ils fournissent des résultats fiables et exacts si un contact étroit et inamovible à une surface d'un objet de forte masse et de bonne conduction thermique au thermocouple est possible.

Les pyromètres et les caméras infrarouges résumés par le terme de "méthodes thermographiques" peuvent être utilisés sur toutes les surfaces à température élevée, lorsque l'émissivité de la surface est bien connue et lorsque la surface est considérée comme lambertienne – c'est-à-dire suivant une loi de Lambert (loi des cosinus) d'émissivité angulaire. La valeur utilisée d'émissivité, la longueur d'onde de mesure et l'erreur présumée d'émissivité doivent figurer dans tous les rapports de mesure.

L'erreur de mesure relative pour toutes les mesures de la température en conformité avec la présente norme ne doit pas dépasser 5 % de la température de la valeur mesurée indiquée en °C. La précision de mesure doit être incluse dans le rapport de mesure.

NOTE La série [19 – 26] de normes allemandes VDI/VDE 3511 fournit des informations sur les meilleures pratiques de mesure de températures dans le domaine industriel.

7 Essais techniques

7.1 Performance de l'installation en fonction de la tension d'alimentation

La tension d'alimentation réelle ou sa variation influe sur la performance de l'installation électrothermique par rayonnement infrarouge, si les émetteurs de rayonnement infrarouge y fonctionnent directement ou par l'intermédiaire de transformateurs fixes. Cet effet peut être encore plus important, si la tension d'alimentation réelle ou la tension d'alimentation déclarée diffère de la tension d'alimentation assignée.

La variation de la consommation de puissance électrique des émetteurs de rayonnement infrarouge individuels avec l'application de leur tension de fonctionnement dépend du type d'émetteur. Ces données peuvent être fournies par le fabricant de l'émetteur et la variation de la consommation de puissance électrique avec sa tension de fonctionnement réelle

- doit être calculée en utilisant ces données,
- ou peut être mesurée par repérage de la tension d'alimentation de l'installation et la consommation de la puissance électrique de l'installation ou des émetteurs sur une longue période et à des réglages autrement constants de l'installation.

NOTE La future norme relative aux essais des émetteurs de rayonnement infrarouge [11] prendra en considération la mesure de la variation de la consommation de puissance électrique en fonction de la tension.

La variation de la puissance avec la tension de fonctionnement réelle influe également sur d'autres paramètres de l'installation – par exemple la température des parois, le temps de traitement, le temps d'échauffement.

La tension d'alimentation réelle peut également influencer sur les résultats de tous les essais; cela doit figurer dans le rapport d'essai.

7.2 Consommation d'énergie et durée de l'opération de démarrage à l'état froid

Ce qui suit s'applique à la mesure de la durée du démarrage à froid et de la consommation d'énergie pour des installations qui, en fait, nécessitent de réaliser cette opération avant le fonctionnement normal.

- a) L'installation doit être échauffée en partant des conditions ambiantes comme indiqué au 5.3.2.
- b) L'installation est mise en fonctionnement sans charge de travail, si applicable.
- c) Tout préchauffage de la zone ou de l'enceinte de traitement en vue d'atteindre un état aussi proche qu'il est raisonnable du fonctionnement en veille à l'état chaud est effectué, si applicable.
- d) La consommation d'énergie électrique totale pour le démarrage à froid et le temps correspondant sont mesurés.

La consommation d'énergie du démarrage à froid peut être mesurée pour

- l'installation par rayonnement infrarouge complète;
- les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement;
- l'équipement auxiliaire uniquement.

Si l'installation est prévue pour être échauffée en toute sécurité avec uniquement la charge de travail, ceci doit être pris en considération.

7.3 Consommation de puissance électrique en veille à l'état chaud

Ce qui suit s'applique à la mesure de la consommation de puissance électrique de la veille à l'état chaud:

- a) L'installation est mise en fonctionnement sans charge de travail, si applicable.
- b) Les conditions de fonctionnement en veille à l'état chaud sont maintenues.
- c) La consommation totale d'énergie au cours de la veille à l'état chaud et la durée de la veille à l'état chaud sont mesurées.

La puissance pour la veille à l'état chaud peut être mesurée pour

- l'installation par rayonnement infrarouge complète;
- les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement;

- l'équipement auxiliaire uniquement.

7.4 Consommation de puissance électrique de l'opération de maintien

La caractéristique de maintien d'une installation est habituellement nécessaire pour obtenir l'équilibre thermique de la charge de travail après le processus approprié et elle n'existe pas dans certains types d'installation.

NOTE La principale différence entre la veille à l'état chaud et le maintien réside dans le fait que la charge de travail est présente dans ce dernier cas et peut émettre un rayonnement, ou fournir une énergie de convection ou de conduction à son environnement ambiant. Cela est habituellement compensé par la variation de l'alimentation en énergie externe pour maintenir la température de la charge de travail.

Ce qui suit s'applique à la mesure de la consommation de puissance électrique pendant l'opération en maintien de la température comportant la charge de travail:

- a) L'essai est applicable si le maintien fait partie du fonctionnement normal.
- b) L'installation est mise en fonctionnement avec une charge de travail échauffée.
- c) La température de la charge de travail est maintenue constante, en utilisant des réglages de commande particuliers prévus à cet effet.
- d) La consommation d'énergie totale pendant le maintien et le temps de maintien sont mesurés.

La puissance de maintien peut être mesurée pour

- l'installation par rayonnement infrarouge complète;
- les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement;
- l'équipement auxiliaire uniquement.

7.5 Consommation d'énergie pour l'opération de mise à l'arrêt et durée correspondante

Ce qui suit s'applique à la mesure de la consommation d'énergie pendant l'opération de mise à l'arrêt, si applicable:

- a) L'installation est mise à l'arrêt, tel que spécifié par le fabricant.
- b) La consommation d'énergie totale pendant la mise à l'arrêt et le temps de mise à l'arrêt sont mesurés.

La consommation de puissance électrique pour la mise à l'arrêt peut être mesurée pour

- l'installation par rayonnement infrarouge complète;
- les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement – si applicable;
- l'équipement auxiliaire uniquement.

7.6 Consommation d'énergie au cours d'une opération de maintenance périodique

Ce qui suit s'applique à la mesure de la consommation d'énergie pendant la maintenance et de la durée correspondante, si applicable:

- a) La maintenance de l'installation est réalisée telle que spécifiée par le fabricant.
- b) La consommation d'énergie totale pendant l'opération de maintenance et le temps nécessaire à la maintenance sont mesurés.

La consommation de puissance pour la maintenance peut être mesurée pour

- l'installation par rayonnement infrarouge complète;
- les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement;
- l'équipement auxiliaire uniquement;

- l'équipement de maintenance spécifique uniquement.

7.7 Consommation d'énergie pendant le fonctionnement normal

Toutes les mesures de la consommation d'énergie électrique doivent refléter la consommation spécifique par des parties définies de l'installation pendant une période de temps définie ou un fonctionnement spécifique. Ce qui suit doit figurer dans le rapport, le cas échéant:

- a) La consommation d'énergie d'une installation de type discontinu au cours d'un cycle; la mesure et la moyenne peuvent en être effectuées sur un nombre défini de cycles. Le nombre de cycles et la variation de la consommation d'énergie doivent être enregistrés dans le rapport d'essai.
- b) L'énergie d'une installation à fonctionnement continu pendant le traitement d'une quantité définie de charge de travail.
- c) La consommation d'énergie de l'installation sur un cycle de production complet – par exemple, pendant une journée de travail, une semaine ou une année complète.

La consommation d'énergie pour un fonctionnement normal peut être mesurée pour

- l'installation par rayonnement infrarouge complète;
- les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement;
- l'équipement auxiliaire uniquement.

7.8 Consommation d'énergie cumulée et consommation de puissance électrique de crête

La mesure de la consommation de puissance électrique à résolution temporelle de l'installation permet le calcul de la consommation d'énergie cumulée pour un fonctionnement complet de l'installation et la mesure de la consommation de puissance électrique de crête. L'essai doit être réalisé en contrôlant la consommation de puissance électrique à résolution temporelle de l'installation complète sur:

- a) un cycle, si l'installation refroidit entre les cycles;
- b) une période de travail, si l'installation fonctionne pendant quelques heures, mais refroidit à la fin d'une journée de travail;
- c) ou sur la période complète d'échauffement et une heure de fonctionnement si l'installation fonctionne en continu.

La conversion électrique interne et l'appareillage de commutation de l'installation sont conçus en vue d'accepter une consommation de puissance électrique de crête spécifiée. Elle définit la puissance assignée utilisée pour la conception et le dimensionnement de l'alimentation en électricité de l'installation. La consommation de puissance électrique de crête réelle doit être mesurée sur un cycle de processus complet typique en partant de l'échauffement jusqu'au refroidissement.

La consommation de puissance électrique de crête de l'installation peut être atteinte pendant une des étapes suivantes:

- le préchauffage de l'installation en traitement continu;
- l'échauffement d'une installation de type discontinu;
- ou au cours d'autres modes de fonctionnement.

NOTE Une cartographie à résolution de phase des processus de la puissance consommée constitue la base d'un dispositif de commande intelligente ou d'un dispositif de commande à bon rendement énergétique de l'installation. Elle permet la réduction des pointes ou des intervalles de traitement mobiles avec une consommation d'énergie élevée à des périodes avec une basse consommation de l'installation ou des périodes de basse puissance électrique ou avec des coûts énergétiques faibles.

7.9 Capacité de production nette

La capacité de production nette est une mesure du rendement en sortie de l'installation en vue de la qualité de la charge de travail prévue. Seules sont évaluées les parties de la charge de travail disposant de la qualité de la charge de travail prévue après avoir suivi le processus prévu.

La quantité de charge de travail doit être comptée ou mesurée:

- a) lorsqu'elle est placée dans l'installation et qu'elle est de qualité suffisante pour ne pas être rejetée à ce stade, on en vérifie la qualité juste avant le début du processus;
- b) lorsqu'elle quitte l'installation et qu'elle est d'une qualité prévue de charge de travail, on en vérifie la qualité juste après la fin du processus.

La quantité de charge de travail doit être

- comptée, lorsqu'elle est dénombrable;
- indiquée en masse par unité de temps, lorsqu'elle n'est pas dénombrable, ou
- indiquée en unité de surface par unité de temps, lorsqu'elle est sous forme de feuilles.

Le taux de production nette prenant uniquement en compte la charge de travail traitée de qualité prévue doit être indiqué pour un seul processus de type discontinu ou pour une période de temps définie. Il est défini comme la quantité de charge de travail de qualité prévue divisée par toute la charge de travail traitée.

Le taux de rebut est défini comme la quantité de charge de travail qui n'est pas de qualité prévue divisée par toute la charge de travail traitée.

7.10 Efficacité du transfert d'énergie vers la charge de travail

L'estimation de l'efficacité du transfert d'énergie vers la charge de travail est typiquement une tâche complexe. Les méthodes d'essai concernant l'efficacité du transfert depuis l'installation vers la charge de travail figurent à l'Annexe A de la présente norme.

7.11 Plage de traitement du fonctionnement prévu

La plage de traitement d'une installation pour un processus spécifique est définie comme la plage située entre une limite supérieure et une limite inférieure des paramètres établis entre lesquels la charge de travail traitée présente la qualité prévue. Les conditions de traitement peuvent encore varier à l'intérieur de l'installation et ainsi sur la surface de la charge de travail.

La plage de traitement peut être mesurée en utilisant l'approche suivante:

- a) L'installation est mise en fonctionnement avec la charge de travail et le réglage de la puissance électrique est augmenté jusqu'à ce que la charge de travail complète soit bien traitée – c'est-à-dire, la partie de la charge de travail qui reçoit la quantité la plus faible de rayonnement infrarouge pendant le traitement est soumise au processus nécessaire. Il s'agit de la limite inférieure.
- b) L'installation est mise en fonctionnement avec la charge de travail et le réglage de la puissance électrique est de nouveau augmenté jusqu'à ce que la charge de travail présente les premiers signes de surchauffe – par exemple, la partie de la charge de travail qui reçoit la quantité la plus élevée de rayonnement infrarouge présente des signes d'assujettissement à un processus destructif. Il s'agit de la limite supérieure.

7.12 Homogénéité de la charge de travail traitée

Les essais relatifs à l'homogénéité du traitement sur la surface de la charge de travail représentent typiquement une question complexe. Les méthodes d'essais varient selon la

quantité ou la qualité spécifique qui constitue le but essentiel du processus réalisé dans l'installation. Les spécifications figurent à l'Annexe B.

7.13 Répartition du rayonnement infrarouge dans l'étuve

Les essais de la répartition du rayonnement infrarouge à l'intérieur de l'installation en fonctionnement peuvent être nécessaires pour l'estimation du rendement de la conversion électrique en infrarouge (8.2) ou pour le repérage de la source de traitement non homogène de la charge de travail. Les méthodes d'essais concernant la répartition du rayonnement infrarouge à l'intérieur de l'installation figurent à l'Annexe C.

8 Rendement de l'installation

8.1 Généralités

Les résultats des essais figurant à l'Article 7 permettent le calcul des valeurs de rendement pertinentes de l'installation.

L'énergie minimale théoriquement nécessaire, par pièce, par unité de masse ou par unité de surface de la charge de travail soumise au processus prévu correspond à

$$E_{\min} = m \cdot c_p(T) \cdot \Delta T + E_{\text{eva}} + R \quad (1)$$

où

m est la masse de la charge de travail;

$c_p(T)$ est la chaleur spécifique de la charge de travail;

ΔT est la variation de température allant de la température ambiante à la température maximale du processus;

E_{eva} est l'énergie nécessaire pour l'évaporation des solvants pendant le processus pour une masse m de la charge de travail;

R est l'énergie nécessaire pour que les réactions chimiques prévues aient lieu pour une masse m de la charge de travail.

Des processus supplémentaires peuvent être envisagés. La Formule (1) est liée au calcul de l'énergie minimale nécessaire pour réaliser le processus prévu, lorsqu'aucune énergie n'est perdue et aucune énergie n'est réutilisée ou recyclée dans l'installation.

8.2 Rendement de la conversion électrique en infrarouge

8.2.1 Généralités

Le rendement de la conversion électrique en infrarouge est le rendement de la conversion de la puissance électrique en rayonnement infrarouge à l'intérieur de l'installation. Il s'agit d'une caractéristique significative des installations électrothermiques industrielles par rayonnement infrarouge, car il convient qu'elle soit le moyen prédominant du transfert d'énergie. Le rendement de la conversion en infrarouge est défini ainsi:

$$\eta_{\text{conv}} = \frac{E_{\text{irr}}}{E_{\text{inst}}} \quad (2)$$

où

η_{conv} est le rendement de la conversion électrique-en-infrarouge;

E_{irr} est le l'énergie du rayonnement irradié sur la charge de travail;

E_{inst} est la consommation d'énergie de l'installation.

Ce rendement peut être soit indiqué pour la consommation d'énergie de l'installation dans son ensemble soit pour celle des émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement.

Une première étape comprend la définition et le calcul de l'aptitude à la conversion électrique-en-infrarouge

$$\eta_{\text{con-ab}} = \frac{\sum_i \eta_{i,\text{conv}} \cdot E_i}{\sum_i E_i} \quad (3)$$

où

$\eta_{\text{con-ab}}$ est l'aptitude à la conversion électrique-en-infrarouge de l'installation;

$\eta_{i,\text{conv}}$ est le rendement de la conversion électrique-en-infrarouge du i -ème émetteur;

E_i est la consommation d'énergie dans les conditions d'essai du i -ème émetteur.

NOTE Une méthode d'essai en vue de mesurer le rendement de conversion d'un émetteur unique sera fournie dans la CEI 62798 [11].

Cette valeur ne décrit pas le rendement de conversion, mais la quantité de rayonnement infrarouge produite par les émetteurs de rayonnement infrarouge à l'intérieur de l'équipement, en prenant pour hypothèse que tous les émetteurs de rayonnement infrarouge fonctionnent dans les conditions d'essais de l'émetteur unique, qui peuvent diverger considérablement des conditions de fonctionnement à l'intérieur de l'installation. Le rendement de conversion électrique de l'équipement diffère de l'aptitude à la conversion électrique pour les raisons suivantes:

- la différence des conditions de fonctionnement des émetteurs uniques aux conditions d'essais pour mesurer le rendement de conversion électrique de l'émetteur unique et des conditions de mesure réelles dans l'installation;
- la réabsorption du rayonnement entre les émetteurs;
- l'absorption du rayonnement par des gaz ou des fumées à l'intérieur de l'équipement;
- l'absorption du rayonnement à l'intérieur de l'équipement;
- la perte de rayonnement par l'équipement à travers les ouvertures;
- la réflexion du rayonnement émanant de la charge de travail;
- l'émission de rayonnement par d'autres surfaces à l'intérieur de l'équipement,

pour nommer les effets les plus importants. Ainsi, le rendement de conversion peut être supérieur ou inférieur à l'aptitude à la conversion mais il tend à être inférieur.

8.2.2 Calcul

Le rendement de conversion en infrarouge peut être estimé à partir des données générées par une mesure, telle que décrite à l'Annexe C, si non seulement la variation d'irradiation est mesurée, mais l'irradiation elle-même est tracée et les effets par ailleurs provoqués par la charge de travail sont inclus dans la mesure. Lesdites mesures dépassent habituellement les capacités du secteur industriel.

Le rendement électrothermique tel que défini en 8.3 ou à l'Annexe A est habituellement appliqué (car plus accessible et disposant d'une marge d'erreur plus étroite).

8.3 Rendement électrothermique

Le rendement électrothermique est calculé ainsi:

$$\eta_{\text{inst}} = E_{\text{min}}/E_{\text{inst}} \quad (4)$$

Le rendement doit être indiqué

- pour l'installation dans son ensemble;
- pour les émetteurs de rayonnement infrarouge uniquement.

8.4 Efficacité de la consommation électrique

L'efficacité de la consommation électrique est définie ainsi:

$$\eta_{\text{power}} = \bar{P}_{\text{nop}}/P_{\text{max}} \quad (5)$$

où

η_{power} est l'efficacité de la consommation électrique;

\bar{P}_{nop} est la consommation de puissance électrique moyenne au cours d'un fonctionnement normal;

P_{max} est la consommation de puissance électrique de crête (voir 7.6).

Il s'agit d'une mesure de la capacité ou de la latitude de traitement de l'installation. Elle indique les possibilités en vue de modifications de processus futures. Elle peut être interprétée comme une mesure de la qualité conceptuelle concernant particulièrement la prévision de la consommation d'énergie par l'installation.

8.5 Consommation d'énergie de la charge de travail

L'énergie consommée pour le traitement de la charge de travail par quantité de charge de travail est calculée à l'aide de la consommation d'énergie de l'installation, y compris la consommation d'énergie pour le démarrage, le maintien, la veille à l'état chaud et la mise à l'arrêt. Il s'agit de la consommation d'énergie totale moyenne de l'installation divisée par la quantité de la charge de travail de qualité prévue réalisée au cours de la mesure. Il s'agit de

- la consommation d'énergie par pièce, lorsque la charge de travail est dénombrable, ou de
- la consommation d'énergie par unité de masse, ou encore de la
- la consommation d'énergie par unité de surface lorsque la charge de travail est une feuille en continu.

Le calcul doit être réalisé en se fondant sur les données issues de l'essai défini en 7.8. La valeur figurant dans le rapport doit inclure la base de temps de l'essai.

Annexe A (normative)

Efficacité du transfert d'énergie

A.1 Généralités

L'efficacité du transfert d'énergie de l'installation vers la charge de travail est définie ainsi:

$$\eta_{ete} = \frac{m \cdot c_p(T) \cdot \Delta T + E_{eva} + R}{E_{proc}} \quad (A.1)$$

où

E_{proc} est l'énergie électrique consommée par l'installation pour le processus.

La mesure de l'échauffement de la charge de travail et de la consommation d'énergie par l'installation doit être effectuée conformément aux Articles 6 et 7.

L'efficacité du transfert d'énergie de l'installation vers la charge de travail pendant le traitement est influencée par diverses caractéristiques particulières de l'installation et de la charge de travail, telles que les suivantes:

- le spectre d'émission de l'émetteur, en fonction de la tension et ainsi de ses conditions de fonctionnement;
- l'absorption dépendant de la longueur d'onde de la charge de travail, pouvant varier au cours du traitement;
- La structure en surface et le pouvoir d'absorption angulaire de la charge de travail, pouvant varier au cours du traitement;
- l'orientation relative entre la charge de travail et l'émetteur de rayonnement infrarouge, pouvant varier dans les installations à fonctionnement continu au cours du traitement;
- l'absorption par l'atmosphère entre l'émetteur et la charge de travail, pouvant varier au cours du traitement du fait de l'évaporation des solvants;
- le transport par convection de la chaleur à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation – cela inclut le refroidissement intentionnel des parties de l'installation;
- les pertes par conduction thermique de la charge de travail ou de l'étuve vers l'extérieur;
- les fenêtres, les grilles de protection, les mailles, etc. situées entre l'émetteur et la charge de travail;
- la réflexion ou l'absorption de rayonnement parasite par l'installation.

L'efficacité du transfert d'énergie varie, par conséquent, avec les conditions d'essais et avec l'équipement, tels que pris en considération par E_{proc} dans la Formule (6).

Les dispositions liées aux conditions d'essais doivent s'appliquer conformément au 5.3. Il faut particulièrement veiller à contrôler les conditions d'essais et à réduire les effets qui peuvent influencer sur le résultat de l'essai, mais qui ne sont pas maintenus constants ou ne font pas l'objet d'un contrôle.

A.2 Justifications de la méthode de mesure

Alors que différentes installations par rayonnement infrarouge sont prévues pour de nombreux différents processus, seuls certains de ces processus permettent la mesure exacte de l'énergie transférée dans une charge de travail. De nombreux paramètres de processus sont difficiles à saisir au cours du traitement:

- a) l'énergie thermique stockée dans la charge de travail peut être calculée à partir de l'échauffement de la charge de travail, si sa masse et la chaleur spécifique $c_p(T)$ sont connues;
- b) l'énergie d'évaporation peut être estimée, si la température, la masse évaporée, la chaleur spécifique $c_p(T)$, et l'enthalpie d'évaporation du solvant à évaporation ΔH_{eva} sont connues;
- c) l'énergie nécessaire aux réactions chimiques peut être estimée si la masse de la charge de travail soumise à une réaction chimique est connue, ainsi que l'énergie nécessaire à la réaction.

Les essais utilisant une IDW donnent des résultats raisonnablement exacts, si l'IDW imite les propriétés physiques pertinentes de la charge de travail à traiter et si les paramètres établis pour l'installation imitent les aspects pertinents du processus. Un écart manifeste entre la charge de travail et l'IDW par rapport à l'un quelconque des éléments énumérés ci-dessus rend l'essai non pertinent. À titre d'exemples de tels écarts, on peut citer:

- Une charge de travail chauffée d'un seul côté présente un gradient de température à l'intérieur du matériau. Ce gradient de température dépend de la conductivité thermique du matériau k et des surfaces sur lesquelles l'énergie est absorbée dans le matériau.
- Si l'énergie est absorbée uniquement à la surface, la conduction thermique détermine la dépendance en température en fonction de la profondeur à l'intérieur du matériau. Si le rayonnement est absorbé également à une certaine profondeur dans le matériau, la combinaison de la pénétration à décroissance exponentielle et de la conductivité thermique détermine le profil de température.
- Les mesures d'évaporation sont habituellement réalisées en pondérant l'IDW avant et après le traitement. Si du solvant reste dans l'IDW après le processus prévu, l'évaporation continuera pendant le refroidissement de l'IDW.

A.3 Utilisation d'une installation d'essai à la place d'une installation de production

Les mesures réalisées dans une installation utilisée pour la production comportent des limites, pour les raisons suivantes:

- si la conception de l'installation a été achevée, la réalisation des essais à ce dernier stade indique l'aptitude de l'installation, mais ne fournit pas l'entrée nécessaire pour le processus de conception;
- les installations accomplies ne peuvent habituellement pas être modifiées du point de vue de la performance ou de la disposition;
- les installations accomplies ne peuvent habituellement être utilisées pour aucun essai après la mise en service – par exemple, pour des raisons de sécurité.

Toutefois, l'expérience et les données peuvent être utilisées pour la conception de la prochaine génération de ce type d'installation.

De ce fait, l'utilisation d'une installation d'essai préalablement au démarrage de la conception de nouvelles installations est encouragée au lieu d'exécuter des essais sur une installation ancienne non adaptée, si certaines exigences sont satisfaites. Pour permettre des essais significatifs et répondre aux exigences de la présente norme, une installation d'essai doit offrir

- a) des moyens nécessaires pour imiter le processus à l'étude – par exemple, un transporteur à courroie de vitesse suffisante, une installation de puissance suffisante;
- b) une variation suffisante de différents types d'émetteurs de rayonnement infrarouge – variant de manière indépendante en puissance spectrale, puissance de rayonnement infrarouge disponible, du point de vue de leur forme géométrique;
- c) un moyen de faire varier les conditions de l'aire de processus – par exemple, le débit d'air, ou l'isolation thermique;
- d) un appareillage de commutation suffisant pour entraîner l'installation d'essai à la puissance nécessaire et faire varier la puissance des émetteurs de rayonnement infrarouge de manière suffisante.

L'équipement d'essai constitué d'un type d'émetteur unique, fonctionnant dans une seule plage spectrale spécifique et proposant une seule solution technique pour les essais, est de moindre valeur pour l'utilisateur et insuffisant pour les essais.

A.4 Préparation de la charge de travail fictive

A.4.1 Généralités

L'IDW doit être soit une pièce préparée de la charge de travail prévue, soit elle doit être préparée en prenant en considération les éléments suivants, dans toute la mesure du possible:

- elle doit posséder un matériau de surface identique à la charge de travail;
- elle doit posséder une structure en surface identique à la charge de travail;
- si seul un revêtement est appliqué à une IDW qui imite la surface de la charge de travail, le contact thermique entre le revêtement et l'IDW doit être correct sur toute la surface;
- elle doit être plane ou d'une autre forme simple;
- elle doit être comparable en taille à la charge de travail prévue;
- elle doit posséder une conductivité thermique élevée, si applicable.

A.4.2 Préparations en vue des mesures de température

Si l'IDW est composée d'un matériau de haute conductivité thermique, un point de détection unique à l'avant ou à l'arrière est suffisant.

Si un gradient de température transitoire à l'intérieur de l'IDW est prévu, la température doit être mesurée du côté exposé et du côté arrière de celle-ci.

Si l'épaisseur de l'IDW le permet et sa conductivité thermique est faible, les thermocouples peuvent être placés à l'intérieur pour évaluer le gradient de température intérieur.

Si les températures sont mesurées avec les thermocouples, ils doivent être fixes:

- a) de sorte qu'ils possèdent un contact à faible résistivité thermique par rapport à l'IDW sur toute la durée de mesure;
- b) de sorte qu'ils n'influent pas sur l'irradiation ou la convection à l'intérieur de l'installation;
- c) sur le côté irradié de l'IDW seulement si une mesure pyrométrique n'est pas faisable.

La fixation des thermocouples peut être effectuée par les moyens suivants:

- ruban de polyimide;
- ciment, ou colle résistant à la température;
- brasage métallique;

- liaison à chaud appliquée sur un matériau thermoplastique;
- en plaçant les thermocouples dans des trous alésés.

A.5 Essais relatifs à l'optimisation du processus

Le but de l'essai est:

- de caractériser une installation spécifique devant être utilisée pour un processus défini, ou
- de rechercher les paramètres de processus optimaux pour une installation spécifique, ou
- de préparer la conception d'une installation neuve en étudiant les paramètres pertinents – par exemple ceux énumérés en A.1.

Les éléments suivants s'appliquent pour rendre l'essai pertinent:

- a) Tous les paramètres d'environnement doivent être étayés par des documents tout au long du processus de mesure – il s'agit de ceux de la température et de l'humidité.
- b) Tous les réglages de l'installation d'essai doivent être étayés par des documents.
- c) Si les réglages sont modifiés pendant les mesures, un enregistreur de données doit être utilisé en vue de la documentation.
- d) La documentation de l'essai doit inclure les réglages prévus, ainsi que les valeurs réelles mesurées – par exemple celles de la tension, du courant ou de la puissance.
- e) La mesure de la température de la charge de travail ou de la charge de travail fictive doit être documentée en utilisant un enregistreur de données disposant d'une résolution temporelle suffisante pour tous les points de mesure.
- f) Toutes les autres modifications de l'installation au cours de l'essai ainsi que d'autres observations liées à l'essai doivent être étayées par des documents.

A.6 Calculs à l'appui

Pour la préparation des essais ou pour limiter le nombre d'essais, des calculs numériques peuvent être utilisés. L'Annexe CC de la CEI 60519-12:2013 indique les exigences minimales de bonne pratique.

Annexe B (normative)

Homogénéité de la charge de travail

B.1 Généralités

Un au moins des paramètres suivants peut être mesuré sur la surface de la charge de travail ou la charge de travail fictive avec rayonnement infrarouge (IDW, *Infrared Dummy Workload*), pour obtenir une description de l'homogénéité du traitement de l'installation:

- la température;
- la teneur résiduelle d'un solvant sur la charge de travail, en vue d'une évaluation de l'évaporation de ce solvant;
- le degré obtenu de réticulation d'un polymère ou d'une laque;
- la quantité de substance ou de revêtement déposé à la surface;
- la perte de masse en surface;
- le degré obtenu de réaction chimique, qui peut inclure les changements de phase;
- la brillance de surface;
- tous autres paramètres liés à la surface.

Les mesures de ces paramètres concernent des équipements et des méthodes de mesure très différents. Certaines mesures peuvent être effectuées de façon la plus satisfaisante au moyen des méthodes 2D, telles que la caméra infrarouge, d'autres nécessitant une analyse ponctuelle complexe. Les méthodes de mesure les plus simples disponibles sont privilégiées, si possible et si une connexion simple entre les effets est connue – par exemple, si une réaction chimique dépend considérablement de la température, une mesure 2D d'homogénéité de la température est suffisante.

Une IDW spécifiquement préparée pour l'essai peut être utilisée, voir l'Annexe A.

Lors d'un fonctionnement normal, l'intention est que la surface (ou le volume) complète (complet) utilisable de la charge de travail atteigne une certaine valeur d'au moins l'un des ces paramètres sans que certaines parties de la charge de travail ne soient surchauffées ou par ailleurs soumises à un processus destructif.

B.2 Positions du capteur de mesure

Si un dispositif en 2D ou de balayage n'est pas disponible pour les mesures, mais seules des méthodes ponctuelles sont possibles, les points suivants s'appliquent:

- a) les positions de mesure doivent inclure un échantillon des positions avec l'exposition la plus élevée aux émetteurs de rayonnement infrarouge et des positions d'exposition la plus faible au cours du fonctionnement;
- b) dans les installations de type discontinu et pour les matériaux de type feuille, ceci doit inclure le centre de la feuille et les coins de cette dernière;
- c) dans les installations de type continu et pour les matériaux de type feuille, ceci doit inclure le centre de la feuille et les bords de ladite feuille;

B.3 Homogénéité en température

B.3.1 Généralités

La méthode de mesure d'homogénéité de la température de la charge de travail pendant le processus ou à la fin du processus dépend, entre autres, de l'accessibilité, de la surface de la charge de travail, du type de processus et de diverses températures. Les méthodes de mesure suivantes sont citées à titre d'exemple de bonne pratique, mais ne sont en aucun cas exhaustives.

NOTE La série de normes allemande VDE/VDI 3511 [19 – 26] contient des informations relatives à la bonne pratique pour la plupart des aspects de mesures de la température.

B.3.2 Thermocouples

Un certain nombre de thermocouples peut être fixé sur la charge de travail ou sur l'IDW.

Tous les thermocouples doivent être fixés de la même manière et du même côté de la charge de travail. Les méthodes de fixation des thermocouples figurent en A.4.2.

Tous les thermocouples doivent être de longueur comparable, de matériau analogue et de préférence d'un type unique provenant du même fournisseur.

Le signal mesuré doit être enregistré par un enregistreur de données ou un enregistreur graphique.

B.3.3 Caméra infrarouge

La température de la surface de la charge de travail ou de l'IDW peut être mesurée au moyen d'une caméra infrarouge directement après la sortie de la charge de travail hors de l'enceinte de traitement.

L'homogénéité de la température de la charge de travail ou de l'IDW dans la direction du transport dépend de la vitesse d'éjection, de la charge de travail ou de l'IDW elle-même et des facteurs d'environnement. Ces effets doivent être estimés et inclus dans l'interprétation des données et le rapport.

Les effets suivants doivent être pris en considération, lors de l'utilisation des données mesurées:

- toutes réflexions des surfaces chaudes de la charge de travail ou de l'IDW, ainsi que toutes sources de chaleur ou de lumière peuvent provoquer des signaux extérieurs;
- même de légères variations de la surface de la charge de travail ou de l'IDW peuvent provoquer de fortes variations d'émissivité et ainsi provoquer des erreurs de signal;
- des surfaces possédant des propriétés de diffusion non lambertiennes peuvent donner lieu à des variations incorrectes de températures mesurées sur la surface.

NOTE Les concepts essentiels figurent dans l'ISO 10878 [17]³.

B.3.4 Balayage de températures

Un balayage pour le système de mesure de la température en un point éloigné sur la largeur complète de la charge de travail mesure la température sur une ligne située sur la charge de travail, tandis que la charge de travail se déplace. Certaines sources d'erreurs rencontrées avec un système de caméra infrarouge sont alors évitées.

³ À publier.

B.3.5 Indication de la température par variation de couleur de marques repères de peinture ou de crayon

Ces matériaux (communément appelés peintures thermosensibles) modifient de manière irréversible la couleur pendant l'échauffement. La variation de la couleur dépend de la combinaison de la température maximale et, dans une certaine mesure, du temps passé à la température maximale. La bonne pratique d'utilisation est la suivante:

- parsemer un côté d'une IDW de peinture thermosensible;
- le côté de l'IDW soumis à ces points de peinture ne fait pas face aux émetteurs de rayonnement infrarouge;
- Le côté de l'IDW faisant face aux émetteurs de rayonnement infrarouge est identique à la charge de travail prévue.

Il est habituellement nécessaire d'étalonner les couleurs de la peinture indicatrice à couleur thermosensible en vue de traiter les paramètres utilisés pour les essais.

B.4 Autres essais

B.4.1 Homogénéité de l'évaporation d'un solvant

La répartition spatiale de l'évaporation d'eau du papier ou d'imprimés peut être mesurée.

NOTE L'ISO 638 [12] ou l'ISO 11093-3 [18] fournissent des méthodes normalisées.

D'autres essais peuvent être convenus entre le fabricant et l'utilisateur.

B.4.2 Homogénéité de la réaction chimique

Des essais peuvent être convenus entre le fabricant et l'utilisateur.

B.4.3 Homogénéité de la substance déposée

Des essais peuvent être convenus entre le fabricant et l'utilisateur.

B.4.4 Homogénéité du brillant

La variation spatiale de la couche de brillant sur la peinture ou les vernis peut être mesurée.

NOTE 1 L'ISO 2813 [13] fournit des méthodes normalisées.

La variation spatiale de la couche de brillant du papier peut être mesurée.

NOTE 2 La série ISO 8254 [14 – 16] fournit des méthodes normalisées.

Annexe C (informative)

Mesure de la répartition du rayonnement à l'intérieur de l'installation

C.1 Généralités

Les méthodes telles qu'énoncées dans la CEI 60519-12 sont tout à fait adaptées pour caractériser le rayonnement à l'intérieur d'une installation électrothermique par rayonnement infrarouge pendant toutes les étapes du fonctionnement.

Les problèmes majeurs à prendre en considération sont les suivants:

- la plupart des équipements de mesure ou leur totalité nécessite plus d'espace physique qu'il n'en est de disponible à l'intérieur de nombreuses installations;
- tous les équipements de mesure communs ne sont pas faits pour des environnements chauds et ne sont pas en mesure de survivre à une longue exposition à des températures ambiantes supérieures à 50 °C;
- les méthodes de mesure figurant dans la CEI 60519-12:2013 concernent uniquement des mesures ponctuelles. Pour les utiliser pour la mesure des données à résolution spatiale, une opération de balayage est nécessaire pour caractériser le rayonnement ou l'irradiation à l'intérieur de l'installation;
- le balayage spectral, en outre, nécessite du temps, de sorte que le temps de mesure peut aisément s'étendre sur plusieurs jours;
- la charge de travail influe sur le champ de rayonnement à l'intérieur de l'installation;
- l'équipement d'essai influe sur le champ de rayonnement à l'intérieur de l'installation;
- les positions spatiales où les mesures de rayonnement sont le plus utiles se situent à la surface de la charge de travail.

C.2 Calcul liés aux informations de rayonnement

L'Annexe CC de la CEI 60519-12:2013 fournit les exigences minimales sur le calcul de tracé des rayons du rayonnement pour les installations électrothermiques par rayonnement infrarouge et elle peut être utilisée également à cette fin.

Les vérifications peuvent être effectuées par des expériences plus simples dans quelques parties seulement de l'installation.

C.3 Irradiation

Une mesure de l'éclairement énergétique spectralement intégré peut être effectuée à l'aide du dispositif de mesure indiqué à l'Annexe FF de la CEI 60519-12:2013, ce dernier étant placé à l'intérieur d'une enveloppe refroidie par eau.

Bibliographie

- [1] CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*
- [2] CEI 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International* (disponible sur <<http://www.electropedia.org>>)
- [3] CEI 60397:1994, *Méthodes d'essai des fours à chargement discontinu à résistances chauffantes métalliques*
- [4] CEI 60398:1999, *Chauffage électrique industriel – Méthodes générales d'essai*
- [5] CEI 60519-2:2006, *Sécurité dans les installations électrothermiques – Partie 2: Exigences particulières pour les installations de chauffage par résistance*
- [6] CEI 60825-1:2007, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*
- [7] CEI/TR 60825-9:1999, *Sécurité des appareils à laser – Partie 9: Exposition maximale admissible au rayonnement lumineux incohérent* (disponible en anglais seulement)
- [8] CEI 61010-1:2010, *Règles de sécurité pour appareils électriques de mesure, de régulation et de laboratoire – Partie 1: Exigences générales*
- [9] CEI 62471:2006, *Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes*
- [10] IEC/TS 62796:—4, *Energy efficiency in electroheating installations* (disponible en anglais seulement)
- [11] IEC 62798: —, *Industrial electroheating equipment – Test methods for infrared emitters*
- [12] ISO 638:2008, *Papiers, cartons et pâtes – Détermination de la teneur en matières sèches – Méthode par séchage à l'étuve*
- [13] ISO 2813:1994, *Peintures et vernis – Détermination de la réflexion spéculaire de feuillets de peinture non métallisée à 20 °, 60 ° et 85 °*
- [14] ISO 8254-1:2009, *Papiers et cartons – Mesurage du brillant spéculaire – Partie 1: Brillant à 75 ° avec un faisceau convergent, méthode TAPPI*
- [15] ISO 8254-2:2003, *Papiers et cartons – Mesurage du brillant spéculaire – Partie 2: Brillant à 75 ° avec un faisceau parallèle, méthode DIN*
- [16] ISO 8254-3:2004, *Papiers et cartons – Mesurage du brillant spéculaire – Partie 3: Brillant à 20 ° avec un faisceau convergent, méthode TAPPI*
- [17] ISO 10878, *Essais non destructifs – Thermographie infrarouge – Vocabulaire*
- [18] ISO 11093-3:1994, *Papier et carton – Essais des mandrins – Partie 3: Détermination de la teneur en eau par séchage à l'étuve*
- [19] VDI/VDE 3511-1:1996, *Temperature measurement in industry – Principles and special methods of temperature measurement* (disponible en anglais seulement)
- [20] VDI/VDE 3511-2:1996, *Temperature measurement in industry – Contact thermometers* (disponible en anglais seulement)

4 À publier.

- [21] VDI/VDE 3511-3:1994, *Temperature measurement in industry – Measuring systems and measured quantity treatment for electrical contact thermometer* (disponible en anglais seulement)
 - [22] VDI/VDE 3511-4,1:2010, *Temperature measurement in industry – Contact thermometers* (disponible en anglais seulement)
 - [23] VDI/VDE 3511-4,2:2002, *Temperature measurement in industry – Contact thermometers* (disponible en anglais seulement)
 - [24] VDI/VDE 3511-4.3:2005, *Temperature measurement in industry – Radiation thermometry – Standard test methods for radiation thermometers with one wavelength range* (disponible en anglais seulement)
 - [25] VDI/VDE 3511-4,4:2005, *Temperature measurement in industry – Contact thermometers* (disponible en anglais seulement)
 - [26] VDI/VDE 3511-5:1994, *Temperature measurement in industry – Contact thermometers* (disponible en anglais seulement)
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch