

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Installations for electroheating and electromagnetic processing –
General performance test methods**

**Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique –
Méthodes générales d'essai de fonctionnement**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60398:2015



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

IEC 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.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and 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 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne 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 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Installations for electroheating and electromagnetic processing –
General performance test methods**

**Installations pour traitement électrothermique et électromagnétique –
Méthodes générales d'essai de fonctionnement**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.180.10

ISBN 978-2-8322-2602-

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

CONTENTS

FOREWORD	4
INTRODUCTION	6
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
3.1 General	8
3.2 Energy efficiency	9
3.3 States and parts	9
3.4 Workload	10
4 Basic provisions for testing and test conditions	10
4.1 Aim of testing	10
4.2 Communication of test results	11
4.3 Boundaries of the energy using system for testing	11
4.3.1 General considerations	11
4.3.2 Batch type installations	11
4.3.3 Continuous type installations	12
4.4 General requirements for testing	13
4.5 Operating conditions during tests	13
4.6 Environmental conditions during tests	13
4.7 Supply voltage	13
5 Comparing equipment or installations	14
6 Measurements and workloads	14
6.1 General	14
6.2 Time resolution	14
6.3 Frequency measurement	15
6.4 Measurement of electric data	15
6.4.1 Supply voltage	15
6.4.2 Voltage, current, electrical power and resistance	15
6.4.3 Measurement positions	15
6.5 Temperature measurement	15
6.5.1 General	15
6.5.2 Contact thermocouples	16
6.5.3 Thermographic methods	16
6.5.4 Colour change of paint or crayon marks	16
6.6 Measurement of pressure, humidity or composition of fluids	16
6.7 Workload	17
6.7.1 General	17
6.7.2 Enthalpy determination using a dummy workload	17
6.7.3 Use of a performance test workload	17
6.7.4 Preparation of a performance test workload	18
7 Numerical modelling	18
8 Technical tests	19
8.1 Overview	19
8.2 Energy consumption and time for cold start-up	19
8.3 Power consumption during hot standby operation	19

8.4	Power consumption during holding operation	19
8.5	Energy consumption and time for shut-down operation	20
8.6	Energy consumption during a regular maintenance operation.....	20
8.7	Energy consumption during normal operation.....	20
8.8	Cumulative energy consumption and peak power consumption	20
8.9	Equipment capacity.....	21
8.10	Performance dependence on supply voltage	21
8.11	Processing range of intended operation	22
8.12	Properties of the processed workload surface	22
8.12.1	General	22
8.12.2	Measurement sensor positions	23
8.12.3	Temperature homogeneity	23
8.12.4	Homogeneity of evaporation of a solvent	23
8.12.5	Homogeneity of gloss	24
8.12.6	Other properties	24
9	Efficiency of the installation	24
9.1	General.....	24
9.2	Specific energy consumption of the workload.....	24
9.3	Heating efficiency of EH or EPM equipment.....	24
9.4	Supply power usage efficiency	25
9.5	Energy transfer efficiency	25
Annex A	(informative) Energy efficiency assessment	27
A.1	Use of this standard for energy efficiency assessment	27
A.2	Plan-Do-Check-Act cycle approach	27
A.3	Comparison, classification, labelling	27
A.4	Comparison with ISO 13579-1	28
A.4.1	General	28
A.4.2	Considered energy generation	28
A.4.3	Comparing results	28
Annex B	(informative) Visual display of energy efficiency related information.....	29
B.1	General.....	29
B.2	Sankey diagram of power balance	29
B.3	Time resolved power usage diagram.....	30
Annex C	(informative) Estimating energy use.....	32
C.1	General.....	32
C.2	Minimum energy consumption.....	32
C.3	Holding power.....	33
C.4	Transfer losses and transfer efficiency.....	34
C.5	Examples.....	34
C.5.1	Tempering of TCO on glass substrate.....	34
C.5.2	Drying and hardening of lacquer	34
Annex D	(informative) Energy recoverability	35
Bibliography		36
Figure B.1	– Example of a Sankey diagram.....	29
Figure B.2	– Example of a time-power diagram	30

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INSTALLATIONS FOR ELECTROHEATING AND ELECTROMAGNETIC PROCESSING – GENERAL PERFORMANCE TEST METHODS

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 60398 has been prepared by IEC technical committee 27: Industrial electroheating and electromagnetic processing.

This third edition cancels and replaces the second edition of IEC 60398 published in 1999 and the first edition of IEC TS 62796 published in 2013. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- the title and scope of the standard have been expanded to include installations and equipment for electromagnetic processing of materials;
- the requirements have been restructured;

- tests concerning safety have been moved to IEC 60519-1¹;
- new tests and clauses addressing energy efficiency considerations have been added;
- a new annex placing this standard in the context of energy efficiency assessment as developed by ISO and IEC has been added;
- new annexes addressing visual display of data, estimation of energy use and energy recoverability of fluids have been added.

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

FDIS	Report on voting
27/949/FDIS	27/952/RVD

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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

¹ Fifth edition to be published.

INTRODUCTION

Designing equipment for electroheating (EH) or for electromagnetic processing of materials (EPM) is a complex task. The manufacturer of the installation or equipment usually needs to fulfil the following requirements, which come from different sources and are quite often in this order of priorities:

- a) to enable the intended process and make the installation to work properly;
- b) to be cost effective during design and manufacturing;
- c) to ensure that the equipment is safe to use in the sense of providing freedom from unacceptable risk of physical injury or damage to the health of the operator (safety in the narrower sense of ISO 12100:2010);
- d) to prove that the equipment is cost effective to operate and uses sufficiently small amounts of energy, material and other resources;
- e) to ensure that the equipment is safe to use in the sense of providing freedom from unacceptable risk or physical injury or damage to the health of people, or damage to property or the environment (adding other safety aims to c) and in the much broader definition of safety according to ISO/IEC Guide 51).

It is usually part of the proprietary knowledge of the manufacturer or user of the equipment, to make it cost effective or enabling intended processes with a benefit. IEC 60519-1:— assists with achieving safety in the ISO 12100:2010 sense. The focus of this standard is on basic requirements for measuring instrumentation and test methods concerned with energy and resource efficiency, performance of the intended process and assessing cost of ownership for installations and equipment for EH and EPM.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60398:2015

INSTALLATIONS FOR ELECTROHEATING AND ELECTROMAGNETIC PROCESSING – GENERAL PERFORMANCE TEST METHODS

1 Scope

This International Standard specifies the basic test procedures, conditions and methods for establishing the main performance parameters and the main operational characteristics of industrial installations and equipment intended for electroheating (EH) or electromagnetic processing of materials (EPM).

Measurements and tests that are solely used for the verification of safety requirements of equipment for EH or for EPM are outside the scope of this standard and are covered by the IEC 60519 series.

This standard is applicable for the commissioning, verification of design improvements or for energy related tasks including benchmarking with respect to energy use or energy efficiency, establishing of an energy baseline, and labelling. Some concepts from this standard can directly be used as key performance indicators.

Detailed tests for specific types of EH or EPM equipment and installations are beyond the scope of this standard and are provided in particular test standards for EH or EPM equipment. This standard is intended as general reference for all future test standards applicable to particular EH or EPM equipment or installations.

This standard includes the concept and material presented in IEC TS 62796 on energy efficiency dealing with the electrical and processing parts of the equipment, as well as the overall performance.

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:—², *Safety in installations for electroheating and electromagnetic processing – Part 1: General Requirements*

ISO/IEC 13273-1³, *Energy efficiency and renewable energy sources – Common international terminology – Part 1: Energy Efficiency*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

ISO 50001:2011, *Energy management systems – Requirements with guidance for use*

² Fifth edition to be published.

³ To be published.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60519-1, ISO/IEC 13273-1, ISO 50001, ISO/IEC Guide 99, as well as the following apply.

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

3.1 General

3.1.1

energy using system

physical item or organization with defined system boundaries, using energy

Note 1 to entry: An energy using system can be a plant, a process, part of a process, a building, a part of a building, a machine, equipment, a product, etc.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.1.11, modified – Original cross-references have been deleted.]

3.1.2

system boundary

physical or site limits and/or organizational limits as defined by the organization for a stated purpose

EXAMPLE A process; a group of processes; a site; an entire organization; multiple sites under the control of an organization.

Note 1 to entry: The stated purpose could be for a management system, or for the boundaries of an energy assessment or for the boundaries of a specific measurement and verification activity.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.3.2, modified – “M&V” has been replaced by full term in Note 1 to entry.]

3.1.3

equipment category

group within a type of equipment, using the same principle for processing of the workload

Note 1 to entry: A category can be further divided with respect to the size or the capacity of equipment.

Note 2 to entry: An example of type is equipment for induction heating, and an example of category is such equipment for metal wire heating in a specified capacity interval, using medium frequency.

3.1.4

equipment 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.

3.1.5

intended workload quality

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

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

3.1.6

processing range, <of EH or EPM installation>

range between an upper and a lower limit of set parameters between which the processed workload exhibits the intended workload quality

3.2 Energy efficiency

3.2.1

energy efficiency

ratio or other quantitative relationship between an output of performance, service, goods or energy, and an input of energy

EXAMPLE Conversion efficiency; energy required/energy used; output/input; theoretical energy used to operate/energy used to operate.

Note 1 to entry: Both input and output need to be clearly specified in quantity and quality, and be measurable.

[SOURCE: ISO 50001:2011, 3.8]

3.2.2

energy intensity

quotient describing the total amount of energy necessary to generate a unit of output, activity, economic value, or service

EXAMPLE Gigajoule per euro of GDP (gross domestic product); Gigajoule per unit of turnover.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.1.16 modified – Original cross references have been deleted.]

3.2.3

specific energy consumption

quotient describing the total amount of energy necessary to generate a unit of output, activity, or service

EXAMPLE Gigajoule (GJ) per tonne of steel, annual kilowatt hour (kWh) per square metre (m²), litres (l) of fuel per kilometre (km), etc.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.1.17 modified – Original cross references have been deleted.]

3.2.4

heating efficiency, <of EH or EPM equipment>

ratio of the usable enthalpy increase in the workload to the electric energy supplied to it during a cycle of batch operation or stationary operation

3.3 States and parts

3.3.1

cold start-up

process by which the equipment is energised into hot standby operation from the cold state

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.

3.3.2

holding power

electric power consumed for keeping the workload in the processing chamber or zone 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: Holding power is not applicable for all EH or EPM equipment.

3.3.3

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.

3.3.4

shut-down operation

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

3.3.5

port, <entrance or exit>

opening in the processing chamber or enclosure through which the workload moves

3.3.6

means of access

structural feature of the EH or EPM installation which can be opened or removed without the use of a tool to provide access to the installation

3.4 Workload

3.4.1

intended workload

normal workload

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

Note 1 to entry: The intended workload includes any container, holder or other device necessary for the processing and which is directly or indirectly subjected to the output power.

3.4.2

dummy workload

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

3.4.3

performance test workload

artificial or partially artificial workload designed for discrimination of processing results

Note 1 to entry: Examples of such results are relative slag content, relative or absolute areas or volumes of unsatisfactorily processed material.

4 Basic provisions for testing and test conditions

4.1 Aim of testing

This standard provides tests concerning

- the outcome of the process,
- service performance or intended workload quality,
- energy use of the system,
- other resource use.

In all cases, the definition of the system boundaries is mandated and shall be documented.

The specific outcome of the process, the expected workload quality and the minimum service performance after processing are usually defined by the manufacturer and user.

NOTE Details can be beyond the scope of this standard or even particular test standards for EH or EPM equipment.

This standard determines all general tests necessary to assess the energy use of the system, which provide basic data for

- a) determining energy intensity or specific energy use as agreed on by the manufacturer and user,
- b) energy efficiency related services like comparing, labelling or classification (see Annex A),
- c) determining energy performance indicators (see Annex A) or
- d) tests related to energy management according to ISO 50001.

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

4.2 Communication of test results

Data generated during the measurements or tests defined in this standard can be used for many different purposes or services. Some of these services come with their own defined minimum requirements for the amount and depth of documentation and their requirements on communication.

This standard provides minimum requirements for documentation with each single test enabling use and reuse of data for different purposes. Only well-documented data is trustworthy and enables comparison in time or between different installations.

Annex B provides information on how data can be visualised.

4.3 Boundaries of the energy using system for testing

4.3.1 General considerations

The following basic rules apply:

- All energy uses being part of electric energy generation or transport to the installation are excluded.
- All energy uses being part of the installation or being necessary for the intended process of the installation are included.

The following energy uses of the intended process shall be considered:

- a) Energy of compression or decompression of steam, air or any other gas shall be included in the calculations of used and lost energy.
- 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.
- 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 category not having this feature. Thermal energy used outside the process shall not be included in reporting (see Annex D).

4.3.2 Batch type installations

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

Normal operation includes a processing phase in the operation cycle and can also include one or more of the following sub-processes in this cycle:

- closing and opening of means of access;
- pressurising of the processing chamber;
- movement or transport of the workload, this includes for example rotation or wobbling movement during operation;
- holding the workload at a specified temperature for a specified time;
- introducing reactive or protective gases into the processing chamber, including deposition processes;
- free or forced cooling of the workload, for example, if cooling is necessary to avoid damage or boiling 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 a processing chamber or position; such equipment is a part of the installation and its energy use is included;
- b) an exit port position where the workload is placed after normal operation for removal, or the equipment, which moves the workload out of a processing chamber or position; such equipment is a part of the installation and its energy use is included;
- c) the energy use of all equipment in between, including for example all switchgear, pumps, and cooling means necessary for the processing.

NOTE In equipment utilising non-atmospheric pressure or other atmospheres than air, the boundary between the EH or EPM installation and any other installation is typically a valve; a load lock – consisting of two valves and used for the transfer of workload between different atmospheres – will usually be part of the EH or EPM installation.

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

4.3.3 Continuous type installations

Continuous type installations are characterised by a continuous or semi-continuous processing. The workload is conveyed through the processing region of the installation, which can be a processing chamber of the installation during normal operation. The processing occurs 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. Most installations go into standby operation when no workload is conveyed; this can be a hot standby for many thermal processes.

The normal operation includes a processing phase and can include one or more of the following sub-processes, which occur at different and typically 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 sub-processes shall be included only if it is necessary to cool or depressurise the workload in an integral part of the installation. The boundary of the installation is then 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 installation.

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.

4.4 General requirements for testing

The relevant safety requirements and the manufacturer's instructions shall be observed during all tests, to ensure safety.

The characteristics and parameters defined in Clause 8 shall be tested in the hot state of an EH or EPM installation

- during commissioning,
- when the installation is ready for normal operation,
- at regular intervals as specified by the manufacturer,
- following maintenance or
- after modifications.

The operator responsible for performing the measurements or tests shall be sufficiently trained to make accurate tests and have sufficient time and resources at hand to perform measurements and tests as intended and indicated in this standard.

4.5 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.

4.6 Environmental conditions during tests

All tests shall be performed

- under standardised environmental conditions, at ambient temperature in the range between 5 °C and 40 °C, relative air humidity of less than 95 %, at less than 1 000 m altitude above the sea level, or
- at the place of use of the installation under the available and specified environmental conditions there.

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

- a) temperature and humidity in the air inlet region to the processing chamber, if relevant;
- b) temperature and humidity of cooling air drawn into the installation;
- c) exhaust air temperature and humidity, if relevant for the energy balance calculations;
- d) temperature of the workload when entering the installation;
- e) moisture or solvent content of the workload when entering the installation, if applicable.

4.7 Supply voltage

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

NOTE The rated supply voltage range is specified by agreement between the manufacturer and user. A common range is a deviation not exceeding ± 10 % from nominal, as this is the range defined by IEC 60038.

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

5 Comparing equipment or installations

Benchmarking or labelling are services intending or allowing direct comparison between equipment. The same holds for the evaluation of different equipment categories for a specific process. The following differences between equipment can lead to differences in test results especially concerning specific energy use:

- a) details of the process (e.g. processing frequency or mode of energy transfer to the workload),
- b) type of process (batch or continuous),
- c) equipment capacity especially in identical equipment category,
- d) workload size or mass,
- e) details of the equipment (e.g. size),
- f) environment of the installation (e.g. average temperature and humidity, their fluctuations or height above sea level),
- g) form of supply (from the electrical grid or on-site power generation) and secure delivery of electric energy (fluctuations of the input voltage, waveform) – 8.10 provides a test for the dependence of processing on supply voltage.

All relevant details as listed above or other applicable issues influencing comparison shall be part of any test documentation.

Comparison is useful when only some aspects are varied and others are kept constant. In case of comparison between equipment of a single category or between equipment categories, it is therefore recommended that identical workloads are used.

The manufacturer usually allows for some variation in workloads and settings so that comparative tests can be made with identical workloads, chosen within the manufacturers' specification limits for normal operation.

The specification of the workload used for the tests shall be part of the test report.

The heating of containers, holders or other devices in relation to that of the workload actually being processed can vary within an equipment category. If this is the case, the enthalpy increase of the workload including and excluding container, holder or other device necessary for the processing shall be separated during the test and adequately reported.

6 Measurements and workloads

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 depend 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 Frequency measurement

The frequency range of equipment covered by this standard is spanning from 0 Hz to the frequency of optical radiation (up to 30 PHz). As a general rule the accuracy of any frequency (or wavelength) measurement shall be sufficient to securely distinguish relevant differences. Refer to particular test standards for details. Measurement accuracy estimations shall be included in the test report.

6.4 Measurement of electric data

6.4.1 Supply voltage

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

6.4.2 Voltage, current, electrical power and resistance

The accuracy of equipment for voltage, current, power and resistance measurements in the mains frequency and lower range shall be of class 1.0, unless otherwise specified in a specific test. All equipment for energy measurements shall be of class 2.0 or better, unless otherwise specified in a specific test.

The measuring equipment for voltage and for a.c. current circuits shall be able to show true RMS independently of the waveform.

Equipment for resistance measurement shall use a four point probe, if applicable; the used probe type shall be part of the test report.

6.4.3 Measurement positions

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

- a) at the supply inlet of the installation.
- b) at the power outlet of the switchgear or the voltage or current sources connected to the processing equipment or feeding the converter to the processing frequency.
- c) at the respective power outlet of the switchgear connected to any auxiliary equipment, if relevant.

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.

6.5 Temperature measurement

6.5.1 General

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

The relative measurement error for all temperature measurements in compliance with this standard shall not exceed 5 % stated in °C of the measured value, for temperatures above 20 °C. Measurement accuracy estimations shall be included in the test report.

NOTE The German VDI/VDE 3511 series of standards gives information on best practice for temperature measurement in industry.

6.5.2 Contact thermocouples

Contact thermocouples are simple to use and reliable and provide sufficiently accurate results

- if an intimate and non-detachable contact to a surface of an object is achieved, and
- the object having a sufficient high mass and good thermal conduction to the thermocouple is applied and checked.

They cannot, however normally be used in alternating magnetic, high frequency and microwave fields, so other methods such as with temperature sensitive paints and fiberoptic sensors shall then be used.

If temperatures are measured with thermocouples, they shall be fixed in a way

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

Fixing thermocouples can be done through

- polyimide based tape up to 400 °C;
- cement, or temperature resistant glue;
- metallic solder;
- heat bonding onto a thermoplastic material;
- placing the thermocouples in bored holes.

6.5.3 Thermographic methods

Pyrometers and infrared cameras, summarised as thermographic methods, may be used

- for all surfaces at elevated temperature,
- providing the emissivity of the surface is well known,
- and the surface is considered as Lambertian – i.e. following a cosine law of angular emissivity,
- and when the wavelength range is transmitted by any tube or window material protecting the source and being in the path of light between source and equipment.

The used value of the emissivity, the measurement wavelength and the presumed error of the emissivity shall be included in all measurement reports.

6.5.4 Colour change of paint or crayon marks

Specific paints or crayons (called thermo-paints) irreversibly change colour during heat-up. The colour change depends on the combination of maximum temperature and the time spent at the maximum temperature. A good practice for use is

- to dot one side of the workload with a thermo-paint;
- the dotted side of the workload is not exposed to intense optical radiation or other effects that can lead to overheating or decomposition of it.

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

6.6 Measurement of pressure, humidity or composition of fluids

The following data can affect tests specified in this standard:

- actual environmental pressure,
- actual environmental humidity,
- pressure, humidity or gas composition inside the processing equipment.

The kind of equipment used for the measurement depends on the temperature range and the accessibility.

Pressure, humidity or fluid composition shall be measured if a variation affects the test. The relative measurement error for these measurements shall be sufficiently small, to discriminate relevant influences. Measurement accuracy estimations shall be included in the test report.

6.7 Workload

6.7.1 General

With many processes, the end result is not directly related to an overall enthalpy increase of an actual workload. Depending on the intended process and the measured effect, different kinds of workloads are used:

- the intended workload,
- a dummy workload or
- a performance test workload.

The methodology for measuring enthalpy increase shall be clearly specified in the test report.

There are cases where the use of dummy workloads for enthalpy increase measurement are not meaningful or cannot be carried out. Examples are surface deposition, seam annealing and laser cutting processes, where the evenness of processing is more important than the overall enthalpy increase in the workload. Comparison within an equipment category can result in quite similar results using a dummy workload but in significant product quality differences in an intended workload. In these cases the intended workload can be the only realistic type of workload for comparative testing.

6.7.2 Enthalpy determination using a dummy workload

Dummy workloads may be used if the parties involved agree on this. They shall be designed to be simple and reliable to use and their use shall not introduce additional risks compared with the intended workload.

Dummy workload specifications and the methodology for measuring enthalpy increase shall be clearly specified in the test report.

The application of dummy workloads does typically not consider end product quality. Overall enthalpy increase is a relevant variable, but using normal workloads can cause problems with respect to reproducibility or enthalpy measurement accuracy.

Since the manufacturer does typically not specify the dummy workload or its use, safety precautions shall be observed by the party or parties carrying out the tests.

6.7.3 Use of a performance test workload

Since specifications of a performance test workload are typically not provided by the manufacturer, safety precautions shall be observed by the party or parties carrying out the tests.

Performance test workloads shall be used in cases where the result of the intended process is not simply an increase in enthalpy, but other effects. They can be used to investigate any

significant performance differences between different equipment tested. Both performance test workloads and dummy workloads may be used, if deemed to be relevant.

The performance test workload specifications and test procedures as well as the parameters and criteria used for performance evaluation shall be stated in the test report.

6.7.4 Preparation of a performance test workload

The performance test workload shall either be a prepared piece of the intended workload, or it shall be prepared using the following considerations:

- a) its surface shall mimic the intended surface properties of the workload;
- b) especially if a coating is applied to the performance test workload that mimics the surface of the workload, the thermal contact between coating and the performance test workload shall be good over the complete surface;
- c) it shall have a simple shape;
- d) it shall be comparable in size, volume or weight to the intended workload as appropriate for the specific test;
- e) it shall have a high thermal conductivity, if applicable.

If the performance test workload 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 performance test workload is expected, the temperature shall be measured at least on the exposed side and on the back side of it.

If the thickness of the performance test workload allows and its thermal conductivity is low, thermocouples or other suitable sensors can be placed inside to assess the temperature gradient inside.

7 Numerical modelling

In many cases, measurements are not possible due to lack of accessibility, being too complex, being too costly or measuring equipment not being available. In this case numerical calculations can be used instead. There exists a vast number of available methods depending on the actual problem to be tackled. Guidance on the use of specific methods is beyond the scope of this standard, but general minimum requirements for the performance of numerical tests can be given.

The accuracy of the calculation shall be comparable to achievable accuracy of measurements, if feasible. This defines the needed accuracy of the implemented geometrical setup and numerical effort like grid resolution or iterative cycles.

The use of calculated data instead of measurements shall be clearly stated. The documentation of the calculation shall include

- a) the numerical method used;
- b) the geometrical setup used;
- c) all relevant modelling data;
- d) a description of the models used relevant to the calculation;
- e) the software and version used;
- f) any set parameter of the software that influences the result;
- g) a measure for accuracy of the result provided by the software, such as energy lost from the system or energy not ascertained in the system due to numerical effects;

- h) the method used for verification of the accuracy of the used models and the calculation itself.

As a general rule, it shall be possible from the data stored, to implement the models again and to make the calculation again on another system or using different software.

8 Technical tests

8.1 Overview

The performance test methods can be grouped according to their focus:

- 8.2 through 8.7 provide basic information on energy consumption during different stages of the operation and life cycle;
- 8.8 and 8.9 provide more general information on the variation and amount of energy use;
- 8.10 and 8.11 concern the possible range of normal operation or intended processing and their dependence on actual supply voltage;
- 8.12 provides basic tests concerned with quality aspects of processed workloads.

The tests defined in 8.2 through 8.7 can be performed

- for the complete installation or for parts of an installation,
- the processing equipment only or
- the auxiliary equipment only.

In all cases the definition of the boundaries of the energy using system given in 4.3 applies and great care in using the boundaries shall be observed.

8.2 Energy consumption and time for cold start-up

The measurement of time and energy consumption of cold start-up of installations is carried out as follows:

- a) The initial state is at ambient conditions as stated in 4.6.
- b) The installation is operated without a workload, if applicable.
- c) Any preheating of the processing 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.

In case the installation is intended to be heated up safely with workload only, this shall be applied.

8.3 Power consumption during hot standby operation

The hot standby power consumption measurements are carried out as follows:

- a) The installation is operated without workload, if applicable.
- b) Conditions of hot standby operation are maintained.
- c) The power consumption is calculated from the total energy consumption measured over a sufficiently long time for averaging.

8.4 Power consumption during holding operation

In certain types of installations a holding feature is needed to equalise the workload temperature before or after the heating part of the processing.

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

The measurement of power consumption during holding operation with workload shall be carried out if the following applies:

- a) holding is part of normal operation;
- b) normal operation is with a preheated workload;
- c) the temperature of the workload is kept constant, using particular control settings for this purpose.

The total energy consumption during holding and the holding time are measured over a sufficiently long time allowing for averaging.

8.5 Energy consumption and time for shut-down operation

The time and energy consumption measurement during the shut-down of installations with which this is needed and significant is carried out from hot standby as specified by the manufacturer. The shut-down period ends when the power supply to the installation can be safely disconnected.

8.6 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.

8.7 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 complete cycle; this may be measured and averaged over a defined number of cycles, which shall then include typical hot stand-by and holding periods. The number of cycles and variation of energy consumption shall be recorded in the measurement report.
- b) The energy of a continuously operating installation during processing of a defined amount of workload, during which no stand-by or holding operations occur and where the installation has reached a stationary state.
- c) The energy consumption of the installation over a complete production cycle – for example, during a workday, one week or a complete year.

8.8 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 period of overall use 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:

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

The internal electric conversion and switchgear parts of the installation are designed for accepting specified peak power consumption. It defines the rated power used in the design and dimensioning of the overall electric system and components 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/in a batch type installation;
- during other modes of operation.

The time over which the peak power occurs is of importance for energy pricing by metering and other measures by the utility. Since this varies between utilities and industries, specifics have to be agreed upon for each equipment or plant.

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.

8.9 Equipment capacity

The equipment capacity or 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 started;
- 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, area per time, or length 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.

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

8.10 Performance dependence on supply voltage

The actual supply voltage or its variation can influence the performance of the installation. For example, Joule-effect heating means can operate directly or via fixed transformers on line voltage. 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 processing equipment with their applied working voltage depends on the category and specific technical details. This data may often be supplied by the manufacturer of the equipment. Thus the variation of power consumption with actual applied working voltage shall

- either be calculated using this data,

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

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

The actual supply voltage affects the results of all other tests and it shall be part of the test report, see 6.4.1.

8.11 Processing range of intended operation

The processing conditions inside an installation can vary and thus a variation of the workload quality over the surface or volume of the workload can ensue. 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 receives the lowest amount of energy 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 receives the highest amount of energy is showing signs of undergoing a destructive or an unwanted process – or the upper intended limit of power setting is reached. This is the upper limit.

The range of intended use defined by the manufacturer shall not be exceeded.

8.12 Properties of the processed workload surface

8.12.1 General

This 8.12 addresses mainly processes where the aim of the normal operation is to reach a specific state or specific properties of the surface of the workload. Testing the homogeneity of processing over the surface of the workload is typically a complex issue. Test methods vary with the specific property change which is the essential aim of the process performed in the installation.

One or more of the following parameters can be measured over surfaces of workloads and thus provide information on the quality or homogeneity of processing in the installation:

- a) the temperature;
- b) the residual content of a solvent on the workload, for an assessment of the evaporation of that solvent;
- c) the obtained extent of crosslinking of a polymer or lacquer;
- d) the amount of deposited substance or coating on the surface;
- e) the mass loss of the surface;
- f) the obtained extent of chemical reaction, which may include phase changes;
- g) the surface gloss;
- h) 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 analysis for each single position. 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.

A dummy workload specifically prepared for a test may be used (see 6.7.4).

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

8.12.2 Measurement sensor positions

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

- a) measurement positions shall include a sample of positions with highest exposure to energy transfer 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.

8.12.3 Temperature homogeneity

The measurement method for homogeneity of the temperature of the workload during the process or at its end 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.

Using and especially fixing thermocouples on a (dummy) workload is defined in 6.5.2.

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

The temperature homogeneity of the workload in the transport direction depends on the ejection velocity, the workload 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:

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

NOTE Basic concepts are given in ISO 10878.

A remote point temperature measuring system scanning over the complete width of the workload measures the temperature as the workload is transported. Some sources of error encountered with an infrared camera system are then avoided.

8.12.4 Homogeneity of evaporation of a solvent

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

NOTE ISO 638 or ISO 11093-3 provide standardised methods.

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

8.12.5 Homogeneity of gloss

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

NOTE 1 ISO 2813 provides standardised methods.

The spatial variation of gloss of paper can be measured.

NOTE 2 The ISO 8254 series provides standardised methods.

8.12.6 Other properties

For testing other workload properties like

- estimating the homogeneity of a chemical reaction or
- measuring the homogeneity of the deposition of a substance,

test methods may be agreed on between the manufacturer and user.

9 Efficiency of the installation

9.1 General

Many different energy performance indicators are conceivable, describing energy intensity or specific energy consumption of an installation or of equipment. The following 9.2 to 9.5 provide some basic indicators and can be used as guidance for the development of other indicators.

The theoretical minimum specific energy consumption of the workload undergoing the intended process is discussed in Annex C.

Very often the relevant energy intensity is not to be based on the electroheating efficiency or efficiency derived from the recoverable heat of the workload after the process. This is for example the case for intended processes like phase transitions, mixing, drying or hardening.

The recovery of otherwise lost energy is often beyond the boundaries as defined in 4.3; measures are beyond the scope of this standard, Annex D nonetheless provides some basic concepts.

9.2 Specific 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. This 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

- a) energy consumption per piece, when the workload is countable, or
- b) energy consumption per unit mass, or
- c) energy consumption per unit area when the workload is a continuous sheet.

The calculation shall be made based on data from the applicable tests defined in 8.2 through 8.9. The reported value shall include the time base of the test.

9.3 Heating efficiency of EH or EPM equipment

The heating efficiency is calculated using the following formula:

$$\eta_{\text{inst}} = E_{\text{min}} / E_{\text{inst}} \quad (1)$$

where

η_{inst} is the heating efficiency;

E_{min} is the theoretical minimum specific energy consumption as defined in Annex C the minimum theoretically needed energy;

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

9.4 Supply power usage efficiency

The efficiency of power usage is defined as

$$\eta_{\text{power}} = \bar{P}_{\text{nop}} / P_{\text{max}} \quad (2)$$

where

η_{power} is the efficiency of supply power usage;

$\bar{P}_{\text{nop}}$ is average supply power consumption during normal operation;

P_{max} is the peak supply power consumption (see 8.8).

Formula (2) allows for expressing the capability or processing latitude of the installation. It indicates the possibility for future changes to processing speed or throughput if necessary. It can also be interpreted as a measure of the design quality concerning especially the prediction of energy usage in the installation.

9.5 Energy transfer efficiency

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 C.

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 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 heating means, which can change in continuously operating installations during the processing;
- the absorption of radiation in 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 from the installation to the outside;
- windows, protective gratings, meshes, etc. hindering energy transfer to the workload;
- reflection or absorption of stray radiation by the installation.

Energy transfer efficiency therefore varies with test conditions and with the equipment.

The provisions on test conditions according to 4.5 shall apply. Particular care shall be taken to monitor the test conditions and reduce effects that can influence the outcome of the test.

Whereas different categories of installations are intended for many different processes, only some of these processes allow the exact measurement of energy transferred to 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, and enthalpy of evaporation of the evaporating solvent 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 the intended workload or a dummy workload can give reasonably exact results. A clear discrepancy between workload and dummy workload with respect to any of the above listed makes the test irrelevant. Some examples for discrepancies are:

- A workload processed only from one side usually shows a temperature gradient inside the material. This temperature gradient depends on the thermal conductivity of the material 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 heating energy is absorbed also at some depth in the material, the combination of (usually exponentially decaying) penetration and thermal conductivity determines the temperature profile.
- Evaporation measurements are usually made by weighing the workload before and after processing. If some solvent remains in the workload after the intended process, evaporation will continue during cooling of the workload and prior to weighting.

Annex A (informative)

Energy efficiency assessment

A.1 Use of this standard for energy efficiency assessment

This standard covers concepts and actions related to energy performance assessment:

- a) the boundaries of the system as defined in 4.3;
- b) key performance indicators identified and discussed in Clause 4;
- c) data collection, measurement and tests defined in Clauses 5 to 8.

This standard does not cover improvement of energy usage or performance, dealt with in ISO 50001 and relating standards; neither does it provide any content concerned with classification or labelling of products as this is usually in the responsibility of local authorities. On the other hand, this standard assists its user to perform the full plan-do-check-act cycle (PDCA) as defined in A.2 or ISO 50001, as it provides the framework and applicable definitions and requirements allowing for assessment as well as a comparison with other installations.

Providing benchmark data or the classification of installations according to efficiency is beyond the scope of this general standard, but can be part of particular test standards.

A.2 Plan-Do-Check-Act cycle approach

The concept of energy performance includes energy use, energy efficiency and specific energy consumption of an installation or equipment. The full cycle for energy performance assessment and improvement of any installation or equipment involves the following steps:

- a) definition of the system boundaries to be assessed;
- b) definition of the relevant energy performance indicators and of the necessary data;
- c) collection of the data, for example through tests or literature;
- d) calculation of the energy performance of the system based on the energy performance indicators and by use of benchmark and other data. This step provides data for classification or labelling if intended;
- e) identification and evaluation of opportunities for improvement of the system;
- f) selection, then planning, then implementation of improvements;
- g) restart of the cycle, if applicable, begins with step c).

Steps c) through f) define a Plan-Do-Check-Act (PDCA) loop; this is for example the method defined in ISO 50001.

A.3 Comparison, classification, labelling

The specific energy consumption is just one relevant factor when either comparing equipment, or when classification or labelling of equipment is intended. A specific amount of thermal energy transferred into the workload is quite often not a criterion or measure for the success of a specific process (i.e. reaching intended workload quality); often it is in providing a specific service measured through other physical values. Examples are:

- amount of a product of a specific quality, like a specific steel, its grain structure and composition as well as homogeneity;

- glossiness, stickiness, ultraviolet light resistivity, hardness or wear resistivity of a coating on wood, paper, metal wire or metal sheet;
- transition efficiency of a solar cell, inter alia characterised by homogeneity of processing, meeting of process schedule and small scale chemical composition;
- visual appeal and tastiness of a cheese melted on a pizza.

Thus it can be mandated to use the energy efficiency with respect to the quality of a process or the specific energy consumption (per amount of workload deemed well processed) as relevant and the final measures for energy for comparison.

Appropriate comparison, classification or labelling is possible when test methods and conditions, boundaries of the system and output of the process are comparable.

A.4 Comparison with ISO 13579-1

A.4.1 General

ISO 13579-1 specifies a general methodology for measuring energy balance and calculating the efficiency of the process involving industrial furnaces and associated processing equipment as designed by furnace manufacturers. It includes statements on measurement methods, provides formulas for calculation and minimum requirements for an energy balance evaluation report. The overall definition of energy efficiency in ISO 13579-1 has a much smaller scope than the definition used in ISO 50001 or in this standard as only the recoverable heat in the workload is considered as measure.

A.4.2 Considered energy generation

ISO 13579-1 includes the conversion of fossil fuels into thermal or electric energy in its calculations. The basic energy unit used for assessment of efficiency is the enthalpy of the different fuels involved. Whereas fuels burned in the installation can be accounted for easily by the user, information on the fuel mix and efficiency of power plants used for the generation of energy by the suppliers can be unavailable to the user of the standard. Data on the full amount of fuel or energy employed in generating electric energy can be highly contested (as with nuclear fuel when including fossil fuel consumption of mining and manufacturing) or not available to the user or both.

This standard considers the electric energy as drawn from the grid as the basic energy unit. Any decisions of the user of an installation on the use of sustainable sources of electric energy are outside the scope of this standard.

A.4.3 Comparing results

A direct comparison of any results becomes possible only, if

- the identical definition of energy efficiency limited to recoverable heat in the workload is used,
- the system boundaries are identical and
- the tests are performed in a comparable manner or identical test data is used.

The second requirement includes the necessity to restrict the system considered by use of ISO 13579-1 to the installation itself and exclude the generation of electric energy.

As ISO 13579-1 is quite vague on test conditions and output of the process, we recommend using this standard for guidance if comparability of data is intended or necessary.

Annex B (informative)

Visual display of energy efficiency related information

B.1 General

This Annex B discusses the graphical display of energy efficiency related information, as quite often efficiency information given as a single number is not sufficient to start assessment of possible measures to increase energy use. ISO 13579-1 provides some further material.

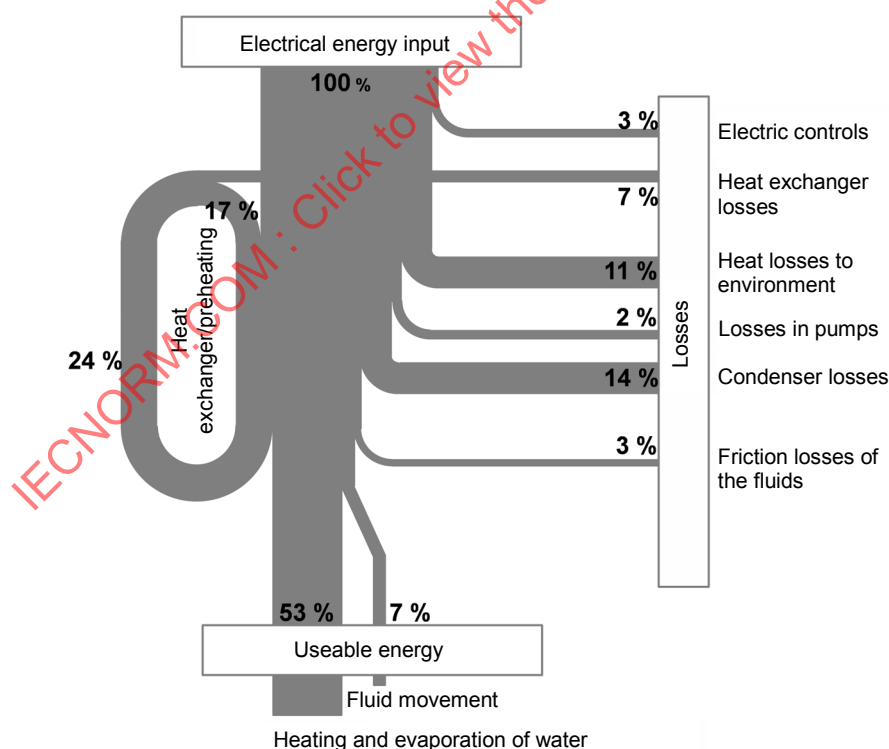
Such information is usually generated during commissioning or even later during normal operation over long time frame.

B.2 Sankey diagram of power balance

A Sankey diagram of power usage and balance is a simple and very powerful way to display energy use, energy losses and to illustrate major sources of loss.

To make a power balance diagram useful, all energy input is considered:

- the electrical energy at the connection of the installation to the mains,
- all non-electrical energy as fuel enthalpy starting from a storage on the premises of the plant.



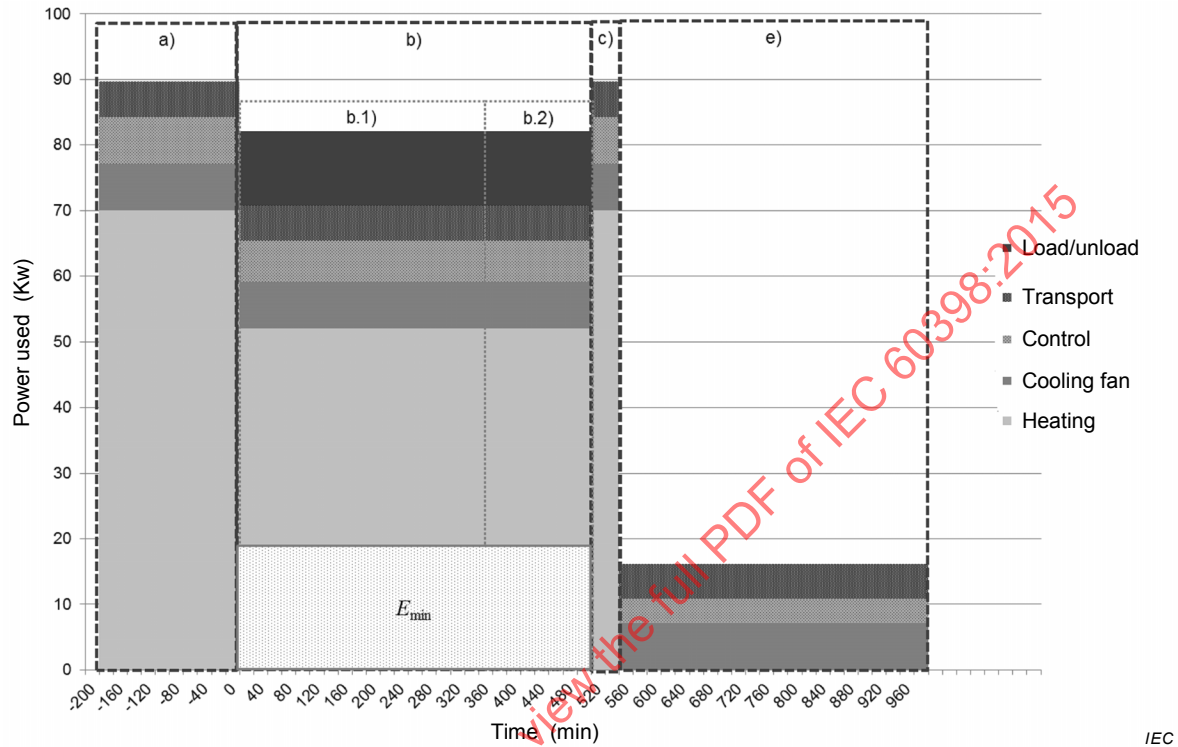
IEC

Figure B.1 – Example of a Sankey diagram

Figure B.1 provides an example for a drying process involving some recirculating fluid and a heat exchanger. The example is a drying process for foodstuff, where wet foodstuff is placed in circulating fluid, water is removed through heating, the dry foodstuff is removed through a cyclone and the water vapour is removed using a condenser.

B.3 Time resolved power usage diagram

If an installation is performing some different tasks for a process or energy use is not only dominated by the process itself, a Sankey diagram cannot reflect all relevant aspects. In this case a second approach, i.e. making use of a time resolved energy usage diagram is suggested; Figure B.2 provides an example.



Key

- a) is time for start-up operation;
- b) is normal operation with b.1) manufacturing intended workload quality and b.2) manufacturing either workload that needs to be reworked or scrap;
- c) is time for cleaning operation;
- d) maintenance activity, omitted in the figure;
- e) is cooling down and shutting down operation and

E_{min} is the theoretical minimum specific energy consumption as defined in Annex C.

Figure B.2 – Example of a time-power diagram

The display of actual time resolved power usage data is definitively not creating maximum value. Instead, the following simplified presentation is recommended:

- a) If available, average data for one cycle, if the installation cools down between cycles, one shift, if the installation is operating for some hours and cools down at the end of a workday, any other cycle that fits the operation pattern is used.
- b) The different operations are displayed in a logical order on the time axis over the time they are performed on average: Start-up, holding, processing, cooling, shutting down and maintenance, to name some.
- c) For each such operation the average energy use differentiated between relevant sub-systems is given in additive manner.
- d) Processing time can further be differentiated between average time necessary for products in intended quality, for rework and for scrap.

e) The minimum energy use for the intended process can be indicated in the operation time.

A simple resistive heat treatment oven for continuous processing heating – here the application of a gold reflector on quartz tubes, is used as an example.

The oven needs 140 min for start-up operation; then the day's workload is processed on average over 500 min; of this time 40 min each day generate scrap and 100 min are spent for rework of parts which are reworkable after the first pass; a 40 min cleaning operation is necessary for burning off some residuals; cooling down safely needs many hours due to the refractories used as oven lining.

Figure B.2 displays the data as time resolved power usage diagram, the actual electrical energy efficiency and possible measures for improving energy efficiency become obvious from this.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60398:2015

Annex C (informative)

Estimating energy use

C.1 General

The energy used for a specific process depends on the energy necessary for the intended enthalpy increase in the workload; the minimum required power further depends on the defined processing time. The theoretical minimum specific energy consumption can usually be calculated (Clause C.2). It is a relevant concept for energy efficiency analysis, as it provides a theoretical limit for any improvements and is a benchmark for the actual specific energy consumption of the installation (9.2).

The actual power necessary for a process and thus the minimum installed power in an installation depend on the following factors:

- the minimum theoretical power necessary for the process;
- the holding power necessary to balance losses from the workload;
- the energy transfer efficiency to the workload
- the energy conversion efficiency of the installation and
- other losses inside the installation.

The limiting cases for power determination can be

- processes where the workload approaches the maximum processing enthalpy incrementally over some time – in this case the holding power, compensating losses, define the necessary power;
- processes where the necessary processing power well exceeds the holding power.

The first case is quite typical for drying processes, the latter for melting.

C.2 Minimum energy consumption

The theoretical minimum specific energy consumption (per unit mass or unit area of the workload undergoing the intended process) is defined by the increase of the enthalpy between incoming workload (in) and outgoing workload (out).

$$E_{\min} = E_{\text{out}} - E_{\text{in}} = \dot{m} \cdot (c_p(T) \cdot \Delta T + p \cdot \Delta v + \Delta h_{\text{pc}} + r) \quad (\text{C.1})$$

where

- $E_{\min}$ is the theoretical minimum specific energy consumption;
- E_{out} is the energy of the workload leaving the process;
- E_{in} is the energy of the workload entering the process;
- m is the mass of the workload (assuming no strong change of workload mass);
- $c_p(T)$ is the specific heat of the workload;
- ΔT is the temperature change from ambient to maximum process temperature;
- p is the ambient pressure (assuming that the process starts and ends at ambient);
- Δv is the change of the specific volume of the workload (relevant only for gases);

Δh_{pc} is the specific enthalpy of phase change (such as melting or evaporation of solvents) during the process;

r is the specific energy needed for intended chemical reactions to occur.

Formula (C.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.

The theoretical minimum specific energy consumption of the workload undergoing the intended process depends on the following:

- the actual temperature of the workload prior to the process (this temperature depends on the actual environmental conditions of storage of the workload);
- the state of the workload prior to the process;
- the minimum necessary temperature of the workload necessary to perform the intended process;
- the minimum requirement of phase changes and chemical reactions of the workload to perform the intended process.

Often, it is necessary to consider spatially resolved data or at least average over the workload, as any state undergoing change during process is understood as the 2D distribution on the surface of the workload and the 3D field inside the workload depending on the value.

NOTE For example, temperature is a 3D distribution, whereas water content of lacquer is a 2D distribution when considering large parts or 3D when considering micro-structures.

C.3 Holding power

Any workload loses energy when it is hotter than its environment. Thus independent from the power rating necessary to heat up the workload, any equipment should at least be able to balance all heat losses from the workload to the environment that occur, in particular at the maximum processing temperature. These losses are caused by

- cooling by the atmosphere through free convection;
- cooling by processing gases including air through forced convection ;
- all radiation losses from the workload ;
- heat conduction losses from the workload, e.g. to transport equipment.

Thus,

$$P_{\text{hold}} = P_{\text{conv}} + P_{\text{rad}} + P_{\text{cond}} \quad (\text{C.2})$$

where

P_{hold} is the minimum required power to balance all holding losses;

P_{conv} are the free and forced convective losses;

P_{rad} are all radiative losses;

P_{cond} are all conductive losses.

Convective losses can be neglected in vacuum applications.

C.4 Transfer losses and transfer efficiency

The efficiency of energy transfer to the workload is independent from the earlier considerations. It is governed by

- a) conversion losses of energy from one form of energy to another,
- b) transfer losses of energy from one device to the next,
- c) transfer losses from geometric effects like fields not matching the geometry of the workload or radiation exposing not only the workload,
- d) electromagnetic energy not absorbed but reflected or transmitted by the workload or absorbed during transfer from the source to the workload by other parts of the installation.

Typical examples are

- losses during frequency or voltage conversion, in transformers or in condensators,
- losses in the conversion of electric power to Joule heat,
- radiation or fields absorbed by the installation (walls, structural parts, windows, guards or screens, i.e. never reaching the workload),
- radiation or fields reflected or transmitted by the workload, absorbed by the installation and not recycled for heating use,
- magnetic energy not absorbed by the workload.

C.5 Examples

C.5.1 Tempering of TCO on glass substrate

In this case only, the thin transparent conductive oxide (TCO) layer undergoes heating up to tempering temperature at about 600 °C. Heating of the glass substrate is not a mandatory part of the process and is excluded from the calculation of the minimum energy.

C.5.2 Drying and hardening of lacquer

In this case, solvents are removed from the lacquer and then hardening starts. So heating of the complete layer of lacquer up to hardening temperature and diffusion and evaporation energy of solvent are minimum requirements.

Thus the minimum energy can be calculated either neglecting the workload or by including it.

Annex D (informative)

Energy recoverability

In general, the media by which thermal energy waste or release from the equipment occurs and can be recovered are fluids. They can have a high energy content well prepared for recovery. Energy recoverability of such fluids is defined by four factors:

- a) the specific heat capacity of the fluid which has extracted the energy;
- b) the mass flow rate of this fluid;
- c) the temperature of this fluid immediately after extraction and the difference to ambient temperature;
- d) the temporal structure or availability of the energy.

The first factor is a measure of the simplicity of transport of energy and of prospective heat losses in the transport from the location of generation to that of recovery.

The second factor is a measure of the speed of heat transfer and the prospective usefulness of the thermal energy, as such.

The third factor is a measure of the prospective usefulness in a heat engine or for other purposes.

The fourth factor is related to the practical usefulness of the available recovered energy and any need for energy storage. The continuity and fluctuations of the output of the recoverable energy, continuous or batch processing are of particular importance.

The heat capacity per volume of the fluid is calculated from tabulated physical and thermal property specifications of the actual fluid.

NOTE NIST-JANAF tables, VDI Heat Atlas, as well as ISO 13579-1 give information on sources for heat capacity and other thermal data.

Calculations of thermal recovery are made if the manufacturer provides optional energy recovery means with the equipment and the introduction of such measures is assessed. The relevant measurements or evaluations are made with and without the recovery means. Any extra power consumption of these means is included.

A numerical estimate for heat recovery potential provides the thermal exergy of the fluid.

Bibliography

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary*
(available at <<http://www.electropedia.org>>)

IEC 60050-841, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 841: Industrial electroheat*

IEC 60519 (all parts), *Safety in installations for electroheating and electromagnetic processing*

IEC TS 62796, *Energy efficiency in electroheating installations*

ISO 638:2008, *Paper, board and pulps – Determination of dry matter content – Oven-drying method*

ISO 2813:2014, *Paints and varnishes – Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°*

ISO 8254 series, *Paper and board – Measurement of specular gloss*

ISO 10878, *Non-destructive testing – Infrared thermography – Vocabulary*

ISO 11093-3:1994, *Paper and board – Testing of cores – Part 3: Determination of moisture content using the oven drying method*

ISO 12100:2010, *Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction*

ISO 13579-1, *Industrial furnaces and associated processing equipment – Method of measuring energy balance and calculating efficiency – Part 1: General methodology*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

VDI/VDE 3511 series, *Temperature measurement in industry*

M.W. Chase: NIST-JANAF *Thermochemical Tables*, Fourth Edition, in Journal of Physical and Chemical Reference Data, Monograph No. 9. AIP, Woodbury: 1998.

VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen [ed.]: *VDI Heat Atlas*. Springer, Berlin: 2010.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60398:2015

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	41
INTRODUCTION.....	43
1 Domaine d'application	44
2 Références normatives	44
3 Termes et définitions	45
3.1 Généralités	45
3.2 Efficacité énergétique	46
3.3 Etats et parties	46
3.4 Charge de travail	47
4 Dispositions fondamentales relatives aux essais et conditions d'essai	47
4.1 Objet des essais	47
4.2 Communication des résultats d'essai	48
4.3 Périmètre du système consommateur d'énergie pour les essais	48
4.3.1 Considérations générales	48
4.3.2 Installations de type discontinu	49
4.3.3 Installations de type continu	49
4.4 Exigences générales pour les essais	50
4.5 Conditions de fonctionnement pendant les essais	50
4.6 Conditions d'environnement pendant les essais	50
4.7 Tension d'alimentation	51
5 Comparaison des installations ou équipements	51
6 Mesures et charges de travail.....	52
6.1 Généralités	52
6.2 Résolution temporelle	52
6.3 Mesure de la fréquence	52
6.4 Mesures des données électriques	52
6.4.1 Tension d'alimentation.....	52
6.4.2 Tension, courant, puissance électrique et résistance	52
6.4.3 Emplacements de mesure.....	53
6.5 Mesure de la température	53
6.5.1 Généralités	53
6.5.2 Thermocouples de contact.....	53
6.5.3 Méthodes thermographiques.....	54
6.5.4 Changement de couleur des marques de peinture ou de crayon	54
6.6 Mesure de la pression, de l'humidité ou de la composition des fluides	54
6.7 Charge de travail	55
6.7.1 Généralités	55
6.7.2 Détermination de l'enthalpie à l'aide d'une charge de travail fictive	55
6.7.3 Utilisation d'une charge de travail d'essai de fonctionnement.....	55
6.7.4 Préparation d'une charge de travail d'essai de fonctionnement	56
7 Modélisation numérique.....	56
8 Essais techniques.....	57
8.1 Aperçu	57
8.2 Consommation d'énergie et durée de l'opération de démarrage à l'état froid	57
8.3 Consommation de puissance du fonctionnement en veille à l'état chaud	57

8.4	Consommation de puissance électrique de l'opération de maintien	57
8.5	Consommation d'énergie et durée de l'opération de mise à l'arrêt	58
8.6	Consommation d'énergie au cours d'une opération de maintenance périodique	58
8.7	Consommation d'énergie pendant le fonctionnement normal	58
8.8	Consommation d'énergie cumulée et consommation de puissance de crête	58
8.9	Capacité d'équipement	59
8.10	Dépendance des performances par rapport à la tension d'alimentation	60
8.11	Plage de traitement du fonctionnement prévu	60
8.12	Propriétés de la surface de la charge de travail traitée	60
8.12.1	Généralités	60
8.12.2	Positions du capteur de mesure	61
8.12.3	Homogénéité de la température	61
8.12.4	Homogénéité de l'évaporation d'un solvant	62
8.12.5	Homogénéité du brillant	62
8.12.6	Autres propriétés	62
9	Rendement de l'installation	62
9.1	Généralités	62
9.2	Consommation énergétique spécifique de la charge de travail	63
9.3	Efficacité du chauffage des équipements EH ou EPM	63
9.4	Efficacité de la consommation électrique	63
9.5	Efficacité du transfert d'énergie	64
Annexe A	(informative) Evaluation de l'efficacité énergétique	66
A.1	Utilisation de la présente norme pour évaluer l'efficacité énergétique	66
A.2	Approche selon le cycle PDCA	66
A.3	Comparaison, classification et étiquetage	66
A.4	Comparaison avec l'ISO 13579-1	67
A.4.1	Généralités	67
A.4.2	Production d'énergie considérée	67
A.4.3	Comparaison des résultats	67
Annexe B	(informative) Représentation visuelle des informations d'efficacité énergétique	69
B.1	Généralités	69
B.2	Diagramme de Sankey d'équilibre des puissances	69
B.3	Diagramme d'utilisation de puissance dans le temps	70
Annexe C	(informative) Estimation de l'utilisation d'énergie	72
C.1	Généralités	72
C.2	Consommation minimale d'énergie	72
C.3	Puissance de maintien	73
C.4	Pertes de transfert et efficacité du transfert d'énergie	74
C.5	Exemples	74
C.5.1	Trempe de l'oxyde conducteur transparent sur le substrat de verre	74
C.5.2	Séchage et durcissement du vernis-laqué	74
Annexe D	(informative) Récupérabilité énergétique	75
Bibliographie		76

Figure B.1 – Exemple de diagramme de Sankey	69
Figure B.2 – Exemple de diagramme durée-puissance	70

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60398:2015

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTALLATIONS POUR TRAITEMENT
ÉLECTROTHERMIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE –
MÉTHODES GÉNÉRALES D'ESSAI DE FONCTIONNEMENT**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60398 a été établie par le comité d'études 27 de l'IEC: Chauffage électrique industriel et traitement électromagnétique.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition de l'IEC 60398 parue en 1999, ainsi que la première édition de l'IEC TS 62796 parue en 2013. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- le titre et le domaine d'application de la norme ont été étendus afin d'inclure les installations et équipements destinés au traitement électromagnétique des matériaux;
- les exigences ont été réorganisées;

- les essais concernant la sécurité ont été déplacés dans l'IEC 60519-1¹;
- de nouveaux essais et articles contenant des considérations sur l'efficacité énergétique ont été ajoutés;
- une nouvelle annexe plaçant la présente norme dans le contexte d'une évaluation de l'efficacité énergétique telle qu'elle est développée par l'ISO et l'IEC a également été ajoutée;
- de nouvelles annexes consacrées à la représentation visuelle des données, ainsi qu'à l'estimation de l'utilisation d'énergie et à la récupérabilité d'énergie des fluides ont été ajoutées.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
27/949/FDIS	27/952/RVD

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/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

¹ Cinquième édition à paraître.

INTRODUCTION

La conception d'équipements de traitement électrothermique (EH, en anglais ElectroHeating) ou de traitement électromagnétique des matériaux (EPM, en anglais Electromagnetic Processing of Materials) est une tâche complexe. Le fabricant de l'installation ou de l'équipement doit généralement satisfaire aux exigences suivantes qui proviennent de sources différentes et dont l'ordre de priorité est le plus souvent le suivant:

- a) permettre le processus prévu et faire correctement fonctionner l'installation;
- b) rester rentable durant les phases de conception et de fabrication;
- c) s'assurer que l'équipement est sûr à l'utilisation; au sens d'exempt de tout risque inacceptable de blessure physique ou d'atteinte à la santé de l'opérateur (sécurité au sens le plus étroit de l'ISO 12100:2010);
- d) démontrer que l'équipement constitue une solution rentable qui exploite et utilise des quantités suffisamment faibles d'énergie, de matériaux et d'autres ressources;
- e) s'assurer que l'équipement est sûr à l'utilisation au sens d'exempt de tout risque inacceptable de blessure physique ou d'atteinte à la santé des personnes, ou de dommage aux biens ou à l'environnement (en ajoutant d'autres objectifs de sécurité à celui de c) au sens plus large de la sécurité donné dans le Guide ISO/IEC 51).

Il relève habituellement du savoir-faire privatif du fabricant ou de l'utilisateur de l'équipement de veiller à ce que cet équipement soit rentable ou de permettre les processus prévus en dégageant un bénéfice. L'IEC 60519-1:— aide à la réalisation de la sécurité au sens de l'ISO 12100:2010. La présente norme s'intéresse aux exigences fondamentales relatives aux instruments de mesure et aux méthodes d'essai en rapport avec l'efficacité énergétique et l'écoefficacité, les performances du processus prévu et l'évaluation du coût de propriété des installations et équipements EH et EPM.

INSTALLATIONS POUR TRAITEMENT ÉLECTROTHERMIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE – MÉTHODES GÉNÉRALES D'ESSAI DE FONCTIONNEMENT

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les procédures, conditions et méthodes d'essai fondamentales permettant d'établir les paramètres de performance principaux, ainsi que les caractéristiques de fonctionnement principales des installations et équipements industriels de traitement électrothermique (EH) ou de traitement électromagnétique des matériaux (EPM).

Les mesures et essais utilisés aux seules fins de la vérification des exigences de sécurité des équipements EH ou EPM ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme et sont couverts par la série IEC 60519.

La présente norme s'applique à la mise en service, la vérification des améliorations de conception ou aux tâches liées à l'énergie incluant l'analyse comparative en termes d'utilisation de l'énergie ou d'efficacité énergétique, l'établissement d'un référentiel énergétique et l'étiquetage. Certains concepts de la présente norme peuvent directement être utilisés comme indicateurs de performance clés.

Les essais détaillés relatifs aux types spécifiques d'installations et d'équipements EH ou EPM ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme et sont donnés dans des normes particulières d'essai pour les équipements EH ou EPM. La présente norme est destinée à servir de référence générale pour l'ensemble des normes d'essai futures applicables à des installations ou des équipements EH et EPM particuliers.

La présente norme inclut le concept et les éléments présentés dans l'IEC TS 62796 sur l'efficacité énergétique pour les parties électriques et de traitement des équipements, ainsi que sur la performance globale.

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).

IEC 60519-1:—², *Sécurité dans les installations destinées au traitement électrothermique et électromagnétique – Partie 1: Exigences générales*

ISO/IEC 13273-1³, *Efficacité énergétique et sources d'énergie renouvelables – Terminologie internationale commune – Partie 1: Efficacité énergétique*

Guide ISO/IEC 99, *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

² Cinquième édition à paraître.

³ À paraître.

ISO 50001:2011, *Systèmes de management de l'énergie – Exigences et recommandations de mise en œuvre*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60519-1, l'ISO/IEC 13273-1, l'ISO 50001, du Guide ISO/IEC 99, ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Les définitions générales sont données dans le Vocabulaire Electrotechnique International, IEC 60050. Les termes relatifs au traitement électrothermique industriel sont définis dans l'IEC 60050-841.

3.1 Généralités

3.1.1

système consommateur d'énergie

système physique ou organisme ayant un périmètre défini et qui consomme de l'énergie

Note 1 à l'article: Un système consommateur d'énergie peut être une installation, un procédé, une partie d'un procédé, un bâtiment, une partie d'un bâtiment, une machine, un équipement, un produit, etc.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.1.11, modifié – Les renvois d'origine ont été supprimés.]

3.1.2

périmètre du système

limites géographiques ou organisationnelles telles que définies dans un objectif déclaré

EXEMPLE Un procédé, un groupe de procédés, un site, tout un organisme, plusieurs sites sous le contrôle d'un organisme.

Note 1 à l'article: L'objectif déclaré peut être lié à un système de management, au périmètre d'une évaluation énergétique ou d'une activité de mesurage et de vérification spécifique.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.3.2, modifié – M&V a été remplacé par l'expression développée correspondante dans la Note 1 à l'article.]

3.1.3

catégorie d'équipement

groupe au sein d'un type d'équipement, qui utilise le même principe pour le traitement de la charge de travail

Note 1 à l'article: Une catégorie peut être subdivisée selon la taille et la capacité de l'équipement.

Note 2 à l'article: L'équipement de chauffage par induction est un exemple de type, et l'équipement de chauffage par fil métallique dans un intervalle de capacité donné utilisant une fréquence moyenne est un exemple de catégorie.

3.1.4

capacité d'équipement

mesure de la capacité de taux de production d'un équipement en fonctionnement normal

EXEMPLE: Débit, masse ou volume.

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

3.1.5

qualité de la charge de travail prévue

degré auquel un ensemble de caractéristiques intrinsèques d'une charge de travail traitée satisfait aux exigences

Note 1 à l'article: Toute charge de travail n'atteignant pas la qualité de la charge de travail prévue est considérée comme un rebut ou fait l'objet d'une retouche.

3.1.6

plage de traitement, <d'une installation EH ou EPM>

plage entre la limite inférieure et la limite supérieure des paramètres définis, où la charge de travail traitée présente la qualité de la charge de travail prévue

3.2 Efficacité énergétique

3.2.1

efficacité énergétique

ratio, ou autre relation quantitative, entre une performance, un service, un bien ou une énergie produits et un apport en énergie

EXEMPLE L'efficacité de conversion, le rapport «énergie nécessaire/énergie utilisée», le rapport «sortie/entrée», le rapport «énergie théoriquement utilisée pour fonctionner/énergie effectivement utilisée pour fonctionner».

Note 1 à l'article: L'entrée comme la sortie, censées être mesurables, seront clairement précisées en termes de quantité et de qualité.

[SOURCE: ISO 50001:2011, 3.8]

3.2.2

intensité énergétique

rapport exprimant la quantité totale d'énergie nécessaire à la production d'une unité de produit, d'activité, de valeur économique ou de service

EXEMPLE Gigajoule par euro de PIB (Produit Intérieur Brut), gigajoule par unité de chiffre d'affaires.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.1.16, modifié – les renvois d'origine ont été supprimés.]

3.2.3

consommation énergétique spécifique

rapport exprimant la quantité totale d'énergie nécessaire à la production d'une unité de produit, d'activité ou de service

EXEMPLE Gigajoule (GJ) par tonne d'acier, kilowattheures (kWh) annuels par mètre carré (m²), litres (l) de carburant par kilomètre (km), etc.

[SOURCE: ISO/IEC 13273-1:—, 3.1.17, modifié – les renvois d'origine ont été supprimés.]

3.2.4

efficacité du chauffage, <d'une installation EH ou EPM>

rapport entre l'augmentation de l'enthalpie utilisable dans la charge de travail et l'énergie électrique délivrée à celle-ci pendant un cycle de fonctionnement discontinu ou stationnaire

3.3 Etats et parties

3.3.1

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

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.

3.3.2

puissance de maintien

consommation de puissance électrique permettant de maintenir la charge de travail dans l'enceinte ou la zone de traitement à une température spécifiée

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

Note 2 à l'article: La puissance de maintien n'est pas applicable à tous les équipements EH et EPM.

3.3.3

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, ses modalités de fonctionnement étant prêtes pour un retour en fonctionnement normal rapide.

3.3.4

opération de mise à l'arrêt

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

3.3.5

orifice, <d'entrée ou de sortie>

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

3.3.6

moyen d'accès

élément structurel de l'installation EH ou EPM pouvant être ouvert ou enlevé sans utiliser d'outil pour donner accès à l'intérieur de l'installation

3.4 Charge de travail

3.4.1

charge de travail prévue charge de travail normale

objet destiné à être traité conformément aux spécifications de la documentation du fabricant

Note 1 à l'article: La charge de travail prévue inclut tout conteneur, support ou autre appareil nécessaire au traitement et étant directement ou indirectement soumis à la puissance de sortie.

3.4.2

charge de travail fictive

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

3.4.3

charge de travail d'essai de fonctionnement

charge de travail artificielle ou partiellement artificielle conçue pour la discrimination des résultats de traitement

Note 1 à l'article: Des exemples de tels résultats sont la teneur relative en laitier, les zones ou volumes relatifs ou absolus de matériaux traités de manière insatisfaisante.

4 Dispositions fondamentales relatives aux essais et conditions d'essai

4.1 Objet des essais

La présente norme fournit des essais concernant

- le résultat du processus,
- l'aptitude en service ou la qualité de la charge de travail prévue,
- l'utilisation d'énergie du système,
- l'utilisation d'autres ressources.

Dans tous les cas, la définition du périmètre du système est requise et doit être documentée.

Le résultat spécifique du processus, la qualité de la charge de travail prévue et l'aptitude en service minimale après traitement sont généralement définis par le fabricant et l'utilisateur.

NOTE Les détails peuvent ne pas relever du domaine d'application de la présente norme, voire des normes particulières d'essai relatives aux équipements EH et EPM.

La présente norme détermine l'ensemble des essais généraux nécessaires pour évaluer l'utilisation d'énergie du système, qui fournissent des données fondamentales pour

- a) la détermination de l'intensité énergétique ou de l'utilisation d'énergie spécifique telle que convenue par le fabricant ou l'utilisateur,
- b) la réalisation d'activités en rapport avec l'efficacité énergétique telles que la comparaison, la classification ou l'étiquetage (cf. Annexe A),
- c) la détermination des indicateurs de performance énergétique (cf. Annexe A), ou
- d) la réalisation d'essais relatifs au management de l'énergie selon l'ISO 50001.

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

4.2 Communication des résultats d'essai

Les données produites lors des mesures ou essais définis dans la présente norme peuvent être utilisées pour différents buts ou usages. Certains de ces usages comportent leurs propres exigences minimales en termes de quantité et de détail de la documentation, ainsi que leurs propres exigences de communication.

La présente norme fournit des exigences minimales pour la documentation, chaque essai permettant l'utilisation et la réutilisation des données pour différents buts. Seules les données bien documentées sont dignes de confiance et permettent une comparaison ponctuelle ou entre différentes installations.

L'Annexe B contient des informations sur la manière dont les données peuvent être représentées.

4.3 Périmètre du système consommateur d'énergie pour les essais

4.3.1 Considérations générales

Les règles fondamentales suivantes s'appliquent:

- Toutes les utilisations d'énergie entrant dans le cadre de la production ou du transport d'énergie électrique destinée à l'installation sont exclues.
- Toutes les utilisations d'énergie entrant dans le cadre de l'installation ou étant nécessaires au processus prévu de l'installation sont incluses.

Les utilisations d'énergie suivantes du processus prévu doivent être prises en compte:

- a) L'énergie de compression ou de décompression de la vapeur, de l'air ou de tout autre gaz doit être incluse dans les calculs d'énergie utilisée et perdue.
- b) L'énergie chimique exothermique ou endothermique impliquant des gaz réactifs dans le traitement de la charge de travail doit être incluse.
- c) L'énergie utilisée à des fins de refroidissement par excédents de gaz réactifs et/ou inertes dans le traitement de la charge de travail doit être incluse.
- d) L'énergie utilisée à des fins de refroidissement de la charge de travail traitée à la température ambiante, ou à des fins de préparation pour un traitement ultérieur dans le cadre du fonctionnement normal doit être incluse, mais indiquée séparément dans les calculs d'énergie utilisée et perdue. Si une partie de cette énergie thermique est

retransférée dans l'installation ou le processus, ce recyclage d'énergie thermique doit être reporté séparément afin de permettre la réalisation de comparaisons avec d'autres installations de la même catégorie ne disposant pas de cette fonctionnalité. L'énergie thermique utilisée en dehors du processus ne doit pas être incluse dans le rapport (voir Annexe D).

4.3.2 Installations de type discontinu

Les installations de type discontinu se caractérisent par un traitement discontinu dans lequel le processus prévu survient à un emplacement de traitement spécifique ou à l'intérieur d'une enceinte de traitement. S'il existe des moyens d'accès, ceux-ci sont ouverts et une charge de travail est placée à l'intérieur d'une enceinte de traitement de l'installation et ensuite exploitée en fonctionnement normal. Les moyens d'accès sont ensuite ouverts de nouveau et la charge de travail est retirée de cette enceinte de traitement, puis soit l'installation passe en fonctionnement en veille à l'état chaud avec les moyens d'accès étant fermés, soit le processus est directement redémarré avec une autre charge de travail après remplacement de la charge de travail.

Le fonctionnement normal inclut une phase de traitement dans le cycle de fonctionnement et peut également inclure un ou plusieurs des sous-processus suivants dans ce cycle:

- la fermeture et l'ouverture des moyens d'accès;
- la mise sous pression de l'enceinte de traitement;
- le mouvement ou le transport de la charge de travail, cela inclut par exemple les mouvements de rotation ou d'oscillation en fonctionnement;
- le maintien de la charge de travail à une température spécifique pendant une durée spécifiée;
- l'introduction de gaz réactifs ou de protection à l'intérieur de l'enceinte de traitement, y compris les processus de dépôt;
- le refroidissement naturel ou forcé de la charge de travail, par exemple si un refroidissement est nécessaire pour éviter tout dommage ou toute ébullition par exposition de la charge de travail chaude à l'atmosphère ambiante.

L'énergie utilisée pour réaliser ces sous-processus doit être incluse. Le périmètre spatial de l'installation dans le cadre du processus se définit par

- a) la position de l'orifice d'entrée dans lequel est placée la charge de travail avant le fonctionnement normal ou l'équipement qui amène la charge de travail dans une enceinte de traitement ou à une position donnée; un tel équipement fait partie de l'installation, et son utilisation d'énergie est incluse;
- b) la position de l'orifice de sortie dans lequel est placée la charge de travail à l'issue du fonctionnement normal afin d'être retirée ou l'équipement qui sort la charge de travail d'une enceinte de traitement ou d'une position; un tel équipement fait partie de l'installation, et son utilisation d'énergie est incluse;
- c) l'utilisation d'énergie de tous les équipements intermédiaires, y compris par exemple l'ensemble des appareillages de connexion, pompes et dispositifs de refroidissement nécessaires au traitement.

NOTE Dans les équipements utilisant une pression non atmosphérique ou des atmosphères non constituées d'air, la frontière entre l'installation EH ou EPM et toute autre installation est habituellement une vanne; un verrouillage de charge – constitué de deux vannes et utilisé pour le transfert de la charge de travail entre différentes atmosphères – fera généralement partie de l'installation EH ou EPM.

Le cycle de fonctionnement discontinu pertinent pour les mesures doit débuter après un fonctionnement en veille à l'état chaud.

4.3.3 Installations de type continu

Les installations de type continu se caractérisent par un traitement continu ou semi-continu. La charge de travail est transportée dans la zone de traitement de l'installation, qui peut être

une enceinte de traitement de l'installation pendant le fonctionnement normal. Le traitement a lieu à des emplacements successifs à l'intérieur de l'installation au fur et à mesure du déplacement de la charge de travail – par exemple dans le cadre d'opérations rouleau à rouleau ou d'installations d'alimentation feuille à feuille. La plupart des installations passent en fonctionnement en veille lorsqu'aucune charge de travail n'est transportée; cela peut constituer une veille à l'état chaud pour de nombreux processus thermiques.

Le fonctionnement normal inclut une phase de traitement et peut également inclure un ou plusieurs des sous-processus suivants, qui interviennent à des emplacements différents et habituellement séparés au sein de l'installation:

- le maintien de la charge de travail à une température spécifiée;
- l'introduction de gaz réactifs ou de protection, y compris les processus de dépôt;
- le refroidissement naturel ou forcé de la charge de travail, par exemple si un refroidissement est nécessaire pour éviter tout dommage par exposition de la charge de travail chaude à l'atmosphère ambiante.

L'énergie utilisée pour réaliser ces sous-processus doit être incluse uniquement si elle s'avère nécessaire pour refroidir ou dépressuriser la charge de travail dans une partie entière de l'installation. Le périmètre de l'installation se définit alors par:

- a) les orifices d'entrée et de sortie;
- b) tous les équipements intermédiaires, y compris par exemple l'ensemble des appareillages de connexion, pompes et dispositifs de refroidissement nécessaires au fonctionnement de l'installation.

La consommation d'énergie pour le transport ou le traitement de type rouleau dans les installations autonomes est incluse dans l'énergie utilisée. Elle doit être indiquée séparément dans les calculs.

4.4 Exigences générales pour les essais

Pour garantir la sécurité, les exigences de sécurité applicables ainsi que les instructions du fabricant doivent être observées pendant l'ensemble des essais.

Les caractéristiques et paramètres définis à l'Article 8 doivent être soumis à l'essai à l'état chaud d'une installation EH ou EPM

- lors de la mise en service,
- lorsque l'installation est prête au fonctionnement normal,
- à intervalles réguliers tels que définis par le fabricant,
- à l'issue de la maintenance ou
- après des modifications.

L'opérateur responsable de la réalisation des mesures ou essais doit être suffisamment formé pour faire des essais précis et avoir suffisamment de temps et de ressources à sa disposition pour réaliser les mesures et essais tels que prévus et indiqués dans la présente norme.

4.5 Conditions de fonctionnement pendant les essais

Les conditions de fonctionnement pendant les essais doivent être comprises dans la plage de fonctionnement normal et ainsi refléter l'usage prévu de l'installation d'après le fabricant tout en excluant les schémas d'utilisation extrême, la mauvaise utilisation délibérée ou des modifications non autorisées de l'installation ou de ses paramètres de fonctionnement.

4.6 Conditions d'environnement pendant les essais

Tous les essais doivent être réalisés

- dans les conditions normalisées d'environnement, à une température ambiante comprise dans la plage 5 °C à 40 °C, avec une humidité relative de l'air inférieure à 95 %, à moins de 1 000 m d'altitude au-dessus du niveau de la mer, ou
- sur le lieu d'utilisation de l'installation dans les conditions d'environnement disponibles et spécifiées ici.

Les conditions d'environnement ne doivent pas dépasser celles définies pour l'usage prévu de l'installation. Toutes les conditions d'environnement affectant les résultats de mesure doivent être surveillées pendant les essais et doivent être consignées. Elles concernent:

- a) la température et l'humidité dans la zone d'admission d'air de l'enceinte de traitement, si les valeurs présentent un intérêt;
- b) la température et l'humidité de l'air de refroidissement amené à l'intérieur de l'installation;
- c) la température et l'humidité de l'air rejeté, si les valeurs présentent un intérêt pour les calculs de bilan énergétique;
- d) la température de la charge de travail lors de l'entrée dans l'installation;
- e) la teneur en humidité ou en solvant de la charge de travail lors de l'entrée dans l'installation, si applicable.

4.7 Tension d'alimentation

La tension d'alimentation ne doit pas dépasser les limites définies pour l'usage prévu.

NOTE La plage des tensions d'alimentation assignées est spécifiée dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Une plage commune est un écart n'excédant pas $\pm 10\%$ de la valeur nominale, celle-ci étant la plage définie par l'IEC 60038.

La tension d'alimentation délivrée à l'installation doit être contrôlée pendant les essais.

5 Comparaison des installations ou équipements

L'analyse comparative et l'étiquetage constituent des services prévoyant ou permettant une comparaison directe entre les équipements. Il en va de même pour l'évaluation de différentes catégories d'équipements pour un processus spécifique. Les différences suivantes entre les équipements peuvent engendrer des divergences dans les résultats d'essai, en particulier en ce qui concerne l'utilisation d'énergie spécifique:

- a) les détails du processus (ex: fréquence de traitement ou mode de transfert d'énergie à la charge de travail),
- b) le type de processus (discontinu ou continu),
- c) la capacité d'équipement, notamment au sein d'une même catégorie d'équipement,
- d) la taille ou la masse de la charge de travail,
- e) les détails de l'équipement (ex: taille),
- f) l'environnement de l'installation (ex: température et humidité moyennes, leurs fluctuations ou la hauteur par rapport au niveau de la mer),
- g) la forme d'approvisionnement (par le réseau électrique ou production sur site) et de distribution sécurisée de l'énergie électrique (fluctuations de la tension d'entrée, forme d'onde) – 8.10 donne un essai concernant l'influence de la tension d'alimentation sur le traitement.

Tous les détails pertinents répertoriés ci-dessus ou tout autre problème applicable influençant les comparaisons doivent être intégrés à la documentation d'essai.

La comparaison n'est utile que si certains aspects sont modifiés et que d'autres sont gardés constants. En cas de comparaison entre des équipements d'une même catégorie ou entre des

catégories d'équipements, il est par conséquent recommandé d'utiliser des charges de travail identiques.

Le fabricant tolère habituellement une certaine variation dans les charges de travail et les réglages de manière à ce que les essais comparatifs puissent être réalisés avec des charges de travail identiques, sélectionnées dans les limites de spécification du fabricant en fonctionnement normal.

La spécification de la charge de travail utilisée pour les essais doit être intégrée au rapport d'essai.

Le chauffage des conteneurs, des supports ou de tout autre appareil en rapport avec celui de la charge de travail en cours de traitement peut varier au sein d'une même catégorie d'équipement. Si cela est le cas, l'augmentation de l'enthalpie dans la charge de travail en incluant et en excluant tout conteneur, support ou tout autre appareil nécessaire au traitement doit être séparée pendant l'essai et être reportée de manière adéquate.

6 Mesures et charges de travail

6.1 Généralités

Il est recommandé d'effectuer 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 de données électroniques multicanal doit être utilisé pour la mesure et le stockage automatiques des données nécessaires dans un format électronique.

6.2 Résolution temporelle

La résolution temporelle nécessaire aux équipements de mesure et le taux d'enregistrement de données des appareils de stockage dépendent de l'installation, ainsi que des essais spécifiques devant être réalisés. La fréquence de mesure et de stockage doit être suffisamment élevée pour permettre l'enregistrement de toutes les variations de signaux significatives.

6.3 Mesure de la fréquence

La plage de fréquences des équipements couverts par la présente norme s'étend de 0 Hz à la fréquence de rayonnement optique (jusqu'à 30 PHz). En règle générale, la précision d'une mesure de fréquence (ou de longueur d'onde) doit être suffisante pour distinguer les différences significatives de manière fiable. Se reporter aux normes d'essai applicables pour les détails. Les estimations de précision de mesure doivent être incluses dans le rapport d'essai.

6.4 Mesures des données électriques

6.4.1 Tension d'alimentation

Toutes les mesures consignées concernant les valeurs électriques par exemple, consommation de puissance ou courant, doivent inclure les données de la tension d'alimentation pendant la mesure.

6.4.2 Tension, courant, puissance électrique et résistance

Sauf spécification contraire dans un essai particulier, la précision des équipements concernant les mesures de tension, courant, puissance et résistance à la fréquence du réseau et dans la plage inférieure doit être de la classe 1.0. Sauf spécification contraire dans un essai particulier, tous les équipements pour les mesures d'énergie doivent être de la classe 2.0 ou plus.

Les équipements pour la mesure de tension et des circuits de courant alternatif doivent être capables de montrer la vraie valeur efficace indépendamment de la forme d'ondes.

Les équipements pour la mesure de résistance doivent utiliser une sonde à quatre points, le cas échéant; le type de sonde utilisé doit être intégré au rapport d'essai.

6.4.3 Emplacements de mesure

Les mesures de toutes les valeurs électriques, qui font partie d'un essai d'utilisation d'énergie ou de puissance de l'installation, doivent être réalisées

- a) à l'entrée d'alimentation de l'installation.
- b) à la sortie d'alimentation de l'appareillage de connexion ou aux sources de tension/courant raccordées à l'équipement de traitement ou alimentant le convertisseur à la fréquence de traitement.
- c) à la sortie d'alimentation respective de l'appareillage de connexion raccordé à un équipement auxiliaire éventuel, si cela est pertinent.

Des points d'accès spécifiques peuvent être installés lors de la fabrication de l'installation. Les équipements de mesure peuvent faire partie de l'appareillage de connexion; son utilisation d'énergie est alors considérée comme étant intégrée dans l'utilisation d'énergie de l'appareillage de connexion.

6.5 Mesure de la température

6.5.1 Généralités

Le type d'équipement utilisé pour la mesure de température dépend par exemple de la tâche, de la plage de températures, des informations disponibles concernant les surfaces ou les volumes soumis à la mesure, ou encore de leur accessibilité.

Dans le cas de températures supérieures à 20 °C, l'erreur de mesure relative pour l'ensemble des mesures de température selon la présente norme ne doit pas dépasser 5 % de la valeur mesurée exprimée en °C. Les estimations de précision de mesure doivent être incluses dans le rapport d'essai.

NOTE La série de normes allemandes VDI/VDE 3511 fournit des informations avec des recommandations de mesure de température dans l'industrie.

6.5.2 Thermocouples de contact

Les thermocouples de contact sont simples à utiliser et fiables, et produisent des résultats d'une précision suffisante:

- si un contact étroit et non détachable avec une surface d'un objet est réalisé, et
- si l'objet possédant une masse suffisamment importante et une bonne conductivité thermique avec le thermocouple est appliqué et contrôlé.

Normalement, ils ne peuvent cependant pas être utilisés dans des champs magnétiques, à hautes fréquences et à micro-ondes, alternativement, par conséquent d'autres méthodes telles que les peintures thermosensibles et les capteurs à fibre optique doivent alors être utilisées.

Si les températures sont mesurées au moyen de thermocouples, ils doivent être fixés de manière à ce

- a) qu'ils aient un contact étroit de résistivité thermique faible avec la charge de travail tout au long de la période de mesure;
- b) qu'ils n'influencent pas l'irradiation ou la convection au sein de l'installation;

- c) sur les surfaces irradiées de la charge de travail fictive uniquement si une mesure pyrométrique n'est pas praticable.

La fixation des thermocouples peut se faire comme suit:

- ruban à base de polyimide jusqu'à 400 °C;
- colle ou glue thermorésistante;
- brasage métallique;
- thermosoudage sur un matériau thermoplastique;
- placement des thermocouples dans des trous alésés.

6.5.3 Méthodes thermographiques

Il est permis d'utiliser des pyromètres et des caméras infrarouges, regroupés sous le nom de méthodes thermographiques:

- pour l'ensemble des surfaces à température élevée,
- sous réserve que l'émissivité de la surface soit bien connue,
- et que la surface soit considérée comme étant lambertienne – c'est-à-dire possédant une émissivité angulaire conforme à la loi du cosinus de Lambert,
- et lorsque la plage de longueurs d'onde est transmise par un tube ou une substance filtrante protégeant la source et se trouvant sur le trajet du rayon entre la source et l'équipement.

La valeur utilisée d'émissivité, la longueur d'onde de mesure et l'erreur présumée d'émissivité doivent être incluses dans tous les rapports de mesure.

6.5.4 Changement de couleur des marques de peinture ou de crayon

Des crayons ou peintures spécifiques (appelées peintures thermosensibles) changent de couleur de manière irréversible pendant la phase de chauffage. Le changement de couleur dépend de la combinaison de la température maximale et de la durée d'exposition à la température maximale. Une bonne pratique d'utilisation consiste à respecter ce qui suit:

- tracer des points sur un côté de la charge de travail avec de la peinture thermosensible;
- le côté marqué de la charge de travail n'est pas exposé à des rayonnements optiques intenses, ni à d'autres effets pouvant en engendrer une surchauffe ou une décomposition.

Il est généralement nécessaire de calibrer les couleurs de la peinture thermosensible pour traiter les paramètres utilisés pour les essais.

6.6 Mesure de la pression, de l'humidité ou de la composition des fluides

Les données suivantes peuvent affecter les essais spécifiés dans la présente norme:

- la pression environnementale réelle,
- l'humidité environnementale réelle,
- la pression, l'humidité ou la composition des gaz à l'intérieur de l'équipement de traitement.

Le type d'équipement utilisé pour la mesure dépend de la température et de l'accessibilité.

La pression, l'humidité ou la composition des fluides doivent être mesurées si une variation affecte l'essai. L'erreur de mesure relative pour ces mesures doit être suffisamment faible pour distinguer toute influence significative. Les estimations de précision de mesure doivent être incluses dans le rapport d'essai.

6.7 Charge de travail

6.7.1 Généralités

Avec de nombreux processus, le résultat final n'est pas directement lié à une augmentation globale de l'enthalpie dans une charge de travail réelle. Selon le processus prévu et l'effet mesuré, différents types de charges de travail sont utilisés:

- la charge de travail prévue,
- une charge de travail fictive, ou
- une charge de travail d'essai de fonctionnement.

La méthodologie de mesure de l'augmentation de l'enthalpie doit être clairement indiquée dans le rapport d'essai.

Il existe des cas où l'utilisation de charges de travail fictives pour la mesure de l'augmentation de l'enthalpie n'est pas significative ou ne peut pas être appliquée. Des exemples sont les processus de dépôt en surface, de recuit de cordon et de découpe au laser où l'uniformité du traitement est plus importante que l'augmentation globale de l'enthalpie dans la charge de travail. Une comparaison au sein d'une catégorie d'équipement peut produire des résultats assez similaires avec une charge de travail fictive, mais engendrer des différences de qualité produites significatives dans une charge de travail prévue. Dans ces cas, la charge de travail prévue peut constituer le seul type de charge de travail réaliste à des fins d'essais comparatifs.

6.7.2 Détermination de l'enthalpie à l'aide d'une charge de travail fictive

Des charges de travail fictives peuvent être utilisées après accord des parties impliquées. Elles doivent être conçues de manière à être simples et fiables, leur utilisation ne devant pas occasionner de risques additionnels par rapport à la charge de travail prévue.

Les spécifications relatives aux charges de travail fictives et la méthodologie de mesure de l'augmentation de l'enthalpie doivent être clairement indiquées dans le rapport d'essai.

L'application de charges de travail fictives ne tient habituellement pas compte de la qualité du produit final. L'augmentation de l'enthalpie globale constitue une variable importante, mais l'utilisation des charges de travail normales peut causer des problèmes en termes de reproductibilité ou de précision de mesure de l'enthalpie.

Etant donné que le fabricant ne spécifie généralement pas la charge de travail fictive ou son utilisation, des précautions de sécurité doivent être observées par la ou les parties en charge de la réalisation des essais.

6.7.3 Utilisation d'une charge de travail d'essai de fonctionnement

Etant donné que les spécifications d'une charge de travail d'essai de fonctionnement ne sont généralement pas fournies par le fabricant, des précautions de sécurité doivent être observées par la ou les parties en charge de la réalisation des essais.

Des charges de travail d'essai de fonctionnement doivent être utilisées dans les cas où le résultat du processus prévu n'est pas une simple augmentation de l'enthalpie, mais d'autres effets. Elles peuvent être utilisées pour rechercher d'éventuelles différences de performances importantes entre différents équipements soumis à l'essai. Des charges de travail d'essai de fonctionnement et des charges de travail fictives peuvent être utilisées, si elles sont jugées pertinentes.

Les spécifications et procédures d'essai relatives aux charges de travail d'essai de fonctionnement, ainsi que les paramètres et critères utilisés aux fins d'évaluation de la performance doivent être indiqués dans le rapport d'essai.

6.7.4 Préparation d'une charge de travail d'essai de fonctionnement

La charge de travail d'essai de fonctionnement doit soit être une partie préparée de la charge de travail prévue, soit être préparée en tenant compte des considérations suivantes:

- a) sa surface doit imiter les propriétés de surface prévues de la charge de travail;
- b) en particulier si un revêtement est appliqué à la charge de travail d'essai de fonctionnement qui imite la surface de la charge de travail, le contact thermique entre le revêtement et la charge de travail d'essai de fonctionnement doit être satisfaisant sur l'ensemble de la surface;
- c) elle doit être de forme simple;
- d) elle doit être comparable en termes de taille, de volume ou de poids à la charge de travail prévue telle qu'appropriée pour l'essai spécifique;
- e) elle doit posséder une conductivité thermique élevée, si applicable.

Si la charge de travail d'essai de fonctionnement est réalisée dans un matériau présentant une conductivité thermique élevée, un seul point de détection sur l'avant ou le côté est suffisant.

Si un gradient de température à l'intérieur de la charge de travail d'essai de fonctionnement est attendu, la température doit être mesurée au moins sur le côté exposé et à l'arrière de celle-ci.

Si l'épaisseur de la charge de travail d'essai de fonctionnement le permet et que sa conductivité thermique est faible, des thermocouples ou d'autres capteurs adaptés peuvent être placés à l'intérieur afin d'évaluer le gradient de température interne.

7 Modélisation numérique

Dans de nombreux cas, les mesures ne peuvent pas être réalisées faute d'accessibilité ou en raison d'une trop grande complexité, de coûts trop importants ou de l'indisponibilité des équipements de mesure. Dans ce cas, des calculs numériques peuvent être utilisés à la place. Il existe un grand nombre de méthodes disponibles selon le problème réel à résoudre. Les lignes directrices concernant l'utilisation de méthodes spécifiques ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme, mais des exigences minimales générales concernant les performances des essais numériques peuvent être données.

La précision du calcul doit être comparable à la précision réalisable des mesures, si cela est faisable. Cela définit la précision nécessaire pour le montage géométrique mis en œuvre, ainsi que les efforts numériques tels que la résolution du réseau ou les cycles itératifs.

L'utilisation de données calculées à la place de mesures doit être clairement indiquée. La documentation du calcul doit inclure

- a) la méthode numérique utilisée;
- b) le montage géométrique utilisé;
- c) toutes les données de modélisation pertinentes;
- d) une description des modèles utilisés présentant un intérêt pour le calcul;
- e) le logiciel et la version utilisés;
- f) le ou les paramètres définis du logiciel qui influencent le résultat;
- g) une mesure de précision du résultat fourni par le logiciel, par exemple l'énergie perdue par le système ou l'énergie non établie dans le système en raison d'effets numériques;
- h) la méthode utilisée pour la vérification de la précision des modèles utilisés et le calcul lui-même.

En règle générale, il doit être possible, à partir des données stockées, de mettre en œuvre une nouvelle fois les modèles et d'effectuer une nouvelle fois le calcul sur un autre système ou d'utiliser un logiciel différent.

8 Essais techniques

8.1 Aperçu

Les méthodes d'essai de fonctionnement peuvent être regroupées selon leur objet:

- Les 8.2 à 8.7 fournissent des informations fondamentales sur la consommation d'énergie pendant les différentes phases du fonctionnement et du cycle de vie.
- Les 8.8 et 8.9 fournissent des informations plus générales sur la variation et la quantité de l'énergie utilisée.
- Les 8.10 et 8.11 portent sur la plage possible de fonctionnement normal ou le traitement prévu, ainsi que leur dépendance par rapport à la tension d'alimentation réelle.
- Le 8.12 propose des essais fondamentaux relatifs aux aspects qualité des charges de travail traitées.

Les essais définis de 8.2 à 8.7 peuvent être réalisés

- pour l'installation complète ou pour des parties d'une installation,
- pour l'équipement de traitement seulement, ou
- pour l'équipement auxiliaire seulement.

Dans tous les cas, la définition du périmètre du système consommateur d'énergie donnée en 4.3 s'applique et l'utilisation du périmètre doit être strictement observée.

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

La mesure de la consommation d'énergie et de la durée de l'opération de démarrage à l'état froid des installations est réalisée comme suit:

- a) L'état initial correspond aux conditions ambiantes indiquées en 4.6.
- b) L'installation est exploitée sans charge de travail, si applicable.
- c) Le cas échéant, un préchauffage de l'enceinte ou de la zone de traitement afin d'atteindre un état raisonnablement proche du fonctionnement en veille à l'état chaud est réalisé.
- d) La consommation d'énergie électrique totale et la durée de l'opération de démarrage à l'état froid sont mesurées.

Dans le cas où il est prévu que l'installation ne puisse être chauffée en toute sécurité qu'avec une charge de travail à l'intérieur, cette procédure doit être respectée.

8.3 Consommation de puissance du fonctionnement en veille à l'état chaud

Les mesures de la consommation de puissance du fonctionnement en veille à l'état chaud sont réalisées comme suit:

- a) L'installation est exploitée sans charge de travail, si applicable.
- b) Les conditions de fonctionnement en veille à l'état chaud sont maintenues.
- c) La consommation de puissance est calculée à partir de la consommation d'énergie totale mesurée sur une période suffisamment longue pour permettre un moyennage.

8.4 Consommation de puissance électrique de l'opération de maintien

Dans certains types d'installations, une fonction de maintien est nécessaire pour égaliser la température de la charge de travail avant ou après la phase chauffage du traitement.

NOTE La différence majeure entre le fonctionnement en veille à l'état chaud et l'opération de maintien est que la charge de travail est présente dans le dernier cas et qu'elle peut émettre ou absorber des rayonnements, voire produire ou absorber de l'énergie par convection ou conduction dans son environnement ambiant. Cela est généralement compensé par une variation de l'approvisionnement en énergie externe visant à maintenir la température de la charge de travail.

La mesure de la consommation de puissance pendant l'opération de maintien avec une charge de travail doit être effectuée si ce qui suit s'applique:

- a) Le maintien à température fait partie du fonctionnement normal.
- b) Le fonctionnement normal s'effectue avec une charge de travail préchauffée.
- c) La température de la charge de travail est gardée constante en utilisant des paramètres de contrôle particuliers à cette fin.

La consommation d'énergie totale durant le maintien et la durée de maintien sont mesurées sur une période suffisamment longue pour permettre un moyennage.

8.5 Consommation d'énergie et durée de l'opération de mise à l'arrêt

La mesure de la consommation d'énergie et de la durée de l'opération de mise à l'arrêt des installations avec lesquelles cela est exigé et significatif est réalisée à partir du fonctionnement en veille à l'état chaud comme spécifié par le fabricant. La période de mise à l'arrêt s'achève lorsque l'alimentation de l'installation peut être déconnectée en toute sécurité.

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

Le cas échéant, les détails suivants s'appliquent à la mesure de la consommation d'énergie et de la durée de l'opération de maintenance:

- a) La maintenance de l'installation est réalisée conformément aux spécifications du fabricant.
- b) La consommation d'énergie totale et la durée de l'opération de maintenance sont mesurées.

8.7 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 durée définie ou un fonctionnement spécifié. Le cas échéant, les informations suivantes doivent être consignées:

- a) La consommation d'énergie d'une installation de type discontinu pendant un cycle complet; cette valeur peut être mesurée et moyennée sur un nombre défini de cycles, ce qui doit alors inclure des périodes types de fonctionnement en veille à l'état chaud et de maintien. Le nombre de cycles et la variation de consommation d'énergie doivent être consignés dans le rapport de mesure.
- b) La consommation d'énergie d'une installation de type continu pendant le traitement d'une quantité définie de charge de travail, au cours de laquelle n'intervient aucun fonctionnement en veille ni aucune opération de maintien et lorsque l'installation a atteint un état stationnaire.
- c) La consommation d'énergie de l'installation sur un cycle de production complet – par exemple, un jour de travail, une semaine ou une année entière.

8.8 Consommation d'énergie cumulée et consommation de puissance de crête

La mesure de la consommation de puissance résolue dans le temps de l'installation permet d'effectuer le calcul de la consommation d'énergie cumulée pour une période complète d'utilisation globale de l'installation et la mesure de la consommation de puissance de crête. L'essai doit être effectué en surveillant la consommation de puissance résolue dans le temps de l'installation complète sur:

- un cycle, si l'installation est refroidie entre les cycles; ou

- un quart de travail, si l'installation est en fonctionnement pendant un certain nombre d'heures, mais est refroidie à l'issue d'un jour de travail; ou
- l'ensemble de la période de chauffage et une heure de fonctionnement si l'installation fonctionne en continu.

Les pièces internes de conversion électrique et d'appareillage de connexion de l'installation sont conçues pour accepter une consommation de puissance de crête spécifique. Elle définit la puissance assignée utilisée lors de la conception et du dimensionnement du système électrique général et des composants de l'installation. La consommation de puissance de crête réelle doit être mesurée sur un cycle de processus complet type, de la phase de chauffage au refroidissement.

La consommation de puissance de crête de l'installation peut être atteinte durant l'une des phases suivantes:

- préchauffage d'une installation de traitement continu;
- chauffage d'une/dans une installation de type discontinu;
- autres modes de fonctionnement.

La durée pendant laquelle la puissance de crête intervient joue un rôle important pour la tarification de l'énergie basée sur des mesures et pour d'autres mesures réalisées par la régie d'électricité. Compte tenu des différences qui existent entre les entreprises de distribution et les industries, les détails doivent faire l'objet d'accords pour chaque équipement ou usine.

NOTE L'établissement d'une correspondance entre les phases d'un processus et la puissance consommée constitue la base d'un contrôle intelligent ou d'un contrôle de l'efficacité énergétique de l'installation. Il permet de réduire les crêtes ou de déplacer les périodes de traitement avec une consommation d'énergie élevée aux périodes de basse consommation de l'usine ou aux périodes où les coûts de l'électricité et de l'énergie sont faibles.

8.9 Capacité d'équipement

La capacité d'équipement ou la capacité de production nette est une mesure de la puissance fournie de l'installation par rapport à la qualité de la charge de travail prévue. Seules les parties de la charge de travail possédant la qualité de la charge de travail prévue après avoir été soumises au processus prévu sont évaluées.

La quantité de la charge de travail doit être dénombrée ou mesurée

- a) au moment où elle est placée dans l'installation avec une qualité suffisante pour ne pas être rejetée à cette étape, la qualité étant vérifiée juste avant que le traitement ne commence;
- b) au moment où elle quitte l'installation avec la qualité de la charge de travail prévue, la qualité étant vérifiée juste après que le traitement soit terminé.

La quantité de la charge de travail doit être:

- dénombrée, lorsqu'elle est dénombrable;
- exprimée en unité de masse ou de surface ramenée au temps ou en longueur ramenée au temps lorsqu'elle n'est pas dénombrable; ou
- exprimée en unité de surface ramenée au temps, lorsqu'elle est sous forme de feuilles.

Le taux de production nette en considérant seulement la charge de travail traitée de la qualité souhaitée doit être déclaré pour un processus de type discontinu ou pour une période définie. Il se définit comme la quantité de charge de travail de la qualité souhaitée, divisée par l'ensemble de la charge de travail traitée.

Le taux de rebut se définit comme la quantité de charge de travail n'étant pas de la qualité souhaitée, divisée par l'ensemble de la charge de travail traitée.

8.10 Dépendance des performances par rapport à la tension d'alimentation

La tension d'alimentation réelle ou sa variation peut influencer les performances de l'installation. Par exemple, les dispositifs de chauffage par effet Joule peuvent fonctionner directement ou via des transformateurs fixes sur la tension de ligne. 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 de l'équipement de traitement avec sa tension de service appliquée dépend de la catégorie et des détails techniques spécifiques. Ces données peuvent souvent être fournies par le fabricant de l'équipement. Ainsi, la variation de la consommation de puissance avec la tension de service réelle appliquée doit

- soit être calculée à partir de ces données,
- soit être mesurée en suivant la tension d'alimentation de l'installation et la consommation de puissance de l'installation sur une longue période ou à des réglages constants de l'installation.

La variation de puissance à la tension de service réelle affecte d'autres paramètres de l'installation également, par exemple la température des parois, la durée de traitement ou la durée de la phase de chauffage.

La tension d'alimentation réelle affecte les résultats du reste des essais et doit être intégrée au rapport d'essai (voir 6.4.1).

8.11 Plage de traitement du fonctionnement prévu

Les conditions de traitement à l'intérieur de l'installation peuvent varier, ce qui peut donner lieu à une variation de la qualité de la charge de travail sur la surface ou le volume de la charge de travail. La plage de traitement peut être mesurée à l'aide de l'approche suivante:

- a) L'installation est exploitée avec une charge de travail et le réglage de puissance est augmenté jusqu'à ce que la charge de travail complète soit convenablement traitée – autrement dit la partie de la charge de travail qui reçoit la plus petite quantité d'énergie pendant le traitement est soumise aux processus nécessaires. Cela correspond à la limite inférieure.
- b) L'installation est exploitée avec une charge de travail et le réglage de puissance est de nouveau augmenté jusqu'à ce que la charge de travail montre les premiers signes de surchauffe – par exemple, la partie de la charge de travail qui reçoit la plus grande quantité d'énergie montre des signes de processus destructif ou indésirable – ou que la limite supérieure prévue du réglage de puissance soit atteinte. Cela correspond à la limite supérieure.

La plage d'utilisation prévue définie par le fabricant ne doit pas être dépassée.

8.12 Propriétés de la surface de la charge de travail traitée

8.12.1 Généralités

Le présent 8.12 s'applique essentiellement aux processus pour lesquels l'objectif du fonctionnement normal est d'atteindre un état spécifique ou des propriétés spécifiques de la surface de la charge de travail. L'essai visant à évaluer l'homogénéité du traitement sur la surface de la charge de travail constitue habituellement un problème complexe. Les méthodes d'essai varient selon la modification de la propriété spécifique qui constitue le but essentiel du processus réalisé au sein de l'installation.

Un ou plusieurs des paramètres suivants peuvent être mesurés sur les surfaces des charges de travail et ainsi fournir des informations sur la qualité ou l'homogénéité du traitement au sein de l'installation:

- a) la température;
- b) la teneur résiduelle d'un solvant sur la charge de travail dans le cadre d'une évaluation de l'évaporation de ce solvant;
- c) le degré obtenu de réticulation d'un polymère ou vernis-laque;
- d) la quantité de substance ou de revêtement déposé sur la surface;
- e) la perte de masse de la surface;
- f) le degré obtenu de réaction chimique qui peut inclure des changements de phase;
- g) le brillant de la surface; et
- h) tout autre paramètre relatif à la surface.

Les mesures de ces paramètres impliquent des équipements et des méthodes de mesure relativement différents. Certaines mesures peuvent être réalisées au mieux à l'aide de méthodes 2D (telles qu'une caméra infrarouge), d'autres nécessitent une analyse complexe pour chaque position. Les méthodes de mesure disponibles les plus simples sont préférentielles, dans la mesure du possible et si une relation simple entre les effets est connue – par exemple, si une réaction chimique dépend fortement de la température, une mesure 2D de l'homogénéité de la température est suffisante.

Une charge de travail fictive préparée spécifiquement pour un essai peut être utilisée (voir 6.7.4).

Généralement, le but du fonctionnement normal est que l'ensemble de la surface (ou du volume) utilisable de la charge de travail atteigne une certaine valeur égale à au moins l'un des paramètres ci-dessus sans qu'aucune partie de la charge de travail ne surchauffe ou ne subisse un processus destructif.

8.12.2 Positions du capteur de mesure

Si un appareil 2D ou un appareil de balayage n'est pas disponible pour les mesures, mais que seules des méthodes de mesure par points sont possibles, ce qui suit s'applique:

- a) les positions de mesure doivent inclure un échantillon de positions présentant une exposition maximale au transfert d'énergie, ainsi que de positions présentant une exposition minimale en fonctionnement;
- b) dans les installations de type discontinu et pour les matériaux à feuilles, le centre et les coins de la feuille doivent être inclus;
- c) dans les installations de type continu et pour les matériaux à feuilles, le centre et les bords de la feuille doivent être inclus.

8.12.3 Homogénéité de la température

La méthode de mesure de l'homogénéité de la température de la charge de travail durant le processus ou à l'issue du processus dépend, entre autres, de l'accessibilité, de la surface de la charge de travail, du type de processus et des diverses températures. Les méthodes de mesure suivantes sont des exemples de bonnes pratiques, mais ne sont en aucun cas exhaustives.

L'utilisation et plus particulièrement la fixation de thermocouples sur une charge de travail (fictive) est définie en 6.5.2.

La température de la surface de la charge de travail peut être mesurée au moyen d'une caméra infrarouge directement après que la charge de travail a quitté l'enceinte ou la zone de traitement.

L'homogénéité de la température de la charge de travail dans le sens de transport dépend de la vitesse d'éjection, de la charge de travail elle-même et des facteurs environnementaux. Ces effets doivent être estimés et inclus à l'interprétation des données et au rapport.

Lors de l'utilisation des données mesurées, les effets suivants doivent être pris en compte:

- a) les réflexions provenant des surfaces chaudes de la charge de travail, ainsi que d'autres sources de chauffage ou d'éclairage peuvent générer des signaux parasites;
- b) même de légères variations de la surface de la charge de travail peuvent engendrer de fortes variations en termes d'émissivité, ce qui peut donner lieu à des erreurs de signaux;
- c) les surfaces possédant des propriétés de diffraction non lambertienne peuvent engendrer des variations incorrectes des températures mesurées sur la surface.

NOTE Les concepts fondamentaux sont donnés dans l'ISO 10878.

Un système distant de mesure par points de la température balayant toute la largeur de la charge de travail mesure la température pendant que la charge de travail est transportée. Cela permet ainsi d'éviter la survenue de certaines sources d'erreur consécutives à l'utilisation d'un système à caméra infrarouge.

8.12.4 Homogénéité de l'évaporation d'un solvant

La distribution spatiale de l'évaporation de l'eau provenant du papier ou d'un imprimé peut être mesurée.

NOTE L'ISO 638 ou l'ISO 11093-3 fournissent des méthodes normalisées.

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

8.12.5 Homogénéité du brillant

La variation spatiale du brillant de la peinture ou des vernis peut être mesurée.

NOTE 1 L'ISO 2813 fournit des méthodes normalisées.

La variation spatiale du brillant du papier peut être mesurée.

NOTE 2 La série ISO 8254 fournit des méthodes normalisées.

8.12.6 Autres propriétés

Pour les essais, d'autres propriétés de la charge de travail comme:

- l'estimation de l'homogénéité d'une réaction chimique,
- la mesure de l'homogénéité du dépôt d'une substance, ou

des méthodes d'essai peuvent être convenues par le fabricant et l'utilisateur.

9 Rendement de l'installation

9.1 Généralités

De nombreux indicateurs de performance énergétique différents sont concevables; ils décrivent l'intensité énergétique ou la consommation énergétique spécifique d'une installation ou d'un équipement. Les 9.2 à 9.5 suivants fournissent des indicateurs fondamentaux et peuvent servir de lignes directrices pour le développement d'autres indicateurs.

La consommation énergétique spécifique minimale théorique de la charge de travail soumise au processus prévu est examinée à l'Annexe C.

Très souvent, l'intensité énergétique significative ne doit pas être basée sur l'efficacité électrothermique ni sur l'efficacité découlant de la chaleur récupérable de la charge de travail