

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

Part 9-1: Surface spread of flame – General guidance

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 9-1: Propagation des flammes en surface – Lignes directrices générales





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60695-9-1

Edition 3.0 2013-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

Part 9-1: Surface spread of flame – General guidance

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 9-1: Propagation des flammes en surface – Lignes directrices générales

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 13.220.40; 29.020

ISBN 978-2-83220-753-6

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions	6
4 Principles of flame spread.....	11
4.1 Liquids	11
4.2 Solids	11
5 Consideration for the selection of test methods	12
5.1 Fire scenario	12
5.2 Ignition sources	12
5.3 Types of test specimen	12
5.4 Test procedure and apparatus	13
5.5 Measurement techniques	13
5.5.1 Direct measurement.....	13
5.5.2 Indirect measurement	13
6 Use and interpretation of results	13
Bibliography	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

**Part 9-1: Surface spread of flame –
General guidance**

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 60695-9-1 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

FDIS	Report on voting
89/1159/FDIS	89/1164/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.

This third edition cancels and replaces the second edition of IEC 60695-9-1 published in 2005, and constitutes a technical revision.

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

- a) an expanded scope;
- b) updated references;
- c) updated terms and definitions.

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

This international standard is to be used in conjunction with IEC 60695-9-2.

A list of all the parts in the 60695 series, under the general title *Fire hazard testing*, can be found on the IEC web site.

IEC 60695-9 consists of the following parts:

- Part 9-1: Surface spread of flame – General guidance
- Part 9-2: Surface spread of flame – Summary of test methods

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.

INTRODUCTION

Fires are responsible for creating hazards to life and property as a result of the generation of heat (thermal hazard), and also toxic effluent, corrosive effluent and smoke (non-thermal hazard). Fire hazard increases with the burning area leading in some cases to flashover and a fully developed fire. This is a typical fire scenario in buildings.

The surface spread of flame beyond the area of ignition occurs as a result of the creation of a pyrolysis front on the surface of the material, ahead of the flame front, arising from the heating by the flame and external heat sources. The pyrolysis front is the boundary between pyrolysed material and unpyrolysed material on the surface of the material. Combustible vapours are generated within the region of pyrolysed material, which mix with air and ignite, creating the flame front.

The surface spread of flame rate is the distance travelled by the flame front divided by the time required to travel that distance. The surface spread of flame rate depends on the heat supplied externally and/or by the flame of the burning material ahead of the burning zone and on the ease of ignition. The ease of ignition is a function of the minimum ignition temperature, thickness, density, specific heat, and thermal conductivity of the material. The heat supplied by the flame depends on the heat release rate, specimen orientation, air flow rate and air flow direction relative to the surface spread of flame direction. In general, materials show one of the following types of surface spread of flame behaviour:

- a) non-propagation: there is no flame propagation beyond the area of ignition;
- b) decelerating propagation: flame propagation stops before reaching the end of the surface of the material; and
- c) propagation: flame propagates beyond the area of ignition and eventually affects the entire surface of the material.

Properties of the materials that are used to describe the surface spread of flame behaviour are associated with surface preheating and pyrolysis, generation of vapours, mixing of the vapours with air, ignition, combustion of the mixture and generation of heat and combustion products. Flame retardants and surface treatments are used to modify the surface spread of flame behaviour. Factors that need to be considered for the assessment of the surface spread of flame behaviour of materials are:

- 1) the fire scenario (including such parameters as surface orientation, ventilation and the nature of the ignition source);
- 2) measurement techniques (see 5.5); and
- 3) the use and interpretation of results obtained (see 6).

FIRE HAZARD TESTING –

Part 9-1: Surface spread of flame – General guidance

1 Scope

This part of IEC 60695 provides guidance for the assessment of surface spread of flame for electrotechnical products and the materials from which they are formed. It provides:

- an explanation of the principles of flame spread for both liquids and solids,
- guidance for the selection of test methods,
- guidance on the use and interpretation of test results, and
- informative references

This basic safety publication is intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications. The requirements, test methods or test conditions of this basic safety publication will not apply unless specifically referred to or included in the relevant publications.

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 60695-4, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*

IEC Guide 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

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

ISO 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 2592, *Determination of flash and fire points – Cleveland open cup method*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, terms and definitions given in IEC 60695-4 and in ISO 13943:2008, some of which are reproduced below for the user's convenience, apply.

3.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

Note 1 to entry: Combustion generally emits fire effluent accompanied by **flames** (3.11) and/or glowing.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.2

damaged area

total of those surface areas that have been affected permanently by **fire** (3.6) under specified conditions

Note 1 to entry: Users of this term should specify the types of damage to be considered. This can include, for example, loss of material, deformation, softening, melting behaviour, char formation, **combustion** (3.1), **pyrolysis** (3.25) or chemical attack.

Note 2 to entry: The typical units are square metres (m²).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.59]

3.3

damaged length

maximum extent in a specified direction of the **damaged area** (3.2)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.60]

3.4

extent of combustion

(electrotechnical) maximum length of a test specimen that has been destroyed by **combustion** (3.1) or **pyrolysis** (3.25), under specified test conditions, excluding any region damaged only by deformation

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.91]

3.5

fire

(general) process of **combustion** (3.1) characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, **flame** (3.11), glowing or a combination thereof

Note 1 to entry: In the English language the term “fire” is used to designate three concepts, two of which, **fire** (3.6) and **fire** (3.7), relate to specific types of self-supporting combustion with different meanings and two of them are designated using two different terms in both French and German.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.6

fire

(controlled) self-supporting **combustion** (3.1) that has been deliberately arranged to provide useful effects and is limited in its extent in time and space

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.7

fire

(uncontrolled) self-supporting **combustion** (3.1) that has not been deliberately arranged to provide useful effects and is not limited in its extent in time and space

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.8

fire hazard

physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from **fire** (3.7)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.9

fire point

minimum temperature at which a material ignites and continues to burn for a specified time after a standardized small **flame** (3.11) has been applied to its surface under specified conditions

Note 1 to entry: In some countries, the term "fire point" has an additional meaning: a location where fire-fighting equipment is sited, which may also comprise a fire-alarm call point and fire instruction notices.

Note 2 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.10

fire scenario

qualitative description of the course of a **fire** (3.7) with respect to time, identifying key events that characterise the studied fire and differentiate it from other possible fires

Note 1 to entry: It typically defines the **ignition** (3.21) and fire growth processes, the **fully developed fire** (3.18) stage, the fire decay stage, and the environment and systems that impact on the course of the fire.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.11

flame, noun

zone in which there is rapid, self-sustaining, sub-sonic propagation of **combustion** (3.1) in a gaseous medium, usually with emission of light

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133, modified – added "zone in which there is".]

3.12

flame front

boundary of flaming **combustion** (3.1) at the surface of a material or propagating through a gaseous mixture

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.136]

3.13

flame retardant, noun

substance added, or a treatment applied, to a material in order to suppress or delay the appearance of a **flame** (3.11) and/or reduce the **flame-spread rate** (3.15)

Note 1 to entry: The use of (a) flame retardant(s) does not necessarily suppress **fire** (3.5) or terminate **combustion** (3.1).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.139]

3.14

flame spread

propagation of a **flame front** (3.12)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.142]

3.15**flame-spread rate****surface spread of flame rate**

DEPRECATED: burning rate

DEPRECATED: rate of burning

distance travelled by a **flame front** (3.12) during its propagation, divided by the time of travel, under specified conditions

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.143]

3.16**flashover**

(stage of fire) transition to a state of total surface involvement in a **fire** (3.7) of combustible materials within an enclosure

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.156]

3.17**flash point**

minimum temperature to which it is necessary to heat a material or a product for the vapours emitted to ignite momentarily in the presence of **flame** (3.11) under specified conditions

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.18**fully developed fire**

state of total involvement of combustible materials in a **fire** (3.5)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.164]

3.19**heat flux**

amount of thermal energy emitted, transmitted or received per unit area and per unit time

Note 1 to entry: The typical units are watts per square metre ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.173]

3.20**heat release rate**

DEPRECATED: burning rate

DEPRECATED: rate of burning

rate of thermal energy production generated by **combustion** (3.1)

Note 1 to entry: The typical units are watts (W).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.177]

3.21**ignition**

DEPRECATED: sustained ignition

(general) initiation of **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.22

ignition

DEPRECATED: sustained ignition

⟨flaming combustion⟩ initiation of sustained **flame** (3.11)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.188]

3.23

ignition source

source of energy that initiates **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.24

minimum ignition temperature

ignition point

minimum temperature at which sustained **combustion** (3.1) can be initiated under specified test conditions

Note 1 to entry: The minimum ignition temperature implies the application of a thermal stress for an infinite length of time.

Note 2 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.231]

3.25

pyrolysis

chemical decomposition of a substance by the action of heat

Note 1 to entry: Pyrolysis is often used to refer to a stage of **fire** (3.5) before flaming **combustion** (3.1) has begun.

Note 2 to entry: In fire science, no assumption is made about the presence or absence of oxygen.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.266]

3.26

pyrolysis front

boundary between the region of **pyrolysis** (3.25) and the region of unaffected material at the surface of the material

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.267]

3.27

surface spread of flame

flame spread (3.14) away from the source of **ignition** (3.22) across the surface of a liquid or a solid

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.317]

3.28

thermal inertia

product of thermal conductivity, density and specific heat capacity

EXAMPLES The thermal inertia of steel is $2,3 \times 10^8 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$. The thermal inertia of polystyrene foam is $1,4 \times 10^3 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

Note 1 to entry: When a material is exposed to a **heat flux** (3.19), the rate of increase of surface temperature depends strongly on the value of the thermal inertia of the material. The surface temperature of a material with a low thermal inertia rises relatively quickly when it is heated, and vice versa.

Note 2 to entry: The typical units are joules squared per second per metre to the fourth power per kelvin squared ($\text{J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.326]

4 Principles of flame spread

4.1 Liquids

The surface spread of flame over a liquid surface is governed by the flash and fire points of the liquid. The flash point is the minimum temperature to which the liquid must be heated for the vapours emitted to ignite momentarily in the presence of a flame under specified test conditions. In this case, the flash point is measured according to ISO 2592 (Cleveland open cup).

NOTE Defining the test method is important because the flame spread is described over an open liquid surface, for which ISO 2592 is applicable. The alternative method of measuring the flash point, described in ISO 2719 (Pensky – Martens closed cup) which is cited in IEC standards for insulating liquids, measures the flash point in a confined space and is intended to detect minor amounts of volatile material. The flash point measured in this way is significantly lower than that measured by ISO 2592.

The fire point is the temperature at which the liquid will not only ignite but will continue to burn.

The surface spread of flame rate is determined by gas phase parameters, when the temperature of the liquid is greater than that of its flash point, and by liquid phase parameters, when the liquid is at a temperature lower than that of its flash point. Gas phase parameters include air flow, flame and thermal radiation effects. Liquid phase parameters include convective fluid motion, surface tension, and liquid viscosity.

4.2 Solids

The surface spread of flame over a solid surface is always associated with air flow, caused by external factors (wind and ventilation) and by air flows induced by the flame itself. Air flowing in the opposite direction to that of the surface spread of flame (opposed flow) reduces the surface spread of flame rate and air flow in the same direction as the surface spread of flame (wind-aided) enhances the surface spread of flame rate.

For vertical test specimens with ignition at the bottom, the flame moves towards the top and is defined as the upward surface spread of flame. For vertical test specimens with ignition at the top, the flame moves towards the bottom, and this behaviour is defined as the downward surface spread of flame. For horizontal test specimens, the flame moves sideways away from the area of ignition, and this behaviour is defined as the lateral surface spread of flame.

After ignition of the test specimen, flame propagation will occur if the flame transfers sufficient heat flux, mostly as thermal radiation, ahead of the pyrolysis front so as to continue pyrolysis and ignition at a sufficient rate.

The magnitude of the heat flux transferred ahead of the pyrolysis front depends on the heat release rate of the test specimen, whereas the resistance to ignition is a function of the minimum ignition temperature of the test specimen and the rate of heating of the surface.

The rate of heating of the surface is, in turn, a function of a number of properties of the test specimen:

- a) thickness;
- b) thermal conductivity, (k);

- c) density, (ρ);
- d) specific heat capacity, (c).

In a thick test specimen, material below the surface is able to conduct heat away thus reducing the rate of surface heating and increasing the resistance to ignition. In a thin test specimen this effect is much reduced and so ignition resistance is lower.

The product, k_{pc} , is known as 'thermal inertia'. If the thermal inertia is high, for example as in the case of a solid metal, the rate of surface heating will be relatively low and it will therefore take a relatively long time for the ignition temperature to be reached. If the thermal inertia is low, for example as in the case of some foamed plastics or low density combustible materials, the rate of surface heating will be relatively high and it will therefore take a relatively short time for the ignition temperature to be reached.

Further detailed guidance concerning flame spread on solids is given in ISO/TS 5658-1.

5 Consideration for the selection of test methods

5.1 Fire scenario

The test method(s) selected should be relevant to the fire scenario of concern. Important parameters to be considered include:

- a) the geometry of the test specimen, including the presence of edges, corners or joints;
- b) the surface orientation;
- c) the direction of flame propagation;
- d) the rate and direction of air flow;
- e) the nature and position of the ignition source;
- f) the magnitude and position of any external heat flux;
- g) whether the flammable material is a solid or a liquid.

5.2 Ignition sources

The ignition source used in a laboratory test should be relevant to the fire scenario of concern. In the case of the fire hazard of electrotechnical equipment, two types of ignition source are of concern:

- a) from unusual localized, internal sources of excessive heat within electrotechnical equipment and systems;
- b) from sources of flame or excessive heat which are external to electrotechnical equipment and systems.

5.3 Types of test specimen

The test specimen may be a manufactured product, a component of a product, a simulated product (representative of a portion of a manufactured product), a basic material (solid or liquid), or a composite of materials.

Variations in the shape, size and arrangement of the test specimen should be limited.

Some test specimens may exhibit anisotropy, for example extruded or moulded thermoplastic materials. Where the intended usage and installation practice is such that bi-directional spread of fire presents a fire safety hazard, for instance computer housings, such test specimens should be tested in both 'x' and 'y' directions.

NOTE This recommendation does not apply to products typically installed in long, thin configurations, e.g. cables and conduits.

5.4 Test procedure and apparatus

The test procedure should preferably be designed so that the results can be used for hazard analysis. However, this may not be necessary in the case of simple tests intended only for quality control or regulatory purposes.

The test apparatus should be able to test the actual electrotechnical product, a simulated product, a material or a composite, as described in 5.3.

The test apparatus should be able to impose a heat flux from an external heat source or from a flame, in an approximately uniform fashion to the test specimen in the region where ignition is intended to occur.

The test apparatus with imposed heat flux should be able to ignite the vapour-air mixture emanating from the test specimen. An electrical spark ignitor or a premixed gas-air flame has been found to be suitable.

Tests for surface spread of flame under well-ventilated conditions should be performed using an air flow rate which is relevant to the fire scenario of concern.

5.5 Measurement techniques

5.5.1 Direct measurement

The position of the flame front is observed visually. It may be recorded as a function of time or simply to check some pass/fail distance criterion.

5.5.2 Indirect measurement

Two methods are employed to indirectly assess the rate or amount of flame spread.

One method is to note whether an indicator material has been burned or damaged. Examples are a paper flag, cotton waste or cotton thread. These indicator materials are positioned at defined points on or near the test specimen.

The other method is to note the position and/or amount of charred or damaged surface. Measurements may be made as a function of time or simply to record some pass/fail distance or area criterion.

It should be noted that direct and indirect methods will not normally give equivalent results.

Limited correlations have been established between results for the rate and extent of surface spread of flame using these two techniques.

6 Use and interpretation of results

Surface spread of flame depends on the pyrolysis, ignition, and combustion behaviour of a material. As the heat release rate from a material increases, the surface flame spread over the surface of a material increases and so does the generation of combustion products. Thus, for a specific fire, the following all increase together: the surface spread of flame, the heat release rate, the evolution of combustion products, the fire hazard, and the difficulty in fighting the fire.

By determining the surface spread of flame rate (and associated heat release rate and generation rates of combustion products), the relative hazard expected in fires of electrotechnical products is assessed. The assessment is based on the principle that the

slower the surface spread of flame, the lower the expected hazard. It is always desirable that the surface spread of flame be non-propagating or decelerating.

Bibliography

IEC 60332 (all parts), *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions*

IEC 61197, *Insulating liquids – Linear flame propagation – Test method using a glass- fibre tape*

ISO 2719, *Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method*

ISO/TS 5658-1, *Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 1: Guidance on flame spread*

BHATNAGAR, S.K., VARSHNEY, B.S., and MOHANTY, B. An appraisal of standard methods for determination of surface spread of flame behaviour of materials. *Fire and Materials*. July/September 1992, vol. **16**(3), 141-151. Available from: doi: 10.1002/fam.810160306

CLARKE, F., HOOVER, J.R., CAUDILL, L.M., FINE, A., PARNELL, A. and BUTCHER, G., Characterizing fire hazard of unprotected cables in over-ceiling voids used for ventilation, *Interflam '93. Sixth International Fire Conference*, Oxford. 1993.

DRYSDALE, D., *An introduction to fire dynamics*. New York: John Wiley and Sons, 1985, pp. 186-252.

FERNANDEZ-PELLO, A.C. and HIRANO, T. Controlling mechanisms of flame spread. Published jointly in *Fire Science and Technology* (Japan) 1982, vol. **2**(1), 17-54, and *Combustion Science and Technology* 1983, vol. **32**(1-4), 1-31. Available from: doi: 10.1080/00102208308923650

FRIEDMAN, R., *Principles of fire protection chemistry*, 2nd ed. Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 1989.

GLASSMAN, I., and HANSEL, J.G. Some thoughts and experiments on liquid fuel spreading, steady burning, and ignitability in quiescent atmospheres. *Fire Research Abstracts and Reviews*. 1968 **10**, 217-234. ISSN 0015-265X

HILADO, C.J., *Flammability test methods handbook*. Westport: Technomic, 1973.

HIRSCHLER, M.M., Comparison of large- and small-scale heat release tests with electrical cables, *Fire and Materials*. March/April 1994, vol. **18**(2), 61-76. Available from: doi: 10.1002/fam.810180202

HASEMI, Y., Surface flame spread. In: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 2008, pp. 2.278-2.290.

Specification Standard for Cable Fire Propagation, Class Number 3972. Norwood, Mass.: Factory Mutual Research Corporation, 1989.

TEWARSON, A., and KHAN, M.M. A new standard test method for the quantification of fire propagation behavior of electrical cables using Factory Mutual Research Corporation's small-scale flammability apparatus. *Fire Technology*. 1992, vol. **28**(3), 215-227. Available from: doi: 10.1007/BF01857691

TEWARSON, A. Surface Spread of Flame in Standard Tests for Electrical Cables. Technical Report J.I. 8 OM2E1. RC-2. Norwood, Mass.: Factory Mutual Research Corporation, September 1993.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
INTRODUCTION.....	19
1 Domaine d'application.....	20
2 Références normatives	20
3 Termes et définitions	21
4 Principes de la propagation des flammes	25
4.1 Liquides.....	25
4.2 Solides	25
5 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai	26
5.1 Scénario de feu	26
5.2 Sources d'allumage	27
5.3 Types d'éprouvettes.....	27
5.4 Procédure et appareillage d'essai	27
5.5 Techniques de mesure	27
5.5.1 Mesure directe.....	27
5.5.2 Mesure indirecte	28
6 Utilisation et interprétation des résultats.....	28
Bibliographie	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 9-1: Propagation des flammes en surface – Lignes directrices générales

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60695-9-1 a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1159/FDIS	89/1164/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/CEI, Partie 2.

Cette troisième édition de la CEI 60695-9-1 annule et remplace la deuxième édition publiée en 2005 dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition antérieure sont indiquées ci-dessous:

- un domaine d'application étoffé;
- mise à jour des références;
- mise à jour des termes et définitions

Elle a le statut d'une publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104 et au Guide ISO/CEI 51.

La présente norme internationale doit être utilisée conjointement avec la CEI 60695-9-2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60695, regroupées sous le titre général *Essais relatifs aux risques du feu*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

La CEI 60695-9 est composée des parties suivantes:

- Partie 9-1: Propagation des flammes en surface – Lignes directrices générales
- Partie 9-2: Propagation des flammes en surface – Résumé des méthodes d'essai

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 la CEI 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.

INTRODUCTION

Les feux sont à l'origine de risques pour la vie et le matériel, résultant de la formation de chaleur (risque thermique) et également d'effluents toxiques, d'effluents corrosifs et de fumée (risques non thermique). Le risque du feu augmente avec la surface d'allumage conduisant, dans certains cas, à un embrasement éclair et à un feu développé. Cela constitue un scénario typique des incendies d'immeuble.

La propagation de flammes en surface au-delà de la surface d'allumage est le résultat de la création d'un front de pyrolyse sur la surface du matériel, en avant du front de flammes, résultant de l'échauffement par la flamme et les sources externes de chaleur. Le front de pyrolyse est la limite entre le matériau pyrolysé et le matériau non pyrolysé sur la surface du matériau. Des vapeurs combustibles sont produites dans la région du matériau pyrolysé qui se mélangent avec l'air et qui prennent feu, créant ainsi le front de flammes.

La vitesse de propagation de flammes en surface est la distance parcourue par le front de flammes divisée par le temps nécessaire pour parcourir cette distance. La vitesse de propagation de flammes en surface dépend de la chaleur externe fournie et/ou de la flamme du matériau en train de brûler en avant de la zone d'incendie et de la facilité d'allumage. La facilité d'allumage dépend des valeurs minimales de la température d'allumage, de l'épaisseur, de la densité, de la chaleur spécifique et de la conductivité thermique du matériau. La chaleur fournie par la flamme dépend du débit thermique, de l'orientation de l'éprouvette, de la vitesse et de la direction de l'air, par rapport à la direction de propagation de flammes en surface. En général, les matériaux présentent l'un des types de propagation de flammes en surface suivants:

- a) non- propagation: il n'y a pas de propagation de la flamme au-delà de la zone d'allumage;
- b) décélération de la propagation: la propagation de la flamme s'arrête avant d'atteindre l'extrémité de la surface du matériau; et
- c) la flamme se propage au-delà de la zone d'allumage et finit par affecter la surface entière du matériau.

Les propriétés des matériaux qui sont utilisés pour décrire le comportement de la propagation de flammes en surface sont associées au préchauffage de la surface et à la pyrolyse, à la production de vapeurs, au mélange de vapeurs et d'air, à l'allumage, à la combustion de mélanges et à la production de chaleur et à des produits de combustion. Les retardateurs de flammes et les traitements de surface sont utilisés pour modifier le comportement de la propagation de flammes en surface. Les facteurs nécessaires à prendre en considération pour l'évaluation du comportement de la propagation de flammes en surface des matériaux sont:

- 1) le scénario feu (incluant de tels paramètres comme l'orientation de la surface, ventilation et la nature de la source d'allumage, etc.);
- 2) les techniques de mesure (voir 5.5); et
- 3) l'utilisation et l'interprétation des résultats obtenus (voir 6).

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 9-1: Propagation des flammes en surface – Lignes directrices générales

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60695 fournit les lignes directrices générales pour l'évaluation de la propagation de flammes en surface des produits électrotechniques et des matériaux à partir desquels ils sont faits. Elle fournit:

- une explication des principes de la propagation de la flamme pour les liquides et les solides,
- des considérations pour la sélection des méthodes d'essai
- des considérations pour l'utilisation et l'interprétation des résultats d'essais et
- des références informatives

Cette publication fondamentale de sécurité est destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes, conformément aux principes exposés dans le Guide CEI 104 et dans le Guide ISO/CEI 51.

Pour l'établissement de ses publications, il est de la responsabilité d'un comité d'études d'utiliser, à chaque fois qu'elles sont applicables, les publications fondamentales de sécurité. Les exigences, méthodes d'essai ou conditions d'essai de cette publication fondamentale de sécurité ne s'appliquent pas, sauf si elles sont spécifiquement citées en référence ou incluses dans les publications correspondantes.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60695-4, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques*

Guide CEI 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications* (disponible en anglais seulement)

Guide ISO/CEI 51, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

ISO/CEI 13943:2008, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

ISO 2592, *Détermination des points d'éclair et de feu – Méthode Cleveland à vase ouvert*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60695-4 et dans l'ISO 13943, dont certains sont redonnés ci-dessous pour le confort de l'utilisateur s'appliquent.

3.1

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

Note 1 à l'article: Cette combustion émet généralement des effluents du feu accompagnés de **flammes** (3.11) et/ou d'incandescence.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.2

surface endommagée

somme des surfaces d'un objet affectées par le **feu** (3.6) d'une manière permanente dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: Il convient que les utilisateurs de ce terme spécifient les types de dommage à considérer. Cela peut comprendre, par exemple, la perte de matière, la déformation, le ramollissement le comportement thermofusible, la formation de résidu charbonneux, la **combustion** (3.1), la **pyrolyse** (3.25) ou l'attaque chimique.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en mètres carrés (m²).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.59]

3.3

longueur endommagée

longueur maximale dans une direction spécifiée de la **surface endommagée** (3.2)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.60]

3.4

étendue de la combustion

(électrotechnique) longueur maximale de l'éprouvette d'essai qui a été détruite par **combustion** (3.1) ou par **pyrolyse** (3.25), dans des conditions spécifiées, à l'exception de toute zone endommagée uniquement par déformation

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.91]

3.5

feu

(général) processus de **combustion** (3.1) caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des **flammes** (3.11), une incandescence ou par une combinaison de ces éléments

Note 1 à l'article: En anglais, le terme "fire" est utilisé pour désigner trois concepts, dont deux, **feu** (3.6) et **feu** (3.7), se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenue ayant des significations diverses, et deux d'entre eux sont désignés par deux termes différents, tant en français qu'en allemand.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.6

feu

(contrôlé) **combustion** (3.1) auto-entretenue qui a été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.7

feu

〈non contrôlé〉 **combustion** (3.1) auto-entretenue qui n'a pas été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace n'est pas contrôlée

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.8

danger d'incendie

objet physique ou condition susceptible d'entraîner des conséquences non souhaitables causées par un **incendie** (3.7)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.9

point de feu

température minimale à laquelle un produit soumis à une petite **flamme** (3.11) appliquée à sa surface dans des conditions d'essai spécifiées, s'enflamme et continue à brûler pendant un temps spécifié

Note 1 à l'article: Dans certains pays, le terme anglais "fire point" ("point feu" en français) a aussi une autre signification: un emplacement où le matériel de lutte contre l'incendie est placé et qui peut comprendre également un poste de détection et d'alarme incendie et les instructions à suivre en cas d'incendie.

Note 2 à l'article: Il est exprimé en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.10

scénario feu

description qualitative du déroulement d'un **incendie** (3.7) dans le temps, identifiant les événements clés qui caractérisent l'incendie et le différencient des autres incendies potentiels

Note 1 à l'article: Il définit typiquement les processus d'**allumage** (3.21) et de croissance du feu, le stade de **feu complètement développé** (3.18), le stade de déclin du feu, ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.11

flamme

zone dans laquelle il existe une propagation subsonique, auto-entretenue et rapide de la **combustion** (3.1) dans un milieu gazeux, généralement accompagnée d'une émission de lumière

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133, modifiée – "zone dans laquelle il existe une" a été ajouté.]

3.12

front de flamme

limite de la zone de **combustion** (3.1) avec flammes à la surface d'un matériau ou de propagation dans un mélange gazeux

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.136]

3.13**retardateur de flamme**, substantif

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer ou retarder l'apparition d'une **flamme** (3.11) et/ou diminuer la **vitesse de propagation des flammes** (3.15)

Note 1 à l'article: L'emploi d'ignifugeants ne supprime pas nécessairement le **feu** (3.5) et ne met pas nécessairement un terme à la **combustion** (3.1).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.139]

3.14**propagation de flamme**

propagation d'un **front de flamme** (3.12)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.142]

3.15**vitesse de propagation de flammes****vitesse de propagation de flamme(s) en surface**

DÉCONSEILLÉ: vitesse de combustion

distance parcourue, par unité de temps, par un **front de flamme** (3.12) lors de sa propagation, dans des conditions d'essai spécifiées

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.143]

3.16**décharge disruptive**

⟨stade d'incendie⟩ passage à un état impliquant dans un **incendie** (3.7) l'ensemble des surfaces des matériaux combustibles dans une enceinte

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.156]

3.17**point d'éclair**

température minimale à laquelle doit être chauffé un matériau ou un produit pour que les gaz émis s'enflamment momentanément en présence d'une **flamme** (3.11) dans des conditions spécifiées

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.18**feu pleinement développé**

état dans lequel l'ensemble des matériaux combustibles sont impliqués dans un **incendie** (3.5)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.164]

3.19**flux de chaleur**

quantité d'énergie thermique émise, transmise ou reçue par unité de surface et de temps

Note 1 à l'article: Il est exprimé en watts par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.173]

3.20

débit calorifique

DÉCONSEILLÉ: vitesse de combustion

énergie calorifique produite par unité de temps par la **combustion** (3.1)

Note 1 à l'article: Il est exprimé en watts

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.177]

3.21

allumage

DÉCONSEILLÉ: allumage persistant

⟨général⟩ amorçage de la **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.22

allumage

DÉCONSEILLÉ: allumage persistant

⟨combustion avec flammes⟩ déclenchement d'une **flamme** persistante (3.11)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.188]

3.23

source d'allumage

source d'énergie qui provoque une **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.24

température d'allumage minimale

point d'allumage

température minimale à laquelle une **combustion** (3.1) persistante peut être provoquée dans des conditions d'essai spécifiées

Note 1 à l'article: La température minimale d'allumage implique l'application d'une contrainte thermique de durée infinie.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.231]

3.25

pyrolyse

décomposition chimique d'une substance provoquée par l'action de la chaleur

Note 1 à l'article: Le terme est souvent utilisé pour se référer à un stade du **feu** (3.5) avant que la **combustion** (3.1) avec flammes n'ait commencé.

Note 2 à l'article: En science du feu, aucune hypothèse n'est émise quant à la présence ou l'absence d'oxygène.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.266]

3.26

front de pyrolyse

frontière entre la zone de **pyrolyse** (3.25) et la zone de la matière inaltérée à la surface du matériau

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.267]

3.27

propagation de flammes en surface

propagation de flammes (3.14) à partir d'une source éloignée d'**allumage** (3.22) sur la surface d'un liquide ou d'un solide

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.317]

3.28

inertie thermique

produit de la conductivité thermique, de la masse volumique et de la capacité calorifique spécifique

EXEMPLE L'inertie thermique de l'acier est de $2,3 \times 10^8 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$. L'inertie thermique de la mousse de polystyrène est de $1,4 \times 10^3 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

Note 1 à l'article: Lorsque le matériau est exposé à un **flux de chaleur** (3.19), la vitesse d'augmentation de la température superficielle dépend fortement de la valeur de l'inertie thermique du matériau. La température superficielle d'un matériau à faible inertie thermique augmente relativement vite lorsque ce matériau est chauffé et vice versa.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en joules carrés par seconde par mètre puissance quatre par kelvin carré ($\text{J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943, définition 4.326]

4 Principes de la propagation des flammes

4.1 Liquides

La propagation de la flamme sur la surface d'un liquide est régie par le point d'éclair et les points de feu du liquide. Le point d'éclair est la température minimale à laquelle il faut porter le liquide pour que les vapeurs émises s'allument momentanément en présence d'une flamme, dans des conditions d'essai spécifiées. Dans ce cas, le point d'éclair est mesuré suivant l'ISO 2592 (Méthode Cleveland, à vase ouvert).

NOTE La définition de la méthode d'essai est importante parce que la propagation de la flamme est décrite pour une surface de liquide ouverte pour laquelle l'ISO 2592 est applicable. La méthode alternative de mesure du point d'éclair décrite dans l'ISO 2719 (Méthode Pensky-Martens en vase clos) qui est citée dans les normes CEI pour les liquides isolants mesure le point d'éclair dans un espace confiné et elle est censée détecter de faibles quantités de matières volatiles. Le point d'éclair mesuré de cette façon est très inférieur à celui obtenu avec l'ISO 2592.

Le point de feu est la température à laquelle le liquide ne prendra pas uniquement feu, mais continuera également à brûler.

La vitesse de propagation de flammes en surface est déterminée par les paramètres de la phase gazeuse lorsque la température du liquide est supérieure à celle de son point d'éclair et par les paramètres de la phase liquide lorsque le liquide est à une température inférieure à celle de son point d'éclair. Les paramètres de la phase gazeuse incluent les effets de mouvement d'air, de flammes et de rayonnement thermique. Les paramètres de la phase liquide incluent des mouvements de convection dans le fluide, la tension superficielle et la viscosité du liquide.

4.2 Solides

La propagation de flammes sur une surface solide est toujours associée au débit d'air causé par les facteurs externes (vent et ventilation) et par les flux d'air induits par la flamme elle-même. Le débit d'air, de direction opposée à la direction de la propagation de flammes en surface (flux opposé), réduit la vitesse de propagation de flammes en surface et le flux d'air,

dans la même direction que la propagation de flammes en surface (aidé par le vent), augmente la vitesse de propagation de flammes en surface.

Pour les éprouvettes verticales avec allumage à la partie inférieure, la flamme se déplace vers le sommet et elle est définie comme la propagation ascendante de flammes en surface. Pour éprouvettes verticales avec allumage au sommet, la flamme se déplace vers le bas et ce comportement est défini comme la propagation descendante de flammes en surface. Pour des éprouvettes horizontales, la flamme se déplace latéralement à partir de la zone d'allumage et ce comportement est défini comme la propagation latérale de flammes en surface.

Après l'allumage de l'éprouvette, la propagation des flammes interviendra si la flamme transfère un éclairement énergétique suffisant, essentiellement sous forme de rayonnement thermique, à l'avant du front de pyrolyse de manière à continuer la pyrolyse et l'allumage à une vitesse suffisante.

L'amplitude de l'éclairement énergétique transféré à l'avant du front de pyrolyse dépend du débit thermique de l'éprouvette, alors que la résistance à l'allumage dépend de la température d'allumage minimale de l'éprouvette et de la vitesse d'échauffement de la surface.

La vitesse d'échauffement de la surface dépend, à son tour, d'un certain nombre de propriétés de l'éprouvette:

- a) l'épaisseur;
- b) la conductivité thermique (k);
- c) la densité, (ρ);
- d) la capacité thermique spécifique, (c).

Dans une éprouvette épaisse, le matériau qui se trouve sous la surface est capable de dissiper la chaleur, ce qui réduit ainsi la vitesse d'échauffement de la surface et augmente la résistance à l'allumage. Dans une éprouvette de faible épaisseur, les effets sont réduits et la résistance à l'allumage est donc inférieure.

Le produit, $k\rho c$, est connu comme étant l'inertie thermique'. Si l'inertie thermique est élevée, par exemple dans le cas d'un métal solide, la vitesse d'échauffement de la surface sera relativement faible et par conséquent il faudra une durée relativement longue pour atteindre la température d'allumage. Si l'inertie thermique est faible, par exemple dans le cas certains plastiques expansés ou de matériaux de faible masse volumique, la vitesse d'échauffement de la surface sera relativement élevée et par conséquent, il faudra une durée relativement courte pour atteindre la température d'allumage.

L'ISO/TS 5658-1 donne des lignes directrices détaillées supplémentaires concernant la propagation de flammes sur les solides.

5 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai

5.1 Scénario de feu

Il convient que la ou les méthodes d'essai choisies soient appropriées au scénario du feu considéré. Les paramètres importants à prendre en compte comprennent

- a) la configuration de l'éprouvette, y compris la présence de bords, de coins ou de joints,
- b) l'orientation de la surface,
- c) la direction de propagation des flammes,
- d) la vitesse et la direction du flux d'air,
- e) la nature et l'emplacement de la source d'allumage,

- f) l'amplitude et l'emplacement de tout éclairage énergétique externe,
- g) le fait que le matériau inflammable soit un solide ou un liquide.

5.2 Sources d'allumage

Il convient que la source d'allumage utilisée dans un essai de laboratoire soit adaptée au scénario feu considéré. Dans le cas du risque de feu des équipements électrotechniques, deux types de source d'allumage sont importants:

- a) à partir d'une localisation inhabituelle de sources internes de chaleur excessive dans des équipements électrotechniques et des appareillages,
- b) à partir de sources de flammes ou de chaleur excessive qui sont externes aux équipements électrotechniques et aux appareillages.

5.3 Types d'éprouvettes

L'éprouvette peut être un produit manufacturé, un composant d'un produit, un produit simulé (représentant une partie d'un produit manufacturé), un matériau de base (solide ou liquide) ou un composite de plusieurs matériaux.

Il convient de limiter les variations de forme, de dimension et de disposition de l'éprouvette.

Certaines éprouvettes peuvent présenter une anisotropie, par exemple les matériaux thermoplastiques extrudés ou moulés. Lorsque l'usage prévu et les pratiques d'installation sont tels qu'une propagation bidirectionnelle du feu présente un danger quant à la sécurité au feu, par exemple boîtiers d'ordinateurs, il convient que de telles éprouvettes soient soumises aux essais dans les deux directions 'x' et 'y'.

NOTE Cette recommandation ne s'applique pas aux produits généralement installés en longueur, avec des structures étroites, par exemple les câbles et les conduits.

5.4 Procédure et appareillage d'essai

Il convient que la procédure d'essai soit conçue de préférence de telle manière que les résultats puissent être utilisés pour l'analyse de risque. Toutefois, cela peut ne pas être nécessaire dans le cas des essais simples destinés uniquement au contrôle de la qualité ou à des fins réglementaires.

Il convient que l'appareillage d'essai soit capable de soumettre aux essais le produit électrotechnique réel, un produit simulé, un matériau ou un composite, comme cela est décrit en 5.3.

Il convient que l'appareillage d'essai soit capable d'imposer un éclairage énergétique venant d'une source externe de chaleur ou d'une flamme, d'une manière approximativement uniforme sur l'éprouvette dans la zone où l'allumage est censé intervenir.

Il convient que l'appareillage d'essai à éclairage énergétique imposé soit capable d'allumer le mélange gaz-air provenant de l'éprouvette. Un dispositif d'allumage électrique ou une flamme gaz/air à prémélange sont considérés comme satisfaisants.

Il convient que les essais de propagation de flammes en surface sous bonne ventilation soient réalisés en utilisant un débit d'air approprié au scénario feu concerné.

5.5 Techniques de mesure

5.5.1 Mesure directe

L'emplacement du front de flamme est observé visuellement. Il peut être enregistré en fonction du temps ou simplement pour vérifier certains critères de distance d'acceptation/de refus.

5.5.2 Mesure indirecte

Deux méthodes sont employées pour évaluer de manière indirecte la vitesse et l'extension de propagation des flammes.

Une des méthodes consiste à noter si un matériau indicateur a été brûlé ou endommagé. On peut donner comme exemples une languette de papier ou un morceau de coton ou un fil de coton. Ces matériaux indicateurs sont positionnés à des points définis sur ou à proximité de l'éprouvette.

L'autre méthode consiste à noter le positionnement et/ou la quantité de surface carbonisée ou endommagée. Des mesures peuvent être réalisées en fonction du temps ou simplement pour enregistrer certains critères de distance ou de zone d'acceptation/de refus.

Il convient de noter que les méthodes directes et indirectes ne donneront normalement pas des résultats équivalents.

Des corrélations limitées ont été établies entre les résultats de vitesse et d'extension de propagation de flammes en surface utilisant ces deux techniques.

6 Utilisation et interprétation des résultats

La propagation de flammes en surface dépend du comportement du matériau lors de la pyrolyse, de l'allumage et de la combustion. Comme le débit thermique d'un matériel augmente, la propagation de flammes à la surface d'un matériel augmente et de même pour la production de produits de combustion. Par conséquent, pour un feu spécifique, tout ce qui suit augmente: la propagation de flammes en surface, le débit thermique, la formation des produits de combustion, le risque du feu et la difficulté à éteindre le feu.

Les risques relatifs aux produits électrotechniques impliqués dans des feux sont estimés en déterminant la vitesse de propagation des flammes en surface (associée au débit thermique ainsi qu'à la vitesse de formation des produits de combustion). L'évaluation est fondée sur le principe selon lequel plus la propagation des flammes en surface est lente, plus le risque attendu est faible. Il est toujours souhaitable que la propagation de flammes en surface n'ait pas lieu ou qu'elle diminue.

Bibliographie

CEI 60332 (toutes les parties), *Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu*

CEI 61197, *Isolants liquides – Propagation linéaire de la flamme – Méthode d'essai utilisant un ruban en fibres de verre*

ISO 2719, *Détermination du point d'éclair – Méthode Pensky-Martens en vase clos*

ISO/TS 5658-1, *Essais de réaction au feu – Propagation du feu – Partie 1: Lignes directrices sur la propagation de la flamme* (disponible en anglais seulement)

BHATNAGAR, S.K., VARSHNEY, B.S., and MOHANTY, B. An appraisal of standard methods for determination of surface spread of flame behaviour of materials. *Fire and Materials*. July/September 1992, vol. **16**(3), 141-151. Available from: doi: 10.1002/fam.810160306

CLARKE, F., HOOVER, J.R., CAUDILL, L.M., FINE, A., PARNELL, A. and BUTCHER, G., Characterizing fire hazard of unprotected cables in over-ceiling voids used for ventilation, *Interflam '93. Sixth International Fire Conference*, Oxford. 1993.

DRYSDALE, D., *An introduction to fire dynamics*. New York: John Wiley and Sons, 1985, pp. 186-252.

FERNANDEZ-PELLO, A.C. and HIRANO, T. Controlling mechanisms of flame spread. Published jointly in *Fire Science and Technology* (Japan) 1982, vol. **2**(1), 17-54, and *Combustion Science and Technology* 1983, vol. **32**(1-4), 1-31. Available from: doi: 10.1080/00102208308923650

FRIEDMAN, R., *Principles of fire protection chemistry*, 2nd ed. Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 1989.

GLASSMAN, I., and HANSEL, J.G. Some thoughts and experiments on liquid fuel spreading, steady burning, and ignitability in quiescent atmospheres. *Fire Research Abstracts and Reviews*. 1968 **10**, 217-234. ISSN 0015-265X

HILADO, C.J., *Flammability test methods handbook*. Westport: Technomic, 1973.

HIRSCHLER, M.M., Comparison of large- and small-scale heat release tests with electrical cables, *Fire and Materials*. March/April 1994, vol. **18**(2), 61-76. Available from: doi: 10.1002/fam.810180202

HASEMI, Y., Surface flame spread. In: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 2008, pp. 2.278-2.290.

Specification Standard for Cable Fire Propagation, Class Number 3972. Norwood, Mass.: Factory Mutual Research Corporation, 1989.

TEWARSON, A., and KHAN, M.M. A new standard test method for the quantification of fire propagation behavior of electrical cables using Factory Mutual Research Corporation's small-scale flammability apparatus. *Fire Technology*. 1992, vol. **28**(3), 215-227. Available from: doi: 10.1007/BF01857691

TEWARSON, A. Surface Spread of Flame in Standard Tests for Electrical Cables. Technical Report J.I. 8 OM2E1. RC-2. Norwood, Mass.: Factory Mutual Research Corporation, September 1993.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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