

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Fire hazard testing –
Part 8-1: Heat release – General guidance**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 8-1: Dégagement de chaleur – Guide général**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-8-1:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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 20 000 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

65 000 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 20 000 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

65 000 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

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Fire hazard testing –
Part 8-1: Heat release – General guidance**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 8-1: Dégagement de chaleur – Guide général**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.220.40; 29.020

ISBN 978-2-8322-3749-6

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Principles of determining heat release	11
4.1 Complete combustion measured by the oxygen bomb calorimeter	11
4.2 Incomplete combustion	12
4.2.1 Measurement techniques	12
4.2.2 Heat release by oxygen consumption.....	12
4.2.3 Heat release by carbon dioxide generation	13
4.2.4 Heat release by increase of gas temperature	13
5 Parameters used to report heat release data	15
5.1 Heat of combustion (gross and net)	15
5.2 Heat release rate (HRR)	15
5.3 Heat release (HR)	16
5.4 Heat release rate per unit area (HRR*)	16
5.5 Total heat release	17
5.6 Peak heat release rate	17
5.7 Time to peak heat release rate.....	17
5.8 Effective heat of combustion	17
5.8.1 Measurement and calculation	17
5.8.2 Examples.....	18
5.9 FIGRA index	19
5.10 ARHE and MARHE	20
6 Considerations for the selection of test methods.....	22
6.1 Ignition sources	22
6.2 Type of test specimen	22
6.3 Choice of conditions	22
6.4 Test apparatus.....	22
6.4.1 General	22
6.4.2 Small-scale fire test apparatus.....	22
6.4.3 Intermediate and large-scale fire test apparatus	23
6.4.4 Comparison between small-scale and intermediate/large-scale fire test methods	23
6.5 Choice of fire tests.....	23
7 Relevance of heat release data	23
7.1 Contribution to fire hazard.....	23
7.2 Secondary ignition and flame spread	23
7.3 Determination of self-propagating fire thresholds	24
7.4 Probability of reaching flash-over	24
7.5 Smoke and toxic gas production	24
7.6 The role of heat release testing in research and development.....	24
Bibliography.....	25

Figure 1 – Heat release rate (HRR) curve	16
Figure 2 – Heat release (HR) curve.....	16
Figure 3 – Heat release rate per unit area (HRR*) curve	17
Figure 4 – Mass loss curve	18
Figure 5 – FIGRA curve derived from Figure 1	19
Figure 6 – Illustrative HRR curve	20
Figure 7 – FIGRA curve derived from Figure 6	20
Figure 8 – ARHE curve derived from Figure 1	21
Figure 9 – ARHE curve derived from Figure 6	21
Table 1 – Relationship between heat of combustion expressed in units of $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of fuel burned and $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of oxygen consumed for a variety of fuels	14
Table 2 – Relationship between heat of combustion expressed in units of $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of fuel burned and $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of oxygen consumed for a variety of insulating liquids	15

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-8-1:2016

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

Part 8-1: Heat release – 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 60695-8-1 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) a modified Introduction;
- b) reference to IEC 60695-1-12;
- c) updated normative references;
- d) revised terms and definitions;
- e) new text in 4.2.2, 4.2.3, 6.1 and 6.4, including several mandatory statements;
- f) mandatory statements in a new Subclause 6.5.

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

FDIS	Report on voting
89/1342/FDIS	89/1348/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.

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

This standard is to be used in conjunction with IEC 60695-8-2.

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

IEC 60695-8 consists of the following parts:

Part 8-1: *Heat release – General guidance*

Part 8-2: *Heat release – 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 website 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

In the design of any electrotechnical product, the risk of fire and the potential hazards associated with fire need to be considered. In this respect the objective of component, circuit and equipment design as well as the choice of materials is to reduce the risk of fire to a tolerable level even in the event of reasonably foreseeable (mis)use, malfunction or failure. IEC 60695-1-10 [1]¹ provides guidance on how this is to be accomplished.

Fires involving electrotechnical products can be initiated from external non-electrical sources. Considerations of this nature are dealt with in an overall risk assessment.

The aim of the IEC 60695 series of standards is to save lives and property by reducing the number of fires or reducing the consequences of the fire. This can be accomplished by:

- trying to prevent ignition caused by an electrically energised component part and, in the event of ignition, to confine any resulting fire within the bounds of the enclosure of the electrotechnical product;
- trying to minimise flame spread beyond the product's enclosure and to minimise the harmful effects of fire effluents including heat, smoke, and toxic or corrosive combustion products.

Fires are responsible for creating hazards to life and property as a result of the generation of heat (thermal hazard), toxic and/or corrosive compounds and obscuration of vision due to smoke. Fire risk increases as the heat released increases, possibly leading to a flash-over fire.

One of the most important measurements in fire testing is the measurement of heat release, and it is used as an important factor in the determination of fire hazard; it is also used as one of the parameters in fire safety engineering calculations.

The measurement and use of heat release data, together with other fire test data, can be used to reduce the likelihood of (or the effects of) fire, even in the event of reasonably foreseeable (mis)use, malfunction or failure of electrotechnical products.

When a material is heated by some external source, fire effluent can be generated and can form a mixture with air, which can ignite and initiate a fire. The heat released in the process is carried away by the fire effluent-air mixture, radiatively lost or transferred back to the solid material, to generate further pyrolysis products, thus continuing the process.

Heat may also be transferred to other nearby products, which may burn, and then release additional heat and fire effluent.

The rate at which thermal energy is released in a fire is defined as the heat release rate. Heat release rate is important because of its influence on flame spread and on the initiation of secondary fires. Other characteristics are also important, such as ignitability, flame spread and the side-effects of the fire (see the IEC 60695 series of standards).

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 8-1: Heat release – General guidance

1 Scope

This part of IEC 60695-8 provides guidance on the measurement and interpretation of heat release from electrotechnical products and materials from which they are constructed.

Heat release data can be used as part of fire hazard assessment and in fire safety engineering, as described in IEC 60695-1-11 [2] and IEC 60695-1-12 [3].

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 are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60695-4:2012, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*

IEC 60695-8-2, *Fire hazard testing – Part 8-2: Heat release – Summary and relevance of test methods*

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*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 13943:2008 and IEC 60695-4:2012 (some of which are reproduced below), as well as the following, 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 and/or glowing.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.46]

3.2

combustion product

product of combustion

solid, liquid and gaseous material resulting from combustion

Note 1 to entry: Combustion products can include fire effluent, ash, char, clinker and/or soot.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.48]

3.3

complete combustion

combustion in which all the combustion products are fully oxidized

Note 1 to entry: This means that, when the oxidizing agent is oxygen, all carbon is converted to carbon dioxide and all hydrogen is converted to water.

Note 2 to entry: If elements other than carbon, hydrogen and oxygen are present in the combustible material, those elements are converted to the most stable products in their standard states at 298 K.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.50]

3.4

effective heat of combustion

heat released from a burning test specimen in a given time interval divided by the mass lost from the test specimen in the same time period

Note 1 to entry: The value is the same as the net heat of combustion if the entire test specimen is converted to volatile combustion products and if all the combustion products are fully oxidized.

Note 2 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.74]

3.5

fire

⟨general⟩ process of combustion characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, flame, 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 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 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 effluent**

totality of gases and aerosols, including suspended particles, created by combustion or pyrolysis in a fire

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.105]

3.9**fire hazard**

physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from fire

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.10**fire safety engineering**

application of engineering methods based on scientific principles to the development or assessment of designs in the built environment through the analysis of specific fire scenarios or through the quantification of risk for a group of fire scenarios

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.11**fire test**

test that measures behaviour of a fire or exposes an item to the effects of a fire

Note 1 to entry: The results of a fire test can be used to quantify fire severity or determine the fire resistance or reaction to fire of the test specimen.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.132]

3.12**flashover**

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

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.156]

3.13**gross heat of combustion**

heat of combustion of a substance when the combustion is complete and any produced water is entirely condensed under specified conditions

cf. *complete combustion* (3.3)

Note 1 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.170]

3.14**heat of combustion**

DEPRECATED: calorific potential

DEPRECATED: calorific value

thermal energy produced by combustion of unit mass of a given substance

cf. *effective heat of combustion* (3.4), *gross heat of combustion* (3.13) and *net heat of combustion* (3.19)

Note 1 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.174]

3.15

heat release

thermal energy produced by combustion

Note 1 to entry: The typical units are joules (J).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.176]

3.16

heat release rate

DEPRECATED: burning rate

DEPRECATED: rate of burning

rate of thermal energy production generated by combustion

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

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.177]

3.17

intermediate-scale fire test

fire test performed on a test specimen of medium dimensions

Note 1 to entry: A fire test performed on a test specimen for which the maximum dimension is between 1 m and 3 m is usually called an intermediate-scale fire test.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.200]

3.18

large-scale fire test

fire test, that cannot be carried out in a typical laboratory chamber, performed on a test specimen of large dimensions

Note 1 to entry: A fire test performed on a test specimen for which the maximum dimension is greater than 3 m is usually called a large-scale fire test.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.205]

3.19

net heat of combustion

heat of combustion when any water produced is considered to be in the gaseous state

Note 1 to entry: The net heat of combustion is always smaller than the gross heat of combustion because the heat released by the condensation of water vapour is not included.

Note 2 to entry: The typical units are kilojoules per gram ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.237]

3.20

oxidation

chemical reaction in which the proportion of oxygen or other electronegative element in a substance is increased

Note 1 to entry: In chemistry, the term has the broader meaning of a process that involves the loss of an electron or electrons from an atom, molecule or ion.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.245]

3.21

oxidizing agent

substance capable of causing oxidation

Note 1 to entry: Combustion is an oxidation.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.246]

3.22

oxygen consumption principle

proportional relationship between the mass of oxygen consumed during combustion and the heat released

Note 1 to entry: A value of $13,1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ is commonly used.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.247]

3.23

pyrolysis

chemical decomposition of a substance by the action of heat

Note 1 to entry: The term is often used to refer to a stage of fire before flaming combustion has occurred.

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

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.266]

3.24

small-scale fire test

fire test performed on a test specimen of small dimensions

Note 1 to entry: A fire test performed on a test specimen for which the maximum dimension is less than 1 m is usually called a small-scale fire test.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.292]

3.25

test specimen

item subjected to a procedure of assessment or measurement

Note 1 to entry: In a fire test, the item may be a material, product, component, element of construction, or any combination of these. It may also be a sensor which is used to simulate the behaviour of a product.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.321]

4 Principles of determining heat release

4.1 Complete combustion measured by the oxygen bomb calorimeter

The most important device for measuring heats of combustion is the adiabatic constant volume bomb calorimeter. The “bomb” is a central vessel which is sufficiently strong to withstand high pressures so that its internal volume remains constant. The bomb is immersed in a stirred water bath, and the combination of bomb and water bath is the calorimeter. The calorimeter is also immersed in an outer water bath. During a combustion reaction, the temperature of the water in the calorimeter and in the outer water bath is continuously monitored and adjusted by electrical heating to the same value. This is to ensure that there is no net loss of heat from the calorimeter to its surroundings, i.e. to ensure that the calorimeter is adiabatic.

To carry out a measurement, a known mass of sample is placed inside the bomb in contact with an electrical ignition wire. The vessel is filled with oxygen under pressure, sealed and allowed to attain thermal equilibrium. The sample is then ignited using a measured input of energy. Combustion is complete because it takes place in an excess of high pressure oxygen.

The heat released is calculated from the known heat capacity of the calorimeter and the rise of temperature which occurs as a result of the combustion reaction.

The experiment gives the heat released at constant volume, i.e. the change in internal energy, ΔU . The gross heat of combustion is the enthalpy change, ΔH , where:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

where $\Delta(PV)$ is calculated using the ideal gas law;

$$\Delta(PV) = \Delta(nRT)$$

NOTE Bomb calorimeter measurement of the heat of combustion of building products is described in ISO 1716 [4].

4.2 Incomplete combustion

4.2.1 Measurement techniques

Combustion in fires, which usually occur in air and at atmospheric pressure, is almost always incomplete and therefore the heat released will be less than the combined heats of combustion of the materials involved.

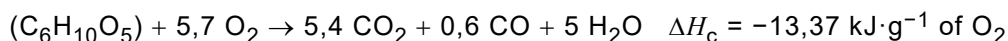
The heat released can be determined indirectly using one of the following techniques:

- a) oxygen consumption;
- b) carbon dioxide generation;
- c) gas temperature increase.

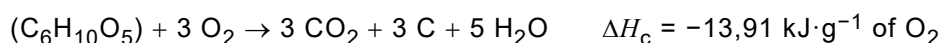
4.2.2 Heat release by oxygen consumption

For a large number of organic fuels, an approximately constant amount of heat is released per unit of oxygen consumed [5], [6]. The average value for this constant is $13,1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ of oxygen and this value is widely used for practical applications both in small-scale and large-scale testing. This relationship implies that it is sufficient to measure the oxygen consumed in a combustion system, and the mass flow rate in the exhaust duct in order to determine heat release.

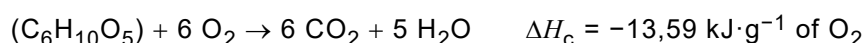
Table 1 lists some net heat of combustion values [6]. With the exception of three materials: ethene, ethyne and poly(oxyethylene), all the calculated heats of combustion per gram of oxygen consumed lie between $12,5 \text{ kJ}$ and $13,6 \text{ kJ}$. The values in Table 1 are calculated assuming complete combustion. However, Huggett [6] does discuss the effects of possible incomplete combustion and calculates values of ΔH_c for several such cases. For example, in the case of cellulose burning to give a 9:1 ratio of CO_2 to CO :



or burning to give an appreciable amount of carbonaceous char:



compared with complete combustion:



Huggett discusses several other examples and concludes that the assumption of a constant heat release per unit of oxygen consumed will be sufficiently accurate for most applications.

If the correct value of ΔH_c per gram of O_2 is known for a particular material then this shall be used instead of the approximate value.

Table 2 lists some heat of combustion values for insulating liquids.

There is a variety of fire tests that use the oxygen consumption method. They vary from the micro-scale, e.g. ASTM D 7309 [7], to the large-scale, e.g. EN 50289-4-11 [8].

Heat release fire tests that are of relevance to the testing of electrotechnical products are described in IEC 60695-8-2.

4.2.3 Heat release by carbon dioxide generation

This technique is based on the concept that the energy released in a combustion reaction is approximately proportional to the amount of carbon dioxide generated, provided that combustion is complete or nearly complete (i.e. with very small CO/CO_2 ratios). The average value for the proportionality constant is $13,3 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ of carbon dioxide generated. If a more accurate value is known for the material or product, it shall be used in calculating heat release.

In general, heat release values determined by carbon dioxide generation agree well with heat release rate values determined by oxygen consumption.

4.2.4 Heat release by increase of gas temperature

The gas temperature technique is based on the assumptions that there are no heat losses and that all the heat generated by the fire is used to increase the temperature of the hot flowing mixture of air and fire effluent, and that their temperatures can be determined downstream from the flaming zone. If the heat losses, mainly from thermal radiation, are negligible, then the gas temperature rise technique (also called the thermopile technique) would represent the same heat release value as the oxygen consumption or the carbon dioxide generation method. The heat release is determined by measuring the increase in the temperature of the gases at the thermopile, with respect to a reference temperature, generally the ambient temperature. This is converted to heat release by means of measurements of the total flow of the air and fire effluent mixture using the specific heat of the mixture at the appropriate air temperature, or simply by calibration with a constant flow of a material of well-known heat release, such as methane.

In general, heat release values determined by temperature measurement are lower than heat release values determined by oxygen consumption or carbon dioxide generation calorimetry techniques, because heat losses are generally not negligible. In a small-scale test, these heat losses can, with care, be minimized by attempting to make the system as adiabatic as possible.

A method of obtaining heat release values by temperature measurement has been developed as ISO 13927 [22] which uses the same heating system and specimen mounting system as ISO 5660-1 and can be used for production control and/or comparison purposes for research and development. The test apparatus is both relatively easy to use and is of relatively low cost.

Table 1 – Relationship between heat of combustion expressed in units of $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of fuel burned and $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of oxygen consumed for a variety of fuels

Fuel	Formula	ΔH_c^a	
		$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of fuel	$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of O_2
Methane (g)	CH_4	50,0	12,5
Ethane (g)	C_2H_6	47,5	12,7
Butane (g)	C_4H_{10}	45,7	12,8
Octane (l)	C_8H_{18}	44,4	12,7
Ethene (g)	C_2H_4	47,1	13,8
Ethyne (g)	C_2H_2	48,2	15,7
Benzene (l)	C_6H_6	40,1	13,1
Polyethylene	$-(\text{C}_2\text{H}_4)_n-$	43,3	12,6
Polypropylene	$-(\text{C}_3\text{H}_6)_n-$	43,3	12,7
Polyisobutylene	$-(\text{C}_4\text{H}_8)_n-$	43,7	12,8
Polybutadiene	$-(\text{C}_4\text{H}_6)_n-$	42,7	13,1
Polystyrene	$-(\text{C}_8\text{H}_8)_n-$	39,8	13,0
PVC	$-(\text{CH}_2\text{CHCl})_n-$	16	12
PMMA	$-(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2)_n-$	24,9	12,9
PAN	$-(\text{C}_3\text{H}_3\text{N})_n-$	30,8	13,6
Polyoxymethylene	$-(\text{CH}_2\text{O})_n-$	15,4	14,5
PET	$-(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4)_n-$	22,0	13,2
Polycarbonate	$-(\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3)_n-$	29,7	13,1
Cellulose triacetate	$-(\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_8)_n-$	17,6	13,2
Nylon 66	$-(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO})_n-$	29,5	12,6
Cellulose	$-(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n-$	16	13
Cotton	–	15,5	13,6
Paper (newsprint)	–	18,4	13,4
Wood (maple)	–	17,7	12,5
Lignite	–	24,8	13,1
Coal (bituminous)	–	35,2	13,5
NOTE 1 (g) = gas, (l) = liquid.			
NOTE 2 Most of the values in column 3 are calculated from thermodynamic data. The values in column 4 are calculated from those in column 3 assuming complete combustion.			
NOTE 3 For values calculated from thermodynamic data, carbon is assumed to be converted to carbon dioxide, hydrogen to water, nitrogen to nitrogen dioxide and chlorine to hydrogen chloride.			
^a Reactants and products at 25 °C, all products gaseous.			

Table 2 – Relationship between heat of combustion expressed in units of $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of fuel burned and $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of oxygen consumed for a variety of insulating liquids

Insulating liquids	Formula	ΔH_c^a	
		$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of fuel	$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ of O_2
Silicone oil (1)	–	25	14,5
Pentaerythritol ester (2)	–	36,8	b
Mixture of mono- and dibenzyl toluene (3)	–	39,5	b
Paraffinic mineral (4)	–	46,1	b
(1) Silicone transformer liquid, type T1, IEC 60836 [9] (2) Transformer esters, type T1, IEC 61099 [10] (3) Capacitor insulating liquid, IEC 60867 [11] (4) Transformer and switchgear mineral oil, IEC 60296 [12]			
NOTE Technical Committee 10 has found a range of values from different sources for the heat of combustion of silicone oil of $25 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ to $27 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.			
^a Reactants and products at 25°C , all products gaseous. ^b No data are currently available.			

5 Parameters used to report heat release data

5.1 Heat of combustion (gross and net)

The standard heat of combustion of a substance is defined in thermochemical terms as the enthalpy change that occurs when one mole of a substance undergoes complete combustion under standard conditions. In the fire science community, heat of combustion is also referred to as “gross heat of combustion”, and the units used are energy per unit mass rather than energy per mole.

NOTE Older terms, now deprecated, are “calorific potential” and “gross calorific value”.

The water formed as a product of combustion is considered to be in the liquid state. For a compound containing carbon and hydrogen, for example, complete combustion means the conversion of all the carbon to carbon dioxide gas, and conversion of all the hydrogen to liquid water.

Gross heat of combustion is measured by oxygen bomb calorimetry in which all the sample is completely converted to fully oxidized products (see 4.1). In real fires this is rarely the case. Some potentially combustible material is often left as char and products of combustion are often only partly oxidized, for example, soot particles in smoke and carbon monoxide.

Net heat of combustion is similar to gross heat of combustion except that any water formed is assumed to be in the vapour state. The difference is the latent heat of vaporization of water at 298 K which is $2,40 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Net heat of combustion is therefore always smaller than gross heat of combustion. In flames and fire, water remains as vapour and therefore it is more appropriate to use net heat of combustion values.

5.2 Heat release rate (HRR)

Heat release rate (see 3.16) is defined as the thermal energy released per unit time in a fire or fire test. It is a particularly useful parameter because it can be used to quantify the intensity of a fire.

Heat release rate is commonly reported in the form of a graph against time. A heat release rate curve is shown in Figure 1.

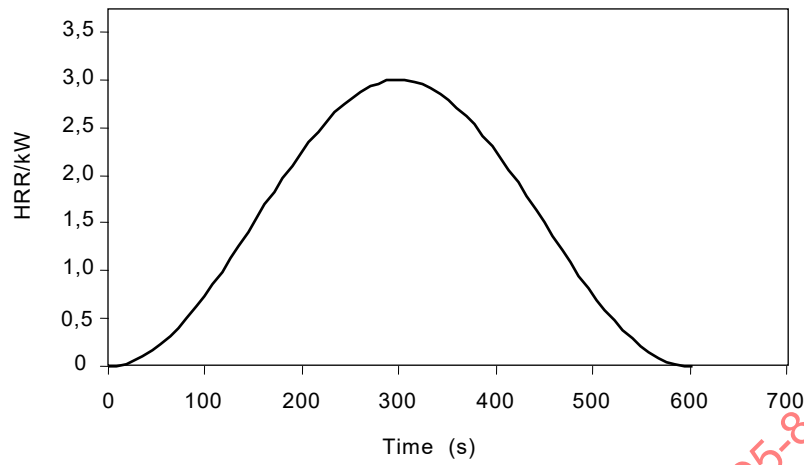


Figure 1 – Heat release rate (HRR) curve

5.3 Heat release (HR)

Heat release (see 3.15) is defined as the thermal energy that is produced in a fire or fire test. It is a particularly useful parameter because it can be used to quantify the size of a fire. Heat release is usually calculated by integration, with respect to time, of heat release rate data. Figure 2 shows the curve calculated from Figure 1. However, usually only the total heat release (see 5.5) is reported.

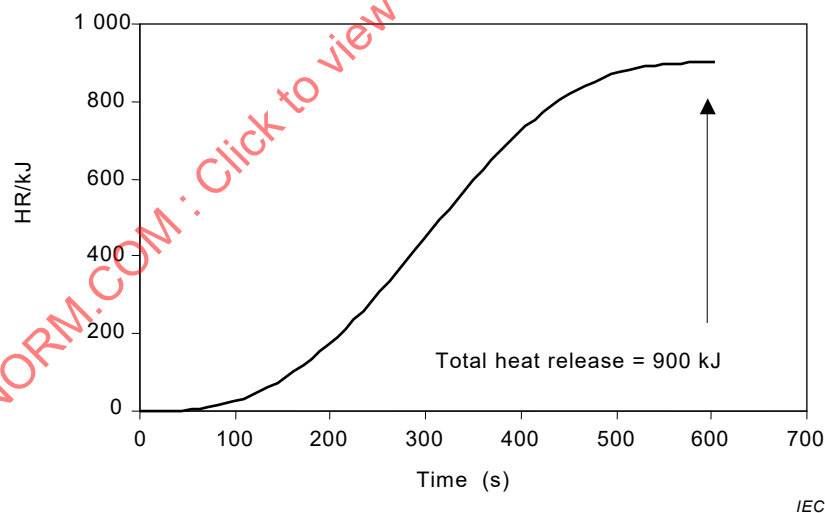


Figure 2 – Heat release (HR) curve

5.4 Heat release rate per unit area (HRR*)

Sometimes, in the case of flat test specimens, heat release rate is reported in terms of the rate of heat release per unit area of the exposed surface. Typical units are $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

NOTE Data from the cone calorimeter [13] are usually reported in this way [14].

A heat release rate per unit area curve is shown in Figure 3. (It is based on the curve of Figure 1 assuming an exposed surface area of 100 cm^2 .)

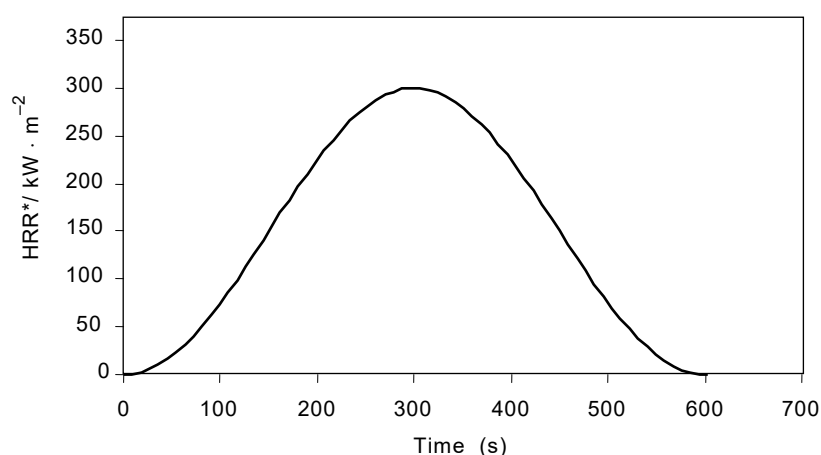


Figure 3 – Heat release rate per unit area (HRR*) curve

5.5 Total heat release

Total heat release is the heat release value at the end of the time period of interest. It can be obtained by integrating the rate of heat release, usually from the time of ignition to the end of the fire test. It can be used to quantify the size of a fire.

The total heat release in the curve of Figure 2 is 900 kJ.

5.6 Peak heat release rate

Peak heat release rate is the maximum value of the heat release rate that is observed during a fire test. Peak heat release rate may be used for comparing the effectiveness of some flame retardant treatments. However, it should be treated with some caution in cases where there are multiple maxima in the heat release rate curve.

The peak heat release rate in the curve of Figure 1 is 3 kW.

5.7 Time to peak heat release rate

As well as the amount of heat produced, the time it takes for the heat to be produced is important.

A simple guide to this is the time to peak heat release rate. However, it should be treated with some caution in cases where there are multiple maxima in the heat release rate curve.

The time to peak heat release rate in the curve of Figure 1 is 300 s.

5.8 Effective heat of combustion

5.8.1 Measurement and calculation

Effective heat of combustion (see 3.4) is defined as the heat released from a burning test specimen in a given time interval divided by the mass lost from the test specimen in the same time period. Effective heat of combustion is a measure of the heat released per unit mass of the burning volatile fuel which is produced from the test specimen. In most cases, it is not the same as the net heat of combustion of the test specimen. The only case where it is the same is when all the test specimen is consumed (i.e. all converted to volatile fuel) and when all the combustion products are fully oxidized.

In order to calculate the effective heat of combustion from heat release rate data, it is necessary to measure the rate of mass loss of the test specimen. This is done by mounting

the test specimen holder on a load cell so that mass measurements can be recorded as a function of time.

If the mass loss curve associated with the data shown in Figure 1 has the form shown in Figure 4, the effective heat of combustion will have a constant value of $25 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$.

If the effective heat of combustion is approximately constant throughout the burning of a test specimen, it implies that the mechanism of combustion is unchanged. However, it is often the case that combustion mechanisms change with different stages of a fire and so the effective heat of combustion will also change. Changes in the effective heat of combustion can be a useful indication of the effectiveness of flame retardants.

NOTE At the start and towards the end of a fire test when mass loss rates have very small values, division by zero (or near zero) errors can lead to nonsensical values of the effective heat of combustion.

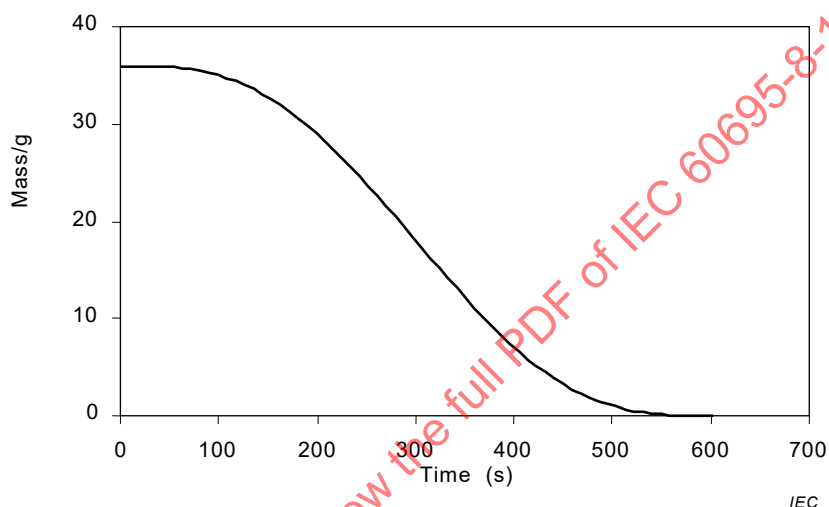


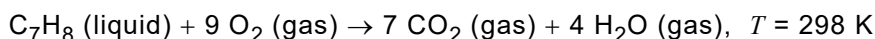
Figure 4 – Mass loss curve

5.8.2 Examples

The following examples illustrate the difference between net heat of combustion and effective heat of combustion.

Example 1 Toluene

The net heat of combustion of toluene is $40,99 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ and is a measure of the thermal energy released by the chemical reaction:



If toluene is burned in a cone calorimeter it burns inefficiently with the production of soot, carbon monoxide and other partially oxidized products. A typical value for the effective heat of combustion of toluene (without external heat flux) is about $36 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ reflecting the incomplete combustion. In this case, the entire test specimen volatilizes and, as a result, the effective heat of combustion of the volatile fuel is also the same as the effective heat of combustion of the test specimen. This would not be so if some of the test specimen remained as a residue (see Example 2).

Example 2 Wood

Consider a 100 g sample of wood that burns to leave a carbonaceous char of mass 20 g and that releases 960 kJ of heat. The effective heat of combustion will be $12 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (i.e.

960 kJ/80 g) and is a measure of the heat released per gram when the 80 g of volatile degradation products is burned. This is not the same as the heat released per gram of test specimen which will be 9,6 kJ·g⁻¹ (i.e. 960 kJ/100 g). It should be noted that the net heat of combustion of wood is a significantly higher figure, typically between 16 kJ·g⁻¹ and 19 kJ·g⁻¹, and is a measure of the complete combustion of the wood to fully oxidized products.

5.9 FIGRA index

FIGRA is an abbreviation for Fire Growth Rate. The value of the FIGRA index is affected by both the size and growth rate of a fire. The most dangerous fires, which are large and fast growing, will have a large FIGRA index whereas a small and slow growing fire will have a small FIGRA index. The FIGRA index is defined as the maximum value in a graph of

$$\text{HRR}(t)/(t-t_0) \text{ versus } t$$

where

$\text{HRR}(t)$ is the heat release rate at time t , and

$t-t_0$ is the elapsed time, at time t , after a defined start time, t_0 .

NOTE 1 The FIGRA index was devised in the development of EN 13823 [15] which is an intermediate scale corner test used for the regulation of building products in Europe.

As a single value parameter for regulatory purposes, some consider that the FIGRA index gives a better indication of the severity of a fire than total heat release or peak heat release.

NOTE 2 In EN 13823 the HRR value is a 30 s moving average.

Figure 5 shows the FIGRA curve derived from the heat release rate data of Figure 1. The FIGRA index is 0,0114 kW·s⁻¹ (at 223 s).

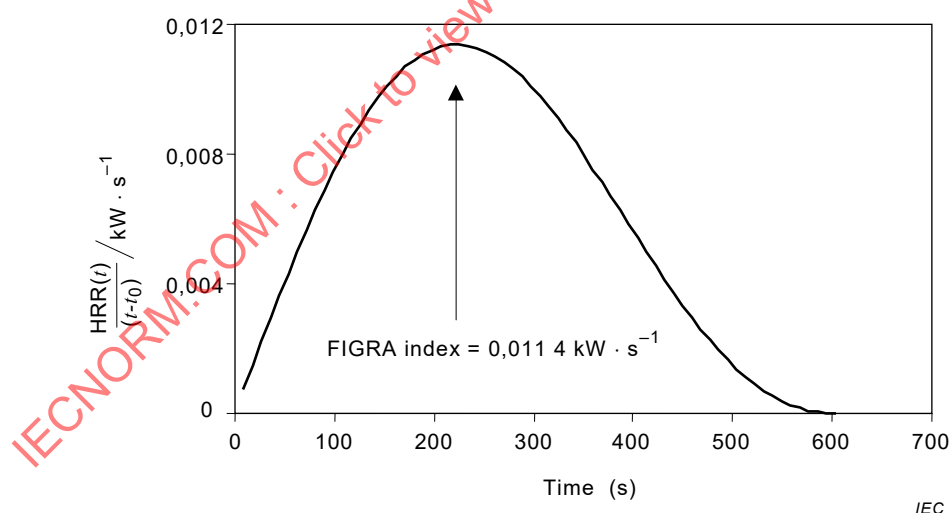


Figure 5 – FIGRA curve derived from Figure 1

The FIGRA index may be a useful parameter for assessing the fire hazard because it combines the heat release rate with the time elapsed to reach it. Note that the FIGRA index always refers to a time shorter than the time of maximum heat release rate (in the given curves, 223 s compared to 300 s).

However, the FIGRA index should be treated with extreme caution in cases where there is an early rapid but low heat release. In such cases, the slope of the HRR versus time curve may be steeper than the one calculated from the significant part of the curve and the obtained FIGRA index may be both irrelevant and misleading.

For example, consider the HRR curve shown in Figure 6. It is similar to that of Figure 1 except that there is a small HRR peak of about 0,58 kW which is reached after about 33 s.

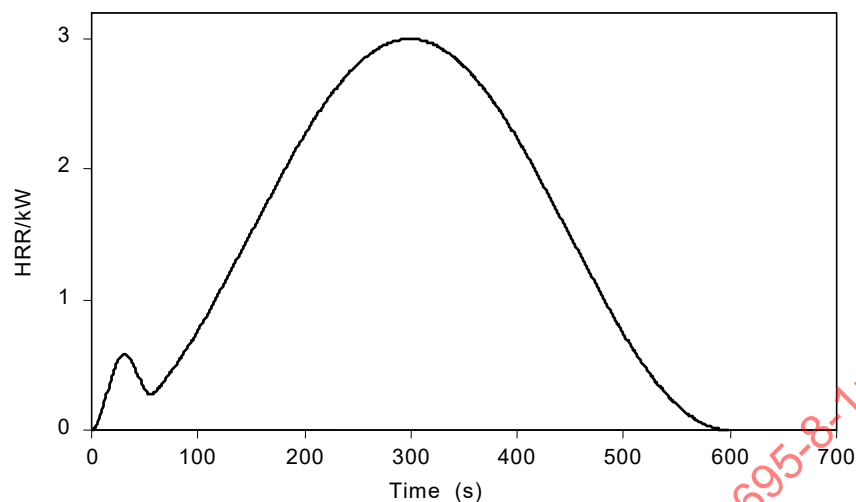


Figure 6 – Illustrative HRR curve

The FIGRA curve obtained from these data is shown in Figure 7.

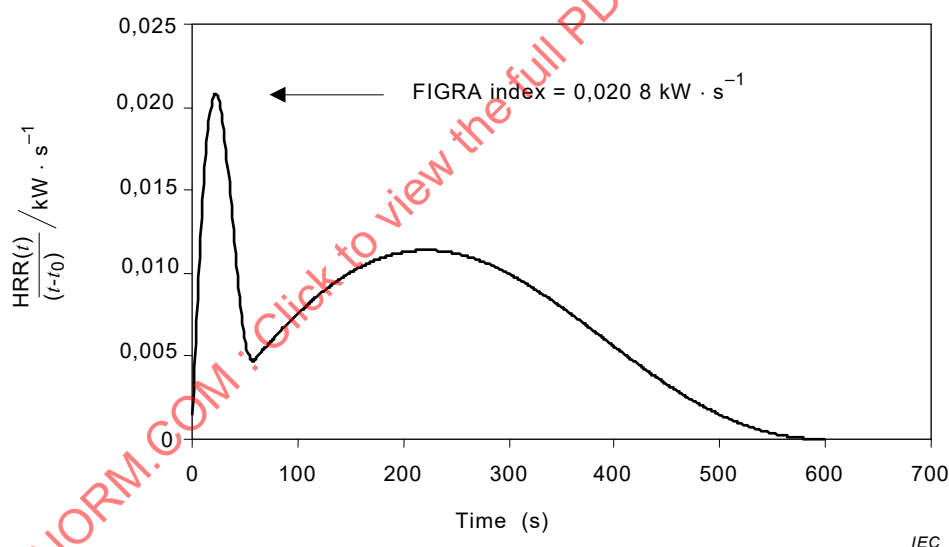


Figure 7 – FIGRA curve derived from Figure 6

It can be seen that a FIGRA index is obtained of 0,0208 kW·s⁻¹ at 23 s. This value is about twice the one calculated from the significant part of the curve, even though the early peak represents less than 2,2 % of the total heat release.

5.10 ARHE and MARHE

ARHE is an abbreviation for Average Rate of Heat Emission. It is calculated by dividing the total heat release (THR) at time t , by the elapsed time, $t-t_0$, from a defined start time t_0 .

MARHE is the maximum value of ARHE during a defined test period. The MARHE value is affected by both the size and growth rate of a fire. The most dangerous fires, which are large and fast growing, will have a large MARHE value whereas a small and slow growing fire will have a small MARHE value.

NOTE The MARHE parameter was devised in the development of EN 45545-2 [16] which is concerned with the fire safety of railway rolling stock in Europe.

Like the FIGRA index, as a single value parameter for regulatory purposes, some consider that MARHE gives a better indication of the severity of a fire than total heat release or peak heat release.

Figure 8 shows the ARHE curve derived from the heat release rate data of Figure 1. The MARHE is 1,826 kW (at 429 s).

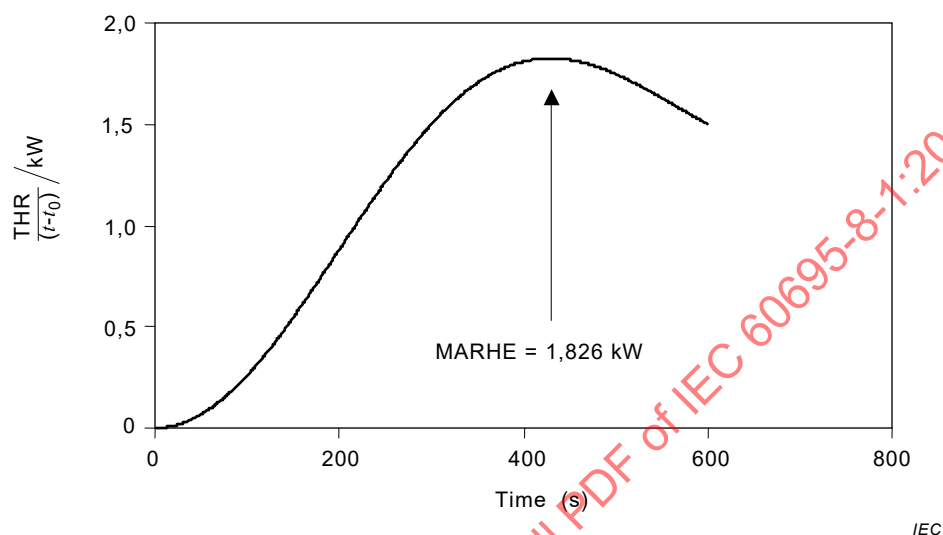


Figure 8 – ARHE curve derived from Figure 1

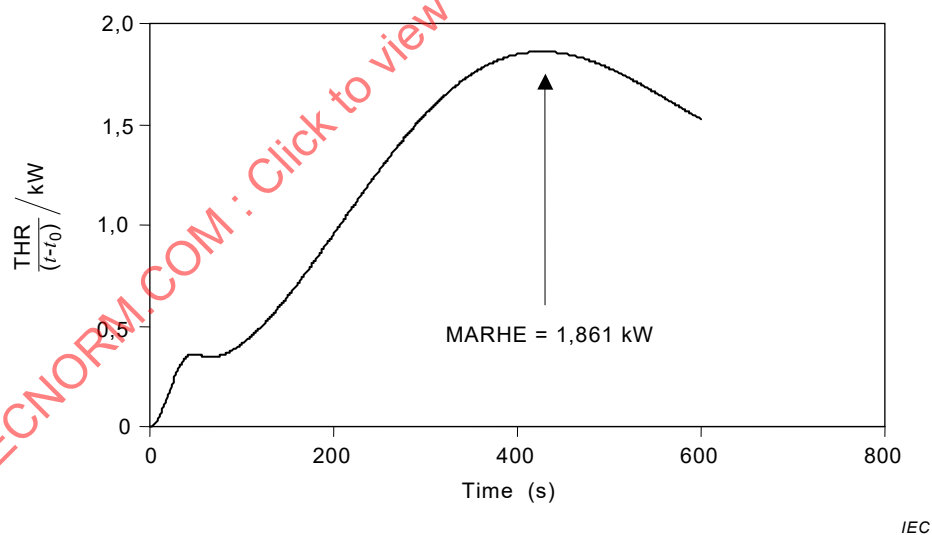


Figure 9 – ARHE curve derived from Figure 6

Unlike the FIGRA index, MARHE is very much less sensitive to early small peaks in the HRR curve and for this reason some consider it to be a more useful parameter. The ARHE curve derived from the HRR data of Figure 6 is shown in Figure 9. The MARHE value is 1,861 kW (at 427 s), which is only very slightly different from that obtained from the Figure 1 data.

6 Considerations for the selection of test methods

6.1 Ignition sources

Ignition sources shall be chosen to be as reproducible as possible as well as representative of the fire scenario of interest. This means that the ignition source shall represent exposure to either:

- a) unusual localized, internal sources of energy within the electrotechnical equipment or system; or
- b) external sources of heat or flame, outside the electrotechnical equipment or system.

6.2 Type of test specimen

It is desirable to limit the variations in shape, size and arrangement of the test specimen. There are three types of test specimens limited to equipment capabilities (certain test methods can only accommodate certain categories of sample):

- a) Product testing
The test specimen is a manufactured product.
- b) Simulated product testing
The test specimen is a component or representative simulation of a product.
- c) Materials or composite testing
The test specimen is a basic material (solid, liquid or gas), or a simple composite of materials.

6.3 Choice of conditions

In large-scale fires, there are several possibilities which should be investigated before designing the conditions for heat release testing of test specimens. In addition to the correct choice of ignition sources, the compartment geometry (size and location of test specimen and of ignition source and exhaust capabilities), other instruments or products present (for example, for measurement of other relevant fire properties), and the level and control of fire ventilation, should be considered.

The ventilation of the fire may be varied to represent fires with different degrees of ventilation, for example, well-ventilated fires or under-ventilated (ventilation-controlled) fires [17]. In small-scale fire tests there is, occasionally, also interest in determining heat release under conditions different from those in normal atmospheres (for example, to investigate the effects of vitiated atmospheres, or of very high oxygen atmospheres, such as in a spacecraft, or by simulating the effect of radiation with increased oxygen).

6.4 Test apparatus

6.4.1 General

The test apparatus shall have the capability of testing one of the types of test specimens described in 6.2, either in the horizontal or vertical orientation. The orientation to be chosen shall be that which has been shown to generate the most appropriate data for input into fire safety engineering calculations relevant to the full-scale products and their installation.

6.4.2 Small-scale fire test apparatus

The test apparatus shall have provisions to impose a uniform radiant heat flux to the exposed surfaces of the test specimen. Electrical radiant heaters, based on elements of silicon carbide, tungsten-quartz or metal coils, have been found to be capable of providing uniform fluxes to the test specimen. The test apparatus should have provision for an igniter, to cause ignition of the fire effluent generated from the application of heat flux to the surface of the test specimen. Typical igniters used are electric sparkers or small, premixed gas flames, both of which have been found to be satisfactory.

The apparatus shall have an exhaust stack to capture the entire mixture of fire effluent and air. Different measuring instruments are required which should include measurement of mass flow rate and temperature. Specific instruments needed are an oxygen analyzer of sufficient sensitivity for the oxygen consumption technique, carbon dioxide and carbon monoxide analyzers of sufficient sensitivity for the carbon dioxide generation technique and a thermocouple or thermopile of sufficient sensitivity for the gas temperature increase technique. There should also be provision for adequate calibration of the test instrument.

NOTE Test equipment often includes facilities to make concurrent and related measurements such as a load cell for mass loss determinations of the sample, an optical system in the exhaust duct for smoke obscuration measurements, gas analyzers in the exhaust duct for combustion product concentration measurements, a soot collection system for particulate measurement, and temperature and pressure measuring devices at various locations.

6.4.3 Intermediate and large-scale fire test apparatus

An intermediate-scale or large-scale fire test apparatus shall have, as a minimum, a properly constructed and instrumented exhaust duct containing the appropriate instruments for heat release determinations. All other instrumentation present will depend on the test requirements. It is likely that the same type of instruments described above for small-scale fire tests may be useful additions to intermediate and large-scale fire test instruments.

6.4.4 Comparison between small-scale and intermediate/large-scale fire test methods

It is now well established that heat release is an essential input in the assessment of fire hazard. The input for such assessments can be obtained from large-, intermediate- and small-scale fire test apparatus. By the appropriate choice of external heat flux and other conditions, small-scale fire test measurements of heat release and mass loss rate, at various external flux levels may, in some cases, be correlated with measurements made in larger scale fire tests [18], [19], [20].

6.5 Choice of fire tests

The test method(s) selected shall be relevant to the fire scenario of concern. In cases where fire tests are not yet specified, and need to be developed or altered for the special purpose of an IEC technical committee, this shall be done in liaison with the relevant technical committee as mandated by IEC Guide 104.

7 Relevance of heat release data

7.1 Contribution to fire hazard

The rate of heat release is a measurement of the intensity of a fire, and total heat release quantifies the size of a fire. Rate of heat release is recognized as being the primary variable that determines the contribution to fire hazard from materials and products [21].

Heat release data are therefore used as important inputs to both fire hazard assessment and fire safety engineering.

7.2 Secondary ignition and flame spread

Flame spread depends on the ignition of fuel distant from the source of a fire. Ignition depends on energy input which derives from the heat released from the source of the fire. It has been found that from the determination of heat release rate and other fire properties measurable in heat release test apparatus, it is possible to estimate maximum flame spread (and, potentially, flame-spread rates) by using computer fire models or even simple empirical correlations.

7.3 Determination of self-propagating fire thresholds

It has been found that the heat release rate can, in some cases, identify the threshold between a fire that remains under control and one that will continue unabated (i.e. becoming self-propagating). Determination of the heat release rate corresponding to the thresholds for self-propagation is also important.

7.4 Probability of reaching flash-over

Heat release data can be used in fire models to predict the likelihood of a fire developing to a state of flash-over.

7.5 Smoke and toxic gas production

For a given fuel and a given stage of fire, the rate of smoke production and toxic gas production is dependent on the rate of heat release; therefore, if heat release can be reduced, then smoke and toxic gas production will also be reduced.

7.6 The role of heat release testing in research and development

Effective use of new formulations for materials (e.g. by adding flame retardants or by changing critical chemical compositions), of new designs for products (e.g. by changing the shape or size of the electrotechnical product) or of a new geometrical arrangement of the individual products within the overall system, can lead to improved fire safety. Heat release measurement gives useful data in the above cases.

Bibliography

- [1] IEC 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*
- [2] IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*
- [3] IEC 60695-1-12, *Fire hazard testing – Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire safety engineering*
- [4] ISO 1716, *Reaction to fire tests for building products – Determination of the heat of combustion*
- [5] THORNTON, W., *The Relation of Oxygen to Heat of Combustion of Organic Compounds*, The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 33, 196 (1917)
- [6] HUGGETT, C., *Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption*, Journal of Fire and Flammability, 12, 61-65 (1980)
- [7] ASTM D 7309, *Standard Test Method for Determining Flammability Characteristics of Plastics and Other Solid Materials Using Microscale Combustion Calorimetry*
- [8] EN 50289-4-11, *Communication cables. Specifications for test methods. Environmental test methods. A horizontal integrated fire test method*
- [9] IEC 60836:2015, *Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes*
- [10] IEC 61099:2010, *Insulating liquids – Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes*
- [11] IEC 60867:1993, *Insulating liquids – Specifications for unused liquids based on synthetic aromatic hydrocarbons*
- [12] IEC 60296:2012, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*
- [13] ISO 5660-1, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic method)*
- [14] BSI DD 246, *Recommendations for the use of the cone calorimeter* (1999)
- [15] EN 13823, *Reaction to fire tests for building products – Building products, excluding floorings, exposed to thermal attack by a single burning item*
- [16] EN 45545-2, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*
- [17] TEWARSON, A., JIANG, F. H. and MIRIKAWA, T., *Ventilation-Controlled Combustion of Polymers*, Combustion and Flame, 95, 151-169 (1993)

- [18] TEWARSON, A., *Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires*, pp. 1-179 to 1-199 in the *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Society of Fire Prevention Engineers, Boston, MA, USA (1988)
- [19] BABRAUSKAS, V., and GRAYSON, S. J., *Heat Release in Fires*, Elsevier Applied Science Publishers, London, UK (1992)
- [20] DRYSDALE, D. D., *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons, New York, NY, USA (1985)
- [21] DINENNO, P. J. et al (Editors), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd edn., NFPA, Quincy, MA, USA (1995)
- [22] ISO 13927, *Plastics – Simple heat release test using a conical radiant heater and a thermopile detector*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-8-1:2016

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-8-1:2016

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	30
INTRODUCTION	32
1 Domaine d'application	33
2 Références normatives	33
3 Termes et définitions	34
4 Principes de détermination du dégagement de chaleur	38
4.1 Combustion complète mesurée par la bombe calorimétrique oxygène	38
4.2 Combustion incomplète	38
4.2.1 Techniques de mesure	38
4.2.2 Dégagement de chaleur par consommation d'oxygène	38
4.2.3 Dégagement de chaleur par production de dioxyde de carbone	39
4.2.4 Dégagement de chaleur par augmentation de la température des gaz	39
5 Paramètres utilisés pour indiquer les résultats de dégagement de chaleur	42
5.1 Pouvoir calorifique (supérieur et inférieur)	42
5.2 Débit calorifique (HRR – Heat release rate)	43
5.3 Dégagement de chaleur (HR – heat release)	43
5.4 Débit calorifique par unité de surface (HRR*)	44
5.5 Dégagement total de chaleur	44
5.6 Pic de débit calorifique	44
5.7 Temps pour atteindre le pic de débit calorifique	44
5.8 Chaleur effective de combustion	45
5.8.1 Mesurage et calcul	45
5.8.2 Exemples	45
5.9 Indice FIGRA	46
5.10 ARHE et MARHE	48
6 Considérations pour la sélection des méthodes d'essai	50
6.1 Sources d'allumage	50
6.2 Types d'éprouvettes	50
6.3 Choix des conditions d'essai	50
6.4 Appareillage d'essai	50
6.4.1 Général	50
6.4.2 Appareillage d'essai au feu à petite échelle	51
6.4.3 Appareillage d'essai au feu à grande échelle et échelle intermédiaire	51
6.4.4 Comparaison entre les méthodes d'essai au feu à petite échelle, échelle intermédiaire et à grande échelle	51
6.5 Choix des essais au feu	51
7 Pertinence des données de dégagement de chaleur	52
7.1 Contribution au danger d'incendie	52
7.2 Allumage secondaire et propagation de la flamme	52
7.3 Détermination des seuils d'autopropagation du feu	52
7.4 Probabilité pour atteindre l'embrasement généralisé	52
7.5 Production de fumée et de gaz toxique	52
7.6 Rôle de l'essai de dégagement de chaleur dans la recherche et le développement	52
Bibliographie	53

Figure 1 – Courbe du débit calorifique (HRR).....	43
Figure 2 – Courbe de dégagement de chaleur (HR)	43
Figure 3 – Courbe du débit calorifique (HRR*) par unité de surface	44
Figure 4 – Courbe de la perte de masse	45
Figure 5 – Courbe FIGRA issue de la Figure 1	47
Figure 6 – Courbe représentative de HRR La courbe FIGRA obtenue à partir de ces données est représentée à la Figure 7.	47
Figure 7 – Courbe FIGRA issue de la Figure 6.....	48
Figure 8 – Courbe ARHE issue de la Figure 1.....	49
Figure 9 – Courbe ARHE issue de la Figure 6.....	49
Tableau 1 – Relation entre la chaleur de combustion exprimée en unités de $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ de combustible brûlé et $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ d'oxygène consommé, pour différents combustibles.....	41
Tableau 2 – Relation entre la chaleur de combustion exprimée en unités de $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ de combustible brûlé et $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ d'oxygène consommé, pour différents liquides isolants	42

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-8-1:2016

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 8-1: Dégagement de chaleur – Guide général

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 60695-8-1 a été établie par le comité d'études 89 de l'IEC: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) introduction modifiée;
- b) référence à l'IEC 60695-1-12;
- c) références normatives mises à jour;
- d) termes et définitions révisés;

- e) nouveau texte aux 4.2.2, 4.2.3, 6.1 et 6.4, y compris plusieurs déclarations obligatoires;
- f) déclarations obligatoires dans un nouveau paragraphe 6.5.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1342/FDIS	89/1348/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.

Elle a le statut de publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide IEC 104 et au Guide ISO/IEC 51.

La présente norme doit être utilisée conjointement avec l'IEC 60695-8-2.

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

L'IEC 60695-8 comprend les parties suivantes:

Partie 8-1: *Dégagement de chaleur – Guide général*

Partie 8-2: *Dégagement de chaleur – Résumé et pertinence des méthodes d'essais*

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.

INTRODUCTION

Il est nécessaire de prendre en considération le risque d'incendie et les dangers potentiels associés au feu, dans la conception de tout produit électrotechnique. A cet égard, la conception des composants, des circuits et des équipements, ainsi que le choix des matériaux, ont pour objectif de réduire le risque d'incendie à un niveau acceptable, même dans le cas d'une (mauvaise) utilisation raisonnablement prévisible, d'un dysfonctionnement ou d'une défaillance. L'IEC 60695-1-10 [1]¹ fournit des lignes directrices sur la méthode qui doit être appliquée pour y parvenir.

Les feux impliquant des produits électrotechniques peuvent être déclenchés par des sources externes non électriques. Les considérations de cette nature sont traitées dans le cadre de l'évaluation globale des dangers d'incendie.

La série de normes IEC 60695 a pour objet de sauver des vies et de préserver des biens en réduisant le nombre de feux ou les conséquences du feu. Ceci peut être réalisé en:

- tentant de prévenir l'allumage provoqué par un composant sous tension et, dans l'éventualité d'un allumage, de circonscrire le feu qui en résulte dans les limites de l'enceinte du produit électrotechnique;
- tentant de réduire le plus possible la propagation de la flamme au-delà de l'enceinte du produit et de réduire le plus possible les effets préjudiciables des effluents du feu, y compris la chaleur, la fumée et les produits de combustion toxiques ou corrosifs.

Les incendies sont responsables de la création de dangers pour la vie et les biens par suite de la génération de chaleur (danger thermique), de composés toxiques et/ou corrosifs et de l'obscurcissement de la vision dû à la fumée. Le risque d'incendie augmente avec l'accroissement du dégagement de chaleur conduisant éventuellement à un embrasement généralisé.

L'un des mesurages les plus importants dans les essais au feu est le mesurage du dégagement de chaleur. Il s'agit d'un facteur important dans la détermination du danger d'incendie et constitue également l'un des paramètres des calculs d'ingénierie de la sécurité incendie.

Le mesurage et l'utilisation des données de dégagement de chaleur peuvent être utilisés avec d'autres données d'essais au feu pour réduire la probabilité (ou les effets) de l'incendie, même dans le cas d'une (mauvaise) utilisation raisonnablement prévisible, d'un dysfonctionnement ou d'une défaillance des produits électrotechniques.

Lorsqu'un matériau est chauffé par une source externe, des effluents du feu peuvent être générés par cette chaleur et peuvent former un mélange avec l'air qui peut allumer ou initier un incendie. La chaleur dégagée au cours du processus est transportée par le mélange air-effluents du feu, et il y a perte de chaleur ou transfert vers la matière solide pour générer d'autres produits de pyrolyse, continuant ainsi le processus.

La chaleur peut aussi être transférée à d'autres produits situés à proximité qui peuvent brûler en apportant une chaleur et des effluents du feu supplémentaires.

La vitesse à laquelle l'énergie thermique est dégagée dans un incendie est définie comme étant le débit calorifique. Le débit calorifique est important par son influence sur la propagation de la flamme et sur l'initiation des feux secondaires. D'autres caractéristiques sont également importantes, comme l'allumabilité, la propagation de la flamme et les autres effets secondaires de l'incendie (voir la série de normes IEC 60695).

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 8-1: Dégagement de chaleur – Guide général

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60695-8 fournit les lignes directrices sur le mesurage et l'interprétation du dégagement de chaleur des produits électrotechniques et des matériaux à partir desquels ils sont constitués.

Les données de dégagement de chaleur peuvent être utilisées pour évaluer le danger d'incendie et pour l'ingénierie de la sécurité incendie, comme indiqué dans l'IEC 60695-1-11 [2] et l'IEC 60695-1-12 [3].

La présente 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 IEC 104 et dans le Guide ISO/IEC 51.

L'une des responsabilités d'un comité d'études consiste, le cas échéant, à utiliser les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses publications. Les exigences, méthodes d'essai ou conditions d'essai de la présente 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).

IEC 60695-4:2012, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques*

IEC 60695-8-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 8-2: Dégagement de chaleur – Résumé et pertinence des méthodes d'essai²*

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

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

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

² À publier.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 13943:2008 et de l'IEC 60695-4:2012 (dont certains sont reproduits ci-dessous), ainsi que les suivants 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 et/ou d'incandescence.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.46]

3.2

produit de combustion

produit de la combustion

matériau solide, liquide ou gazeux résultant d'une combustion

Note 1 à l'article: Les produits de combustion peuvent comprendre des effluents du feu, des cendres, des résidus charbonneux, des scories et/ou des suies.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.48]

3.3

combustion complète

combustion au cours de laquelle les produits de combustion sont complètement oxydés

Note 1 à l'article: Cela signifie que, lorsque le comburant est l'oxygène, tout le carbone est transformé en dioxyde de carbone et tout l'hydrogène est transformé en eau.

Note 2 à l'article: Si des éléments autres que le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont présents dans les matériaux combustibles, ces éléments sont transformés en les produits les plus stables dans leur état normal à 298 K.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.50]

3.4

chaleur effective de combustion

chaleur dégagée par une éprouvette d'essai soumise à l'épreuve de combustion dans un intervalle de temps donné divisée par la perte de masse de l'éprouvette dans la même période de temps

Note 1 à l'article: Elle est équivalente au pouvoir calorifique inférieur si la totalité de l'éprouvette est convertie en produits volatils de la combustion et si tous les produits de combustion sont complètement oxydés.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.74]

3.5

feu

(général) processus de combustion caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des flammes, 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, *fire* (3.6) et *fire* (3.7), se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenu 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 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**incendie**

⟨non contrôlé⟩ combustion 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**effluents du feu**

ensemble des gaz et aérosols, y compris les particules en suspension, dégagés par combustion ou par pyrolyse au cours d'un feu

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.105]

3.9**danger d'incendie**

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.10**ingénierie de la sécurité incendie**

application des méthodes d'ingénierie fondées sur des principes scientifiques au développement ou à l'évaluation de conceptions dans un environnement bâti au moyen de l'analyse de scénarios d'incendie spécifiques ou bien par la quantification du risque pour un groupe de scénarios d'incendie

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.11**essai au feu**

essai qui mesure le comportement d'un feu ou expose un objet aux effets d'un feu

Note 1 à l'article: Les résultats d'un essai au feu peuvent être utilisés pour quantifier la gravité d'un incendie ou déterminer la résistance au feu ou la réaction au feu de l'éprouvette d'essai.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.132]

3.12**embrasement généralisé
flashover**

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

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.156]

3.13**pouvoir calorifique supérieur**

chaleur de combustion d'une substance lorsque la combustion est complète et que toute l'eau produite est entièrement condensée, dans des conditions spécifiées

voir *combustion complète* (3.3)

Note 1 à l'article: Il est exprimé en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.170]

3.14

chaleur de combustion

DÉCONSEILLÉ: potentiel calorifique

DÉCONSEILLÉ: pouvoir calorifique

énergie thermique dégagée par la combustion d'une unité de masse d'une substance donnée

voir aussi *chaleur effective de combustion* (3.4), *pouvoir calorifique supérieur* (3.13) et *pouvoir calorifique inférieur* (3.19)

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.174]

3.15

dégagement de chaleur

énergie thermique dégagée par la combustion

Note 1 à l'article: Il est exprimé en joules (J).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.176]

3.16

débit calorifique

DÉCONSEILLÉ: vitesse de combustion

énergie calorifique produite par unité de temps par la combustion

Note 1 à l'article: Il est exprimé en watts (W).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.177]

3.17

essai au feu à échelle intermédiaire

essai au feu effectué sur une éprouvette d'essai de dimensions moyennes

Note 1 à l'article: Un essai au feu effectué sur une éprouvette dont la dimension maximale est située entre 1 m et 3 m est habituellement appelé «essai à échelle intermédiaire».

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.200]

3.18

essai au feu à grande échelle

essai au feu, qui ne peut pas être réalisé dans une pièce typique de laboratoire et qui est effectué sur une éprouvette d'essai de grandes dimensions

Note 1 à l'article: Un essai au feu effectué sur une éprouvette dont la dimension maximale est supérieure à 3 m est habituellement appelé essai à grande échelle.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.205]

3.19

pouvoir calorifique inférieur

pouvoir calorifique où l'eau formée par la combustion est considérée être à l'état gazeux

Note 1 à l'article: Le pouvoir calorifique inférieur est toujours plus petit que le pouvoir calorifique supérieur car la quantité de chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'eau n'y est pas incluse.

Note 2 à l'article: Il est exprimé en kilojoules par gramme ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.237]

3.20

oxydation

réaction chimique dans laquelle la proportion d'oxygène ou d'un autre élément électronégatif dans une substance est augmentée

Note 1 à l'article: En chimie, le terme a le sens plus large d'un processus qui implique la perte d'un ou de plusieurs électrons d'un atome, d'une molécule ou d'un ion.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.245]

3.21

comburant

substance susceptible de provoquer une réaction d'oxydation

Note 1 à l'article: La combustion est une oxydation.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.246]

3.22

principe de la consommation d'oxygène

relation de proportionnalité entre la masse de l'oxygène consommée pendant la combustion et la chaleur dégagée

Note 1 à l'article: La valeur de $13,1 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ est la plus couramment utilisée.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.247]

3.23

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 avant que la combustion 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]

3.24

essai au feu à petite échelle

essai au feu effectué sur une éprouvette d'essai de petites dimensions

Note 1 à l'article: Un essai au feu effectué sur une éprouvette dont la dimension maximale est inférieure à 1 m est habituellement appelé «essai au feu à petite échelle».

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.292]

3.25

éprouvette d'essai

objet soumis à une procédure d'évaluation ou de mesurage

Note 1 à l'article: Dans un essai au feu, l'objet concerné peut être un matériau, un produit, un composant, un élément de construction ou une combinaison de tous ces éléments. Il peut également être un capteur utilisé pour simuler le comportement d'un produit.

[SOURCE: ISO 13943: 2008, 4.321]

4 Principes de détermination du dégagement de chaleur

4.1 Combustion complète mesurée par la bombe calorimétrique oxygène

Le dispositif le plus important pour la mesure des chaleurs de combustion est la bombe calorimétrique adiabatique à volume constant. La «bombe» est constituée d'un récipient central qui est suffisamment solide pour résister aux hautes pressions de sorte que son volume interne demeure constant. La bombe est immergée dans un bain d'eau à remous et la combinaison de la bombe et du bain d'eau constitue le calorimètre. Le calorimètre est également immergé dans un bain d'eau extérieur. Au cours de la réaction de combustion, la température de l'eau dans le calorimètre et dans le bain d'eau extérieur est surveillée en permanence et réglée par un dispositif de chauffage électrique à la même valeur. Il s'agit de s'assurer qu'il n'y a pas de perte nette de chaleur du calorimètre vers son environnement proche, c'est-à-dire de s'assurer que le calorimètre est adiabatique.

Pour effectuer un mesurage, une masse connue d'échantillon est placée à l'intérieur de la bombe en contact avec un fil d'allumage électrique. Le récipient est rempli d'oxygène sous pression, scellé et peut atteindre l'équilibre thermique. L'échantillon est ensuite allumé en utilisant une valeur donnée d'énergie mesurée. La combustion est complète parce qu'elle a lieu en présence d'excès d'oxygène sous haute pression. La chaleur dégagée est calculée à partir de la capacité thermique connue du calorimètre et de l'échauffement qui se produit par suite de la réaction de combustion.

L'expérience donne la chaleur dégagée à volume constant, c'est-à-dire la variation d'énergie interne, ΔU . Le pouvoir calorifique supérieur est la modification d'enthalpie, ΔH , où:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

où $\Delta(PV)$ est calculé au moyen de la loi des gaz parfaits;

$$\Delta(PV) = \Delta(nRT)$$

NOTE Le mesurage de la chaleur de combustion des produits de construction, au moyen de la bombe calorimétrique, est décrit dans l'ISO 1716 [4].

4.2 Combustion incomplète

4.2.1 Techniques de mesure

La combustion dans des feux, qui se produisent habituellement dans l'air et sous pression atmosphérique, est presque toujours incomplète et, de ce fait, la chaleur dégagée est inférieure aux chaleurs combinées de combustion des matériaux concernés.

La chaleur dégagée peut être déterminée indirectement en utilisant l'une des techniques suivantes:

- a) la consommation d'oxygène;
- b) la formation de dioxyde de carbone;
- c) l'augmentation de la température des gaz.

4.2.2 Dégagement de chaleur par consommation d'oxygène

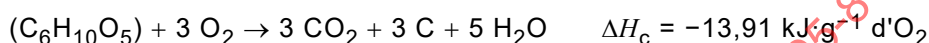
Pour un grand nombre de combustibles organiques, une quantité à peu près constante de chaleur est dégagée par unité d'oxygène consommée [5], [6]. La valeur moyenne de cette constante est $13,1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ d'oxygène et cette valeur est largement utilisée pour les applications pratiques aussi bien pour les essais à petite qu'à grande échelle. Cette relation implique que, pour déterminer le dégagement de chaleur, il est suffisant de mesurer la

quantité d'oxygène consommée lors d'une combustion et le débit massique dans le conduit d'évacuation.

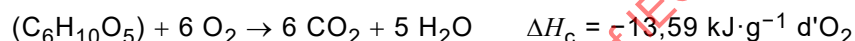
Le Tableau 1 énumère quelques valeurs de pouvoir calorifique inférieur [6]. Avec l'exception de trois produits: l'éthylène, l'acétylène et le poly(oxyméthylène), toutes les chaleurs calculées de combustion par gramme d'oxygène consommé se situent entre 12,5 kJ et 13,6 kJ. Les valeurs du Tableau 1 sont calculées en prenant pour hypothèse une combustion complète. Cependant, Huggett [6] a étudié les effets d'une éventuelle combustion incomplète et a calculé les valeurs de ΔH_c pour plusieurs de ces cas. Par exemple, dans le cas de la cellulose brûlant en donnant un rapport CO_2 sur CO de 9:1:



ou brûlant en donnant une quantité appréciable de résidus charbonneux:



comparé avec une combustion complète:



Huggett présente plusieurs autres exemples et conclut que l'estimation d'une constante de dégagement de chaleur par unité d'oxygène consommé est suffisamment exacte pour la plupart des applications.

Si la valeur correcte de ΔH_c par gramme d' O_2 est connue pour un matériau particulier, alors elle doit être utilisée à la place de la valeur approximative.

Le Tableau 2 donne des valeurs de chaleur de combustion pour liquides isolants.

Il existe différents essais au feu utilisant la méthode de consommation d'oxygène, qui vont de l'essai à microéchelle, par exemple dans la norme ASTM D 7309 [7], à l'essai à grande échelle, par exemple dans l'EN 50289-4-11 [8].

L'IEC 60695-8-2 décrit les essais au feu de dégagement de chaleur pertinents pour les essais des produits électrotechniques.

4.2.3 Dégagement de chaleur par production de dioxyde de carbone

Cette technique est fondée sur le fait que l'énergie dégagée dans une réaction de combustion est approximativement proportionnelle à la quantité de dioxyde de carbone produit, à condition que la combustion soit complète ou presque complète (c'est-à-dire avec des rapports CO/CO_2 très faibles). La valeur moyenne pour la constante de proportionnalité est $13,3 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ de dioxyde de carbone produit. Si une valeur plus exacte est connue pour le matériau ou le produit, elle doit être utilisée pour calculer le dégagement de chaleur.

En général, la valeur de la quantité du dégagement de chaleur, déterminée par la production de dioxyde de carbone correspond bien à la valeur du débit calorifique déterminée par consommation d'oxygène.

4.2.4 Dégagement de chaleur par augmentation de la température des gaz

La technique de la température des gaz est fondée sur les hypothèses qu'il n'y a pas de perte de chaleur et que toute la chaleur produite lors d'un incendie est utilisée pour augmenter la température du flux chaud d'air et des effluents du feu, et que leurs températures peuvent être déterminées en aval de la zone de combustion vive. Si les pertes de chaleur, venant

principalement de la radiation thermique, sont négligeables, la technique d'augmentation de température des gaz (appelée aussi thermopile technique) représente la même quantité de dégagement de chaleur que celle obtenue par la méthode de consommation d'oxygène ou de formation de dioxyde de carbone. Le dégagement de chaleur est déterminé en mesurant l'augmentation de température des gaz, à la thermopile par rapport à la température de référence (généralement à la température ambiante). Celle-ci est convertie en dégagement de chaleur au moyen des mesurages du flux total d'air et du mélange des effluents du feu en utilisant la chaleur spécifique du mélange à la température de l'air appropriée, ou simplement par étalonnage à flux constant d'un matériau dont le dégagement de chaleur est bien connu, tel que le méthane.

En général, les dégagements de chaleur déterminés par mesurage de température sont inférieurs à ceux déterminés par consommation d'oxygène ou par formation de dioxyde de carbone, utilisant des méthodes calorimétriques, parce que les pertes de chaleur ne sont généralement pas négligeables. Dans un essai à petite échelle, ces pertes de chaleur peuvent être minimisées, avec soin, en s'efforçant de construire un système aussi proche que possible d'un système adiabatique.

Une méthode permettant d'obtenir les valeurs de dégagement de chaleur par mesurage de la température a été mise au point dans l'ISO 13927 [22], en utilisant les mêmes systèmes de chauffage et de montage d'éprouvette que dans l'ISO 5660-1; cette méthode peut être utilisée à des fins de contrôle de la production et/ou de comparaison pour la recherche et le développement. L'appareillage d'essai est relativement facile à utiliser ainsi que peu onéreux.

Tableau 1 – Relation entre la chaleur de combustion exprimée en unités de $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ de combustible brûlé et $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ d'oxygène consommé, pour différents combustibles

Combustible	Formule	ΔH_c^a	
		$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ de combustible	$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ d' O_2
Méthane (g)	CH_4	50,0	12,5
Éthane (g)	C_2H_6	47,5	12,7
Butane (g)	C_4H_{10}	45,7	12,8
Octane (l)	C_8H_{18}	44,4	12,7
Éthylène (g)	C_2H_4	47,1	13,8
Acétylène (g)	C_2H_2	48,2	15,7
Benzène (l)	C_6H_6	40,1	13,1
Polyéthylène	$-(\text{C}_2\text{H}_4)_n-$	43,3	12,6
Polypropylène	$-(\text{C}_3\text{H}_6)_n-$	43,3	12,7
Polyisobutylène	$-(\text{C}_4\text{H}_8)_n-$	43,7	12,8
Polybutadiène	$-(\text{C}_4\text{H}_6)_n-$	42,7	13,1
Polystyrène	$-(\text{C}_8\text{H}_8)_n-$	39,8	13,0
PVC	$-(\text{CH}_2\text{CHCl})_n-$	16	12
PMMA	$-(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2)_n-$	24,9	12,9
PAN	$-(\text{C}_3\text{H}_3\text{N})_n-$	30,8	13,6
Polyoxyméthylène	$-(\text{CH}_2\text{O})_n-$	15,4	14,5
PET	$-(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4)_n-$	22,0	13,2
Polycarbonate	$-(\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3)_n-$	29,7	13,1
Triacétate de cellulose	$-(\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_8)_n-$	17,6	13,2
Nylon 66	$-(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO})_n-$	29,5	12,6
Cellulose	$-(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n-$	16	13
Coton	–	15,5	13,6
Papier (journaux)	–	18,4	13,4
Bois (érable)	–	17,7	12,5
Lignite	–	24,8	13,1
Charbon (bitume)	–	35,2	13,5
NOTE 1 (g) = gaz, (l) = liquide.			
NOTE 2 La plupart des valeurs de la colonne 3 ont été calculées à partir de données thermodynamiques. Les valeurs de la colonne 4, calculées à partir de celles de la colonne 3, prennent pour hypothèse une combustion complète.			
NOTE 3 Pour les valeurs calculées à partir des données thermodynamiques, l'hypothèse retenue est que le carbone est converti en dioxyde de carbone, l'hydrogène en eau, l'azote en dioxyde d'azote et le chlore en chlorure d'hydrogène.			
^a Corps réagissants et produits à l'état gazeux à 25 °C.			

Tableau 2 – Relation entre la chaleur de combustion exprimée en unités de $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ de combustible brûlé et $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ d'oxygène consommé, pour différents liquides isolants

Liquide isolant	Formule	ΔH_c^a	
		$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ de combustible	$\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ d' O_2
Huile silicone (1)	–	25	14,5
Ester de pentaérythritol (2)	–	36,8	b
Mélange de mono et dibenzyl toluène (3)	–	39,5	b
Huile paraffinique minérale (4)	–	46,1	b
(1) Huile silicone pour transformateur, type T1, IEC 60836 [9] (2) Esters pour transformateurs, type T1, IEC 61099 [10] (3) Liquide isolant pour condensateurs, IEC 60867 [11] (4) Huiles minérales pour transformateurs et appareillage de connexion, IEC 60296 [12]			
NOTE Le comité d'études 10 a trouvé une plage de valeurs de différentes sources pour la chaleur de combustion de l'huile silicone de $25 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ à $27 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.			
^a Corps réagissants et produits à l'état gazeux à 25 °C. ^b Aucune donnée n'est disponible actuellement.			

5 Paramètres utilisés pour indiquer les résultats de dégagement de chaleur

5.1 Pouvoir calorifique (supérieur et inférieur)

La chaleur normale de combustion d'une substance est définie en termes thermochimiques comme la modification d'enthalpie qui se produit lors d'une combustion complète d'une mole de substance, dans des conditions normales. Dans le domaine du feu, la chaleur de combustion est aussi rattachée au «pouvoir calorifique supérieur», et l'unité utilisée est l'énergie par unité de masse au lieu d'une énergie par mole.

NOTE Des termes plus anciens correspondants, aujourd'hui déconseillés, sont «potentiel calorifique» et «pouvoir calorifique supérieur».

L'eau formée comme produit de combustion est considérée être à l'état liquide. Pour un composé contenant du carbone et de l'hydrogène, par exemple, la combustion complète veut dire que tout le carbone est transformé en dioxyde de carbone et que tout l'hydrogène est transformé en eau à l'état liquide.

Le pouvoir calorifique supérieur est mesuré par une bombe calorimétrique oxygène dans laquelle l'échantillon est complètement converti en produits complètement oxydés (voir 4.1). Dans des feux réels, c'est rarement le cas. Quelques matériaux potentiellement combustibles laissent des résidus charbonneux et les produits de combustion sont souvent partiellement oxydés, par exemple des particules de suie dans les fumées et du monoxyde de carbone.

La valeur du pouvoir calorifique inférieur est similaire à la valeur du pouvoir calorifique supérieur à l'exception près que toute eau formée est censée être à l'état vapeur. La différence est la chaleur latente de vaporisation d'eau à 298 K qui est de $2,40 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. La valeur du pouvoir calorifique inférieur est, de ce fait, toujours plus faible que la valeur du pouvoir calorifique supérieur. Dans les flammes et le feu, l'eau demeure à l'état vapeur et, de ce fait, il est plus approprié d'utiliser les valeurs du pouvoir calorifique inférieur.

5.2 Débit calorifique (HRR – Heat release rate)

Le débit calorifique (voir 3.16) est défini comme l'énergie thermique dégagée par unité de temps dans un feu ou un essai au feu. Il s'agit d'un paramètre particulièrement utile car il peut être utilisé pour quantifier l'intensité d'un feu.

Le débit calorifique est communément indiqué sous la forme d'un graphique en fonction du temps. Une courbe du débit calorifique est représentée à la Figure 1.

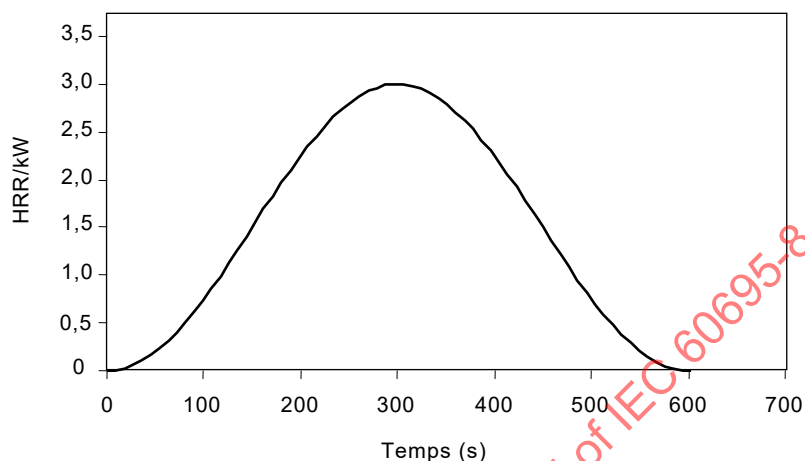


Figure 1 – Courbe du débit calorifique (HRR)

5.3 Dégagement de chaleur (HR – heat release)

Le dégagement de chaleur (voir 3.15) est défini comme l'énergie thermique produite dans un feu ou un essai au feu. Il s'agit d'un paramètre particulièrement utile car il peut être utilisé pour quantifier la taille d'un feu. Le dégagement de chaleur est habituellement calculé par intégration, par rapport au temps, des données du débit calorifique. La Figure 2 représente la courbe calculée à partir de la Figure 1. Cependant, habituellement seul le dégagement total de chaleur (voir 5.5) est consigné.

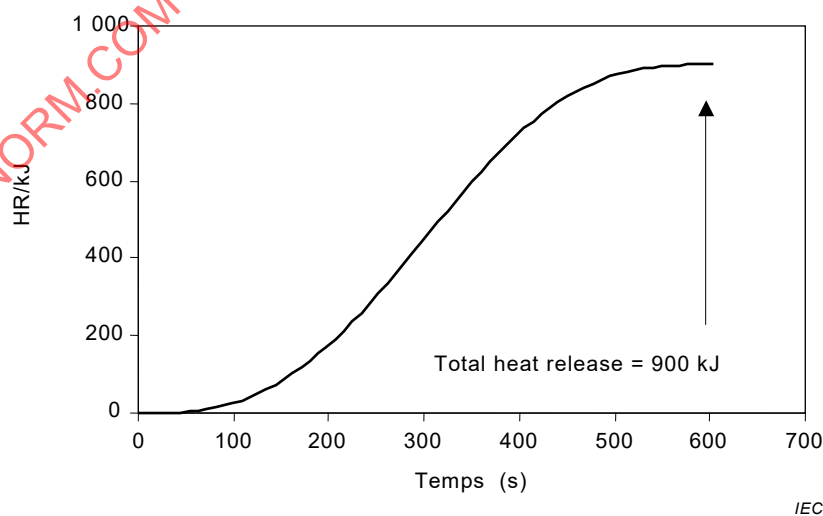


Figure 2 – Courbe de dégagement de chaleur (HR)

5.4 Débit calorifique par unité de surface (HRR*)

Parfois, dans le cas d'éprouvettes plates, le débit calorifique est consigné en termes de débit du dégagement de chaleur par unité de surface de la surface exposée. Les unités typiques sont les $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

NOTE Les données du cône calorimètre [13] sont habituellement indiquées de cette manière [14].

Une courbe du débit calorifique par unité de surface est représentée à la Figure 3. (Elle est basée sur la courbe de la Figure 1 en prenant pour hypothèse une surface exposée de 100 cm^2 .)

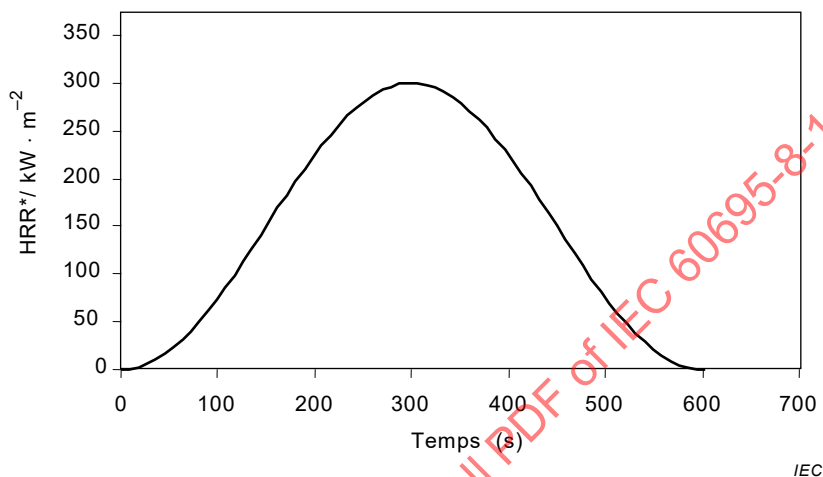


Figure 3 – Courbe du débit calorifique (HRR*) par unité de surface

5.5 Dégagement total de chaleur

Le dégagement total de chaleur est la valeur du dégagement de chaleur à la fin de la période de temps concernée. Il peut être obtenu en intégrant le débit du dégagement de chaleur, habituellement à partir du moment de l'allumage à la fin de l'essai au feu. Il peut être utilisé pour quantifier la taille d'un feu.

Le dégagement total de chaleur de la courbe de la Figure 2 est de 900 kJ.

5.6 Pic de débit calorifique

Le pic de débit calorifique est la valeur maximale du débit calorifique observé au cours d'un essai au feu. Le pic de débit calorifique peut être utilisé pour comparer l'efficacité de certains traitements retardateurs de flamme. Cependant, il convient de le traiter avec précaution dans les cas où il existe de multiples maxima dans la courbe du débit calorifique.

Le pic de débit calorifique de la courbe de la Figure 1 est de 3 kW.

5.7 Temps pour atteindre le pic de débit calorifique

De même que la quantité de chaleur produite, le temps nécessaire pour produire de la chaleur est important.

A cet égard, le temps pour atteindre le pic de débit calorifique constitue un guide simple. Cependant, il convient de le traiter avec précaution dans les cas où il existe de multiples maxima dans la courbe du débit calorifique.

Le temps pour atteindre le pic de débit calorifique de la courbe de la Figure 1 est de 300 s.