

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation

Méthode de vérification par calcul des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 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.

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation

Méthode de vérification par calcul des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 29.130.20

ISBN 978-2-8322-1566-1

**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 Conditions for application	7
5 Calculation	8
5.1 Necessary information	8
5.2 Calculation procedure	8
5.2.1 General	8
5.2.2 Determination of the effective cooling surface A_e of the enclosure	8
5.2.3 Determination of the internal temperature rise $\Delta t_{0,5}$ of the air at mid-height of the enclosure	8
5.2.4 Determination of the internal temperature rise $\Delta t_{1,0}$ of air at the top of the enclosure	9
5.2.5 Characteristic curve for temperature rise of air inside enclosure	9
6 Evaluation of the design	11
Annex A (informative) Examples for the calculation of the temperature-rise of air inside the enclosures.....	20
A.1 Example 1.....	20
A.2 Example 2.....	23
Annex B (informative) Operating current and power losses of conductors	27
Bibliography.....	32
Figure 1 – Temperature-rise characteristic curve for enclosures with A_e exceeding $1,25 \text{ m}^2$	10
Figure 2 – Temperature-rise characteristic curve for enclosures with A_e not exceeding $1,25 \text{ m}^2$	10
Figure 3 – Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings, with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	13
Figure 4 – Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	14
Figure 5 – Enclosure constant k for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	15
Figure 6 – Temperature distribution factor c for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	16
Figure 7 – Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$	17
Figure 8 – Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$	18
Figure 9 – Calculation of temperature rise of air inside enclosures.....	19
Figure A.1 – Example 1, calculation for an enclosure with exposed side faces without ventilation openings and without internal horizontal partitions	20
Figure A.2 – Example 1, calculation for a single enclosure.....	22
Figure A.3 – Example 2, calculation for an enclosure for wall-mounting with ventilation openings.....	23

Figure A.4 – Example 2, calculation for one enclosure half	24
Figure A.5 – Example 2, calculation for an enclosure for wall-mounting with ventilation openings.....	26
Table 1 – Method of calculation, application, formulae and characteristics	11
Table 2 – Symbols, units and designations	12
Table 3 – Surface factor b according to the type of installation.....	12
Table 4 – Factor d for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	12
Table 5 – Factor d for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	12
Table B.1 – Operating current and power loss of single-core copper cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (ambient temperature inside the enclosure: 55 °C).....	28
Table B.2 – Reduction factor k_1 for cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (extract from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52-14)	29
Table B.3 – Operating current and power loss of bare copper bars with rectangular cross-section, run horizontally and arranged with their largest face vertical (ambient temperature inside the enclosure: 55 °C, temperature of the conductor 70 °C).....	30
Table B.4 – Factor k_4 for different temperatures of the air inside the enclosure and/or for the conductors.....	31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

A METHOD OF TEMPERATURE-RISE VERIFICATION OF LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR ASSEMBLIES BY CALCULATION

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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC/TR 60890, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 17D: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1987 and its Amendment 1:1995. It constitutes a technical revision.

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

- alignment with IEC 61439-1:2011;
- revision of Annex B;
- general editorial review.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
17D/490/DTR	17D/499/RVC

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

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

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

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

INTRODUCTION

In IEC 61439-1, in the series of design verifications, a temperature-rise verification of low-voltage power switchgear and controlgear assemblies (hereafter called ASSEMBLIES) is specified. This may be by test, however, alternatives are acceptable in defined circumstances. Selection of the method used for temperature rise verification is the responsibility of the original manufacturer. Where applicable this technical report may also be used for temperature rise verification of similar products in accordance with other standards. The factors and coefficients, set out in this report have been derived from measurements on numerous ASSEMBLIES and the method has been verified by comparison with test results.

A METHOD OF TEMPERATURE-RISE VERIFICATION OF LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR ASSEMBLIES BY CALCULATION

1 Scope

This Technical Report specifies a method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear ASSEMBLIES by calculation.

The method is applicable to enclosed ASSEMBLIES or partitioned sections of ASSEMBLIES without forced ventilation. It is not applicable where temperature rise verification to the relevant product standard of the IEC 61439 series has been established

NOTE 1 The influence of the materials and wall thicknesses usually used for enclosures can have some effect on the steady state temperatures. However, the generalised approach used in this technical report ensures it is applicable to enclosures made of sheet steel, sheet aluminium, cast iron, insulating material and the like.

The proposed method is intended to determine the temperature rise of the air inside the enclosure.

NOTE 2 The air temperature within the enclosure is equal to the ambient air temperature outside the enclosure plus the temperature rise of the air inside the enclosure caused by the power losses of the installed equipment.

Unless otherwise specified, the ambient air temperature outside the ASSEMBLY is the air temperature indicated for the installation (average value over 24 h) of 35 °C. If the ambient air temperature outside the ASSEMBLY at the place of use exceeds 35 °C, this higher temperature is deemed to be the ambient air temperature.

2 Normative references

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

IEC 61439-1:2011, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61439-1 apply.

4 Conditions for application

This method of calculation is only applicable if the following conditions are fulfilled:

- the power loss data for all built in components is available;
- there is an approximately even distribution of power losses inside the enclosure;
- the installed equipment is so arranged that air circulation is not significantly impeded;
- the equipment installed is designed for direct current or alternating current up to and including 60 Hz with the total of supply currents not exceeding 3 150 A;
- conductors carrying currents in excess of 200 A, and the adjacent structural parts are so arranged that eddy-current and hysteresis losses are minimised;
- for enclosures with natural ventilation, the cross-section of the air outlet openings is at least 1,1 times the cross-section of the air inlet openings;

- there are no more than three horizontal partitions in the ASSEMBLY or in a section of it;
- where enclosures with external ventilation openings have compartments, the surface of the ventilation openings in each horizontal partition shall be at least 50 % of the horizontal cross-section of the compartment.

5 Calculation

5.1 Necessary information

The following data is needed to calculate the temperature rise of the air inside an enclosure:

- dimensions of the enclosure: height/width/depth;
- the type of installation of the enclosure according to Figure 4;
- design of enclosure, i.e. with or without ventilation openings;
- number of internal horizontal partitions;
- effective power loss of equipment installed in the enclosure;
- effective power losses (P_V) of conductors according to Annex B.

NOTE The effective power losses of the equipment installed in the circuits of the ASSEMBLY used for this calculation are the power losses at the rated currents of the various circuits.

5.2 Calculation procedure

5.2.1 General

For the enclosures specified in columns 4 and 5 of Table 1, the calculation of the temperature rise of the air inside the enclosures is carried out using the formulae laid down in columns 1 to 3 of Table 1.

The pertinent factors and exponents (characteristics) are obtained from columns 6 to 10 of Table 1.

The symbols, units and designations are to be taken from Table 2.

For enclosures having more than one section with vertical partitions the temperature rise of the air inside the enclosure shall be determined separately for each section.

Where enclosures without vertical partitions or individual sections have an effective cooling surface greater than 11,5 m² or a width greater than about 1,5 m, they should be divided for the calculation into fictitious sections, whose dimensions approximate to the foregoing values.

NOTE The form (see Figure 9) can be used as a calculation aid.

5.2.2 Determination of the effective cooling surface A_e of the enclosure

The calculation is carried out according to Formula (1) in column 1 of Table 1.

The effective cooling surface A_e of an enclosure is the sum of the individual surfaces A_0 multiplied by the surface factor b . This factor takes into account the heat dissipation of the individual surfaces according to the type of installation of the enclosure.

5.2.3 Determination of the internal temperature rise $\Delta t_{0,5}$ of the air at mid-height of the enclosure

The calculation is carried out according to Formula (2) in column 2 of Table 1.

In Formula (2) the enclosure constant k allows for the size of the effective cooling surface for enclosures without ventilation openings and, in addition, for the cross-section of the air inlet openings for enclosures with ventilation openings.

The dependence of the temperature rises occurring in the enclosure on the effective power loss P is expressed by the exponent x .

The factor d allows for the dependence of the temperature rise on the number of internal horizontal partitions.

5.2.4 Determination of the internal temperature rise $\Delta t_{1,0}$ of air at the top of the enclosure

The calculation is made according to Formula (3) in column 3 of Table 1.

Factor c allows for the temperature distribution inside an enclosure. Its determination varies with the design and installation of the ASSEMBLY as follows:

- a) For enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface:

$$A_e > 1,25 \text{ m}^2$$

The factor c from Figure 4, depends on the type of installation and the height/base factor f , where:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$$

- b) For enclosures with ventilation openings and with an effective cooling surface:

$$A_e > 1,25 \text{ m}^2$$

The factor c from Figure 6, depends on the cross-section of air inlet openings and the height/base factor f , where:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$$

- c) For enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface:

$$A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$$

The factor c from Figure 8, depends on the height/width factor g , where:

$$g = \frac{h}{w}$$

where

h is the enclosure height, in m;

A_b is the surface area of the enclosure base, in m^2 ;

w is the enclosure width, in m.

5.2.5 Characteristic curve for temperature rise of air inside enclosure

5.2.5.1 General

To evaluate the design according to Clause 6, it is necessary to apply the calculated results of 5.2.3 and 5.2.4 with the proper characteristic curve for temperature rise of air inside the enclosure as a function of the enclosure height. The air temperatures within horizontal levels are practically constant.

5.2.5.2 Temperature-rise characteristic curve for enclosures with an effective cooling surface A_e exceeding $1,25 \text{ m}^2$

As a general rule, the characteristic curve of temperature rise is adequately well defined by a straight line which runs through the points $\Delta t_{1,0}$ and $\Delta t_{0,5}$ (see Figure 1).

The internal air temperature rise at the bottom of the enclosure is close to zero, i.e. the characteristic curve flattens out towards zero. In practice, the dotted part of the characteristic curve is of secondary importance.

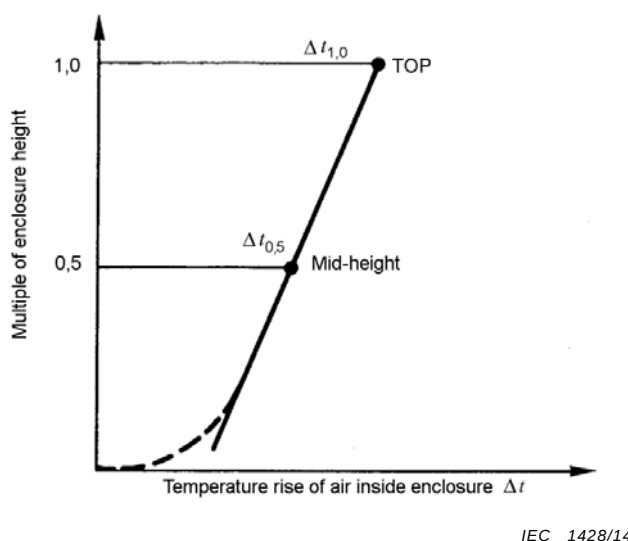


Figure 1 – Temperature-rise characteristic curve for enclosures with A_e exceeding 1,25 m²

5.2.5.3 Temperature rise characteristic curve for enclosures with an effective cooling surface A_e not exceeding 1,25 m²

For this type of enclosure, the maximum temperature rise in the upper quarter is constant and the values for $\Delta t_{1,0}$ and $\Delta t_{0,75}$ are identical (see Figure 2).

The characteristic curve is obtained by connecting the temperature-rise values at an enclosure level of 0,75 and 0,5 (see Figure 2).

The internal air temperature rise at the bottom of the enclosure is close to zero, i.e. the characteristic curve flattens out towards zero. In practice, the dotted part of the characteristic curve is of secondary importance.

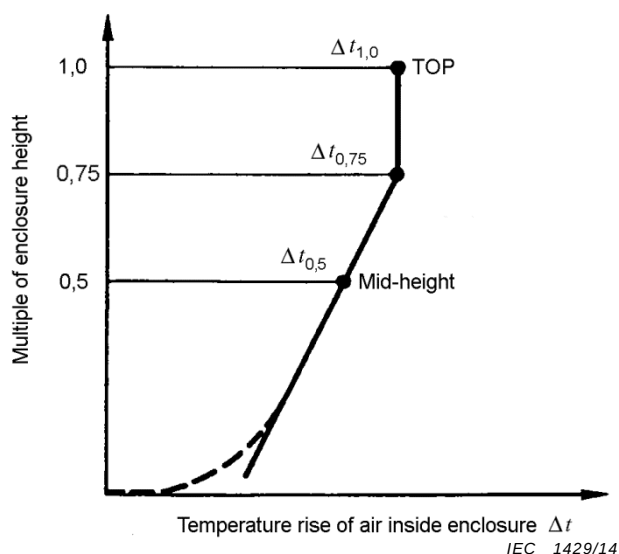


Figure 2 – Temperature-rise characteristic curve for enclosures with A_e not exceeding 1,25 m²

6 Evaluation of the design

It shall be determined whether the equipment within the ASSEMBLY can operate satisfactorily at the relevant calculated temperature rise.
If it is not so, the parameters will have to be changed and the calculation repeated.

Table 1 – Method of calculation, application, formulae and characteristics

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Calculation formulae			Enclosure		Characteristics				Characteristic curve	
Effective cooling surface A_e	Temperature rise of air		Effective cooling surface A_e		Factors				Exponent	Plotting of temperature-rise characteristics
	At mid-height of the enclosure	At (internal) top of enclosure			b see	k see	d see	c see		
$A_e = \Sigma (A_o \times b)$ (1)	$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x$ (2)	$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5}$ (3)	>1,25 m ²	Enclosure without ventilation openings	Table 3	Figure 3	Table 4	Figure 4	0,804	See 5.2.5.2
				Enclosure with ventilation openings		Figure 5	Table 5	Figure 6	0,715	
			<1,25 m ²	Enclosure without ventilation openings		Figure 7	–	Figure 8	0,804	See 5.2.5.3

For symbols, units and designations, see Table 2.

Table 2 – Symbols, units and designations

Symbol	Unit	Designation
A_o	m ²	Surfaces of external sides of enclosure
A_b	m ²	Enclosure base surface
A_e	m ²	Effective cooling surface of enclosure
b	–	Surface factor
c	–	Temperature distribution factor
d	–	Temperature-rise factor for internal horizontal partitions inside enclosure
f	–	Height/base factor
g	–	Height/width factor
h	m	Enclosure height
k	–	Enclosure constant
n	–	Number of internal horizontal partitions (up to three partitions)
P	W	Effective power loss of equipment installed inside enclosure
P_v	W	Effective power losses of conductors
w	m	Enclosure width
x	–	Exponent
A_t	K	Temperature rise of air inside enclosure in general
$\Delta t_{0,5}$	K	Temperature rise of air at (internal) mid-height of enclosure
$\Delta t_{0,75}$	K	Temperature rise of air at (internal) 3/4 height of enclosure
$\Delta t_{1,0}$	K	Temperature rise of air at (internal) top of enclosure

Table 3 – Surface factor b according to the type of installation

Type of installation	Surface factor b
Exposed top surface	1,4
Covered top surface, e.g. of built-in enclosures	0,7
Exposed side faces, e.g. front, rear and side walls	0,9
Covered side faces, e.g. rear side of wall-mounted enclosures	0,5
Side faces of central enclosures	0,5
Floor surface	not taken into account
Fictitious side faces of sections (see 5.2) which have been introduced only for calculation purposes are not taken into account	

Table 4 – Factor d for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

Number of horizontal partitions n	0	1	2	3
Factor d	1,00	1,05	1,15	1,30

Table 5 – Factor d for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

Number of horizontal partitions n	0	1	2	3
Factor d	1,00	1,05	1,10	1,15

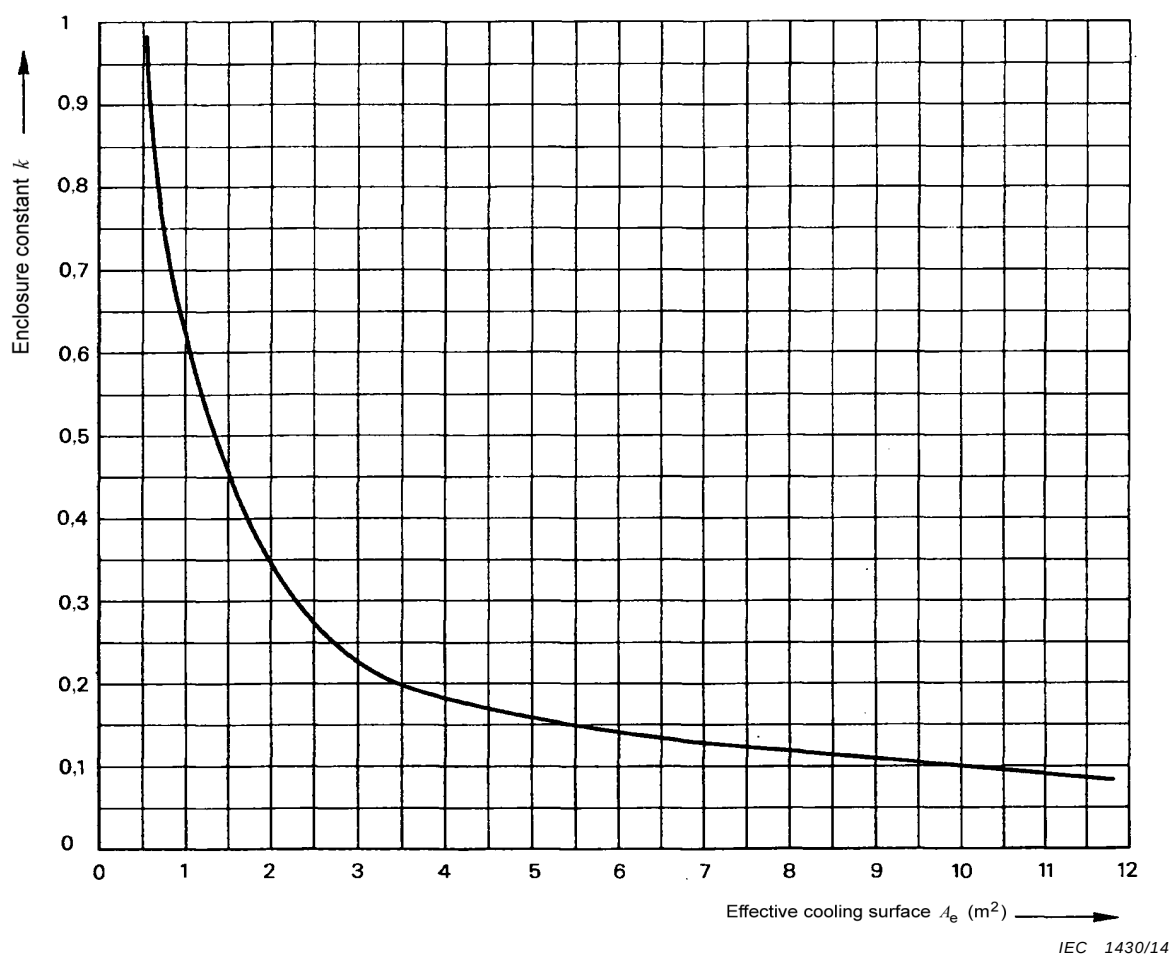
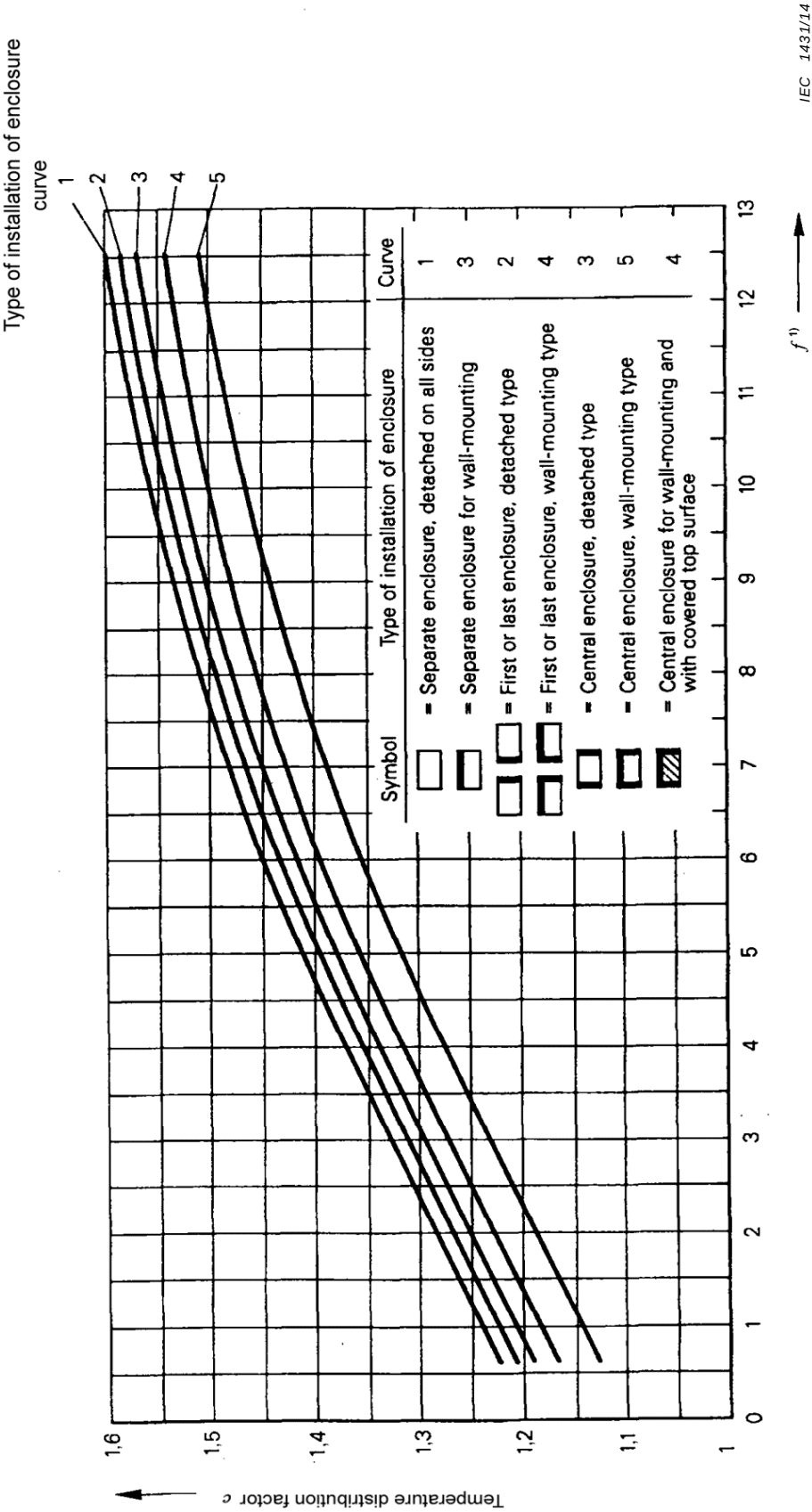


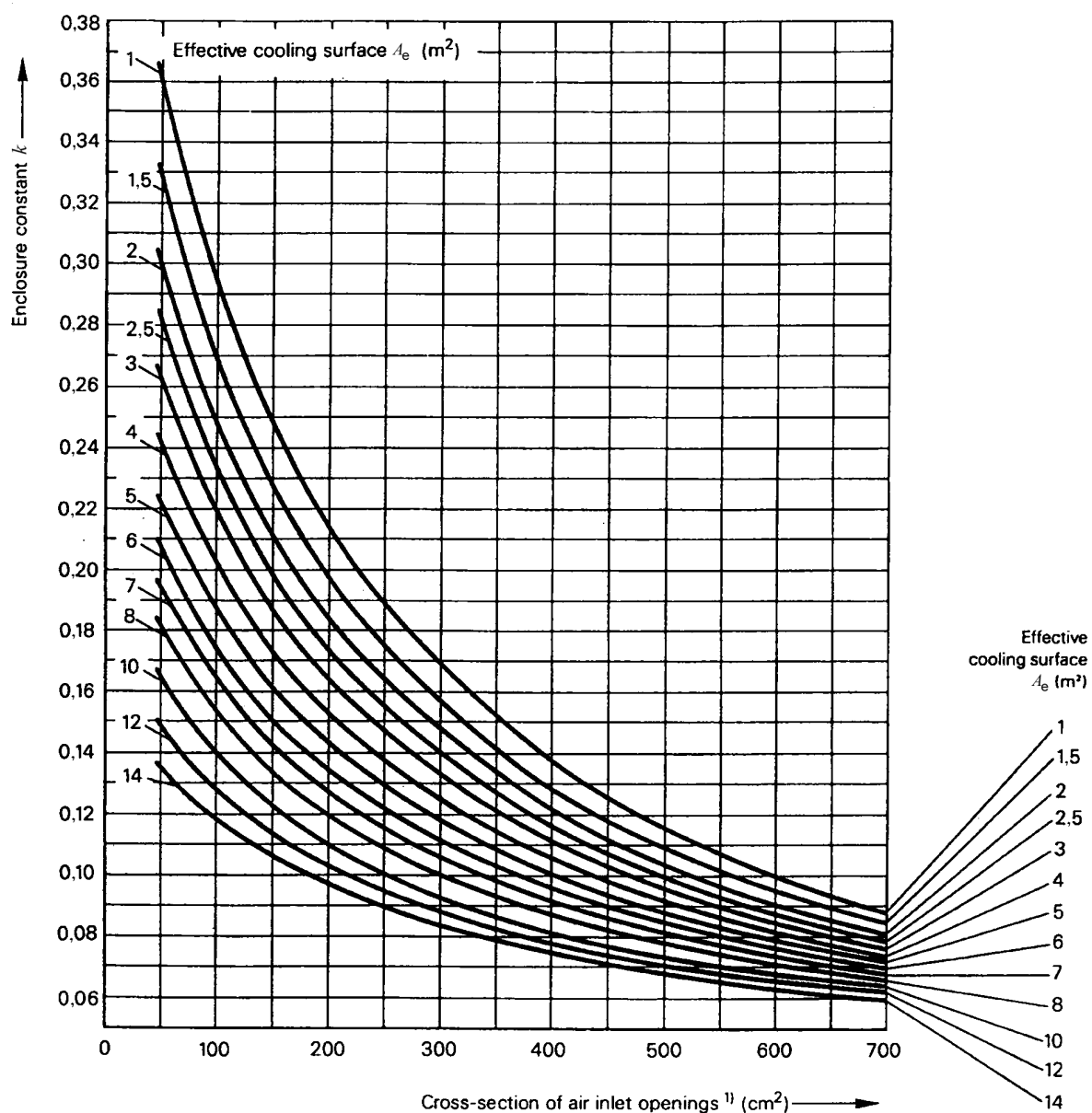
Figure 3 – Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings, with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$



Key

1) Height/base factor, see 5.2.4.

Figure 4 – Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

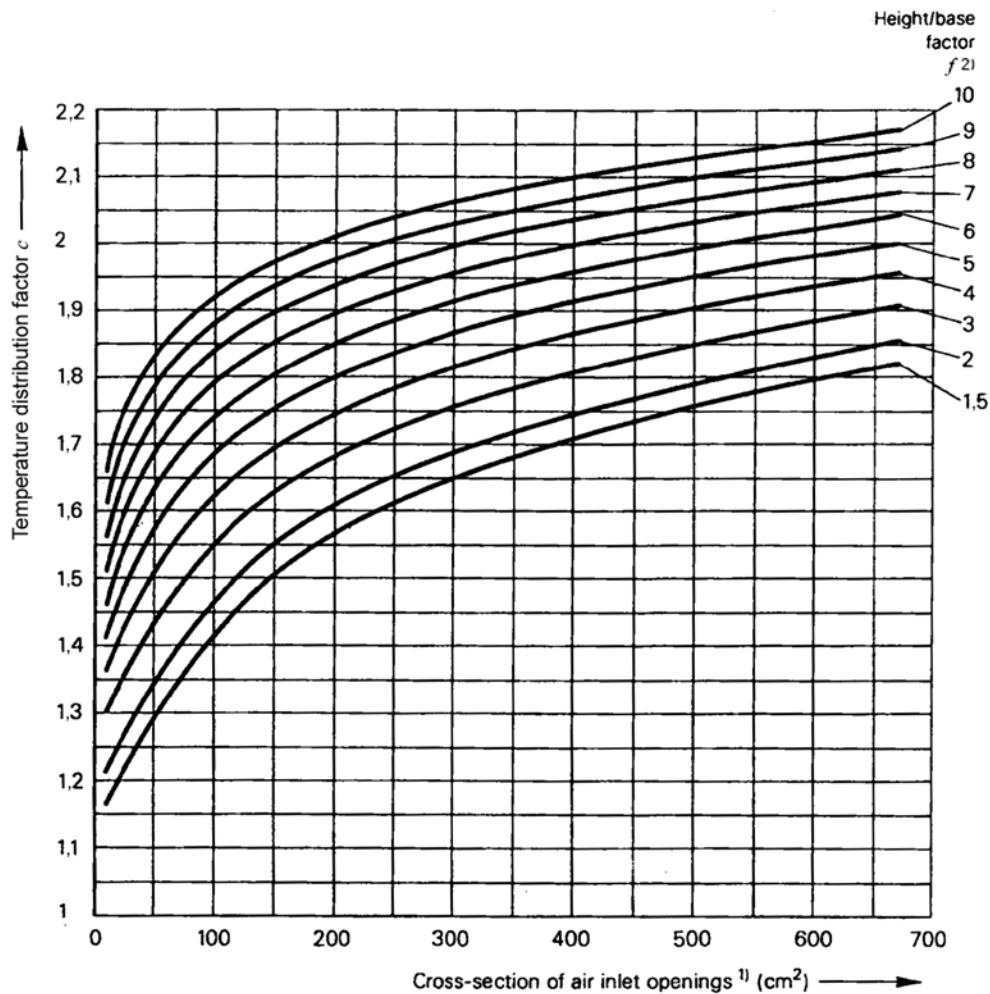


IEC 1432/14

Key

- 1) The cross-section of the corresponding air outlet openings should be at least 1,1 times that of the air inlet openings.

Figure 5 – Enclosure constant k for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25$ m²



IEC 1433/14

Key

- 1) The cross-section of the corresponding air outlet openings should be at least 1,1 times that of the air inlet openings.
- 2) Height/base factor, see 5.2.4.

Figure 6 – Temperature distribution factor c for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

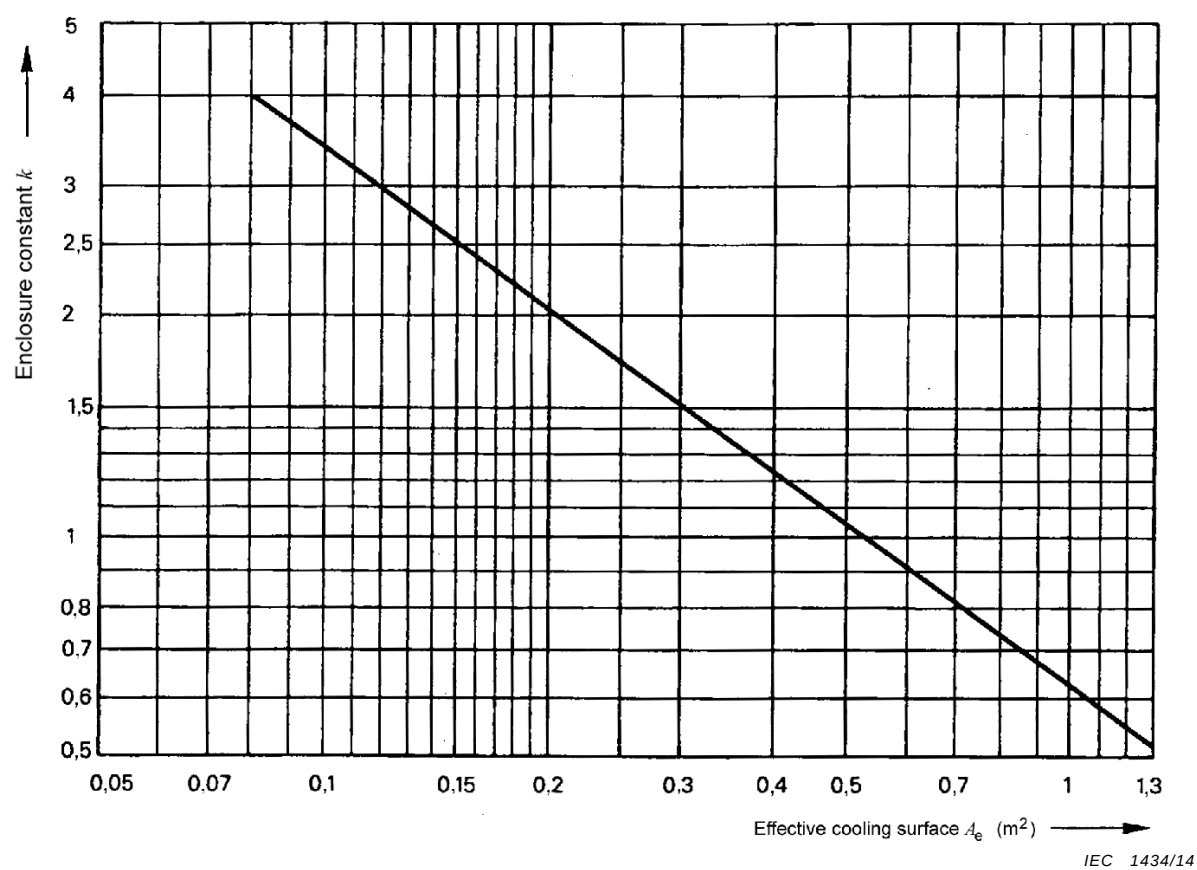
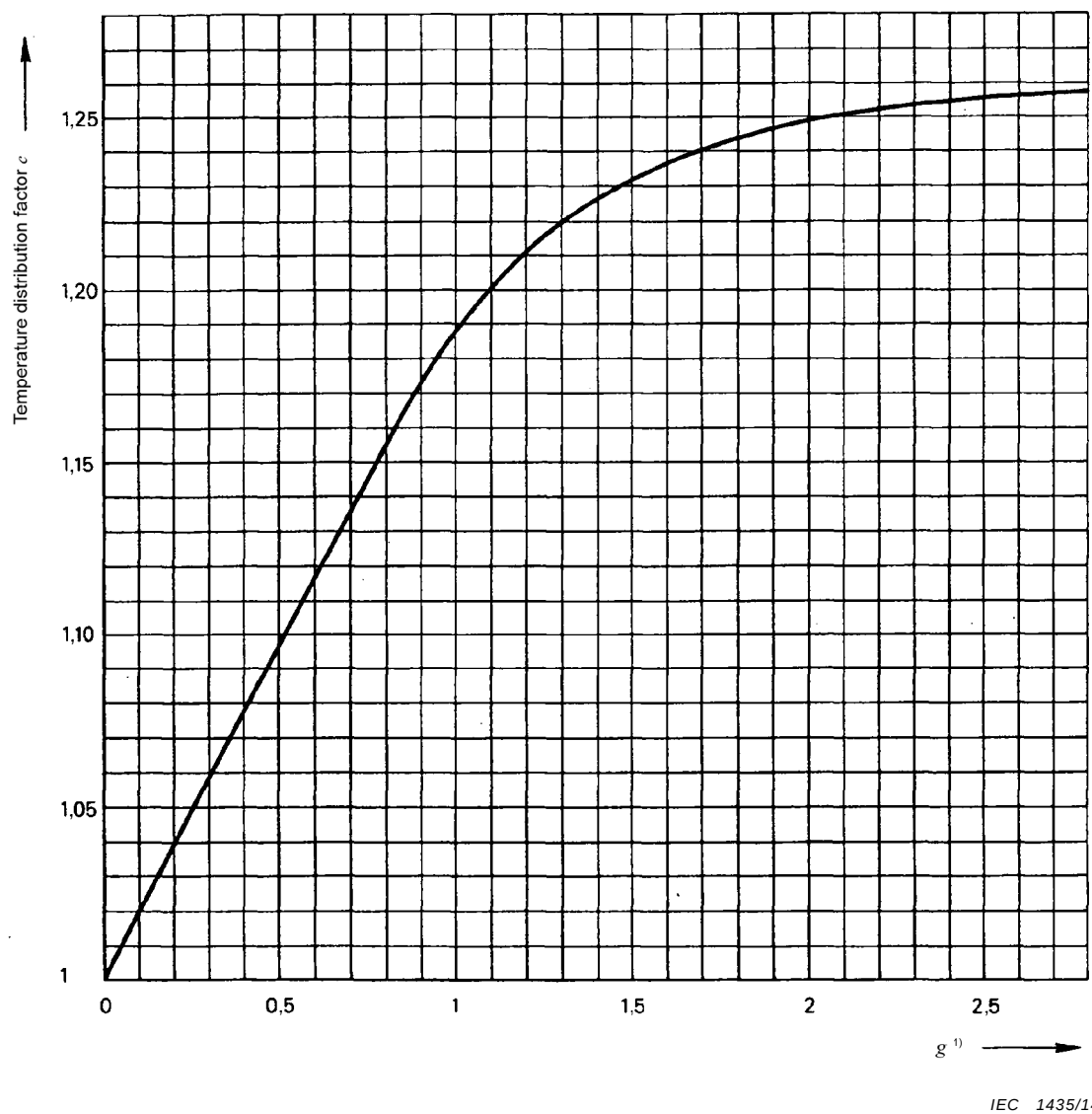


Figure 7 – Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$

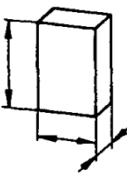


Key

1) Height/width factor, see 5.2.4.

Figure 8 – Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$

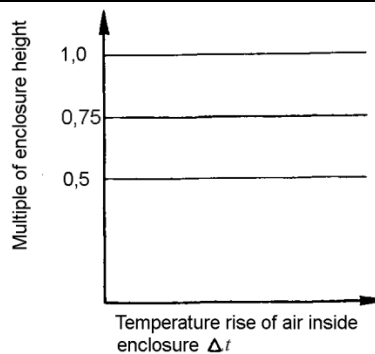
Calculation of temperature rise of air inside enclosures					
Customer/plant					
Type of enclosure					
Relevant dimensions for temperature rise	height	mm	Type of installation:		
	width	mm	Ventilation openings: yes/no		
	depth	mm	Number of horizontal partitions:		

Effective cooling surface		Dimensions	A ₀	Surface factor <i>b</i> according to Table 3	A ₀ × <i>b</i> (column 3) × (column 4)
		m × m	m ²		m ²
				2	3
	Top				
	Front				
	Rear				
	Left-hand side				
	Right-hand side				
A_e = Σ(A₀ × <i>b</i>) = Total					

With an effective cooling surface A _e	
Exceeding 1,25 m ²	Not exceeding 1,25 m ²
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} \text{ (see 5.2.4)}$ = _____ =	$g = \frac{h}{w} \text{ (see 5.2.4)}$ = _____ =

Air inlet openings	cm ²
Enclosure constant <i>k</i>	
Factor for horizontal partitions <i>d</i>	
effective power loss <i>P</i>	W
<i>P</i> ^{<i>x</i>} = <i>P</i> ...	
Δ <i>t</i> _{0,5} = <i>k</i> × <i>d</i> × <i>P</i> ^{<i>x</i>}	K
Temperature distribution factor <i>c</i>	
Δ <i>t</i> _{1,0} = <i>c</i> × Δ <i>t</i> _{0,5}	K

Characteristic curve:



IEC 1436/14

Figure 9 – Calculation of temperature rise of air inside enclosures

Annex A (informative)

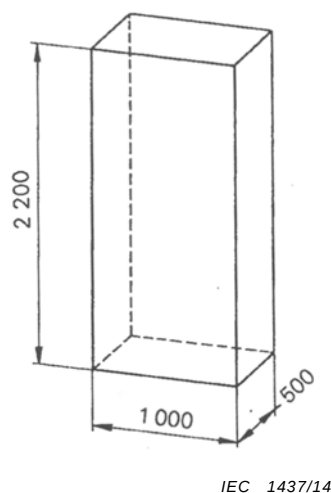
Examples for the calculation of the temperature-rise of air inside the enclosures

A.1 Example 1

Single enclosure with exposed side faces without ventilation openings and without internal horizontal partitions (see Figure A.1).

Effective power loss of equipment installed in the enclosure: $P = 300 \text{ W}$

Dimensions in mm



IEC 1437/14

**Figure A.1 – Example 1, calculation for an enclosure with exposed side faces
without ventilation openings and without internal horizontal partitions**

Calculation

(For entries see form, Figure A.2 on example 1.)

- The effective cooling surface A_e is determined according to 5.2.2.
The individual surfaces are calculated from the enclosure dimensions, and the surface factor b is taken from Table 3.
- The temperature rise of air $\Delta t_{0,5}$ is determined according to 5.2.3.
Formula (2) from column 2 of Table 1:

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x \quad (\text{A.1})$$

Factor k according to column 7 of Table 1 with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, as shown in Figure 3:

$$\text{for } A_e = 6,64 \text{ m}^2: k = 0,135$$

Factor d according to column 8 of Table 1 with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, as specified in Table 4:

with number of horizontal partitions = 0: $d = 1,0$

Effective power loss (as specified) $P = 300 \text{ W}$.

Exponent x from column 10 of Table 1 with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$: $x = 0,804$

With these values entered into the Formula (A.1), the following result is obtained:

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x = 0,135 \times 1,0 \times 300^{0,804}$$

$$\Delta t_{0,5} = 13,24 \text{ K} \approx 13,2 \text{ K}$$

- The temperature rise of air $\Delta t_{1,0}$ is determined according to 5.2.4.
Formula (3) from column 3 of Table 1:

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} \quad (\text{A.2})$$

Factor c according to column 9 of Table 1 with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, as shown in Figure 4:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2,2^{1,35}}{1,0 \times 0,5} = 5,80$$

Curve 1 of Figure 4 follows:

$$c = 1,44$$

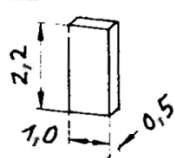
With this value entered into Formula (A.2), the following result is obtained:

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} = 1,44 \times 13,24 = 19,07 \text{ K} \approx 19,1 \text{ K}$$

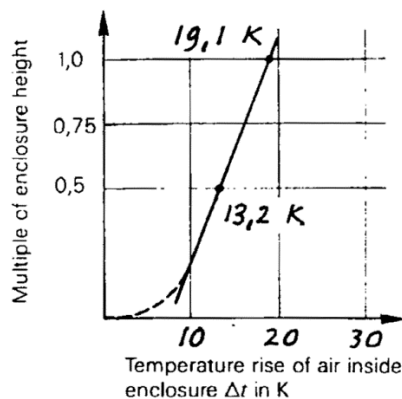
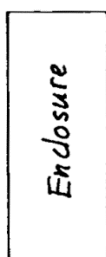
- The temperature-rise characteristic curve is determined for enclosures with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, in accordance with 5.2.5.2 (see Figure A.2 in the form on example 1).
- The evaluation of the design is made in accordance with Clause 6.

It is to be verified whether the equipment installed in the enclosure is capable of functioning satisfactorily at the specified currents and calculated temperature rises, considering the ambient air temperature (see Clause 1, Note 2).

If this is not so, the parameters will have to be changed and the calculation repeated.

Calculation of the temperature rise of air inside enclosures					
Customer/plant <i>Example 1</i>					
Type of enclosure <i>Single enclosure</i>					
Relevant dimensions for temperature-rise	height	2200 mm	Type of installation: <i>Detached on all sides</i>		
	width	1000 mm	Ventilation openings: <i>yes/no</i>		
	depth	500 mm	Number of horizontal partitions: <i>0</i>		
Effective cooling surface		Dimensions	A_o	Surface factor b according to Table 3	$A_o \times b$ (Column 3) $\times$ (Column 4)
		m $\times$ m	m ²		m ²
		2	3	4	5
	Top	<i>1,0 $\times$ 0,5</i>	<i>0,500</i>	<i>1,4</i>	<i>0,700</i>
	Front	<i>1,0 $\times$ 2,2</i>	<i>2,200</i>	<i>0,9</i>	<i>1,980</i>
	Rear	<i>1,0 $\times$ 2,2</i>	<i>2,200</i>	<i>0,9</i>	<i>1,980</i>
	Left-hand side	<i>0,5 $\times$ 2,2</i>	<i>1,100</i>	<i>0,9</i>	<i>0,990</i>
	Right-hand side	<i>0,5 $\times$ 2,2</i>	<i>1,100</i>	<i>0,9</i>	<i>0,990</i>
$A_e = \Sigma (A_o \times b) = \text{Total}$					<i>6,640</i>
With an effective cooling surface A_e					
Exceeding 1,25 m ²			Not exceeding 1,25 m ²		
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$ (see 5.2.4) $= \frac{2,2^{1,35}}{1,0 \times 0,5} = 5,80$			$g = \frac{h}{w}$ (see 5.2.4) $= \text{---} = \text{---}$		
Air inlet openings		cm ²	<i>0</i>		
Enclosure constant k			<i>0,135</i>		
Factor for horizontal partitions d			<i>1,0</i>		
Effective power loss P		W	<i>300</i>		
$P^x = P \times 0,804$			<i>98,09</i>		
$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x$		K	<i>13,24 \approx 13,2 K</i>		
Temperature distribution factor c			<i>1,44</i>		
$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5}$		K	<i>19,07 \approx 19,1 K</i>		

Characteristic curve:



IEC 1438/14

Figure A.2 – Example 1, calculation for a single enclosure

A.2 Example 2

Enclosure for wall-mounting with ventilation openings

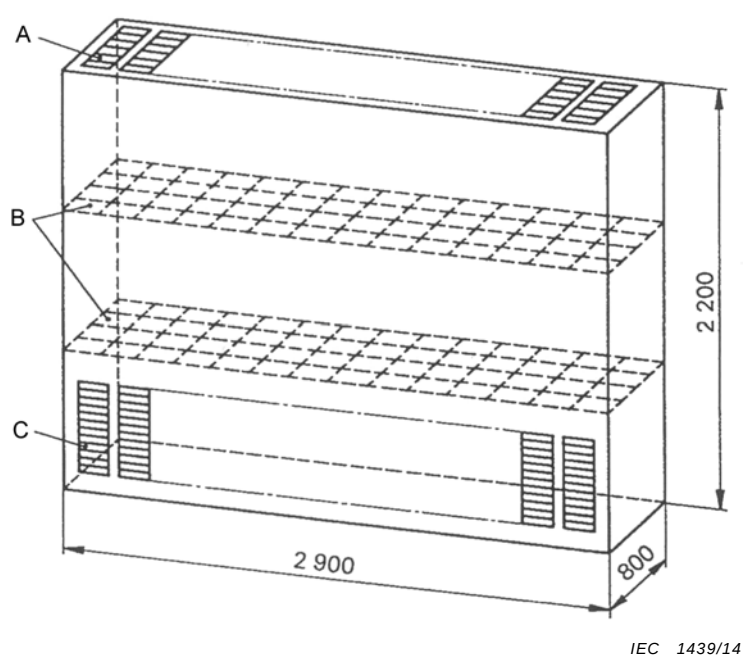
cross-section of air inlet openings = 1 220 cm²

cross-section of air outlet openings = 1 800 cm²

with two horizontal partitions inside the enclosure. Each horizontal partition, for example perforated plate, has ventilation openings, the cross-sectional areas of which exceed 50 % of the enclosure cross-section (see Figure A.3 and Figure A.4).

Effective power loss of equipment installed in the enclosure $P = 2\,200\text{ W}$.

Dimensions in mm



Key

- A Air outlet openings
- B Horizontal partitions with ventilation openings, for example perforated plate
- C Air inlet openings

Figure A.3 – Example 2, calculation for an enclosure for wall-mounting with ventilation openings

Calculation

(For entries see form Figure A.5 on example 2)

Given an expected cooling surface of the enclosure of more than 11,5 m² and an enclosure width exceeding 1,5 m, the entire enclosure is to be divided, for calculation purposes, into sections (partial enclosures) as indicated in 5.2. To simplify the procedure, as no structural divisions are available, the entire enclosure is, in this example, divided into two equal sections (enclosure halves). The power losses and ventilation openings are supposed to be evenly distributed in both parts (enclosure halves) so that for the calculation they are divided by two.

The calculation is carried out for only one enclosure half, the result being applicable to the other half.

- Necessary information according to 5.1 for one half of the enclosure

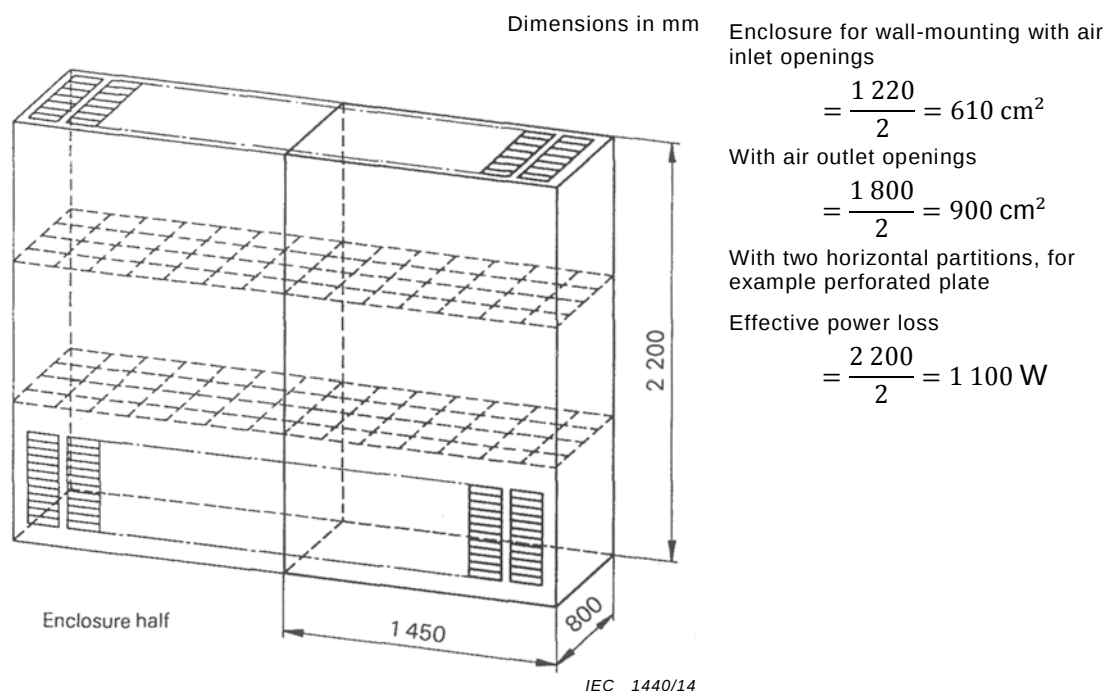


Figure A.4 – Example 2, calculation for one enclosure half

- The effective cooling surface of each enclosure half is determined according to 5.2.2. The individual surfaces are calculated from the enclosure dimensions, and the surface factor b is taken from Table 3. The dividing surface between the two enclosure halves which has been obtained as a result of the fictitious division, is not taken into account in accordance with Table 3.
- The temperature rise of air $\Delta t_{0,5}$ is determined according to 5.2.3. Formula (2) from column 2 of Table 1

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x \quad (\text{A.3})$$

Factor k according to column 7 of Table 1 and $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, as shown in Figure 5.

For 610 cm^2 air inlet openings and $A_e = 7,674 \text{ m}^2$: $k = 0,071$

Factor d according to column 8 of Table 1 and $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ as specified in Table 5 with two horizontal partitions: $d = 1,10$

Effective power loss (as specified) $P = 1\,100 \text{ W}$

Exponent x from column 10 of Table 1 with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$: $x = 0,715$

With these values entered into the above Formula (A.3), the following result is obtained:

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x = 0,071 \times 1,10 \times 1\,100^{0,715}$$

$$\Delta t_{0,5} = 11,67 \text{ K} \approx 11,7 \text{ K}$$

- The temperature rise of air $\Delta t_{1,0}$ is determined according to 5.2.4. Formula (3) from column 3 of Table 1

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} \quad (\text{A.4})$$

Factor c according to column 9 of Table 1 and $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, as shown in Figure 6.

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2,2^{1,35}}{1,45 \times 0,8} = 2,50$$

Figure 6 shows that, for 610 cm² air inlet openings:

$$c = 1,87$$

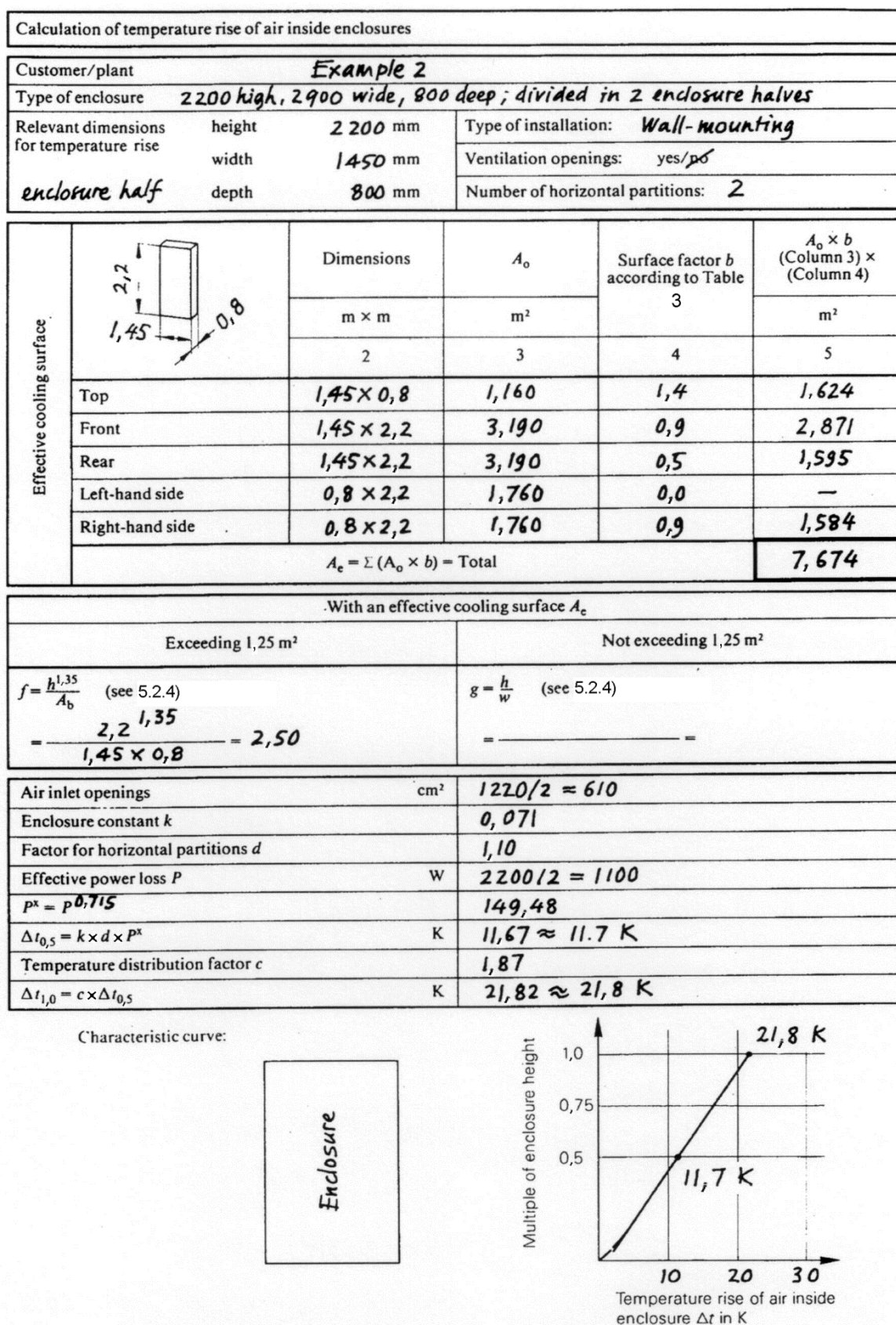
With these values entered into Formula (A.4), the following result is obtained:

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} = 1,87 \times 11,67 = 21,82 \text{ K} \approx 21,8 \text{ K}$$

- The temperature-rise characteristic curve is determined for enclosures with $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, in accordance with 5.2.5.2 (see Figure A.5 in the form on example 2).
- The evaluation of the design is made in accordance with Clause 6.

It is to be verified whether the equipment installed in the enclosure is capable of functioning satisfactorily at the specified currents and calculated temperature rises, considering the ambient air temperature (see Clause 1, Note 2).

If this is not so, the parameters will have to be changed and the calculation repeated.



IEC 1441/14

Figure A.5 – Example 2, calculation for an enclosure for wall-mounting with ventilation openings

Annex B (informative)

Operating current and power losses of conductors

The maximum permissible operating current of a conductor is influenced by many factors:

- material, type of insulation and arrangement of the conductors belonging to the same circuit;
- mutual influence of components connected to the conductor;
- mutual influence of neighbouring components and conductors belonging to other circuits;
- air temperature inside the enclosure around the conductor;
- temperature and thermal conductivity of constructional parts touching or in close vicinity of the conductor.

The power loss of conductors depend on

- the operating current and its frequency;
- the material and the temperature of the conductor;
- the shape of the conductor (skin effect);
- the magnetic influence of neighbouring conductors and magnetic constructional parts (proximity effect).

The following tables provide guidance values for operating currents and power losses of single-core copper cables and bare copper bars under idealized conditions within an enclosure. The calculation methods used to establish these values are given to enable values to be calculated for other conditions.

The maximum operating currents given in the tables do not apply to conductors used for ASSEMBLIES verified by test according to IEC 61439-1.

The power losses are valid for the corresponding operational current given in the tables. For a different loading the power losses can be calculated using the following equation:

$$P = P_v \left(\frac{I}{I_{\max}} \right)^2$$

where

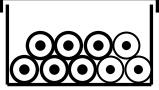
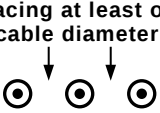
P is the power loss in watts per metre (W/m);

I is the conductor current (loading);

$I_{\max}$ is the maximum operating current;

P_v is the power loss at $I_{\max}$.

Table B.1 – Operating current and power loss of single-core copper cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (ambient temperature inside the enclosure: 55 °C)

Conductor arrangement							
		Single-core cables in a cable trunking on a wall, run horizontally or vertically. 6 of the cables (2 three-phase circuits) continuously loaded		Single-core cables, touching free in air or on a perforated tray. 6 cables (2 three-phase circuits) continuously loaded		Single-core cables, spaced horizontally in free air	
Cross-sectional area of conductor	Resistance of conductor at 20 °C, R_{20}^a	Max. operating current I_{max}^b	Power losses per conductor P_v	Max. operating current I_{max}^c	Power losses per conductor P_v	Max. operating current I_{max}^d	Power losses per conductor P_v
mm ²	mΩ/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
0,50	36,0	3,7	0,6	-	-	-	-
0,75	24,5	4,8	0,7	-	-	-	-
1	18,1	5,8	0,7	-	-	-	-
1,5	12,1	7,6	0,8	9,6	1,3	15	3,2
2,5	7,41	10	0,9	13	1,6	21	3,7
4	4,61	14	1,0	18	1,9	28	4,2
6	3,08	18	1,1	24	2,1	36	4,7
10	1,83	24	1,3	33	2,5	50	5,4
16	1,15	33	1,5	45	2,9	67	6,2
25	0,727	43	1,6	61	3,3	89	6,9
35	0,524	54	1,8	76	3,6	110	7,7
50	0,387	65	2,0	93	4,0	134	8,3
70	0,268	83	2,2	120	4,6	171	9,4
95	0,193	101	2,4	147	5,0	208	10,0
120	0,153	117	2,5	171	5,4	242	10,7
150	0,124	-	-	198	5,8	278	11,5
185	0,099 1	-	-	227	6,1	318	12,0
240	0,075 4	-	-	269	6,6	375	12,7
300	0,060 1	-	-	311	7,0	432	13,5

^a Values from IEC 60228:2004, Table 2 (stranded, plain copper conductors).

^b Current carrying capacity I_{30} for one three-phase circuit from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.4, col. 4 (Reference method of installation: item B1 in Table B.52.1). Values for cross-sections less than 1,5 mm² calculated following Annex D of IEC 60364-5-52:2009.

$k_2 = 0,8$ (item 1 in Table B.52.17 of IEC 60364-5-52:2009, two circuits).

^c Current carrying capacity I_{30} for one three-phase circuit from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.10, col. 5 (Reference method of installation: Item F in Table B.52.1). Values for cross-sections less than 25 mm² calculated following Annex D of IEC 60364-5-52:2009, $k_2 = 0,91$ (Table B.52.21 of IEC 60364-5-52:2009, vertical perforated cable tray systems; Method of installation: 31; number of trays or ladders: 1; number of three-phase circuits per tray or ladder: two circuits).

^d Current carrying capacity I_{30} for one three-phase circuit from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.10, col. 7 (Reference method of installation: item G in Table B.52.1 of IEC 60364-5-52:2009). Values for cross-sections less than 25 mm² calculated following Annex D of IEC 60364-5-52:2009.

$k_2=1$

$$I_{\max} = I_{30} \times k_1 \times k_2$$

$$P_v = I_{\max}^2 \times R_{20} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20 \text{ °C})]$$

where

- I_{30} is the maximum operating current for air temperature around the conductor of 30 °C;
- k_1 is the reduction factor for air temperature inside the enclosure around the conductors (IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.14)
 $k_1 = 0,61$ for conductor temperature 70 °C, ambient temperature 55 °C
 k_1 for other air temperatures: See Table B.2;
- k_2 is the reduction factor for groups of more than one circuit (IEC 60364-5-52:2009, Table B.52.17);
- α is the temperature coefficient of resistance, $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$;
- T_c is the conductor temperature.

Table B.2 – Reduction factor k_1 for cables with a permissible conductor temperature of 70 °C (extract from IEC 60364-5-52:2009, Table B.52-14)

Air temperature inside the enclosure around the conductors °C	Reduction factor k_1
30	1,00
35	0,94
40	0,87
45	0,79
50	0,71
55	0,61
60	0,50

If the operating current in Table B.1 is converted for other air temperatures using the reduction factor k_1 , then also the corresponding power losses shall be calculated using the formula given above.

Table B.3 – Operating current and power loss of bare copper bars with rectangular cross-section, run horizontally and arranged with their largest face vertical (ambient temperature inside the enclosure: 55 °C, temperature of the conductor 70 °C)

Height x thickness of bars	Cross-sectional area of bar	One bar per phase				Two bars per phase (spacing = thickness of bars)									
															
		50 Hz to 60 Hz AC				DC and AC up to 16 2/3 Hz				50 Hz to 60 Hz AC				DC and AC up to 16 2/3 Hz	
		k_3	Operating current	Power losses per phase conductor P_V	Operating current	Power losses per phase conductor P_V	k_3	Operating current	Power losses per phase conductor P_V	Operating current	Power losses per phase conductor P_V	Operating current	Power losses per phase conductor P_V		
mm × mm	mm ²		A	W/m	A	W/m		A	W/m	A	W/m	A	W/m		
12 × 2	23,5	1,00	70	4,5	70	4,5	1,01	118	6,4	118	6,4	118	6,4	118	6,4
15 × 2	29,5	1,00	83	5,0	83	5,0	1,01	138	7,0	138	7,0	138	7,0	138	6,9
15 × 3	44,5	1,01	105	5,4	105	5,3	1,02	183	8,3	183	8,3	183	8,3	183	8,1
20 × 2	39,5	1,01	105	6,1	105	6,0	1,01	172	8,1	172	8,1	173	8,1	173	8,1
20 × 3	59,5	1,01	133	6,4	133	6,3	1,02	226	9,4	226	9,4	226	9,4	226	9,2
20 × 5	99,1	1,02	178	7,0	178	6,9	1,04	325	11,9	325	11,9	326	11,9	326	11,5
20 × 10	199	1,03	278	8,5	278	8,3	1,07	536	16,6	536	16,6	541	16,6	541	15,7
25 × 5	124	1,02	213	8,0	213	7,8	1,05	381	13,2	381	13,2	384	13,2	384	12,7
30 × 5	149	1,03	246	9,0	247	8,8	1,06	437	14,5	437	14,5	439	14,5	439	13,9
30 × 10	299	1,05	372	10,4	376	10,2	1,11	689	18,9	689	18,9	702	18,9	702	17,7
40 × 5	199	1,03	313	10,9	315	10,7	1,07	543	17,0	543	17,0	551	17,0	551	16,4
40 × 10	399	1,07	465	12,4	473	12,0	1,15	839	21,7	839	21,7	878	21,7	878	20,7
50 × 5	249	1,04	379	12,9	382	12,6	1,09	646	19,6	646	19,6	663	19,6	663	18,9
50 × 10	499	1,08	554	14,2	569	13,9	1,18	982	24,4	982	24,4	1 047	24,4	1 047	23,5
60 × 5	299	1,05	447	15,0	452	14,7	1,10	748	22,0	748	22,0	774	22,0	774	21,4
60 × 10	599	1,10	640	16,1	663	15,7	1,21	1 118	27,1	1 118	27,1	1 216	27,1	1 216	26,4
80 × 5	399	1,07	575	19,0	586	18,5	1,13	943	27,0	943	27,0	995	27,0	995	26,6
80 × 10	799	1,13	806	19,7	852	19,4	1,27	1 372	32,0	1 372	32,0	1 547	32,0	1 547	32,1
100 × 5	499	1,10	702	23,3	722	22,4	1,17	1 125	31,8	1 125	31,8	1 177	31,8	1 177	29,7
100 × 10	999	1,17	969	23,5	1 040	23,2	1,33	1 612	37,1	1 612	37,1	1 879	37,1	1 879	37,8
120 × 10	1 200	1,21	1 131	27,6	1 229	27,0	1,41	1 859	43,5	1 859	43,5	2 204	43,5	2 204	43,4

$$P_V = \frac{I^2 \times k_3}{\kappa \times A} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20 \text{ °C})]$$

where

P_V is the power loss per metre;

I is the operating current;

k_3 is the current displacement factor for 50 Hz/60 Hz ($k_3=1$ for DC and AC 16 2/3 Hz)

κ is the conductivity of copper, $\kappa = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \times \text{mm}^2}$;

A is the cross-sectional area of bar;

α is the temperature coefficient of resistance, $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$;

T_c is the temperature of the conductor.

The operating currents may be converted for other ambient air temperatures inside the enclosure and/or for a conductor temperature of 90 °C by multiplying the values of Table B.3 by the corresponding factor k_4 from Table B.4. Then the power losses shall be calculated using the formula given above accordingly.

Table B.4 – Factor k_4 for different temperatures of the air inside the enclosure and/or for the conductors

Air temperature inside the enclosure around the conductors °C	Factor k_4	
	Conductor temperature of 70 °C	Conductor temperature of 90 °C
30	1,82	2,26
35	1,69	2,14
40	1,54	2,03
45	1,35	1,91
50	1,18	1,77
55	1,00	1,62
60	0,77	1,48

It shall be considered that, dependent upon the design of the enclosure, quite different ambient and conductor temperatures can occur, especially with higher operating currents.

Verification of the actual temperature rise under these conditions shall be determined by test according to IEC 61439-1. The power losses may then be calculated by the same method as used for Table B.3.

NOTE At higher currents additional eddy current losses can be significant which are not included in the values of Table B.3.

Bibliography

IEC 60228:2004, *Conductors of insulated cables*

IEC 60364-5-52:2009, *Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application	39
2 Références normatives	39
3 Termes et définitions	39
4 Conditions d'application.....	39
5 Calcul	40
5.1 Informations nécessaires	40
5.2 Méthode de calcul.....	40
5.2.1 Généralités	40
5.2.2 Détermination de la surface effective de refroidissement A_e de l'enveloppe	40
5.2.3 Détermination de l'échauffement $\Delta t_{0,5}$ de l'air intérieur à mi-hauteur de l'enveloppe	41
5.2.4 Détermination de l'échauffement $\Delta t_{1,0}$ de l'air intérieur au sommet de l'enveloppe	41
5.2.5 Courbe caractéristique pour l'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe	42
6 Vérification de la conception.....	44
Annexe A (informative) Exemples de calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes	53
A.1 Exemple 1.....	53
A.2 Exemple 2.....	56
Annexe B (informative) Courant de fonctionnement et puissances dissipées par les conducteurs.....	60
Bibliographie.....	65
Figure 1 – Courbe caractéristique de l'échauffement pour enveloppes avec A_e supérieur à $1,25 \text{ m}^2$	42
Figure 2 – Courbe caractéristique de l'échauffement pour enveloppes avec A_e inférieur ou égal à $1,25 \text{ m}^2$	43
Figure 3 – Constante d'enveloppe k pour enveloppes sans ouvertures de ventilation, avec une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	46
Figure 4 – Facteur de répartition de température c pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	47
Figure 5 – Constante d'enveloppe k pour enveloppes avec ouvertures de ventilation et une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	48
Figure 6 – Facteur de répartition de température c pour enveloppes avec ouvertures de ventilation et une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	49
Figure 7 – Constante d'enveloppe k pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$	50
Figure 8 – Facteur de répartition de température c pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$	51
Figure 9 – Calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes.....	52
Figure A.1 – Exemple 1, calcul pour une enveloppe séparée détachée sur tous les côtés sans ouvertures de ventilation et sans séparations internes horizontales.....	53

Figure A.2 – Exemple 1, calcul pour une enveloppe séparée	55
Figure A.3 – Exemple 2, calcul pour une enveloppe pour montage mural avec ouvertures de ventilation	56
Figure A.4 – Exemple 2, calcul pour une moitié d'enveloppe	57
Figure A.5 – Exemple 2, calcul pour une enveloppe pour montage mural avec ouvertures de ventilation	59
Tableau 1 – Méthode de calcul, application, formules et caractéristiques	44
Tableau 2 – Symboles, unités et désignations	45
Tableau 3 – Facteur de surface b selon le type d'installation	45
Tableau 4 – Facteur d pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	45
Tableau 5 – Facteur d pour enveloppes avec ouvertures de ventilation et une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	45
Tableau B.1 – Courant de fonctionnement et puissance dissipée des câbles en cuivre unipolaires avec une température admissible du conducteur de 70 °C (température ambiante à l'intérieur de l'enveloppe: 55 °C)	61
Tableau B.2 – Facteur de réduction k_1 pour les câbles avec une température admissible du conducteur de 70 °C (extrait de l'IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.14)	62
Tableau B.3 – Courant de fonctionnement et puissance dissipée des barres en cuivre nu de section rectangulaire, cheminant horizontalement et disposées avec leur côté le plus grand verticalement (température ambiante à l'intérieur de l'enveloppe: 55 °C, température du conducteur: 70 °C)	63
Tableau B.4 – Facteur k_4 pour différentes températures de l'air à l'intérieur de l'enveloppe et/ou pour les conducteurs	64

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE DE VÉRIFICATION PAR CALCUL DES ÉCHAUFFEMENTS
POUR LES ENSEMBLES D'APPAREILLAGE À BASSE TENSION**

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 tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

L'IEC/TR 60890, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 17D: Ensembles d'appareillages à basse tension, du comité d'études 17 de l'IEC: Appareillage.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1987 et son Amendement 1:1995. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à la dernière édition:

- harmonisation avec l'IEC 61439-1:2011;

- révision de l'Annexe B;
- revue éditoriale générale.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
17D/490/DTR	17D/499/RVC

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

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

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

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

INTRODUCTION

L'IEC 61439-1 spécifie, parmi les vérifications de la conception, une vérification des échauffements des ensembles d'appareillages à basse tension (dénommés ENSEMBLES ci-après). Cela peut être réalisé par essai; cependant, d'autres méthodes sont admises dans des circonstances bien définies. Le choix de la méthode utilisée pour la vérification des échauffements relève de la responsabilité du constructeur d'origine. Le présent rapport technique peut le cas échéant être également utilisé pour la vérification des échauffements de produits similaires conformes à d'autres normes. Les facteurs et coefficients définis dans le présent rapport ont été déduits de mesures effectuées sur de nombreux ENSEMBLES et la méthode a été vérifiée par comparaison avec les résultats d'essai.

MÉTHODE DE VÉRIFICATION PAR CALCUL DES ÉCHAUFFEMENTS POUR LES ENSEMBLES D'APPAREILLAGE À BASSE TENSION

1 Domaine d'application

Ce rapport technique décrit une méthode de vérification par calcul des échauffements pour les ENSEMBLES d'appareillage à basse tension.

La méthode est applicable aux ENSEMBLES sous enveloppe ou aux sections compartimentées des ENSEMBLES sans ventilation forcée. Elle n'est pas applicable lorsque la vérification de l'échauffement a été réalisée conformément à la norme produit de la série IEC 61439.

NOTE 1 Les matériaux et l'épaisseur des parois habituellement utilisés pour les enveloppes peuvent avoir une certaine influence sur les températures en régime établi. Cependant, l'approche généralisée utilisée dans le présent rapport technique garantit l'application de la méthode aux enveloppes en tôle d'acier, tôle d'aluminium, fonte, matériaux isolants et similaires.

La méthode proposée permet de déterminer l'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe.

NOTE 2 La température de l'air à l'intérieur de l'enveloppe est égale à la température de l'air ambiant à l'extérieur de l'enveloppe, augmentée de l'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe provenant des puissances dissipées par l'appareillage installé.

Sauf spécification contraire, la température de l'air ambiant à l'extérieur de l'ENSEMBLE est la température de l'air indiquée pour l'installation (valeur moyenne sur 24 h) de 35 °C. Si la température de l'air ambiant à l'extérieur de l'ENSEMBLE à l'emplacement d'utilisation excède 35 °C, cette température plus élevée est censée être la température de l'air ambiant.

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 61439-1:2011, *Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 61439-1 s'appliquent.

4 Conditions d'application

Cette méthode de calcul n'est applicable que si les conditions suivantes sont remplies:

- les données sur les puissances dissipées de tous les composants incorporés sont disponibles;
- la répartition des puissances dissipées est approximativement uniforme à l'intérieur de l'enveloppe;
- l'appareillage installé est disposé de telle manière que la circulation de l'air n'est pas gênée de manière significative;

- l'appareillage installé est conçu pour le courant continu ou pour le courant alternatif jusqu'à et y compris 60 Hz, la somme des courants des circuits d'alimentation n'excédant pas 3 150 A;
- les conducteurs transportant des courants supérieurs à 200 A et les éléments de structure adjacents sont disposés de telle manière que les pertes par courant de Foucault et d'hystérésis sont réduites au minimum;
- pour les enveloppes ayant une ventilation naturelle, la section des ouvertures de sortie d'air correspond à au moins 1,1 fois la section des ouvertures d'entrée d'air;
- il n'existe pas plus de trois séparations horizontales dans l'ENSEMBLE ou dans une colonne de celui-ci;
- lorsque des enveloppes avec des ouvertures extérieures de ventilation ont des compartiments, la surface des ouvertures de ventilation dans chaque séparation horizontale doit être au moins égale à 50 % de la section horizontale du compartiment.

5 Calcul

5.1 Informations nécessaires

Les données suivantes sont nécessaires pour calculer l'échauffement de l'air à l'intérieur d'une enveloppe:

- dimensions de l'enveloppe: hauteur/largeur/profondeur;
- type d'installation de l'enveloppe, conformément à la Figure 4;
- conception de l'enveloppe, c'est-à-dire avec ou sans ouvertures de ventilation;
- nombre de séparations internes horizontales;
- puissances dissipées effectives de l'appareillage installé dans l'enveloppe;
- puissances dissipées effectives (P_V) par les conducteurs selon l'Annexe B.

NOTE Les puissances dissipées effectives de l'appareillage installé dans les circuits de l'ENSEMBLE utilisées pour ce calcul sont les puissances dissipées aux courants assignés correspondants des divers circuits.

5.2 Méthode de calcul

5.2.1 Généralités

Pour les enveloppes spécifiées dans les colonnes 4 et 5 du Tableau 1, le calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur des enveloppes est réalisé en utilisant les formules données dans les colonnes 1 à 3 du Tableau 1.

Les facteurs appropriés et les exposants (caractéristiques) sont donnés dans les colonnes 6 à 10 du Tableau 1.

Les symboles, unités et désignations sont à prendre dans le Tableau 2.

Pour les enveloppes ayant plus d'une colonne avec cloisonnement vertical, l'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe doit être déterminé séparément pour chaque compartiment.

Lorsque des enveloppes sans cloisonnement vertical ou sans colonne individuelle ont une surface effective de refroidissement supérieure à 11,5 m² ou une largeur nettement supérieure à 1,5 m, il convient de les diviser pour les besoins du calcul en colonnes fictives dont les dimensions sont proches des valeurs mentionnées ci-après.

NOTE Le formulaire illustré par la Figure 9 peut être exploité pour calculer les échauffements.

5.2.2 Détermination de la surface effective de refroidissement A_e de l'enveloppe

Le calcul est réalisé suivant la Formule (1) de la colonne 1 du Tableau 1.

La surface effective de refroidissement A_e d'une enveloppe est la somme des surfaces individuelles A_o multipliées par le facteur de surface b . Ce facteur prend en compte la dissipation de chaleur des surfaces individuelles conformément au type d'installation de l'enveloppe.

5.2.3 Détermination de l'échauffement $\Delta t_{0,5}$ de l'air intérieur à mi-hauteur de l'enveloppe

Le calcul est réalisé suivant la Formule (2) de la colonne 2 du Tableau 1.

Dans la Formule (2), la constante k de l'enveloppe tient compte de la taille de la surface effective de refroidissement pour les enveloppes sans ouvertures de ventilation et, en outre, de la section des ouvertures d'entrée d'air pour les enveloppes avec ouvertures de ventilation.

La relation entre les échauffements à l'intérieur de l'enveloppe et la puissance dissipée effective P est exprimée par l'exposant x .

Le facteur d tient compte de la relation entre l'échauffement et le nombre de séparations horizontales internes.

5.2.4 Détermination de l'échauffement $\Delta t_{1,0}$ de l'air intérieur au sommet de l'enveloppe

Le calcul est effectué suivant la Formule (3) de la colonne 3 du Tableau 1.

Le facteur c tient compte de la répartition de la température à l'intérieur d'une enveloppe. Sa détermination varie avec la conception et l'installation de l'ENSEMBLE comme suit:

- a) Pour les enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement:

$$A_e > 1,25 \text{ m}^2$$

Le facteur c de la Figure 4 dépend du type d'installation et du facteur f (hauteur/base) où:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$$

- b) Pour les enveloppes avec ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement:

$$A_e > 1,25 \text{ m}^2$$

Le facteur c de la Figure 6 dépend de la section des ouvertures d'entrée d'air et du facteur f (hauteur/base) où:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$$

- c) Pour les enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement:

$$A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$$

Le facteur c de la Figure 8 dépend du facteur g (hauteur/largeur) où:

$$g = \frac{h}{w}$$

où

h est la hauteur de l'enveloppe, en m;

A_b est la surface de la base de l'enveloppe, en m^2 ;

w est la largeur de l'enveloppe, en m.

5.2.5 Courbe caractéristique pour l'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe

5.2.5.1 Généralités

Pour vérifier la conception selon l'Article 6, il est nécessaire d'utiliser les résultats calculés aux 5.2.3 et 5.2.4 avec la courbe caractéristique appropriée d'échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe comme une fonction de la hauteur de l'enveloppe. Les températures de l'air à l'intérieur des tranches horizontales sont pratiquement constantes.

5.2.5.2 Courbe caractéristique pour l'échauffement de l'air pour les enveloppes ayant une surface effective de refroidissement A_e supérieure à $1,25 \text{ m}^2$

En règle générale, la courbe caractéristique de l'échauffement est assez précisément définie par une ligne droite joignant les points $\Delta t_{1,0}$ et $\Delta t_{0,5}$ (voir Figure 1).

L'échauffement de l'air intérieur à la base de l'enveloppe est proche de zéro, c'est-à-dire que la courbe caractéristique tend asymptotiquement vers zéro. En pratique, la partie en pointillés de la courbe caractéristique est d'importance secondaire.

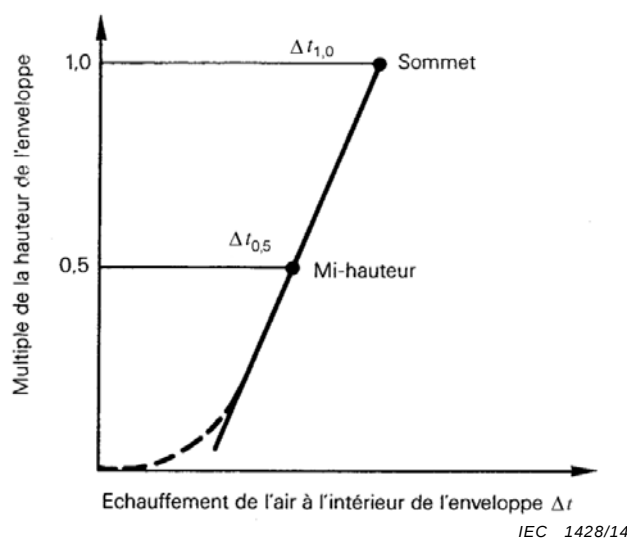


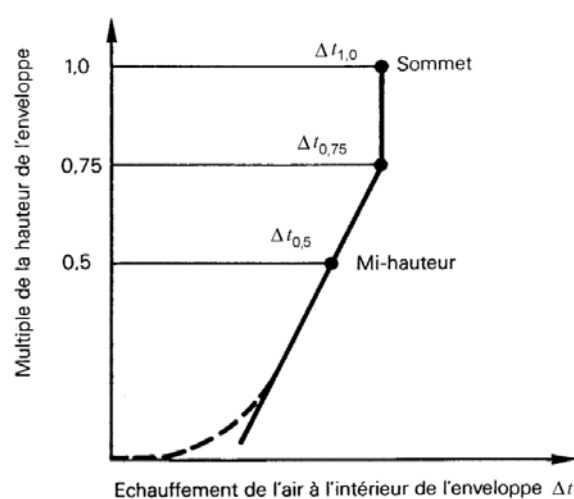
Figure 1 – Courbe caractéristique de l'échauffement pour enveloppes avec A_e supérieur à $1,25 \text{ m}^2$

5.2.5.3 Courbe caractéristique pour l'échauffement de l'air pour les enveloppes ayant une surface effective de refroidissement A_e inférieure ou égale à $1,25 \text{ m}^2$

Pour ce type d'enveloppe, l'échauffement maximal dans le quart supérieur est constant et les valeurs d'échauffement pour $\Delta t_{1,0}$ et $\Delta t_{0,75}$ sont identiques (voir Figure 2).

La courbe caractéristique est obtenue en joignant les valeurs d'échauffement de l'enveloppe aux niveaux 0,75 et 0,5 (voir Figure 2).

L'échauffement de l'air intérieur à la base de l'enveloppe est proche de zéro, c'est-à-dire que la courbe caractéristique tend asymptotiquement vers zéro. En pratique, la partie en pointillés de la courbe caractéristique est d'importance secondaire.



IEC 1429/14

Figure 2 – Courbe caractéristique de l'échauffement pour enveloppes avec A_e inférieur ou égal à $1,25 \text{ m}^2$

6 Vérification de la conception

On doit s'assurer que l'appareillage à l'intérieur de l'ENSEMBLE peut fonctionner de façon satisfaisante à l'échauffement calculé correspondant.

Si tel n'est pas le cas, les paramètres sont à modifier en conséquence et le calcul est repris.

Tableau 1 – Méthode de calcul, application, formules et caractéristiques

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Formules de calcul			Enveloppe		Caractéristiques					Courbe caractéristique	
Surface effective de refroidissement A_e	Echauffement de l'air		Surface effective de refroidissement A_e		Facteurs				Exposant	Tracé de la caractéristique d'échauffement	
	À mi-hauteur de l'enveloppe	Au sommet (intérieur) de l'enveloppe			b voir	k voir	d voir	c voir			x
$A_e = \Sigma (A_o \times b)$ (1)	$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x$ (2)	$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5}$ (3)	>1,25 m ²	Enveloppe sans ouvertures de ventilation	Tableau 3	Figure 3	Tableau 4	Figure 4	0,804	voir 5.2.5.2	
				Enveloppe avec ouvertures de ventilation		Figure 5	Tableau 5	Figure 6	0,715		
			<1,25 m ²	Enveloppe sans ouvertures de ventilation		Figure 7	–	Figure 8	0,804		voir 5.2.5.3

Pour les symboles, unités et désignations, voir Tableau 2.

Tableau 2 – Symboles, unités et désignations

Symbole	Unité	Désignation
A_o	m ²	Surfaces des côtés extérieurs de l'enveloppe
A_b	m ²	Surface de la base de l'enveloppe
A_e	m ²	Surface effective de refroidissement de l'enveloppe
b	–	Facteur de surface
c	–	Facteur de répartition de la température
d	–	Facteur d'échauffement avec séparations internes horizontales à l'intérieur de l'enveloppe
f	–	Facteur hauteur/base
g	–	Facteur hauteur/largeur
h	m	Hauteur de l'enveloppe
k	–	Constante de l'enveloppe
n	–	Nombre de séparations internes horizontales (jusqu'à trois séparations)
P	W	Puissance dissipée effective de l'appareillage installé à l'intérieur de l'enveloppe
P_v	W	Puissances dissipées effectives par les conducteurs
w	m	Largeur de l'enveloppe
x	–	Exposant
A_t	K	Échauffement de l'air à l'intérieur de l'enveloppe en général
$\Delta t_{0,5}$	K	Échauffement de l'air à mi-hauteur (intérieure) de l'enveloppe
$\Delta t_{0,75}$	K	Échauffement de l'air à $\frac{3}{4}$ de la hauteur (intérieure) de l'enveloppe
$\Delta t_{1,0}$	K	Échauffement de l'air au sommet (intérieur) de l'enveloppe

Tableau 3 – Facteur de surface b selon le type d'installation

Type d'installation	Facteur de surface b
Partie supérieure à surface exposée	1,4
Partie supérieure à surface couverte (par exemple: enveloppe encastrée)	0,7
Faces latérales exposées (par exemple: parois en façade, à l'arrière et latérales)	0,9
Faces latérales couvertes (par exemple: face arrière avec montage mural)	0,5
Faces latérales d'enveloppes centrales	0,5
Surface au plancher	non prise en compte
Les faces latérales des colonnes fictives (voir 5.2) introduites aux seules fins du calcul ne sont pas prises en compte.	

Tableau 4 – Facteur d pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

Nombre de séparations horizontales n	0	1	2	3
Facteur d	1,00	1,05	1,15	1,30

Tableau 5 – Facteur d pour enveloppes avec ouvertures de ventilation et une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

Nombre de séparations horizontales n	0	1	2	3
Facteur d	1,00	1,05	1,10	1,15

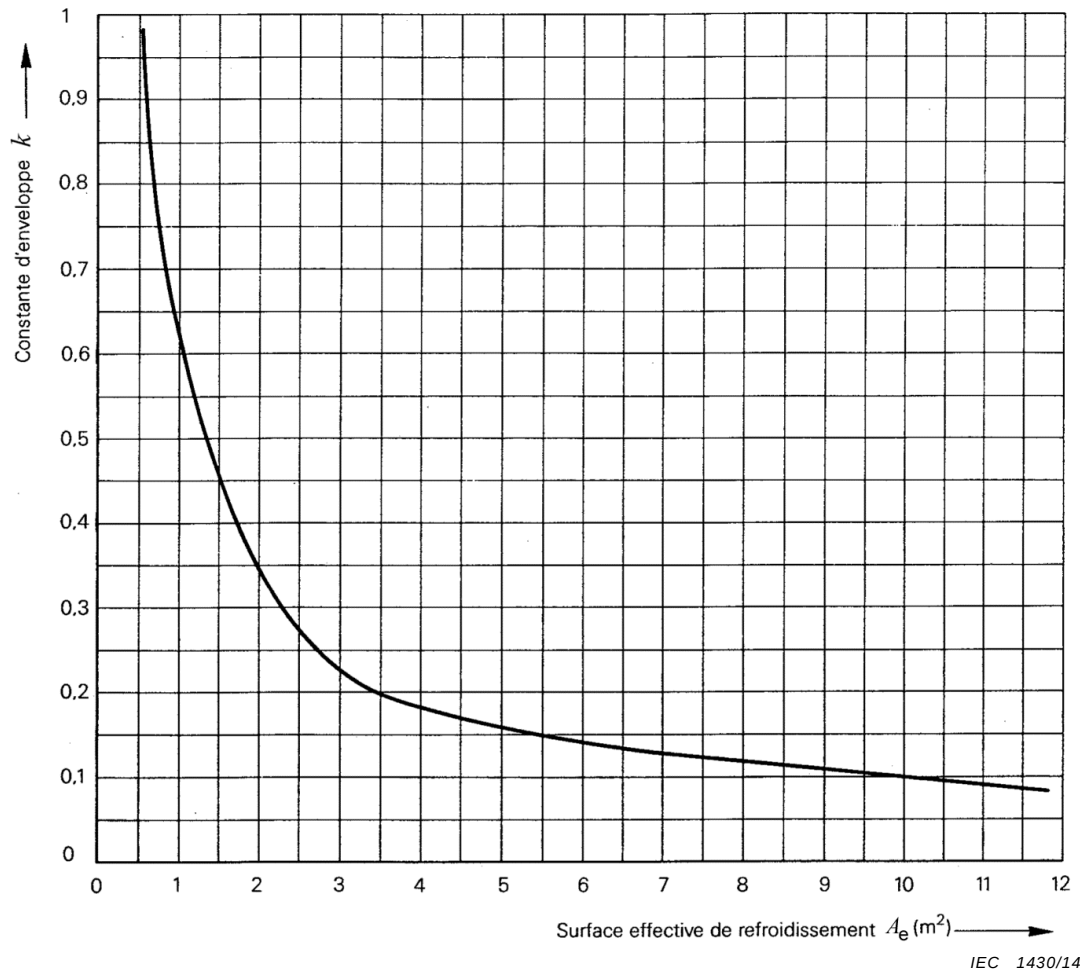
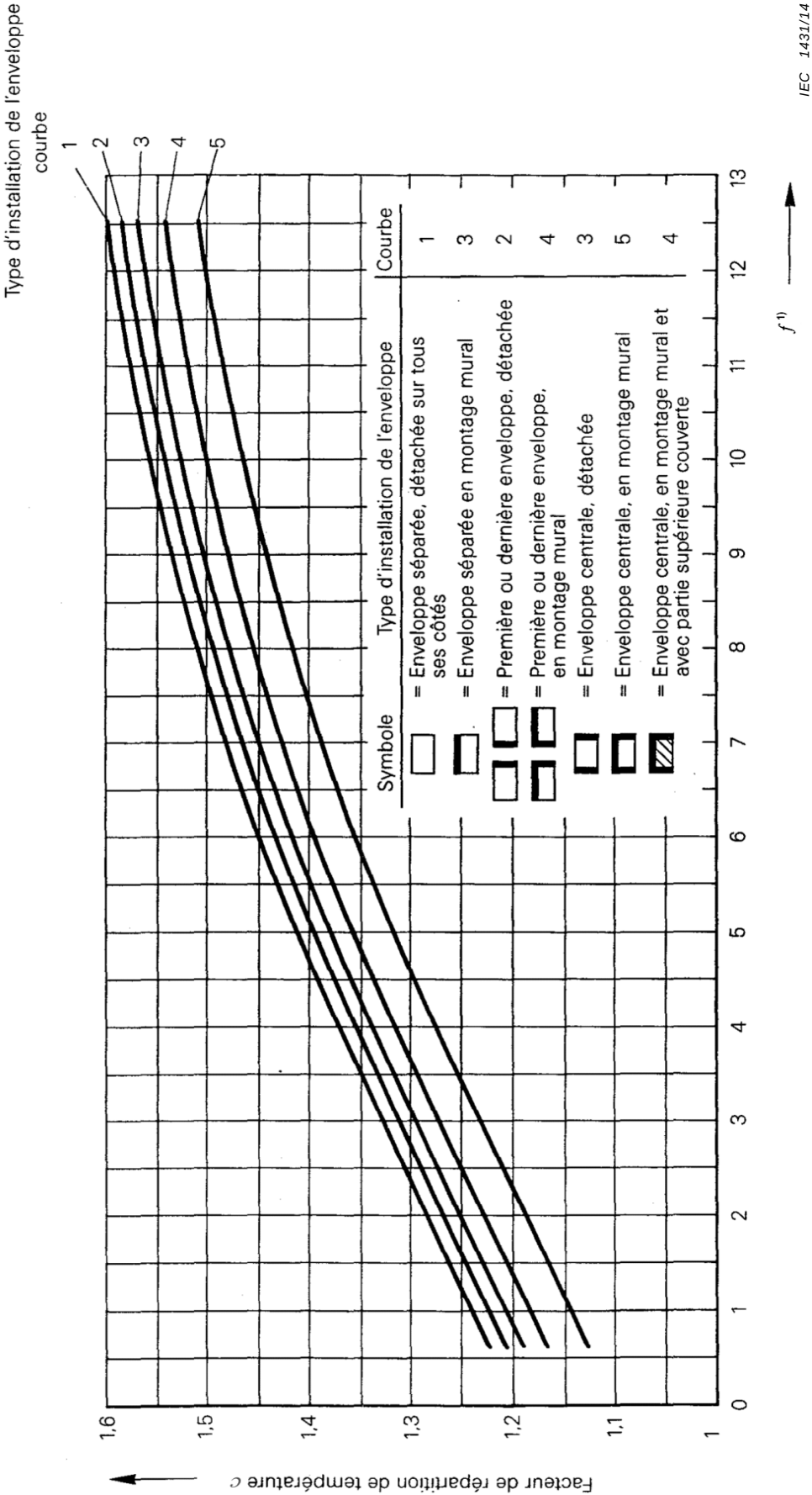


Figure 3 – Constante d'enveloppe k pour enveloppes sans ouvertures de ventilation, avec une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

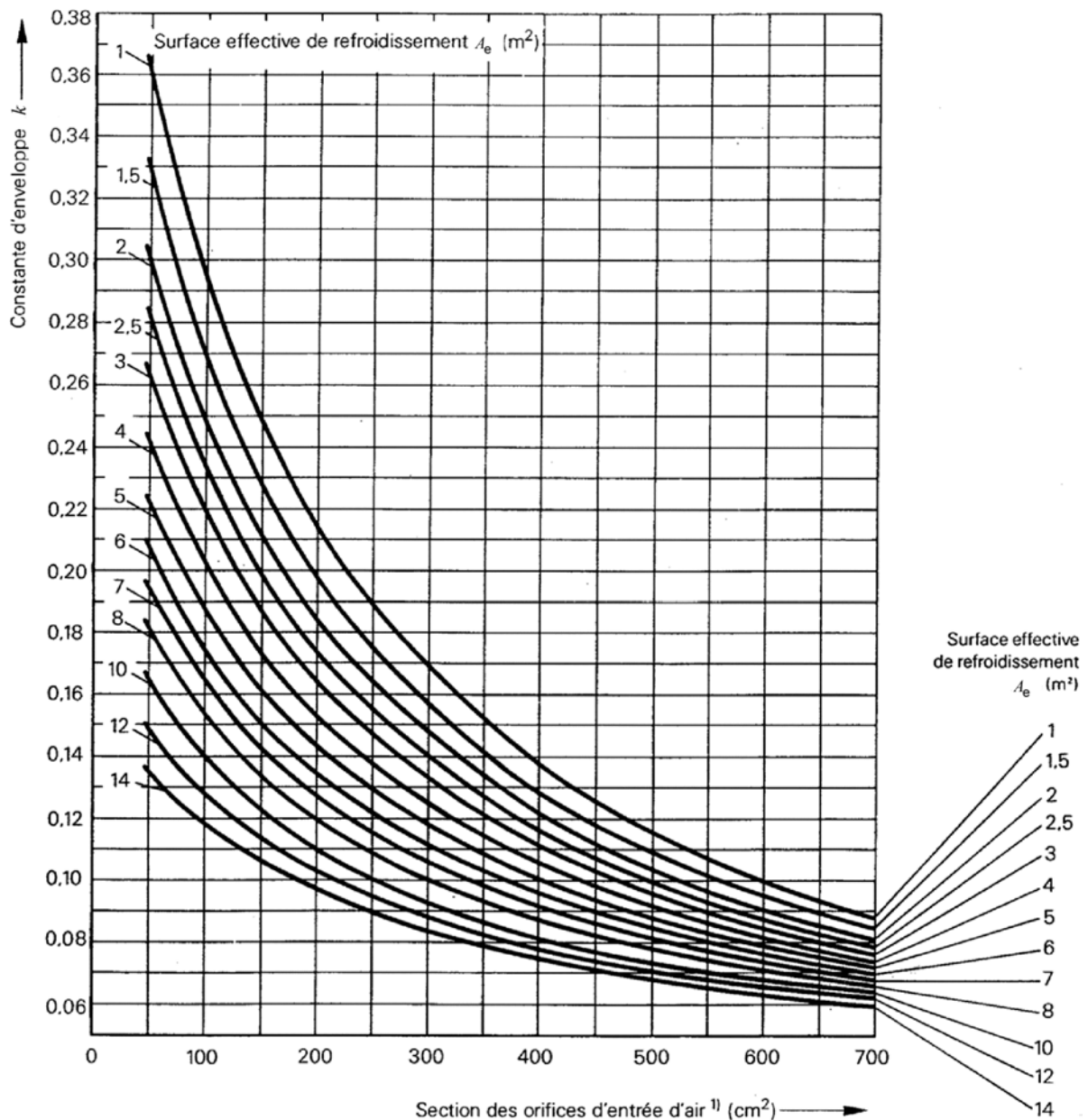


IEC 1431/14

Légende

1) Facteur hauteur/base, voir 5.2.4.

Figure 4 – Facteur de répartition de température c pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

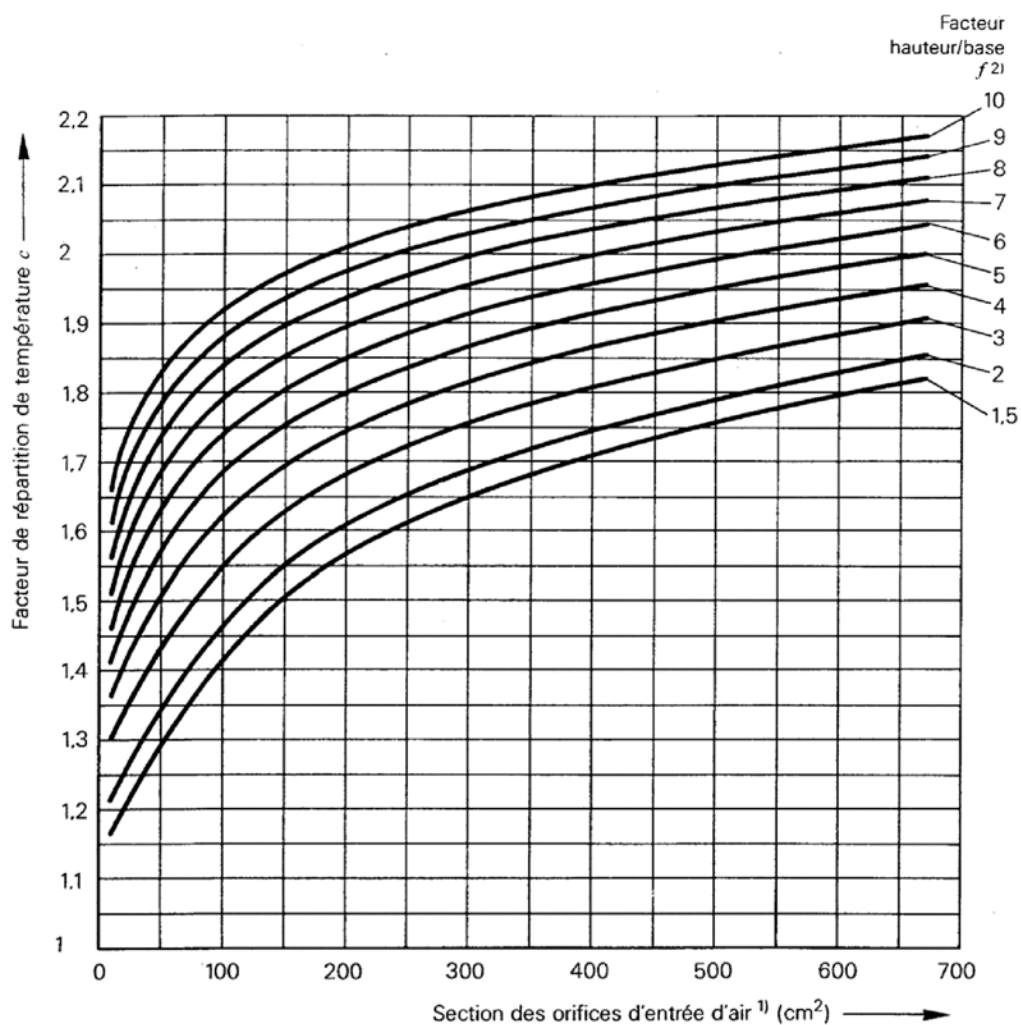


IEC 1432/14

Légende

- 1) Il convient que la section des ouvertures de sortie d'air correspondantes soit au moins 1,1 fois celle des ouvertures d'entrée d'air.

Figure 5 – Constante d'enveloppe k pour enveloppes avec ouvertures de ventilation et une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$



IEC 1433/14

Légende

- 1) Il convient que la section des ouvertures de sortie d'air correspondantes soit au moins 1,1 fois celle des ouvertures d'entrée d'air.
- 2) Facteur hauteur/base, voir 5.2.4.

Figure 6 – Facteur de répartition de température c pour enveloppes avec ouvertures de ventilation et une surface effective de refroidissement $A_e > 1,25 \text{ m}^2$

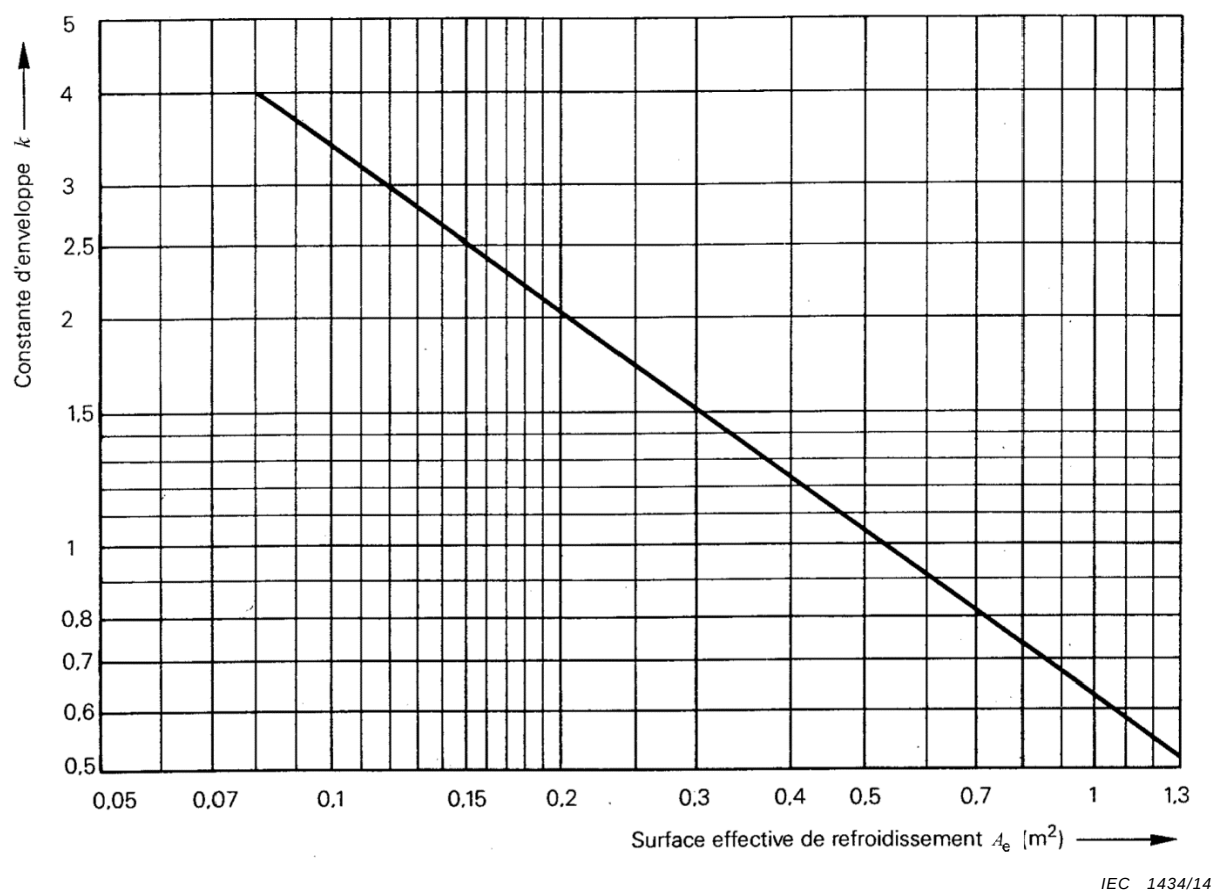
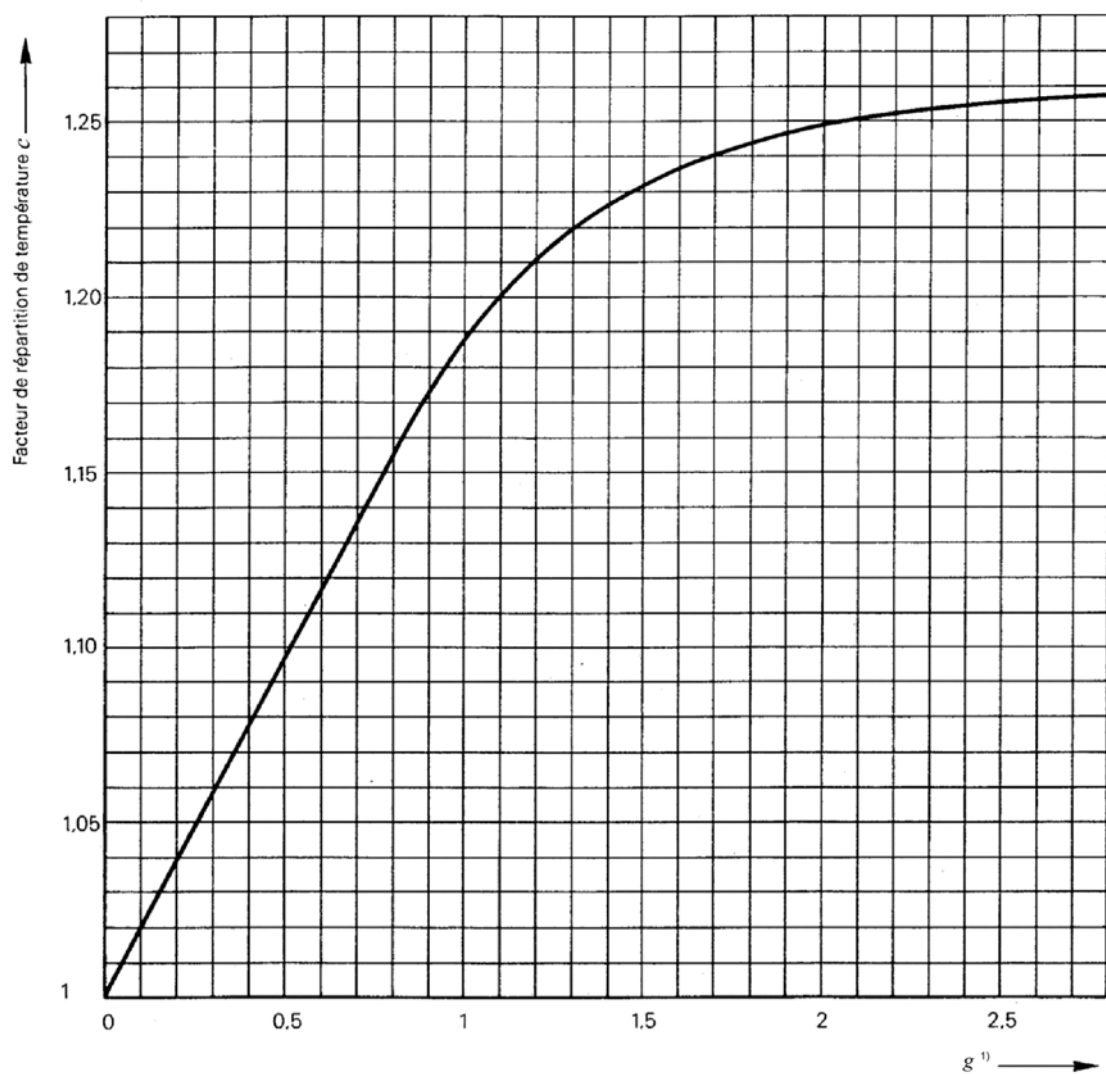


Figure 7 – Constante d'enveloppe k pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e \leq 1,25$ m²



IEC 1435/14

Légende

1) Facteur hauteur/largeur, voir 5.2.4.

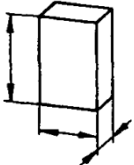
Figure 8 – Facteur de répartition de température c pour enveloppes sans ouvertures de ventilation et avec une surface effective de refroidissement $A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$

Calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes

Client/Installation

Type d'enveloppe

Dimensions applicables pour la détermination de l'échauffement	hauteur	mm	Type d'installation:
	largeur	mm	Ouvertures de ventilation: oui/non
	profondeur	mm	Nombre de cloisons horizontales:

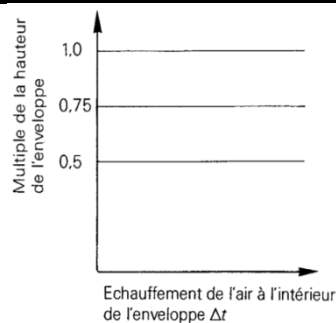
Surface effective de refroidissement		Dimensions	A_0	Facteur de surface b suivant Tableau 3	$A_0 \times b$ (colonne 3) $\times$ (colonne 4)
		m $\times$ m	m ²		m ²
		2	3		5
	Sommet				
	Façade				
	Arrière				
	Côté gauche				
	Côté droit				
$A_e = \Sigma(A_0 \times b) = \text{Total}$					

Avec une surface effective de refroidissement A_e

Supérieure à 1,25 m ²	Inférieure ou égale à 1,25 m ²
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} \text{ (voir 5.2.4)}$ = _____ =	$g = \frac{h}{w} \text{ (voir 5.2.4)}$ = _____ =

Ouvertures d'entrée d'air	cm ²	
Constante d'enveloppe k		
Facteur pour séparations horizontales d		
Puissance dissipée effective P	W	
$P^x = P \dots$		
$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x$	K	
Facteur de répartition de température c		
$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5}$	K	

Courbe caractéristique:



IEC 1436/14

Figure 9 – Calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes

Annexe A (informative)

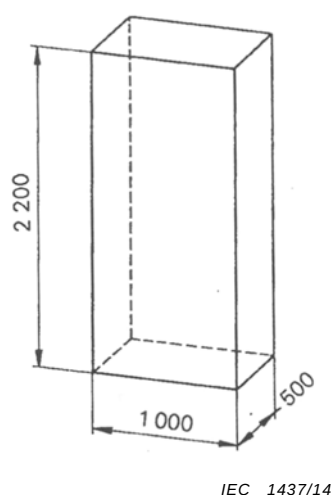
Exemples de calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes

A.1 Exemple 1

Enveloppe séparée détachée sur tous les côtés, sans ouvertures de ventilation et sans séparations internes horizontales (voir Figure A.1).

Puissance dissipée effective de l'appareillage installé dans l'enveloppe: $P = 300 \text{ W}$.

Dimensions en mm



IEC 1437/14

Figure A.1 – Exemple 1, calcul pour une enveloppe séparée détachée sur tous les côtés sans ouvertures de ventilation et sans séparations internes horizontales

Conduite du calcul

(Pour les rubriques, voir formulaire de la Figure A.2 portant sur l'exemple 1.)

- La surface effective de refroidissement A_e est déterminée selon 5.2.2.
Les surfaces élémentaires sont calculées à partir des dimensions de l'enveloppe, le facteur de surface b étant obtenu du Tableau 3.
- L'échauffement de l'air $\Delta t_{0,5}$ est déterminé selon 5.2.3.
Formule (2) de la colonne 2 du Tableau 1:

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x \quad (\text{A.1})$$

Facteur k selon la colonne 7 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ suivant la Figure 3:

$$\text{pour } A_e = 6,64 \text{ m}^2: k = 0,135$$

Facteur d selon la colonne 8 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ suivant le Tableau 4:

avec nombre de séparations horizontales = 0: $d = 1,0$

Puissance dissipée effective (telle que spécifiée) $P = 300 \text{ W}$

Exposant x de la colonne 10 du Tableau 1 avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$: $x = 0,804$

En reportant ces valeurs dans la Formule (A.1) ci-dessus, on obtient le résultat suivant:

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x = 0,135 \times 1,0 \times 300^{0,804}$$

$$\Delta t_{0,5} = 13,24 \text{ K} \approx 13,2 \text{ K}$$

- L'échauffement de l'air $\Delta t_{1,0}$ est déterminé selon 5.2.4.

Formule (3) de la colonne 3 du Tableau 1:

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} \quad (\text{A.2})$$

Facteur c selon la colonne 9 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ suivant la Figure 4:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2,2^{1,35}}{1,0 \times 0,5} = 5,80$$

La courbe 1 de la Figure 4 donne:

$$c = 1,44$$

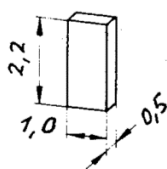
En reportant cette valeur dans la Formule (A.2), on obtient le résultat suivant:

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} = 1,44 \times 13,24 = 19,07 \text{ K} \approx 19,1 \text{ K}$$

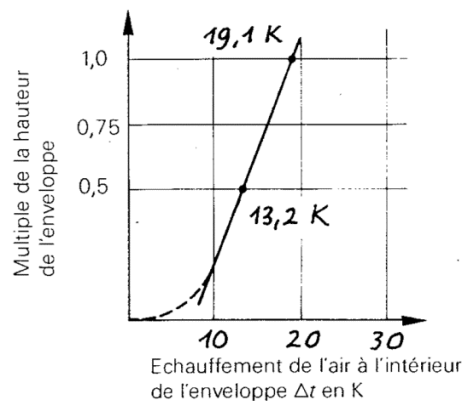
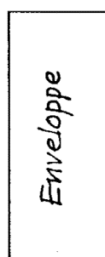
- La détermination de la courbe caractéristique d'échauffement pour enveloppes avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, s'effectue selon 5.2.5.2 (voir Figure A.2 dans le formulaire de l'Exemple 1).
- La vérification de la conception de l'appareillage est réalisée conformément à l'Article 6.

Il est à vérifier que l'appareillage installé à l'intérieur de l'enveloppe peut fonctionner de façon satisfaisante aux échauffements calculés et sous les courants assignés spécifiés, compte-tenu de la température de l'air ambiant (voir Article 1, Note 2).

Si tel n'est pas le cas, les paramètres sont à modifier en conséquence et le calcul à reprendre.

Calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes					
Client/Installation		Exemple 1			
Type d'enveloppe		Enveloppe séparée			
Dimensions applicable pour la détermination de l'échauffement	hauteur	2 200 mm	Type d'installation: Détaché sur tous les côtés		
	largeur	1 000 mm	Ouvertures de ventilation: oui/non		
	profondeur	500 mm	Nombre de séparations horizontales: 0		
Surface effective de refroidissement		Dimensions	A_o	Facteur de surface b suivant tableau	$A_o \times b$ (colonne 3) $\times$ (colonne 4)
		m $\times$ m	m ²	3	m ²
		2	3	4	5
	Sommet	1,0 $\times$ 0,5	0,500	1,4	0,700
	Façade	1,0 $\times$ 2,2	2,200	0,9	1,980
	Arrière	1,0 $\times$ 2,2	2,200	0,9	1,980
	Côté gauche	0,5 $\times$ 2,2	1,100	0,9	0,990
	Côté droit	0,5 $\times$ 2,2	1,100	0,9	0,990
$A_e = \Sigma (A_o \times b) = \text{Total}$					6,640
Avec une surface effective de refroidissement A_e					
Supérieure à 1,25 m ²			Inférieure ou égale à 1,25 m ²		
$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$ (voir 5.2.4) $= \frac{2,2^{1,35}}{1,0 \times 0,5} = 5,80$			$g = \frac{h}{w}$ (voir 5.2.4) $= \frac{2,2}{1,0} = 2,2$		
Ouvertures d'entrée d'air		cm ²	0		
Constante d'enveloppe k			0,135		
Facteur pour séparations horizontales d			1,0		
Puissance dissipée effective P		W	300		
$P^x = p0,804$			98,09		
$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x$		K	13,24 $\approx$ 13,2 K		
Facteur de répartition de température c			1,44		
$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5}$		K	19,07 $\approx$ 19,1 K		

Courbe caractéristique:



IEC 1438/14

Figure A.2 – Exemple 1, calcul pour une enveloppe séparée

A.2 Exemple 2

Enveloppe pour montage mural avec ouvertures de ventilation

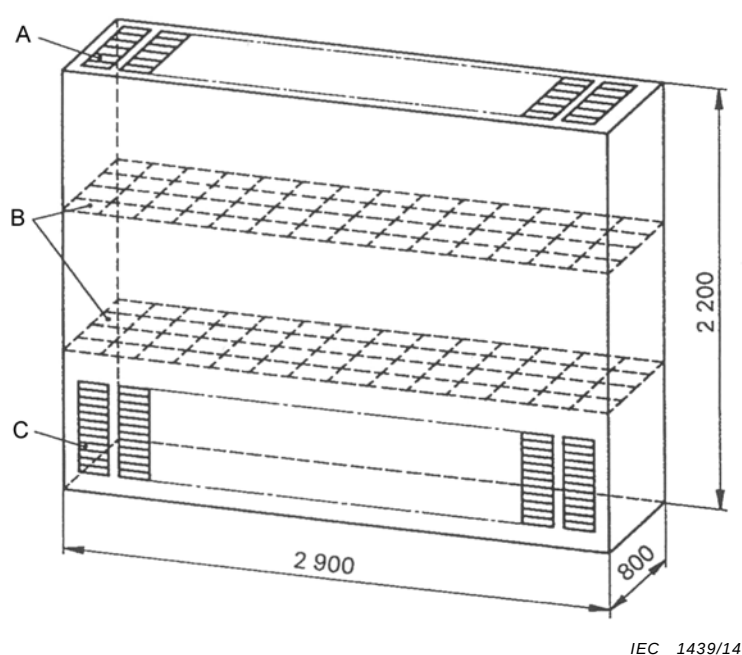
section des ouvertures d'entrée d'air = 1 220 cm²

section des ouvertures de sortie d'air = 1 800 cm²

avec deux séparations horizontales à l'intérieur de l'enveloppe. Chaque séparation horizontale, (par exemple: tôle perforée), comporte des ouvertures de ventilation dont la section est supérieure à 50 % de la section de l'enveloppe (voir Figure A.3 et Figure A.4).

Puissance dissipée effective de l'appareillage installé à l'intérieur de l'enveloppe $P = 2\,200\text{ W}$.

Dimensions en mm



Légende

- A Ouvertures de sortie d'air
- B Séparations horizontales avec ouvertures de ventilation, par exemple tôle perforée
- C Ouvertures d'entrée d'air

Figure A.3 – Exemple 2, calcul pour une enveloppe pour montage mural avec ouvertures de ventilation

Conduite du calcul

(Pour les rubriques, voir formulaire de la Figure A.5 portant sur l'exemple 2)

Étant donné une surface de refroidissement de l'enveloppe qui est probablement supérieure à 11,5 m², et une largeur de l'enveloppe supérieure à 1,5 m, l'enveloppe totale est à diviser, aux fins du calcul et conformément à 5.2, en colonnes (enveloppes partielles). Aucune subdivision constructive n'étant prévue, l'exemple décrit prévoit, pour simplifier, une division de l'enveloppe en deux colonnes égales (moitiés d'enveloppe). Les puissances dissipées et les ouvertures de ventilation sont censées être réparties de façon égale dans les moitiés d'enveloppe, de sorte qu'aux fins du calcul, elles peuvent être divisées par deux.

Le calcul n'est effectué que pour une seule moitié d'enveloppe. Le résultat s'applique également à l'autre moitié.

- Informations nécessaires selon 5.1 pour une moitié d'enveloppe

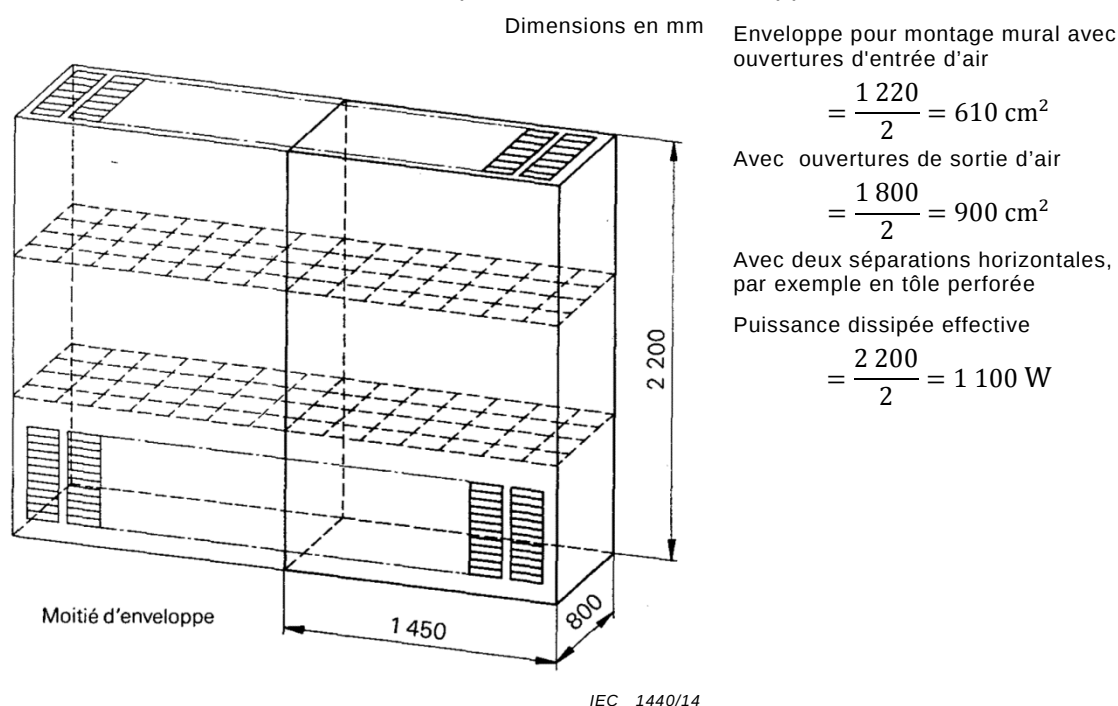


Figure A.4 – Exemple 2, calcul pour une moitié d'enveloppe

- La surface effective de refroidissement par moitié d'enveloppe est déterminée selon 5.2.2. Les surfaces élémentaires sont calculées à partir des dimensions de l'enveloppe, le facteur de surface b étant obtenu du Tableau 3.

Conformément au Tableau 3, la surface de séparation entre les deux moitiés d'enveloppe et résultant de la division fictive n'est pas prise en considération.

- L'échauffement de l'air $\Delta t_{0,5}$ est déterminé selon 5.2.3.

Formule (2) de la colonne 2 du Tableau 1

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x \quad (\text{A.3})$$

Facteur k selon la colonne 7 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ selon la Figure 5.

Pour une surface des ouvertures d'entrée d'air de 610 cm^2 avec $A_e = 7,674 \text{ m}^2$: $k = 0,071$

Facteur d selon la colonne 8 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ selon le Tableau 5 avec deux cloisons horizontales: $d = 1,10$

Puissance dissipée effective (telle que spécifiée) $P = 1\,100 \text{ W}$

Exposant x de la colonne 10 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$: $x = 0,715$

En reportant ces valeurs dans la Formule (A.3) ci-dessus, on obtient le résultat suivant:

$$\Delta t_{0,5} = k \times d \times P^x = 0,071 \times 1,10 \times 1\,100^{0,715}$$

$$\Delta t_{0,5} = 11,67 \text{ K} \approx 11,7 \text{ K}$$

- L'échauffement de l'air $\Delta t_{1,0}$ est déterminé selon 5.2.4.

Formule (3) de la colonne 3 du Tableau 1

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} \quad (\text{A.4})$$

Facteur c selon la colonne 9 du Tableau 1, avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ suivant la Figure 6.

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2,2^{1,35}}{1,45 \times 0,8} = 2,50$$

La Figure 6 donne pour une superficie des ouvertures d'entrée d'air de 610 cm^2 :

$$c = 1,87$$

En reportant ces valeurs dans la Formule (A.4), on obtient le résultat suivant:

$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} = 1,87 \times 11,67 = 21,82 \text{ K} \approx 21,8 \text{ K}$$

- La courbe caractéristique d'échauffement pour enveloppes est déterminée avec $A_e > 1,25 \text{ m}^2$, selon 5.2.5.2 (voir Figure A.5 dans le formulaire de l'exemple 2).
- La vérification de la conception est réalisée conformément à l'Article 6.

Il est à vérifier que l'appareillage installé à l'intérieur de l'enveloppe peut fonctionner de façon satisfaisante aux échauffements calculés et sous les courants assignés spécifiés, compte-tenu de la température de l'air ambiant (voir Article 1, Note 2).

Si tel n'est pas le cas, les paramètres sont à modifier en conséquence et le calcul à reprendre.

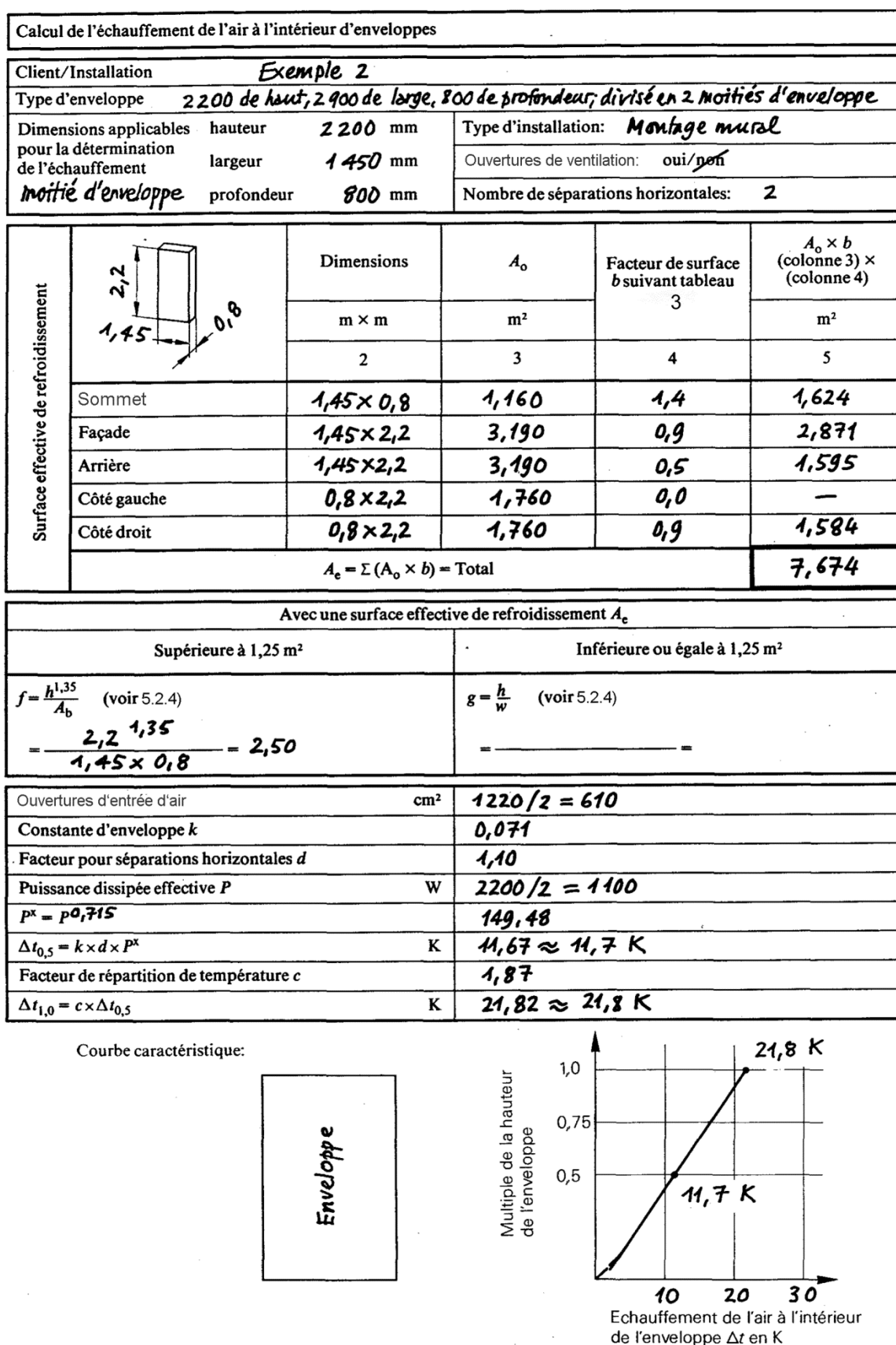


Figure A.5 – Exemple 2, calcul pour une enveloppe pour montage mural avec ouvertures de ventilation

Annexe B (informative)

Courant de fonctionnement et puissances dissipées par les conducteurs

Le courant de fonctionnement admissible maximal d'un conducteur est influencé par plusieurs facteurs dont:

- le matériau, le type d'isolement et de disposition des conducteurs appartenant au même circuit;
- l'influence mutuelle des composants raccordés au conducteur;
- l'influence mutuelle des composants et conducteurs avoisinants appartenant à d'autres circuits;
- la température de l'air autour du conducteur à l'intérieur de l'enveloppe;
- la température et la conductivité thermique des pièces de construction en contact avec ou à proximité du conducteur.

La puissance dissipée par les conducteurs dépend

- du courant de fonctionnement et de sa fréquence;
- du matériau et de la température du conducteur;
- de la forme du conducteur (effet de peau);
- de l'influence magnétique des conducteurs et des pièces de construction magnétiques avoisinantes (effet de proximité).

Les tableaux suivants donnent des valeurs indicatives pour les courants de fonctionnement et les puissances dissipées des câbles en cuivre unipolaires et des barres en cuivre nues dans des conditions idéales à l'intérieur d'une enveloppe. Les méthodes de calcul utilisées pour déterminer ces valeurs sont données pour permettre leur calcul pour d'autres conditions.

Les courants de fonctionnement maximaux donnés dans les tableaux ne s'appliquent pas aux conducteurs utilisés pour un ENSEMBLE vérifié par essai conformément à l'IEC 61439-1.

Les puissances dissipées sont valables pour le courant de fonctionnement correspondant donné dans les tableaux. Pour une charge de conducteur différente, les puissances dissipées peuvent être calculées à l'aide de l'équation suivante:

$$P = P_v \left(\frac{I}{I_{\max}} \right)^2$$

où

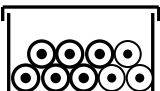
P représente la puissance dissipée en watts par mètre (W/m);

I est le courant du conducteur (charge);

$I_{\max}$ est le courant de fonctionnement maximal;

P_v est la puissance dissipée à $I_{\max}$.

Tableau B.1 – Courant de fonctionnement et puissance dissipée des câbles en cuivre unipolaires avec une température admissible du conducteur de 70 °C (température ambiante à l'intérieur de l'enveloppe: 55 °C)

Disposition du conducteur							
		Câbles unipolaires dans une goulotte de câbles sur un mur, cheminant horizontalement ou verticalement. 6 câbles (2 circuits triphasés) chargés en continu		Câbles unipolaires en contact à l'air libre ou placés sur un chemin de câbles perforé. 6 câbles (2 circuits triphasés) chargés en continu		Câbles unipolaires placés horizontalement et séparés à l'air libre	
Section du conducteur r mm ²	Résistance du conducteur à 20°C, R_{20}^a mΩ/m	Courant de fonctionnement maximal $I_{\max}^b$ A	Puissance dissipée par conducteur $r P_v$ W/m	Courant de fonctionnement maximal $I_{\max}^c$ A	Puissance dissipée par conducteur $r P_v$ W/m	Courant de fonctionnement maximal $I_{\max}^d$ A	Puissance dissipée par conducteur $r P_v$ W/m
0,50	36,0	3,7	0,6	-	-	-	-
0,75	24,5	4,8	0,7	-	-	-	-
1	18,1	5,8	0,7	-	-	-	-
1,5	12,1	7,6	0,8	9,6	1,3	15	3,2
2,5	7,41	10	0,9	13	1,6	21	3,7
4	4,61	14	1,0	18	1,9	28	4,2
6	3,08	18	1,1	24	2,1	36	4,7
10	1,83	24	1,3	33	2,5	50	5,4
16	1,15	33	1,5	45	2,9	67	6,2
25	0,727	43	1,6	61	3,3	89	6,9
35	0,524	54	1,8	76	3,6	110	7,7
50	0,387	65	2,0	93	4,0	134	8,3
70	0,268	83	2,2	120	4,6	171	9,4
95	0,193	101	2,4	147	5,0	208	10,0
120	0,153	117	2,5	171	5,4	242	10,7
150	0,124	-	-	198	5,8	278	11,5
185	0,099 1	-	-	227	6,1	318	12,0
240	0,075 4	-	-	269	6,6	375	12,7
300	0,060 1	-	-	311	7,0	432	13,5

^a Valeurs de l'IEC 60228:2004, Tableau 2 (conducteurs à âmes câblées, en cuivre nu).

^b Courant admissible I_{30} pour un circuit triphasé de l'IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.4, col. 4 (méthode d'installation de référence: point B1 du Tableau B.52.1). Valeurs pour les sections inférieures à 1,5 mm² calculées suivant l'Annexe D de l'IEC 60364-5-52:2009.
 $k_2=0,8$ (point 1 du Tableau B.52.17 de l'IEC 60364-5-52:2009, deux circuits).

^c Courant admissible I_{30} pour un circuit triphasé de l'IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.10, col. 5 (méthode d'installation de référence: Point F dans le Tableau B.52.1). Valeurs pour les sections inférieures à 25 mm² calculées suivant l'Annexe D de l'IEC 60364-5-52:2009.
 $k_2=0,91$ (Tableau B.52.21 de l'IEC 60364-5-52:2009, systèmes de chemin de câbles vertical perforé; méthode d'installation: 31; nombre de chemins ou d'échelles: 1; nombre de circuits triphasés par chemin ou échelle: deux circuits).

^d Courant admissible I_{30} pour un circuit triphasé de l'IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.10, col. 7 (méthode d'installation de référence: point G dans le Tableau B.52.1 de l'IEC 60364-5-52:2009). Valeurs pour les sections inférieures à 25 mm² calculées suivant l'Annexe D de l'IEC 60364-5-52:2009.
 $k_2 = 1$

$$I_{\max} = I_{30} \times k_1 \times k_2$$

$$P_v = I_{\max}^2 \times R_{20} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20 \text{ °C})]$$

où

I_{30} est le courant de fonctionnement maximal pour une température de l'air autour du conducteur de 30 °C;

k_1 est le facteur de réduction de la température de l'air à l'intérieur de l'enveloppe autour des conducteurs (IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.14);

$k_1 = 0,61$ pour une température de conducteur de 70 °C, température ambiante de 55 °C;

k_1 pour les autres températures de l'air: voir Tableau B.2;

k_2 est le facteur de réduction pour les groupes de plus d'un circuit (IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.17);

α est le coefficient de température de résistance, $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$;

T_c est la température du conducteur.

Tableau B.2 – Facteur de réduction k_1 pour les câbles avec une température admissible du conducteur de 70 °C (extrait de l'IEC 60364-5-52:2009, Tableau B.52.14)

Température de l'air à l'intérieur de l'enveloppe autour des conducteurs °C	Facteur de réduction k_1
30	1,00
35	0,94
40	0,87
45	0,79
50	0,71
55	0,61
60	0,50

Si le courant de fonctionnement du Tableau B.1 est converti pour d'autres températures de l'air en utilisant le facteur de réduction k_1 , alors il faut également que les puissances dissipées correspondantes soient calculées en utilisant la formule donnée ci-dessus.

$$P_V = \frac{I^2 \times k_3}{\kappa \times A} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20 \text{ °C})]$$

où

P_V est la puissance dissipée par mètre;

I est le courant de fonctionnement;

k_3 est le facteur de déphasage du courant pour 50 Hz/60 Hz ($k_3=1$ pour c.c. et c.a.16 2/3 Hz);

κ est la conductivité du cuivre, $\kappa = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \times \text{mm}^2}$;

A est la section de barre;

α est le coefficient de température de la résistance, $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$;

T_c est la température du conducteur.

Les courants de fonctionnement peuvent être convertis pour d'autres températures d'air ambiant à l'intérieur de l'enveloppe et/ou pour une température de conducteur de 90 °C en multipliant les valeurs du Tableau B.3 par le facteur correspondant k_4 du Tableau B.4. Les puissances dissipées doivent ensuite être calculées en conséquence à l'aide de la formule ci-dessus.

Tableau B.4 – Facteur k_4 pour différentes températures de l'air à l'intérieur de l'enveloppe et/ou pour les conducteurs

Température de l'air à l'intérieur de l'enveloppe autour des conducteurs °C	Facteur k_4	
	Température du conducteur de 70 °C	Température du conducteur de 90 °C
30	1,82	2,26
35	1,69	2,14
40	1,54	2,03
45	1,35	1,91
50	1,18	1,77
55	1,00	1,62
60	0,77	1,48

On doit tenir compte du fait qu'en fonction de la conception de l'enveloppe, des températures ambiantes et de conducteurs très différentes peuvent apparaître, en particulier avec des courants de fonctionnement plus élevés.

La vérification de l'échauffement réel dans ces conditions doit être déterminée par essai conformément à l'IEC 61439-1. Les puissances dissipées peuvent ensuite être calculées par la même méthode que celle utilisée pour le Tableau B.3.

NOTE À des courants plus élevés, les pertes supplémentaires par courant de Foucault peuvent être importantes et elles ne sont pas incluses dans les valeurs du Tableau B.3.

Bibliographie

IEC 60228:2004, *Âmes des câbles isolés*

IEC 60364-5-52:2009, *Installations électriques à basse tension – Partie 5-52: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Canalisations*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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