

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 2: Indenter modulus**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 2: Module indenter**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

Copyright © 2016 IEEE

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 being secured. Requests for permission to reproduce should be addressed to either IEC at the address below or IEC's member National Committee in the country of the requester or from IEEE.

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

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5997
United States of America
stds.ipr@ieee.org
www.ieee.org

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 the IEEE

IEEE is the world's largest professional association dedicated to advancing technological innovation and excellence for the benefit of humanity. IEEE and its members inspire a global community through its highly cited publications, conferences, technology standards, and professional and educational activities.

About IEC/IEEE publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 2: Indenter modulus**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 2: Module indenter**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-8322-3201-9

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.
--

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 2: Indenter modulus**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 2: Module indenter**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Terms and definitions	7
3 Abbreviations and acronyms	7
4 General description	8
5 Applicability, reproducibility, and complexity.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Applicability.....	8
5.3 Reproducibility.....	8
5.4 Complexity	9
6 Measurement procedure	9
6.1 Stabilisation of the polymeric materials	9
6.2 Sampling and measurement locations	9
6.3 Conditions for measurement	9
6.4 Instrumentation.....	10
6.5 Calibration and tolerances	11
6.6 Selection of measurement points	12
6.7 Selection of probe velocity and maximum force	12
6.8 Clamping.....	12
6.9 Determination of the value of the indenter modulus	12
6.10 Reporting	13
Annex A (informative) Examples illustrating factors affecting the variation of the indenter modulus value	15
Annex B (informative) Example of a measurement report for indenter measurements in laboratory	19
Bibliography	21
Figure 1 — A schematic representation of the Geometry and dimensions of the profile of the probe tip (truncated cone) used in the indenter	11
Figure 2 – Calculation of indenter modulus.....	13
Figure A.1 – Example of local variation of indenter modulus due to variation in equipment dimensions and construction	15
Figure A.2 – Indenter values measured at different temperatures.....	16
Figure A.3 – Normalised indenter mean values.....	17
Figure A.4 – Example of change of indenter modulus value in laboratory conditions of a hygroscopic sample after removal from long-term exposure in a heat chamber.....	18
Figure A.5 – Adaptation of a decay curve to the measured indenter modulus values in Figure A.4	18
Figure B.1 – Example of measured force versus displacement time	20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 2: Indenter modulus

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.

IEEE Standards documents are developed within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. IEEE develops its standards through a consensus development process, approved by the American National Standards Institute, which brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve the final product. Volunteers are not necessarily members of IEEE and serve without compensation. While IEEE administers the process and establishes rules to promote fairness in the consensus development process, IEEE does not independently evaluate, test, or verify the accuracy of any of the information contained in its standards. Use of IEEE Standards documents is wholly voluntary. IEEE documents are made available for use subject to important notices and legal disclaimers (see <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> for more information).

IEC collaborates closely with IEEE in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations. This Dual Logo International Standard was jointly developed by the IEC and IEEE under the terms of that agreement.

- 2) The formal decisions 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. The formal decisions of IEEE on technical matters, once consensus within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees has been reached, is determined by a balanced ballot of materially interested parties who indicate interest in reviewing the proposed standard. Final approval of the IEEE standards document is given by the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board.
- 3) IEC/IEEE Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees/IEEE Societies in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC/IEEE Publications is accurate, IEC or IEEE 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 (including IEC/IEEE Publications) transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC/IEEE Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC and IEEE do not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC and IEEE are 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 IEEE or their directors, employees, servants or agents including individual experts and members of technical committees and IEC National Committees, or volunteers of IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board, 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/IEEE Publication or any other IEC or IEEE 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 implementation of this IEC/IEEE Publication may require use of material covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the existence or validity of any patent rights in connection therewith. IEC or IEEE shall not be held responsible for identifying Essential Patent Claims for which a license may be required, for conducting inquiries into the legal validity or scope of Patent Claims or determining whether any licensing terms or conditions provided in connection with submission of a Letter of Assurance, if any, or in any licensing agreements are reasonable or non-discriminatory. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC/IEEE 62582-2 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2011-08) [documents 45A/841/FDIS and 45A/850/RVD] and its amendment 1 (2016-02) [documents 45A/1054/FDIS and 45A/1067/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

International Standard IEC/IEEE 62582-2 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation, in cooperation with the Nuclear Power Engineering Committee of the Power & Energy Society of the IEEE¹, under the IEC/IEEE Dual Logo Agreement between IEC and IEEE.

This publication is published as an IEC/IEEE Dual Logo standard.

International standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of IEC/IEEE 62582 series, under the general title *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods*, can be found on the IEC website.

The IEC Technical Committee and IEEE Technical Committee have decided that the contents of this publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

¹ The lists of IEEE participants can be found at the following URLs: http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-2011/62582-2-2011_wg-participants.pdf and http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-amd1-2016/62582-2-amd1-2016_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organisation of this standard

This part of this IEC/IEEE standard specifically focuses on indenter modulus methods for condition monitoring for the management of ageing of electrical equipment installed in nuclear power plants. The indenter method is commonly used to carry out measurements on cables (jackets, insulation) and o-rings.

This part of IEC/IEEE 62582 is the second part of the IEC/IEEE 62582. It contains detailed descriptions of condition monitoring based on indenter modulus measurements.

The IEC/IEEE 62582 series is issued with a joint logo which makes it applicable to the management of ageing of electrical equipment qualified to IEEE as well as IEC Standards.

Historically, IEEE Std 323-2003 introduced the concept and role that condition based qualification could be used in equipment qualification as an adjunct to qualified life. In equipment qualification, the condition of the equipment for which acceptable performance was demonstrated is the qualified condition. The qualified condition is the condition of equipment, prior to the start of a design basis event, for which the equipment was demonstrated to meet the design requirements for the specified service conditions.

Significant research has been performed on condition monitoring techniques and the use of these techniques in equipment qualification as noted in NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL - NUREG-52610) and JNES-SS-0903, 2009.

It is intended that this IEC/IEEE standard be used by test laboratories, operators of nuclear power plants, systems evaluators, and licensors.

b) Situation of the current standard in the structure of the IEC SC 45A standard series

Part 2 of IEC/IEEE 62582 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of application and performance of indenter modulus measurements in management of ageing of electrical instrument and control equipment in nuclear power plants.

Part 2 of IEC/IEEE 62582 is to be read in association with part 1 of IEC/IEEE 62582, which provides background and guidelines for the application of methods for condition monitoring of electrical equipment important to safety of nuclear power plants.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

c) Recommendations and limitations regarding the application of this standard

It is important to note that this Standard establishes no additional functional requirements for safety systems.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)

The top-level document of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorisation of functions and classification of systems, qualification, separation of systems, defence against common cause failure, software aspects of computer-based systems,

hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45A standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework and provides an interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of IEC 61508 as they have been interpreted for the nuclear industry. In this framework IEC 60880 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector.

IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA 50-C-QA (now replaced by IAEA GS-R-3) for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the Requirements NS-R-1, establishing safety requirements related to the design of Nuclear Power Plants, and the Safety Guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 2: Indenter modulus

1 Scope and object

This part of IEC/IEEE 62582 contains methods for condition monitoring of organic and polymeric materials in instrumentation and control systems using the indenter modulus technique in the detail necessary to produce accurate and reproducible measurements. It includes the requirements for the selection of samples, the measurement system and measurement conditions, and the reporting of the measurement results.

The different parts of IEC/IEEE 62582 are measurement standards, primarily for use in the management of ageing in initial qualification and after installation. Part 1 of IEC/IEEE 62582 includes requirements for the application of the other parts of IEC/IEEE 62582 and some elements which are common to all methods. Information on the role of condition monitoring in the qualification of equipment important to safety is found in IEEE Std 323.

This standard is intended for application to non-energised equipment.

2 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

2.1

indenter modulus

ratio between the changes in applied force and corresponding displacement of a probe of a standardised shape, driven into a material. It is expressed in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

NOTE The term “modulus” typically refers to the modulus of elasticity of a material which is defined as the ratio of the applied stress and the corresponding strain and is expressed in $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ (Pa). However, in the use of the indenter, it has become common practice to use the term indenter modulus to describe the ratio of the change in applied force to material deformation and express it in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

3 Abbreviations and acronyms

DBE	Design Basis Event
IM	Indenter Modulus
SiR	silicone rubber
CSPE	chlorosulphonated polyethylene
EPDM	ethylene propylene diene monomer
XLPE	crosslinked polyethylene

4 General description

A typical indenter uses an instrumented probe, which is driven at a fixed velocity into the material and includes a load cell or similar force-measuring device, connected to the probe, which measures the force necessary to maintain the constant velocity. The probe's displacement is measured by an appropriate transducer. The travel and force are purposely limited to protect the material from permanent damage. The indenter modulus is calculated by dividing the change in force by the corresponding displacement during inward travel.

5 Applicability, reproducibility, and complexity

5.1 General

When organic and polymeric materials age, they often harden which will result in an increase of indenter modulus. Some materials, such as some formulations of Butyl Rubber, soften during thermal and/or radiation ageing. The purpose of monitoring changes in indenter modulus is to estimate degradation rates and levels induced by ageing.

5.2 Applicability

The indenter method is commonly used to carry out measurements on cables (jackets, insulation) and o-rings. Its use requires special fixtures depending on the geometry of the samples.

This method should only be applied to materials whose hardness changes monotonically with ageing.

The indenter method may be carried out on equipment with high integrity in a non-invasive manner. However, the process of performing indenter measurements on equipment in field should include controls to ensure that damage – from the probe or from handling in order to access suitable measurement points – has not been imparted to the equipment. The process should include correction of any equipment that has been damaged or suspected of incurring damage.

Measurements in the field require access to the exterior wall of the equipment. For field measurements on cables, this often limits the measurements to jacket materials. It may be possible to assess the condition of cable insulation from indenter measurements on its jacket if there is a known relationship between the ageing degradation of the jacket material and the degradation of the insulation. This relationship shall be justified to be valid and sufficiently sensitive to provide the valid monitoring through life.

5.3 Reproducibility

Indenter modulus values can be influenced by variability in specimen dimensions and construction, temperature and moisture content of the specimen, stabilisation of the specimen, and contamination of the specimen. If measurements are made under excessive vibration, this can influence the measured value. The influence by variability in the specimen dimensions and construction is typically the case for measurements on cables, where the measurement point may be situated above a cavity beneath the jacket surface. The cross-section of typical cable core insulation may differ substantially from that of an ideal tube and can result in variability in the measured values of indenter modulus depending on where the measurement is made. These variations tend to be localised. Measurements shall be taken at several points on the equipment to compensate for these local variations (see 6.6).

An illustration of variations due to variability in specimen dimensions and construction is given in Annex A.

NOTE A good knowledge of the construction of the equipment is important before the selection of measurement positions is made. In the case of loosely constructed cables, the variability is expected to be high and it is important that the measurements on the jacket are made over a conductor rather than free space.

5.4 Complexity

The degree of complexity experienced during indenter modulus measurements in the field will often depend on cable accessibility. Existing instruments may be used in the field on cables that are accessible. In this case, data generation is rapid and measurements at a large number of points can be carried out over short time periods. Instruments can be configured such that data are generated and stored directly. Measurements on equipment with more complex geometries and limited accessibility may require the development of special fixtures. The same fixture shall be used for repeated indenter modulus measurements.

6 Measurement procedure

6.1 Stabilisation of the polymeric materials

An appropriate time period shall be allowed for the polymeric materials in recently manufactured equipments to stabilise before any condition monitoring or accelerated ageing programmes are carried out. The time period over which the polymeric materials stabilise is normally dependent on the processing additives and polymer composition. If manufacturers' stabilisation time data are not available, a period of 6 months should be allowed.

6.2 Sampling and measurement locations

Laboratory measurements of indenter modulus on samples selected from the field and indenter modulus measurements in the field only provide information on the status of the equipment at a specific location. Knowledge of the environmental conditions in representative areas during plant operation is a prerequisite for selecting locations. Since equipment heating and radiation effects could be most apparent closest to the sources of heat and radiation, the choice of locations should consider capturing the potential for significant ageing effects near sources of heating and radiation. The position of the locations and available information about the environmental time history of the locations selected shall be documented.

Sampling and measurement procedures shall comply with local instructions, taking into account the safety of personnel and equipment. Handling of equipment during measurement or removal of samples from the plant should be minimised e.g. cables should not be bent more than necessary for the measurement or for the removal of the sample.

6.3 Conditions for measurement

The surface on which the measurements are made shall be cleaned of surface debris. In the field, it may be necessary to apply a dry wipe to remove accumulated dirt from the surface and prevent contamination of the indenter instrument. Under no circumstances shall solvents be used for surface cleaning.

The indenter modulus varies with the temperature and moisture content of the sample as shown in Annex A.

When measurements are carried out in the laboratory, e.g. after accelerated thermal ageing, they shall be made in a surrounding air temperature of 20 ± 5 °C and a relative humidity of 45 % to 75 %. Samples shall be allowed time to reach equilibrium with their surroundings before measurements are started.

NOTE 1 Where the materials are hygroscopic, it should be noted that the sample can be extremely dry after artificial accelerated ageing as a consequence of long-term exposure to high temperatures in an oven. For these materials, the values of indenter modulus measured can be significantly higher than for a sample in equilibrium with the laboratory atmosphere. This is particularly important for condition monitoring of hygroscopic insulation material when the final value of indenter modulus, on which qualified condition is based, is measured on

completion of accelerated thermal ageing before the sample is subjected to a DBE test. Clause A.3 provides guidance on dealing with this specific concern.

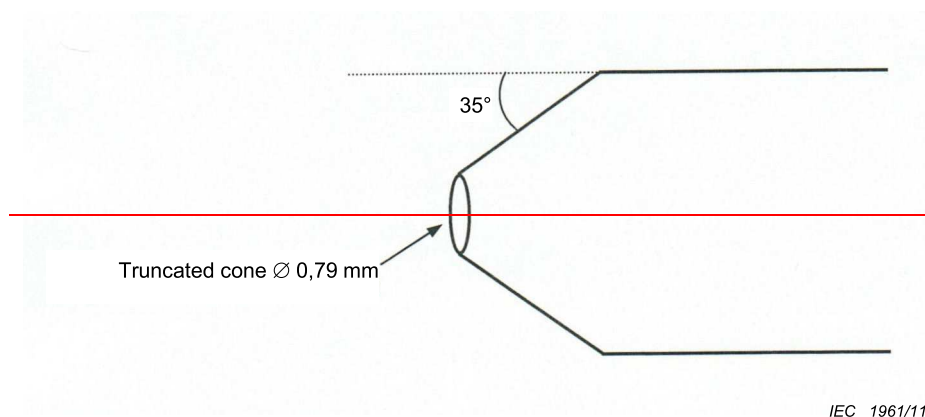
It may not be possible to make field measurements in standard atmospheric conditions. In such cases the surrounding air temperature and the temperature at the surface at which the measurements are made shall be recorded.

NOTE 2 Annex A shows a method for transformation of a measured indenter modulus to a corresponding modulus at a different temperature. In addition to reporting the temperature at which the value has been measured, it is recommended that the corresponding value at 20 °C be calculated and reported.

6.4 Instrumentation

The indenter functions by driving an instrumented probe at a fixed velocity into the material whilst a load cell or similar force-measuring device, connected to the probe, measures the applied force. The probe shall have the shape of a truncated steel cone with the geometry and dimensions shown in Figure 1. The probe's displacement is measured by an appropriate transducer. The point at which the tip of the probe is brought into contact with the material is sensed by a change in force. The probe's total displacement is normally limited to a fraction of a mm to prevent permanent deformation and to keep within the range of approximate linear proportionality between force and displacement. The indenter modulus (IM) is then calculated by dividing the change in force by the corresponding displacement during inward travel. The small displacements and loads that occur during this process prevent permanent effects on the material.

NOTE Although the total displacement is limited, for some materials the relationship between force and displacement is still significantly non-linear.



Dimensions in millimetres

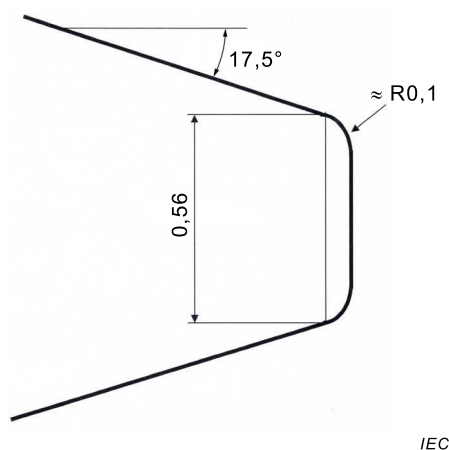


Figure 1 — ~~A schematic representation of the~~ Geometry and dimensions of the profile of the probe tip (truncated cone) used in the indenter

A typical indenter is a hand held cylindrical instrument. At the head of the instrument, an appropriate clamping device holds a cable or wire securely in position so that the probe can be driven uniformly into the jacket or insulation of the cable or wire respectively. The probe is situated within the instrument and is attached to a sensitive load cell. A servo-controlled electric motor with appropriate gearing provides the capability to drive the probe towards the sample and the probe's position is measured by a transducer. A temperature sensor is located close to the clamping device. The power and servo-control to the electric motor, and outputs from the load cell, transducer and temperature sensor are fed by cable into a separate controller which may be directly connected to a computer or capable of data storage in-situ which may be downloaded into a remote computer. Parameters such as probe velocity, and maximum load, and displacement are preloaded into the controller before the start of measurement. The instrument is also designed such that the cable clamp can be modified to allow calibration of the load cell using an appropriate weight and the probe travel using a dial gauge.

6.5 Calibration and tolerances

The indenter and the measurement system shall be calibrated before each series of measurements in accordance with the manufacturer's instructions. The calibration shall be carried out on both the force sensor and probe velocity. The total error of force measurement shall be less than 3 % of the upper limit of the force range, including instrumentation

tolerances as well as reading precision. The probe velocity shall be constant. The total measurement error of the required velocity shall be less than 2 %.

6.6 Selection of measurement points

In each of the selected locations for field measurements, measurements shall be carried out at several points and the mean value and standard deviation shall be reported. If the number of points is more than 7, the highest and lowest value shall be deleted before calculation of the mean value and the standard deviation. For measurements on cables, a minimum of three points around the circumference at each of three longitudinal positions shall be used. Where space is limited, it may not be possible to rotate around the cable circumference. In this case, a minimum of nine points shall be selected with a separation of 60 mm to 100 mm along the cable length.

In the case of laboratory measurements on samples of cables, a minimum of three points around the circumference at each of three longitudinal positions shall be used. None of the measurement points shall be less than 100 mm from the ends of the sample.

For measurements on o-rings, a similar number of points shall be measured if the size of the o-ring allows.

6.7 Selection of probe velocity and maximum force

Before the start of the measurement, the test parameters shall be loaded into the measurement system. In particular, the required maximum load and maximum displacement should be set as limits to prevent damage to the equipment measured.

The probe velocity can have a significant influence on the measured value of indenter modulus. The probe velocity shall be $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ to $5,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. The probe velocity that is selected shall be reported.

The maximum force that is selected needs to be a compromise between a value which is high enough to achieve reasonable resolution in the displacement axis and a value that is low enough to ensure that the probe does not damage the cable. For many polymeric insulation materials, a maximum force of 10 N is recommended. This will normally result in a probe penetration depth which is significantly less than 1 mm. For certain insulation materials, such as SiR, a maximum value lower than 10 N may be required to avoid excessive penetration.

6.8 Clamping

When carrying out measurements on cables, the measured value of indenter modulus may be strongly affected by variations in the force used to keep the cables securely in position within the clamp. In order to minimise these effects, the cable shall be clamped using the minimum force required to keep it in place. Problems in clamping shall be included in the measurement report.

6.9 Determination of the value of the indenter modulus

The indenter modulus is determined by the slope of the force-displacement curve and is expressed in $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

$$IM = (F_2 - F_1)/(d_2 - d_1) \quad (1)$$

where

IM is the indenter modulus;

F_i is the corresponding force value at displacement d_i .

IM shall be determined by using the values $F_1 = 1 \text{ N}$ and $F_2 = 4 \text{ N}$, see Figure 2.

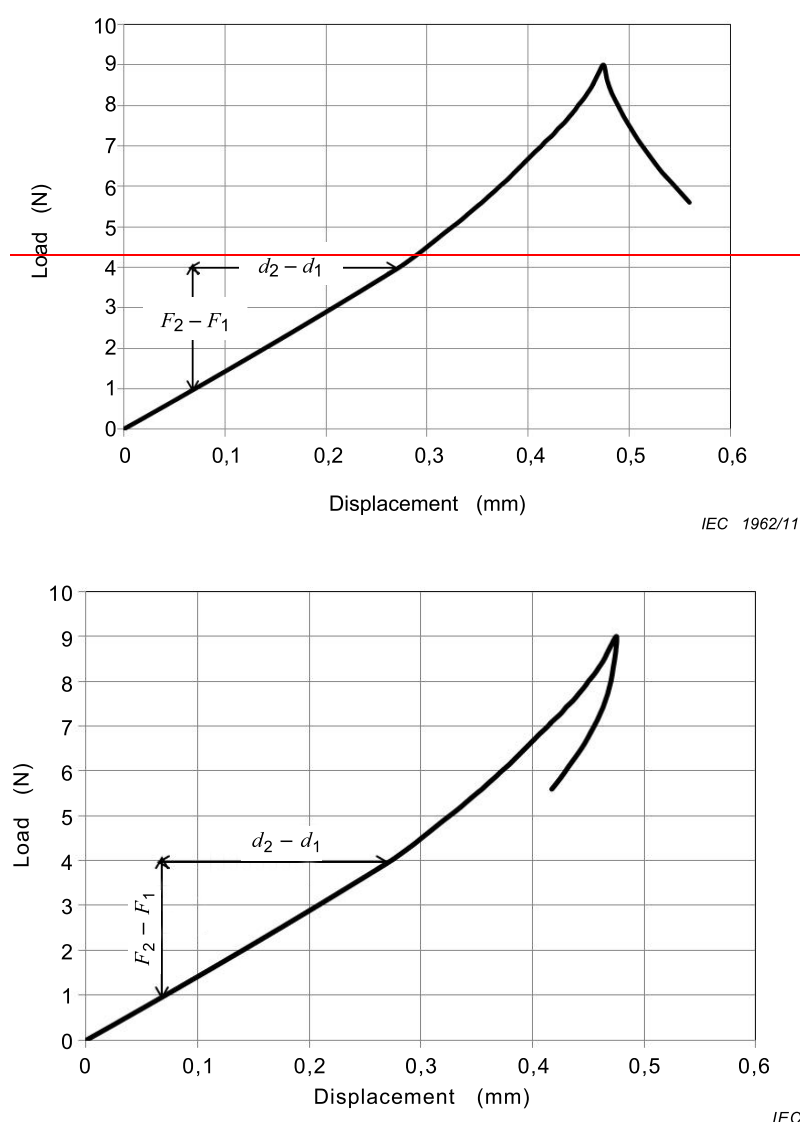


Figure 2 – Calculation of indenter modulus

NOTE Some instruments used for indenter measurements show the result in load versus time (in $\text{N}\cdot\text{s}^{-1}$). The value of the indenter modulus in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ is then calculated as the value in $\text{N}\cdot\text{s}^{-1}$ divided by the probe velocity in $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

6.10 Reporting

The measurement report shall as a minimum include the following items

- Identification of the equipment measured, including the material formulation. For selection of samples from the field or measurements in the field this shall include plant and location relative to heat and radiation sources (6.2).
- Pre-history of the equipment. This may include
 - indenter measurements on samples of new (un-aged) equipment: storage and time interval between production of the equipment sampled and start of the measurement (6.1);
 - indenter measurements on artificially aged samples: ageing conditions of the samples (6.2);
 - indenter measurements on naturally aged samples (e.g. field measurements): history of environmental conditions to which the sample has been subjected (6.2).

- c) Place and date of the measurement (laboratory, on-site).
- d) For laboratory measurement of samples subjected to artificial thermal ageing: time interval between removing the sample from the heat chamber until start of measurement (6.3).
- e) Ambient and surface temperature at the time of measurement (6.3).
- f) Other local conditions and situations encountered during measurement that may influence the results.
- g) Measurement instrumentation, including software version (6.4).
- h) Calibration procedure (6.5).
- i) Measurement points (6.6).
- j) Probe velocity (6.7).
- k) Maximum force (6.7).
- l) Mounting of the sample and problems in clamping (6.8).
- m) For measurements in the field: observations on the condition of the equipment before and after indenter measurements (6.2).
- n) Mean value and standard deviation of indenter modulus (after deleting the highest and lowest value), in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ together with information on the force interval for which it has been determined (normally 1 N to 4 N) (6.6 and 6.9).

NOTE If the indenter measurements are made at a temperature above 25 °C, it is recommended that the value referenced to 20 °C is also reported, calculated according to Annex A.

- o) Diagram showing a typical force versus displacement curve.
- p) Any other information of importance in interpretation of the measurement results in relation to the purposes of the measurements.

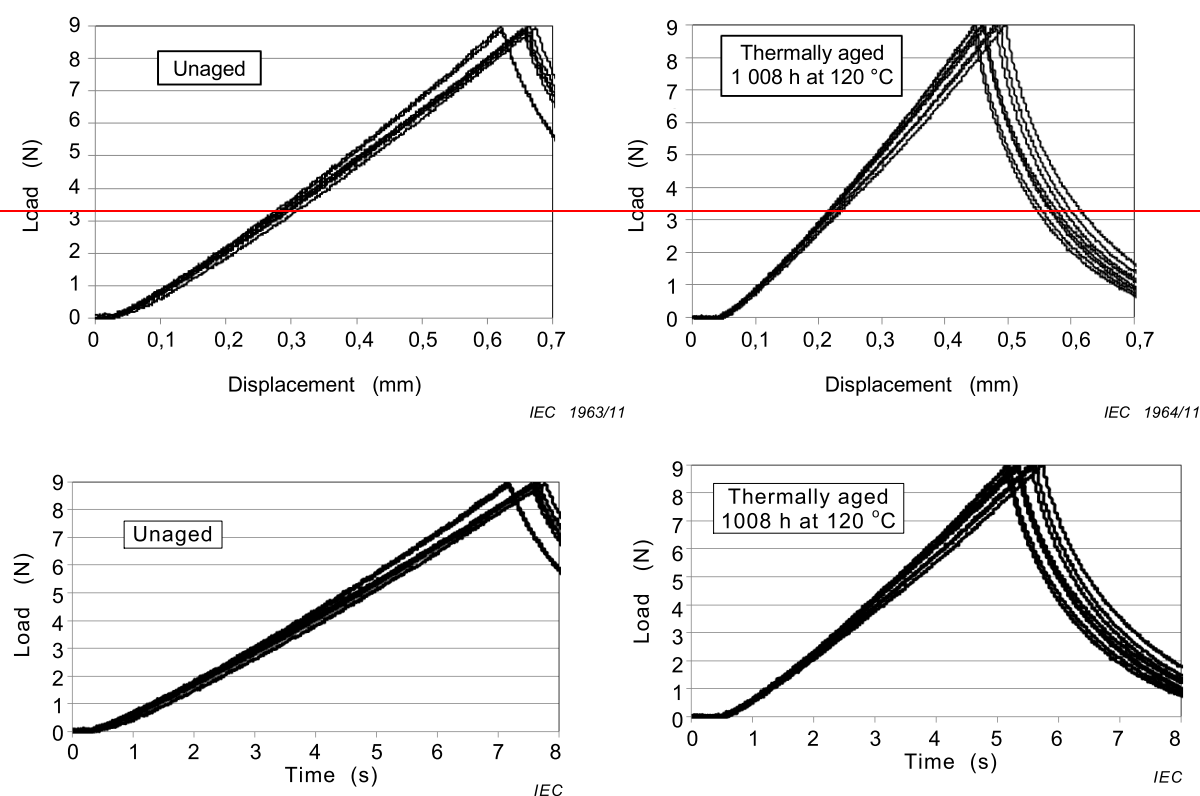
An example of a measurement report is given in Annex B.

Annex A (informative)

Examples illustrating factors affecting the variation of the indenter modulus value

A.1 Example of influence of variability in equipment dimensions and construction

Figure A.1 illustrates the variations due to variability in equipment dimensions and construction, showing sets of data from indenter measurements at eight points on the jacket of a 7 core cable with jacket material CSPE and insulator material EPDM. The mean values and standard deviations of the indenter modulus measured were $15,57 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ and $0,58 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ for the unaged cable jacket, $23,21 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ and $1,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ for the thermally aged cable jacket.



NOTE The probe velocity was $5,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ and the indenter modulus values were calculated from the slope between 1 N and 4 N by division by $5,2\cdot 60^{-1}$.

Figure A.1 – Example of local variation of indenter modulus due to variation in equipment dimensions and construction

A.2 Examples of temperature dependence

These examples come from a study of the temperature dependence of the indenter values of three types of thermally aged cables:

- jacket and lead insulation materials CSPE,
- jacket material CSPE, lead insulation material XLPE,

- jacket and lead insulation materials EPDM.

The measurements were made at 9 (3×3) points on the jacket and the indenter modulus values were obtained from the slope of the force-distance curve between 1 N and 4 N. All cables had been thermally aged at 120 °C for 48 days. The measurements were made after temperature stabilisation at 21 °C, 35 °C and 50 °C.

Figure A.2 shows the results in terms of mean values and standard deviation of the indenter modulus.

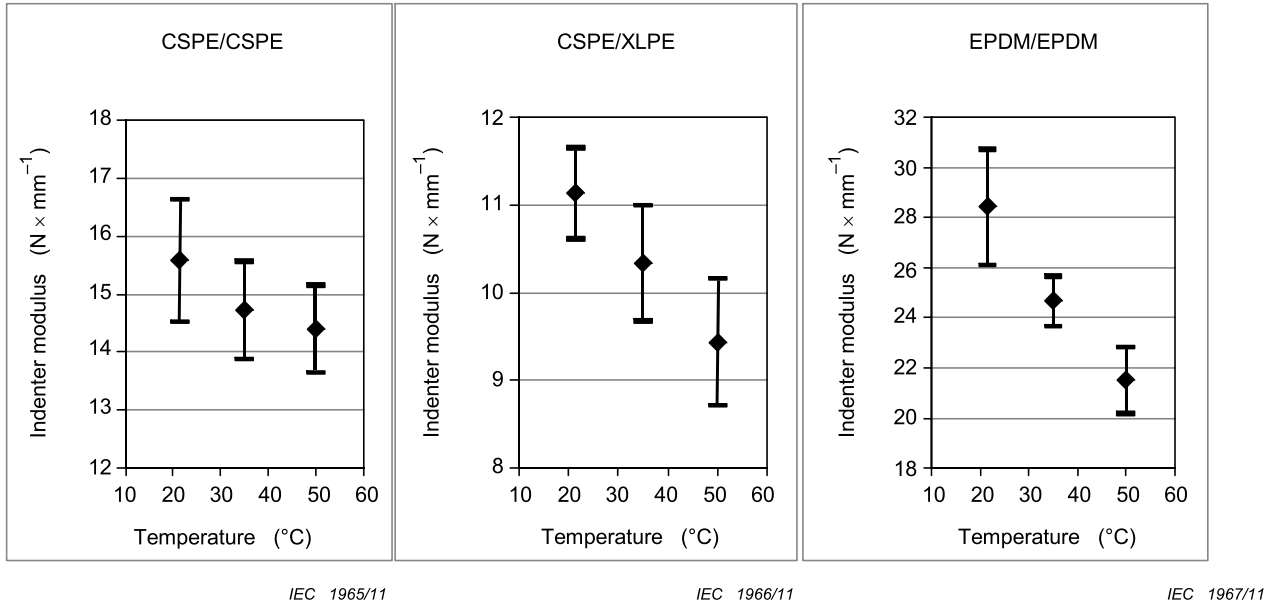


Figure A.2 – Indenter values measured at different temperatures

The results illustrate the temperature dependence of indenter modulus measurements.

In the case where indenter measurements are made at a temperatures which differ substantially from the standard temperature for testing t_{ref} (20 °C), e.g. on site, normalisation to a value IM_{ref} at 20 °C can be made. The calculated value of IM_{ref} is given by the following empirical formula

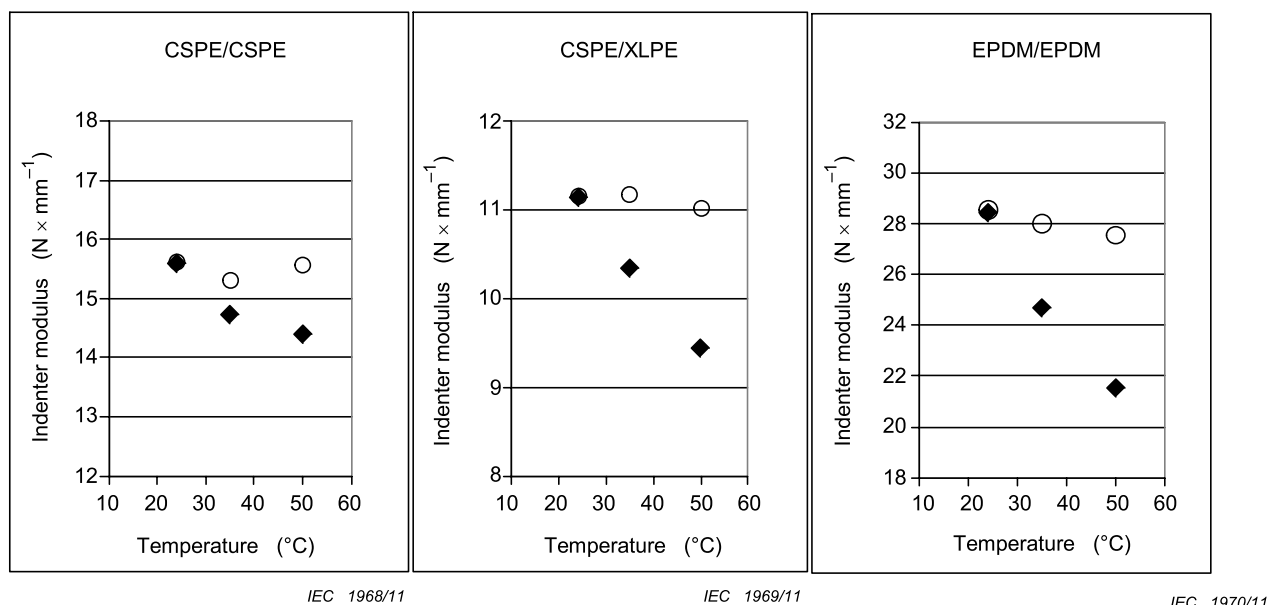
$$IM_{ref} = [1 + A \times (t - t_{ref}) / (t_1 - t_2)] \times IM_t \quad (A.1)$$

$$A = (IM_2 - IM_1) / [(IM_2 + IM_1)/2]$$

where

- t is the temperature at which the measurement in the field is made;
- IM_t is the measured value of indenter modulus at temperature t ;
- IM_1 and IM_2 are the values of indenter modulus at two different temperatures t_1 and t_2 respectively from laboratory measurements made on the same material.

t_1 should be selected in the region of the highest temperature at which measurements in the field may be made, and t_2 should be in the region of 20 °C. Figure A.3 shows the mean values in Figure A.2 normalised according to Equation (A.1).



NOTE The diamond represents the measured value and the circle represents the normalised value.

Figure A.3 – Normalised indenter mean values

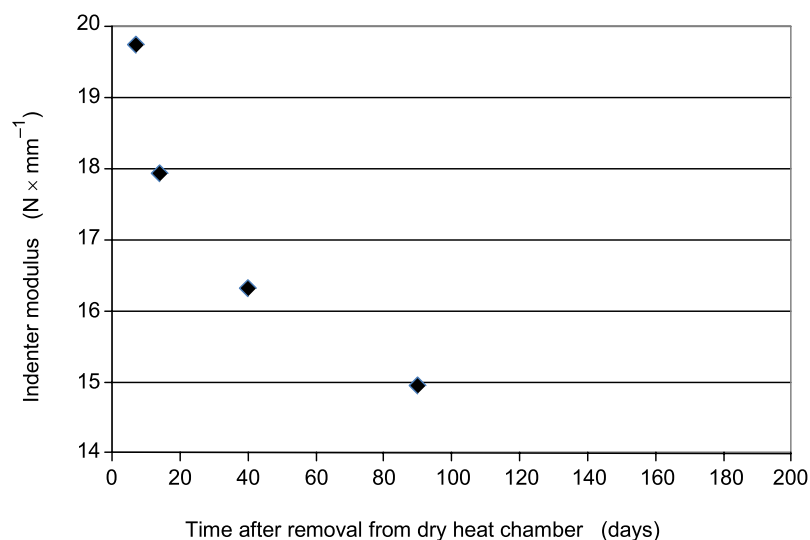
The normalisation works well over the measurement temperature interval 20 $^{\circ}C$ to 50 $^{\circ}C$.

To summarise, the recommendation is

- If practicable, to measure the indenter modulus after stabilisation to a standard laboratory temperature of 20 $^{\circ}C$.
- If it is foreseen that measurements will be made on site at significantly higher temperature than standard laboratory temperature, e.g. for comparison with qualified condition, it is recommended that the relevant value of A is determined and reported by using measurements at two temperatures (laboratory temperature and one elevated temperature, close to what can be expected in site measurements). This should be carried out after the artificial laboratory ageing which forms part of the initial qualification testing.

A.3 Examples of effects on the indenter modulus from drying out after high temperature ageing

Most organic and polymeric materials currently used in-containment are not significantly hygroscopic. If hygroscopic materials are used, the influence of the moisture content of the material on indenter modulus can be significant and should be taken into account. An example of the influence for such a material is shown in Figure A.4. The example shows the change of the indenter modulus after removal from the dry heat chamber used for artificial ageing (120 $^{\circ}C$ during 46 days). The change is due to the gradual restoration of the normal moisture content when subjected to the laboratory climatic conditions.

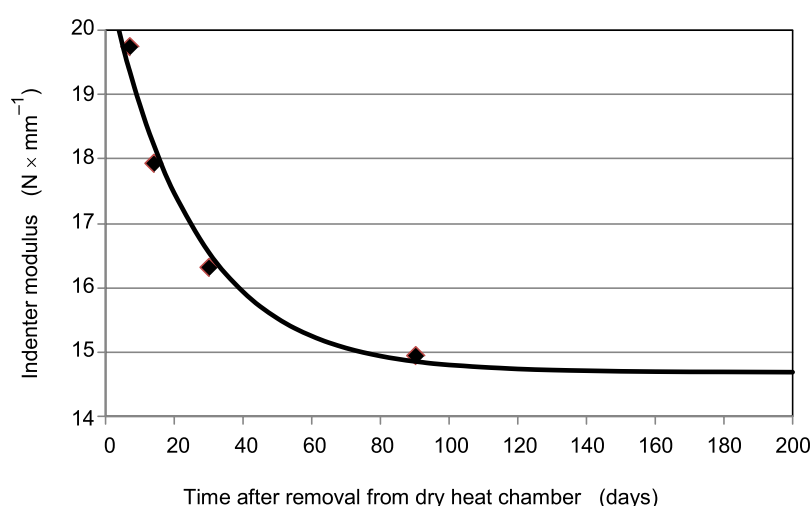


IEC 1971/11

Figure A.4 – Example of change of indenter modulus value in laboratory conditions of a hygroscopic sample after removal from long-term exposure in a heat chamber

As shown in Figure A.4, moisture stabilisation in the laboratory after drying out of a hygroscopic sample can take a long time. It may not be practical to allow the time needed for the sample to attain moisture equilibrium before subjecting the sample to simulated design basis event conditions. A practical solution is to measure the indenter modulus versus time in the laboratory on one of the samples which has been subjected to the accelerated ageing whilst the other samples are subjected to simulated design basis event conditions. The resulting curve, similar to Figure A.4, can be used to estimate an indenter modulus value which represents normal moisture conditions. This value can then be used as the qualified condition.

By adapting a fitting decay curve, the indenter modulus value after restoration of the moisture content related to laboratory conditions can be estimated. This is illustrated in Figure A.5.



IEC 1972/11

NOTE The decay curve has the form $Ae^{-kt} + B$, where t is the time after removal. The estimated value after restoration of the moisture content to laboratory conditions is $14,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Figure A.5 – Adaptation of a decay curve to the measured indenter modulus values in Figure A.4

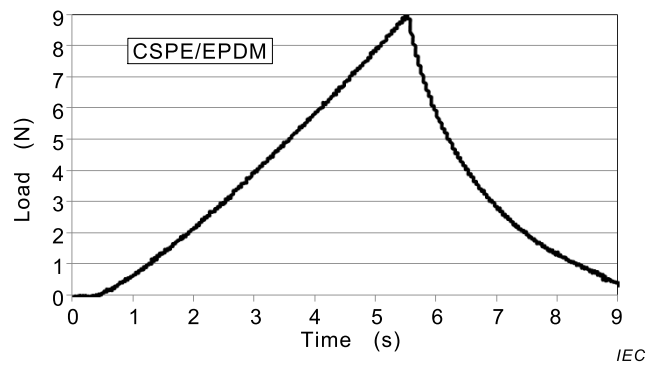
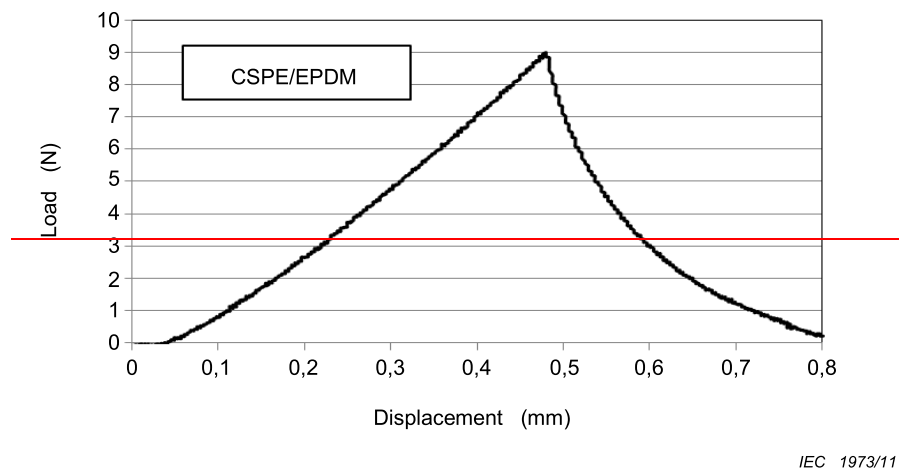
Annex B (informative)

Example of a measurement report for indenter measurements in laboratory

This example is from the round-robin test programme carried out as part of an IAEA coordinated research programme on cable ageing.

Equipment ID	274 Cable FSSR 7X1
Material	Jacket: CSPE (2 mm) – blue. Insulation and conductors: 7 core EPDM on stranded Cu – grey (0,7 mm)
Pre-history	Artificially aged in dry heat test chamber. Method: IEC 60068 Test Ba. Ageing conditions: 120 °C for 42 days
Place and date of measurement	2 February 1998 Measurement in laboratory at ABB Atom, Västerås
Conditions for measurement	Time interval between removing the sample from the heat chamber until start of indenter measurement: > 30 days Measurement temperature: 21,5 °C
Instrument	OGDEN CI 96100007
Calibration	Before measurements according to the instrument manufacturer's instructions. Force calibrated with weights, probe velocity calibrated with stop-watch. See calibration report No xxxx
Measurement points	3 points on the jacket around the circumference at each of three cross-sections
Probe velocity	5,162 mm·min ⁻¹
Maximum force	9 N
Mounting	Clamped in fixture provided by the instrument manufacturer with minimum force required to keep the cable in place. Fixture type large used.
Indenter modulus value	Mean value 23,39 N·mm ⁻¹ ; Standard deviation 0,99 N·mm ⁻¹ . (After deletion of the highest and lowest values)

(Measurements in 8 points on the lead insulation (separately aged) showed a mean value of 29,35 N·mm⁻¹ with a standard deviation of 2,34 N·mm⁻¹.)



NOTE The indenter modulus value was calculated from the slope between 1 N and 4 N by division by $5,162 \cdot 60^{-1}$.

Figure B.1 – Example of measured force versus ~~displacement~~ time

Signature

Date

Bibliography

IEC 60544-5, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 5: Procedures for assessment of ageing in service*

IEC 60780, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC/IEEE 62582-1, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods – Part 1: General*

IEEE Std 323:2003, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

JNES-SS-0903:2009, *The final report of the project “Assessment of cable ageing for nuclear power plant”. T. Yamamoto & T. Minikawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System Safety Division*

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables, IAEA, Vienna*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
INTRODUCTION.....	26
1 Domaine d'application et objet	28
2 Termes and définitions	28
3 Abréviations et acronymes	28
4 Description générale.....	29
5 Applicabilité, reproductibilité et complexité	29
5.1 Généralités.....	29
5.2 Applicabilité.....	29
5.3 Reproductibilité	29
5.4 Complexité	30
6 Procédure de mesure	30
6.1 Stabilisation des polymères	30
6.2 Echantillonnage et localisation des points de mesure	30
6.3 Conditions de mesure	30
6.4 Instrumentation.....	31
6.5 Etalonnage et tolérances	32
6.6 Sélection des points de mesure	33
6.7 Sélection de la vitesse de la sonde et de la force maximale exercée.....	33
6.8 Serrage	33
6.9 Détermination de la valeur du module indenter	33
6.10 Compte rendu.....	34
Annexe A (informative) Exemples de facteurs induisant des écarts au niveau de la mesure du module indenter.....	36
Annexe B (informative) Exemple de rapport de mesure du module indenter en laboratoire	40
Bibliographie	42
Figure 1 – Représentation schématique de la Géométrie et des dimensions correspondant au profil de l'extrémité de la sonde (cône tronqué) utilisée pour le poinçonnement.....	32
Figure 2 – Calcul du module indenter	34
Figure A.1 – Exemple de variation locale de la valeur du module indenter due à la variation de dimension et de construction de l'équipement.....	36
Figure A.2 – Valeur du module indenter mesuré à différentes températures	37
Figure A.3 – Valeurs normalisées moyennes du module indenter	38
Figure A.4 – Exemple de variation de la valeur du module indenter d'un échantillon hygroscopique observée en laboratoire après retrait du four suite à un long séjour	39
Figure A.5 – Adaptation de la courbe de décroissance de la valeur du module indenter de la Figure A.4	39
Figure B.1 – Exemple de la force mesurée en fonction du déplacement temps	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTES POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 2: Module indenter

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.

Les normes de l'IEEE sont élaborées par les Sociétés de l'IEEE, ainsi que par les Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA). Ces normes sont l'aboutissement d'un consensus, soumis à l'approbation de l'Institut national américain de normalisation, qui rassemble des bénévoles représentant divers points de vue et intérêts. Les participants bénévoles ne sont pas nécessairement membres de l'IEEE et leur intervention n'est pas rétribuée. Si l'IEEE administre le déroulement de cette procédure et définit les règles destinées à favoriser l'équité du consensus, l'IEEE lui-même n'évalue pas, ne teste pas et ne vérifie pas l'exactitude de toute information contenue dans ses normes. L'utilisation de normes de l'IEEE est entièrement volontaire. Les documents de l'IEEE sont disponibles à des fins d'utilisation, à condition d'être assortis d'avis importants et de clauses de non-responsabilité (voir <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> pour de plus amples informations).

L'IEC travaille en étroite collaboration avec l'IEEE, selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations. Cette norme internationale double logo a été élaborée conjointement par l'IEC et l'IEEE, conformément aux dispositions de cet accord.

- 2) Les décisions officielles 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. Une fois le consensus établi entre les Sociétés de l'IEEE et les Comités de coordination des normes, les décisions officielles de l'IEEE relatives aux questions techniques sont déterminées en fonction du vote exprimé par un groupe à la composition équilibrée, composé de parties intéressées qui manifestent leur intérêt pour la révision des normes proposées. L'approbation finale de la norme de l'IEEE est soumise au Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA).
- 3) Les Publications IEC/IEEE se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC/Sociétés de l'IEEE. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin de s'assurer de l'exactitude du contenu technique des Publications IEC/IEEE; l'IEC ou l'IEEE ne peuvent pas être tenus responsables 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 (y compris les Publications IEC/IEEE) dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications IEC/IEEE et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC et l'IEEE eux-mêmes ne fournissent 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 et l'IEEE ne sont responsables 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 ou à l'IEEE, 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, ou les bénévoles des Sociétés de l'IEEE et des Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA), 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 IEC/IEEE ou toute autre publication de l'IEC ou de l'IEEE, 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 fait que la mise en application de cette Publication IEC/IEEE peut requérir l'utilisation de matériels protégés par des droits de brevet. En publiant cette norme, aucun parti n'est pris concernant l'existence ou la validité de droits de brevet y afférents. Ni l'IEC ni l'IEEE ne peuvent être tenus d'identifier les revendications de brevet essentielles pour lesquelles une autorisation peut s'avérer nécessaire, d'effectuer des recherches sur la validité juridique ou l'étendue des revendications des brevets, ou de déterminer le caractère raisonnable ou non discriminatoire des termes ou conditions d'autorisation énoncés dans le cadre d'un Certificat d'assurance, lorsque la demande d'un tel certificat a été formulée, ou contenus dans tout accord d'autorisation. Les utilisateurs de cette norme sont expressément informés du fait que la détermination de la validité de tous droits de propriété industrielle, ainsi que les risques qu'impliquent la violation de ces droits, relèvent entièrement de leur seule responsabilité.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC/IEEE 62582-2 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2011-08) [documents 45A/841/FDIS et 45A/850/RVD] et son amendement 1 (2016-02) [documents 45A/1054/FDIS et 45A/1067/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC/IEEE 62582-2 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire, en coopération avec le « Nuclear Power Engineering Committee » de la « Power & Energy Society » de l'IEEE¹, selon l'accord double logo IEC/IEEE entre l'IEC et l'IEEE.

La présente publication est une norme double logo IEC/IEEE.

Les normes internationales sont rédigées selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC/IEEE 62582, présentées sous le titre général *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

¹ Les listes des participants IEEE sont disponibles aux adresses suivantes: http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-2011/62582-2-2011_wg-participants.pdf et http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-amd1-2016/62582-2-amd1-2016_wg-participants.pdf.

Le comité d'études de l'IEC et le comité d'études de l'IEEE ont décidé que le contenu de cette publication et de son amendement 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.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions importantes et structure de la présente norme

La présente partie de cette norme IEC/IEEE s'intéresse plus particulièrement aux méthodes de module indenter utilisées dans le cadre de surveillance d'état pour la gestion du vieillissement des matériels électriques installés dans les centrales nucléaires. La méthode indenter est communément utilisée pour réaliser des mesures sur les câbles (gaine externe, isolant) et sur les joints toriques.

Cette partie est la seconde de la série IEC/IEEE 62582. Elle contient une description détaillée de la surveillance d'état basée sur les mesures faites par module indenter.

La série IEC/IEEE 62582 est publiée en double logo ce qui la rend applicable pour la gestion du vieillissement des matériels électriques qualifiés tant dans le cadre des normes IEEE que dans celui des normes IEC.

Historiquement, la norme IEEE 323-2003 a introduit le concept et le rôle complémentaire que pouvait jouer la qualification reposant sur l'état du matériel dans le cadre de la qualification des matériels au niveau de la durée de vie certifiée. Dans le cadre de la qualification du matériel, l'état du matériel pour lequel des performances acceptables ont été prouvées correspond à l'état qualifié. L'état qualifié est l'état de l'équipement prévalant au début d'un événement de dimensionnement, pour lequel il a été démontré que le matériel satisfaisait aux exigences de conception pour les conditions de service spécifiées.

Des recherches importantes ont été réalisées sur les techniques de surveillance de l'état des matériels et l'utilisation de ces techniques dans le cadre de la qualification des matériels, comme indiqué dans les documents NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610) et JNES-SS-0903, 2009.

L'objectif de la présente norme IEC/IEEE est d'être utilisée par les laboratoires d'essai, les exploitants de centrales nucléaires, les évaluateurs de système et par les régulateurs.

b) Position de la présente norme dans la collection de normes du SC 45A de l'IEC

La partie 2 de l'IEC/IEEE 62582 est le document du SC 45A de l'IEC de troisième niveau qui traite du problème particulier de l'application et des performances des mesures faites par module indenter dans le cadre de la gestion du vieillissement des matériels électriques d'I&C utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

La partie 2 de la norme IEC/IEEE 62582 doit être lue avec la partie 1 de la norme IEC/IEEE 62582, qui fournit les éléments de contexte et des recommandations pour l'application des méthodes de surveillance d'état des matériels électriques importants pour la sûreté utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de l'IEC, voir le point d) de cette introduction.

c) Recommandations et limites relatives à l'application de présente norme

Il est important de noter que la présente norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté.

d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de l'IEC et relations avec d'autres documents de l'IEC et d'autres organisations (AIEA, ISO)

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de l'IEC est l'IEC 61513. Cette norme traite des exigences relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires, et structure la collection de normes du SC 45A de l'IEC.

L'IEC 61513 fait directement référence aux autres normes du SC 45A de l'IEC traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec l'IEC 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas référencées directement par l'IEC 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de l'IEC correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

L'IEC 61513 a adopté une présentation similaire à celle de l'IEC 61508, avec un cycle de vie et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et une interprétation des exigences générales des IEC 61508-1, IEC 61508-2 et IEC 61508-4 pour le secteur nucléaire. La conformité à l'IEC 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de l'IEC 61508 telles qu'elles ont été interprétées dans l'industrie nucléaire. Dans ce cadre, l'IEC 60880 et l'IEC 62138 correspondent à l'IEC 61508-3 pour le secteur nucléaire.

L'IEC 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA GS-R-3) pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Les normes produites par le SC 45A de l'IEC sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier avec le document d'exigences NS-R-1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires et avec le guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite de l'instrumentation et du contrôle commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 2: Module indenter

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC/IEEE 62582 présente des méthodes de surveillance d'état de matériaux organiques et de polymères des systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande en utilisant une technique de module indenter, de façon suffisamment détaillée pour obtenir des mesures reproductibles et précises. Elle comprend des exigences concernant la sélection d'échantillons, les systèmes de mesure et les conditions de mesure, ainsi que les rapports des résultats de mesure.

Les différentes parties de l'IEC/IEEE 62582 sont des normes de mesure, principalement destinées à être utilisées pour la gestion du vieillissement dans le cadre de la qualification initiale et après installation. La partie 1 de l'IEC/IEEE 62582 fournit des exigences applicables pour toutes les autres parties de l'IEC/IEEE 62582 et certains éléments communs à toutes les méthodes. L'IEEE 323 fournit des informations concernant le rôle de la surveillance de l'état dans la qualification des équipements importants pour la sûreté.

Cette norme est applicable aux équipements qui ne sont pas sous tension.

2 Termes and définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1

module indenter

rapport entre les différences des forces appliquées pour obtenir une pénétration donnée d'une sonde de forme standard dans un matériau. Celui-ci est exprimé en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

NOTE Le terme "module" fait typiquement référence au module d'élasticité du matériau qui est défini comme le rapport des contraintes appliquées pour obtenir une déformation élastique donnée et qui est exprimé en $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ (Pa). Cependant, dans le cas de l'utilisation d'un poinçon, il est courant d'employer le terme « module indenter » pour décrire le rapport entre les forces appliquées pour déformer le matériau et d'exprimer celui-ci en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

3 Abréviations et acronymes

EDD	Evènement De Dimensionnement
IM	Module indenter
SiC	Caoutchouc silicone
CSPE	Polyéthylène chlorosulphoné
EPDM	Caoutchouc éthylène-propylène diène
XLPE	Polyéthylène réticulé

4 Description générale

On utilise généralement une sonde instrumentée pour le poinçonnement, qui pénètre le matériau à une vitesse donnée, celui-ci comprenant une cellule de charge ou dispositif de mesure de force équivalent, branchée sur la sonde, qui mesure la force nécessaire pour maintenir la vitesse constante. Le déplacement de la sonde est mesuré par un dispositif adapté. Le déplacement ainsi que la vitesse sont limités pour protéger le matériau d'une détérioration irréversible. Le module indenter est calculé en faisant le rapport des forces appliquées évoluant pour une déformation donnée durant le déplacement à l'intérieur du matériau.

5 Applicabilité, reproductibilité et complexité

5.1 Généralités

Lorsque des matériaux organiques ou des polymères vieillissent, ils durcissent souvent, ce qui entraîne une augmentation du module indenter. Certains matériaux, tels que certaines formules de caoutchouc de butyle, ramollissent sous l'effet du vieillissement thermique et/ou des rayonnements. L'objectif de la surveillance de l'évolution du module indenter est l'estimation des vitesses et des niveaux de dégradation causés par le vieillissement.

5.2 Applicabilité

La méthode indenter est généralement utilisée pour réaliser des mesures sur les câbles (gainés, isolant) et les joints toriques. Son utilisation nécessite des fixations particulières adaptées aux formes des échantillons.

Il convient que cette méthode ne soit appliquée que pour des matériaux dont la dureté varie de façon monotone par rapport au vieillissement.

La méthode indenter peut être appliquée pour des équipements présentant un niveau d'intégrité élevé de façon non intrusive. Cependant, il convient que le processus de réalisation de mesures de module indenter sur des équipements sur le terrain comprenne les contrôles permettant de garantir que les détériorations – causées par la sonde ou dues aux manipulations nécessaires pour atteindre les points de mesure – n'ont pas dégradé l'équipement. Il convient que le processus mette en œuvre les réparations nécessaires pour prendre en compte tout équipement qui a été endommagé ou qui est susceptible de subir une détérioration.

Les mesures réalisées sur le terrain n'ont accès qu'à la paroi externe de l'équipement. Concernant les mesures sur les câbles faites sur le terrain, ceci limite de fait les mesures aux matériaux de gainage des câbles. Il peut être possible d'évaluer l'état de l'isolant du câble à partir des mesures réalisées sur sa gaine, si une relation entre la dégradation liée au vieillissement du matériau de gainage et la dégradation liée au vieillissement de l'isolant du câble est connue. La validité de cette relation doit être démontrée et elle doit être suffisamment sensible pour permettre une surveillance correcte durant la vie du câble.

5.3 Reproductibilité

Les valeurs du module indenter peuvent être influencées par les différences observées aux niveaux des dimensions et de la constitution interne des spécimens, par la température et l'humidité des spécimens, par la stabilité des spécimens et par la contamination des spécimens. Si des mesures sont réalisées en présence de vibrations excessives, cela peut avoir une influence sur la valeur mesurée. L'influence liée aux différentes dimensions des spécimens et leurs constitutions est généralement observée dans le cas de mesures pratiquées sur les câbles, lorsque le point de mesure peut être situé au-dessus d'une cavité présente sous la surface de la gaine. La coupe transversale de l'isolant du conducteur d'un câble classique peut être significativement différente de celle d'un tube idéal et ceci peut, suivant l'endroit où la mesure est faite, entraîner des variations au niveau des valeurs

mesurées pour le module indenter. Ces variations tendent à être localisées. Les mesures doivent être réalisées en différents points de l'équipement afin de compenser ces variations localisées (voir 6.6).

Une illustration des variations dues aux différences entre les dimensions et les constitutions des spécimens est donnée en Annexe A.

NOTE Une bonne connaissance de la constitution de l'équipement est importante avant de faire le choix de la position du point de mesure. Lorsque la fabrication des câbles n'a pas été rigoureuse, on peut s'attendre à avoir des variations significatives et il est important que les mesures sur la gaine soient réalisées au contact du conducteur plutôt qu'au dessus d'une cavité.

5.4 Complexité

Le degré de complexité auquel on doit faire face pour réaliser des mesures de module indenter sur le terrain dépend souvent de difficulté rencontrée pour accéder aux câbles. Des systèmes d'instrumentation installés de façon permanente peuvent être utilisés sur le terrain pour les câbles accessibles. Dans ce cas, la génération des données est rapide et les mesures peuvent être réalisées en un grand nombre de points sur une période de temps courte. Les instruments peuvent être configurés pour que ces données soient produites et stockées directement. Les mesures à réaliser sur des équipements présentant des géométries plus complexes et des possibilités d'accès limitées peuvent demander la mise en œuvre de systèmes de fixations particuliers. Les mêmes systèmes de fixation doivent être utilisés pour répéter les mesures du module indenter.

6 Procédure de mesure

6.1 Stabilisation des polymères

Un délai approprié doit être prévu pour que les polymères des équipements fabriqués récemment se stabilisent avant de réaliser toute surveillance de l'état ou tout programme de vieillissement accéléré. Cette période de temps durant laquelle les polymères se stabilisent dépend normalement des additifs de traitement et de la composition des polymères. Si des données concernant le temps de stabilisation ne sont pas disponibles auprès du fabricant, il convient de prendre un délai de 6 mois.

6.2 Echantillonnage et localisation des points de mesure

Les mesures du module indenter réalisées en laboratoires sur des échantillons prélevés sur le terrain et les mesures du module indenter réalisées sur le terrain fournissent seulement des informations sur l'état d'un équipement installé à un endroit précis. La connaissance des conditions d'environnement dans des zones représentatives de l'exploitation de la tranche est un pré-requis pour choisir la localisation des points de mesure. Comme les effets liés à l'échauffement des équipements et aux rayonnements peuvent être plus importants à proximité des sources de chaleur et de rayonnements, il convient de considérer le choix de la localisation des points de mesure en prenant en compte cela. La position des points de mesure et l'information disponible à propos de l'historique environnemental de la localisation de ces points de mesure doivent être documentées.

Les procédures d'échantillonnage et de mesure doivent être conformes aux consignes locales, prenant en compte la sûreté des personnels et des équipements. Il convient de limiter au minimum les manipulations des équipements au cours des mesures ou lors du prélèvement des échantillons sur l'installation, par exemple il convient que les câbles ne soient pas courbés plus que nécessaire lors de la mesure ou lors du prélèvement de l'échantillon.

6.3 Conditions de mesure

La surface sur laquelle les mesures sont à faire ne doit pas présenter de débris de surface. Sur le terrain, il peut être nécessaire de procéder à un essuyage à sec pour enlever la saleté

présente en surface et empêcher toute contamination du dispositif de poinçonnement. En aucun cas on ne doit utiliser de solvants pour nettoyer la surface.

Le module indenter varie avec la température et l'humidité contenue dans l'échantillon comme indiqué par l'Annexe A.

Lorsque les mesures sont réalisées en laboratoire, par exemple suite à un vieillissement thermique accéléré, elles doivent être faites dans de l'air ambiant à une température de 20 ± 5 °C, avec une humidité relative située entre 45 % et 75 %. On doit prévoir suffisamment de temps pour que les échantillons se stabilisent de façon équilibrée par rapport à l'environnement ambiant avant de commencer les mesures.

NOTE 1 Lorsque les matériaux sont hygroscopiques, il convient de noter que les échantillons peuvent être extrêmement secs à la suite du vieillissement artificiel accéléré, ceci étant dû à l'exposition long terme à des températures élevées dans un four. Pour ces matériaux, les valeurs du module indenter mesurées peuvent être significativement plus élevées que celles observées pour un échantillon à l'équilibre avec les conditions d'ambiance du laboratoire. Ceci est particulièrement important pour la surveillance de l'état des matériaux isolants hygroscopiques, lorsque la valeur finale du module indenter, sur laquelle repose l'état qualifié, est mesurée à la suite d'un vieillissement thermique accéléré avant que cet échantillon ne soit soumis à un essai de EDD. L'Article A.3 fournit des recommandations pour traiter de ces questions particulières.

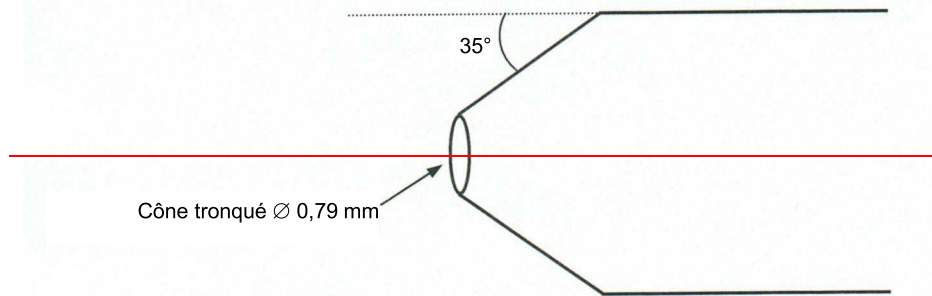
Il peut être impossible de réaliser des mesures sur le terrain en ambiance atmosphérique normale. Dans ce cas la température de l'air environnant et la température de surface pour lesquelles les mesures sont faites doivent être enregistrées.

NOTE 2 L'Annexe A montre une méthode permettant d'établir les valeurs mesurées du module indenter à différents niveaux de température. En plus de noter la température à laquelle la valeur a été mesurée, il est recommandé que la valeur correspondant à 20 °C soit calculée et enregistrée.

6.4 Instrumentation

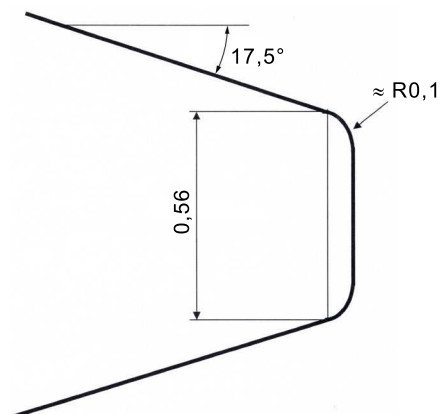
Le poinçonnement est réalisé en faisant pénétrer une sonde instrumentée à une vitesse constante dans le matériau, alors qu'une cellule de charge ou un dispositif de mesure de force équivalent, connecté à la sonde, mesure la force appliquée. La sonde doit avoir la forme d'un cône en acier tronqué dont la géométrie et les dimensions sont présentées par la Figure 1. Le déplacement de la sonde est mesuré par un dispositif approprié. Le point de l'extrémité de la sonde qui est au contact du matériau est sensible au changement de force exercée. Le déplacement total de la sonde est normalement limité à une fraction de mm pour prévenir toute déformation irréversible et pour rester dans le domaine où la force exercée et le déplacement sont à peu près linéairement proportionnels. Le module indenter est alors calculé en divisant la variation de la force exercée par le déplacement correspondant durant la pénétration. Les faibles charges et les faibles déplacements mis en œuvre par ce procédé empêchent l'apparition d'effets irréversibles pour le matériau.

NOTE Bien que le déplacement total soit limité, pour certains matériaux la relation liant la force exercée et le déplacement est significativement non linéaire.



IEC 1961/11

Dimensions en millimètres



IEC

Figure 1 – ~~Représentation schématique de la~~ Géométrie et ~~des~~ dimensions correspondant au profil de l'extrémité de la sonde (cône tronqué) utilisée pour le poinçonnement

Généralement un poinçon est un instrument cylindrique manipulable à la main. A l'extrémité de l'instrument, un dispositif approprié de serrage maintient le câble ou le fil dans une position de sécurité pour que la sonde puisse pénétrer uniformément dans la gaine ou dans l'isolant du câble ou du fil respectivement. La sonde est située dans l'instrument et est reliée à une cellule de charge sensible. Un servomoteur et un appareillage approprié permettent de faire pénétrer la sonde dans l'échantillon et la position de la sonde est mesurée par un capteur de position. Un capteur de température est situé à proximité des dispositifs de serrage. L'alimentation électrique et les signaux de commande des moteurs électriques, ainsi que les sorties de la cellule de charge, du capteur de position et du capteur de température sont transmis par des câbles reliés à un contrôleur séparé qui peut être branché directement à un ordinateur ou qui peut enregistrer les données sur site qui ensuite peuvent être déchargées sur un ordinateur distant. Les paramètres tels que la vitesse de la sonde, la force maximale exercée et le déplacement sont chargés à l'avance sur le contrôleur avant de commencer la mesure. L'instrument est aussi conçu pour qu'on puisse modifier le système de serrage du câble pour permettre l'étalonnage de la cellule de charge en utilisant des poids adaptés et le déplacement de la sonde en utilisant un comparateur.

6.5 Etalonnage et tolérances

Le poinçon et le système de mesure doivent être étalonnés avant chaque série de mesures conformément aux recommandations du fabricant. L'étalonnage doit être réalisé pour le capteur de force comme pour le capteur de vitesse. L'erreur totale relative à la mesure de la force doit être inférieure à 3 % de la valeur maximale de la gamme de force exercée, ceci prenant en compte les tolérances associées à l'instrumentation comme à la précision de la

lecture. La vitesse de déplacement de la sonde doit être constante. L'erreur totale relative à la mesure de la vitesse demandée doit être inférieure à 2 %.

6.6 Sélection des points de mesure

On doit réaliser des mesures en plusieurs points de chacun des endroits choisis pour effectuer les mesures sur le terrain, on doit calculer et enregistrer la moyenne des mesures et l'écart type. Si le nombre de points est supérieur à sept, la plus haute et la plus basse des valeurs doivent être exclues des calculs de la valeur moyenne et de l'écart type. Pour les mesures devant être réalisées sur les câbles, on doit utiliser un minimum de trois points situés sur la circonférence câble pour une position donnée sur la longueur et ceci pour trois positions distinctes sur la longueur du câble. Lorsque l'espace est limité, il peut ne pas être possible de tourner sur la circonférence du câble. Dans ce cas, on doit choisir un minimum de neuf points, chacun distant de 60 mm à 100 mm le long du câble.

Dans le cas de mesures effectuées en laboratoire sur des échantillons de câbles, on doit utiliser un minimum de trois points sur la circonférence du câble pour une position donnée sur la longueur du câble. Les positions de mesure sur le câble doivent se situer à plus de 100 mm des extrémités de l'échantillon.

Pour les mesures à réaliser sur des joints toriques, on doit faire celles-ci en un nombre comparables de points, si la taille du joint le permet.

6.7 Sélection de la vitesse de la sonde et de la force maximale exercée

Avant de commencer les mesures, les paramètres d'essai doivent être chargés dans le système de mesure. En particulier, il convient de définir des limites pour la charge maximale exercée et le déplacement maximal pour éviter tout endommagement de l'équipement objet de la mesure.

La vitesse de déplacement de la sonde peut avoir une influence significative sur la valeur mesurée du module indenter. La vitesse de la sonde doit être comprise entre 5 mm par min et 5,2 mm par min. La vitesse de la sonde choisie doit être enregistrée dans le compte rendu.

La force maximale exercée doit être comprise entre une valeur suffisamment élevée pour obtenir une résolution satisfaisante sur l'axe de déplacement et une valeur suffisamment basse pour garantir que la sonde n'endommage pas le câble. Pour beaucoup d'isolants polymères, une force maximale de 10 N est recommandée. Ceci entraîne une pénétration de la sonde bien inférieure à 1 mm. Pour certains matériaux isolants, tels que le SiR, une valeur plus faible que 10 N peut être nécessaire pour éviter toute pénétration excessive.

6.8 Serrage

Lorsqu'on réalise des mesures sur les câbles, la valeur mesurée du module indenter peut être fortement influencée par le niveau de pression exercée par les mors de serrage, nécessaire au maintien en position sûre des câbles. De façon à minimiser ces effets, les câbles doivent être maintenus en utilisant le niveau de force minimal pour les garder en place. Les problèmes relatifs au serrage de maintien doivent être enregistrés dans le compte rendu de mesure.

6.9 Détermination de la valeur du module indenter

Le module indenter est déterminé par la pente de la droite représentant la force en fonction du déplacement et il est exprimé en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

$$IM = (F_2 - F_1)/(d_2 - d_1) \quad (1)$$

où

IM est le module indenter;

F_i est la valeur de la force correspondant au déplacement d_i .

IM doit être déterminé en utilisant les valeurs $F_1 = 1$ N et $F_2 = 4$ N, voir la Figure 2.

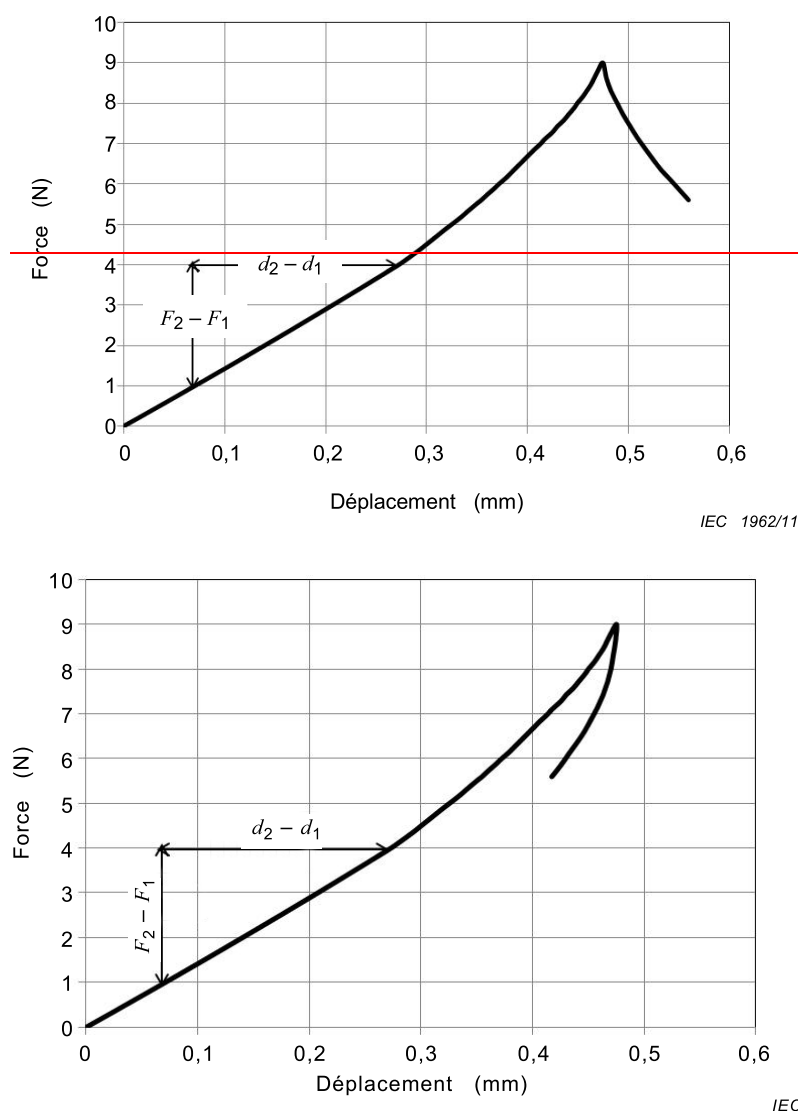


Figure 2 – Calcul du module indenter

NOTE Certains appareils utilisés pour les mesures indenter indiquent la valeur de la force en fonction du temps (exprimée en $N \cdot s^{-1}$). La valeur du module indenter exprimée en $N \cdot mm^{-1}$ est alors calculée comme la valeur exprimée en $N \cdot s^{-1}$ divisée par la vitesse de la sonde en $mm \cdot s^{-1}$.

6.10 Compte rendu

Le compte rendu de mesure doit au minimum comprendre les éléments suivants:

- Identification de l'équipement objet de la mesure, y compris la formule de composition de la matière. Concernant le choix des échantillons sur le terrain ou bien les mesures sur le terrain, on doit indiquer la tranche et la localisation par rapport aux sources de chaleur et de rayonnements (6.2).
- Historique de l'équipement avant mesure qui peut comprendre:

- les mesures indenter réalisées sur des échantillons d'un équipement neuf (non vieilli): stockage et intervalle de temps entre la production de l'équipement échantillonné et le début de la mesure (6.1);
 - les mesures indenter réalisées sur des échantillons vieillis artificiellement: conditions de vieillissement des échantillons (6.2);
 - les mesures indenter réalisées sur des échantillons vieillis naturellement (par exemple mesures sur le terrain): historique des conditions environnementales auxquelles l'échantillon a été soumis (6.2).
- c) Lieu et date de la mesure (laboratoire ou site).
- d) Pour les mesures en laboratoires pratiquées sur des échantillons vieillis artificiellement par procédé thermique: l'intervalle de temps séparant le retrait de l'échantillon de la chambre chaude et le début de la mesure (6.3).
- e) Température ambiante et de surface au moment de la mesure (6.3).
- f) Autres conditions et situations locales rencontrées durant les mesures et qui peuvent avoir une influence sur les résultats.
- g) Instrumentation de mesure, y compris les versions logicielles (6.4).
- h) Procédure d'étalonnage (6.5).
- i) Points de mesure (6.6).
- j) Vitesse de déplacement de la sonde (6.7).
- k) Force maximale exercée (6.7).
- l) Montage de l'échantillon et problèmes liés au serrage (6.8).
- m) Pour les mesures sur le terrain: observations de l'état de l'équipement avant les mesures du module indenter et après (6.2).
- n) Valeur moyenne et écart type du module indenter (après avoir supprimé la plus grande et la plus petite valeur), en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ ainsi que les informations relatives à la gamme de force pour laquelle celui-ci a été déterminé (normalement 1 N à 4 N) (6.6 et 6.9).
- NOTE Si les mesures du module indenter sont réalisées à une température supérieure à 25 °C, il est recommandé que la valeur référencée à 20 °C, calculée conformément aux recommandations de l'Annexe A, soit aussi enregistrée dans le compte rendu.
- o) La courbe présentant la force par rapport au déplacement.
- p) Toute autre information importante pour l'interprétation des résultats de mesure ayant un lien avec l'objectif de ces mesures.

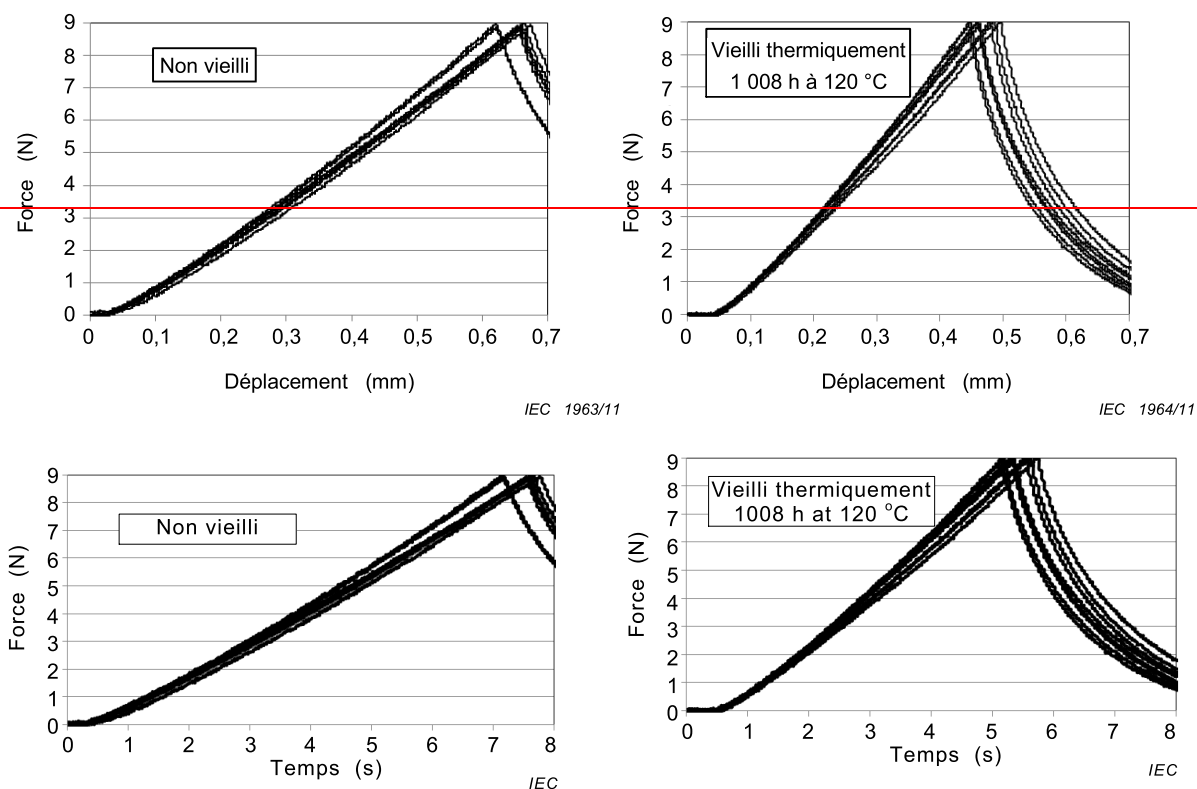
Un exemple de compte rendu de mesure est fourni en Annexe B.

Annexe A (informative)

Exemples de facteurs induisant des écarts au niveau de la mesure du module indenter

A.1 Exemple de l'influence des différents types de construction et différentes dimensions d'équipement

La Figure A.1 montre les variations dues aux différents types de construction et différentes dimensions d'équipement, en présentant des ensembles de données correspondant à des mesures de module indenter réalisées en huit endroits différents de la gaine d'un câble à 7 conducteurs, gainé en CSPE et dont le matériau isolant est de l'EPDM. Les valeurs moyennes et les écarts type du module indenter étaient de $15,57 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ et $0,58 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ pour une gaine de câble non vieilli, $23,21 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ et $1,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ pour une gaine de câble vieilli thermiquement.



NOTE La vitesse de la sonde était de $5,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ et les valeurs du module indenter ont été calculées entre 1 N et 4 N en divisant par $5,2\cdot 60^{-1}$.

Figure A.1 – Exemple de variation locale de la valeur du module indenter due à la variation de dimension et de construction de l'équipement

A.2 Exemples d'influence de la température

Ces exemples proviennent d'une étude de la dépendance des valeurs du module indenter par rapport à la température et ceci sur trois types de câble vieillis thermiquement:

- Gaine et matériau isolant les conducteurs: CSPE,

- Gaine: CSPE et matériau isolant les conducteurs: XLPE,
- Gaine et matériau isolant les conducteurs: EPDM.

Les mesures ont été réalisées en 9 points de la gaine (3×3) et les valeurs du module indenter ont été obtenues à partir de la pente de la droite force-déplacement pour une force variant entre 1 N et 4 N. Tous les câbles ont été thermiquement vieillis à 120 °C pendant 48 jours. Les mesures ont été réalisées après stabilisation de la température à 21 °C, 35 °C et 50 °C.

La Figure A.2 montre les résultats en termes de valeur moyenne et d'écart type du module indenter.

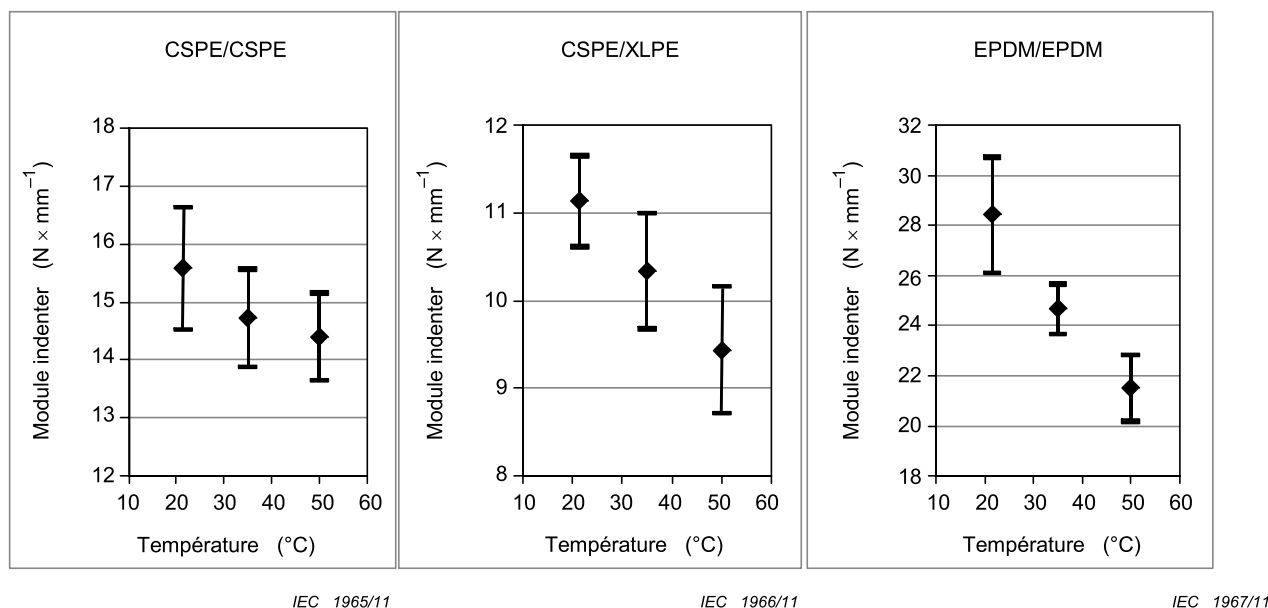


Figure A.2 – Valeur du module indenter mesuré à différentes températures

Les résultats illustrent la dépendance des mesures du module indenter par rapport à la température.

Dans le cas où les mesures sont faites à une température substantiellement différente de la température standard d'essai t_{ref} (20 °C), par exemple sur site, on peut normaliser la valeur IM_{ref} à 20 °C. La valeur calculée de IM_{ref} est donnée par la formule empirique:

$$IM_{\text{ref}} = [1 + A \times (t - t_{\text{ref}}) / (t_1 - t_2)] \times IM_t \quad (\text{A.1})$$

$$A = (IM_2 - IM_1) / [(IM_2 + IM_1)/2]$$

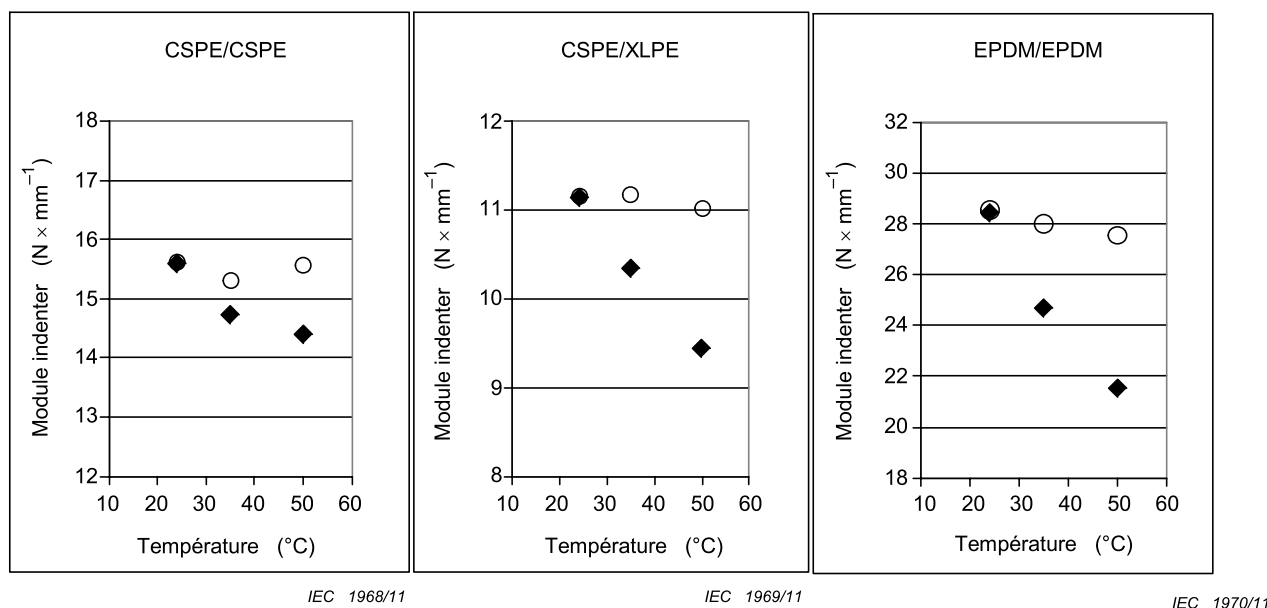
Où

t est la température pour laquelle la mesure a été faite sur le terrain;

IM_t est la valeur mesurée du module indenter à la température t ;

IM_1 et IM_2 sont les valeurs du module indenter respectivement à deux températures différentes t_1 et t_2 obtenues en laboratoires sur le même matériau.

Il convient de choisir t_1 dans la gamme des températures les plus hautes pour lesquelles les mesures ont pu être réalisées sur le terrain, et il convient de choisir t_2 autour des 20 °C. La Figure A.3 montre les valeurs moyennes présentées par la Figure A.2 normalisée conformément à l'Equation (A.1).



NOTE Les pointes de diamant représentent les valeurs mesurées et les ronds les valeurs normalisées.

Figure A.3 – Valeurs normalisées moyennes du module indenter

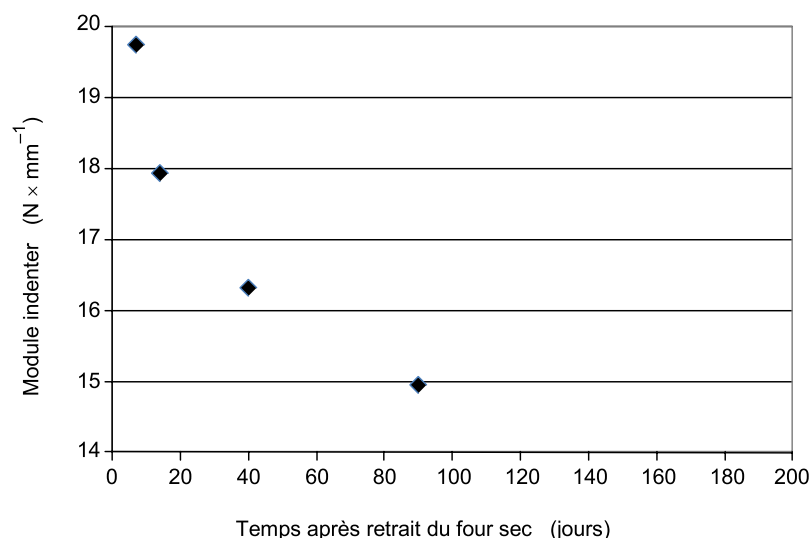
La normalisation marche bien pour des températures comprises entre 20 °C et 50 °C.

Pour résumer, il est recommandé:

- si possible, de mesurer le module indenter après stabilisation à une température standard de 20 °C comme en laboratoire ;
- si il est prévu que les mesures sur site se fassent à des températures significativement plus élevées que la température standard du laboratoire, par exemple pour une comparaison avec l'état qualifié, qu'une valeur pertinente de A soit déterminée et enregistrée dans le compte rendu en utilisant les mesures à deux températures (température du laboratoire et une température élevée proche de celle que l'on prévoit pour les mesures sur site). Il convient que ceci soit réalisé après le vieillissement artificiel en laboratoire qui fait partie des essais de qualification initiale.

A.3 Exemples des effets du dessèchement survenu après vieillissement à hautes températures sur le module indenter

La plupart des matériaux organiques et des polymères utilisés de façon courante à l'intérieur de l'enceinte ne sont pas significativement hygroscopiques. Si des matériaux hygroscopiques sont utilisés, l'influence de l'humidité contenue dans ces matériaux peut être significative pour le module indenter et il convient de prendre celle-ci en compte. Un exemple d'une telle influence pour un matériau donné est fourni par la Figure A.4. L'exemple montre la variation du module indenter après retrait de l'échantillon du four utilisé pour le vieillissement artificiel (120 °C durant 46 jours). Cette variation est due à la récupération graduelle de l'humidité interne de l'échantillon exposé aux conditions d'environnement du laboratoire.

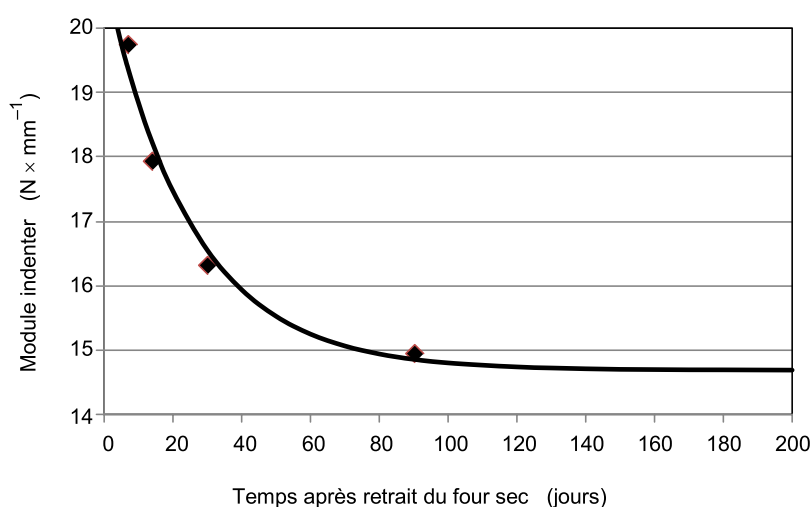


IEC 1971/11

Figure A.4 – Exemple de variation de la valeur du module indenter d'un échantillon hygroscopique observée en laboratoire après retrait du four suite à un long séjour

Comme montré par la figure A.4, la stabilisation en laboratoire du taux d'humidité interne après dessèchement d'un échantillon de matériau hygroscopique peut prendre longtemps. On peut en pratique ne pas avoir le temps nécessaire, pour que l'échantillon atteigne l'équilibre au niveau humidité interne, avant que celui-ci ne soit soumis aux conditions d'évènement de dimensionnement simulées. Une solution pratique consiste à mesurer le module indenter en laboratoire en fonction du temps sur un des échantillons qui a subi le vieillissement accéléré alors que les autres échantillons sont soumis aux conditions d'évènement de dimensionnement. La courbe résultant, similaire à celle présentée par la Figure A.4, peut être utilisée pour estimer la valeur du module indenter associée aux conditions normales d'humidité interne. Cette valeur peut être alors utilisée pour l'état qualifié.

En adaptant la courbe de décroissance, la valeur du module indenter après récupération de l'humidité interne liée aux conditions d'environnement du laboratoire peut être estimée. Ceci est illustré par la Figure A.5.



IEC 1972/11

NOTE La courbe de décroissance est de forme $Ae^{-kt} + B$, où t est le temps après retrait. La valeur estimée après récupération de l'humidité interne par rapport aux conditions d'environnement en laboratoire est de $14,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Figure A.5 – Adaptation de la courbe de décroissance de la valeur du module indenter de la Figure A.4

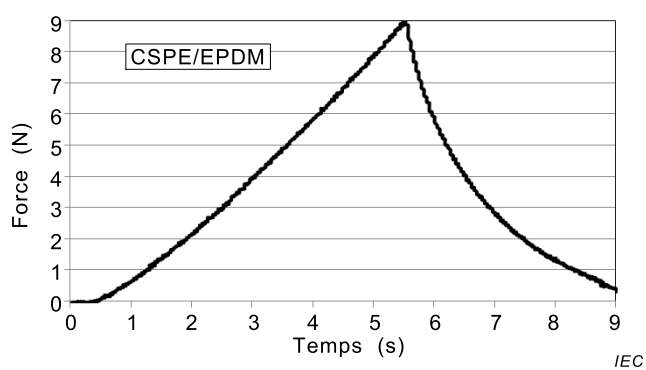
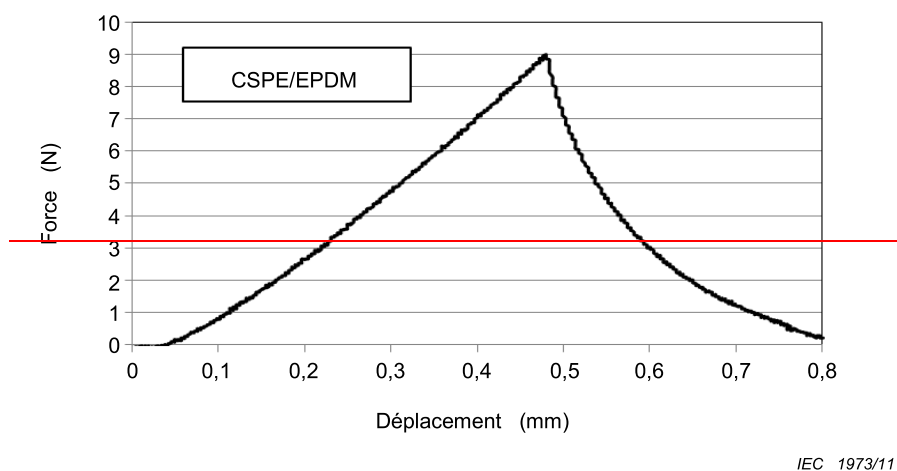
Annexe B (informative)

Exemple de rapport de mesure du module indenter en laboratoire

Cet exemple est tiré d'un programme d'essai d'évaluation réalisé dans le cadre d'un programme de recherche coordonné de l'AIEA sur le vieillissement des câbles.

ID de l'équipement	274 Câble FSSR 7X1
Matériau	Gaine: CSPE (2 mm) – bleue. Isolant et conducteurs: 7 fils: EPDM Cu filé – gris (0,7 mm)
Historique avant mesure	Vieilli artificiellement en four chaud sec. Méthode: Essai Ba IEC 60068. Conditions de vieillissement: 120 °C pendant 42 jours
Lieu et date de la mesure	2 Février 1998 Mesures effectuées dans le laboratoire ABB Atom, Västerås
Conditions de mesure	Intervalle de temps entre le retrait de l'échantillon du four et le début de la mesure du module indenter > 30 jours Mesure de la température: 21,5 °C
Instrument	OGDEN CI 96100007
Étalonnage	Réalisé avant les mesures conformément aux instructions du fabricant de l'instrument. Force étalonnée avec des poids, vitesse de la sonde étalonnée avec un chronomètre. Voir le rapport d'étalonnage N° XXXX.
Points de mesure	3 points sur la gaine positionnés sur chaque circonférence de coupe et ceci en trois endroits sur la longueur du câble.
Vitesse de la sonde	5,162 mm·min ⁻¹
Force maximale	9 N
Montage	Serrage dans des fixations fournies par le fabricant de l'instrument avec la force minimale nécessaire au maintien du câble en place. Fixation de type large utilisée.
Valeur du module indenter	Valeur moyenne 23,39 N·mm ⁻¹ ; écart type 0,99 N·mm ⁻¹ . (Après suppression de la valeur la plus grande et la plus petite)

(Les mesures en 8 points de l'isolant du conducteur (vieilli séparément) donnent une valeur moyenne de 29,35 N·mm⁻¹ avec un écart type de 2,34 N·mm⁻¹.)



NOTE La valeur du module indenter a été calculée en prenant la pente entre 1 N et 4 N et en divisant par $5,162 \cdot 10^{-1}$.

Figure B.1 – Exemple de la force mesurée en fonction du ~~déplacement~~ temps

Signature

Date

Bibliographie

IEC 60544-5, *Matériaux isolants – Détermination des effets des rayonnements ionisants – Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service*

IEC 60780, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

IEC/IEEE 62582-1, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques – Partie 1: Généralités*

IEEE Std 323: 2003, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

JNES-SS-0903:2009, *The final report of the project "Assessment of cable ageing for nuclear power plant". T. Yamamoto & T. Minikawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System Safety Division*

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables, IAEA, Vienna*

FINAL VERSION

VERSION FINALE

**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 2: Indenter modulus**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 2: Module indenter**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Terms and definitions	7
3 Abbreviations and acronyms	7
4 General description	8
5 Applicability, reproducibility, and complexity.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Applicability.....	8
5.3 Reproducibility.....	8
5.4 Complexity	9
6 Measurement procedure	9
6.1 Stabilisation of the polymeric materials	9
6.2 Sampling and measurement locations	9
6.3 Conditions for measurement	9
6.4 Instrumentation.....	10
6.5 Calibration and tolerances	11
6.6 Selection of measurement points	11
6.7 Selection of probe velocity and maximum force	11
6.8 Clamping.....	11
6.9 Determination of the value of the indenter modulus	11
6.10 Reporting	12
Annex A (informative) Examples illustrating factors affecting the variation of the indenter modulus value	14
Annex B (informative) Example of a measurement report for indenter measurements in laboratory	18
Bibliography	19
Figure 1 – Geometry and dimensions of the profile of the probe tip (truncated cone) used in the indenter	10
Figure 2 – Calculation of indenter modulus.....	12
Figure A.1 – Example of local variation of indenter modulus due to variation in equipment dimensions and construction	14
Figure A.2 – Indenter values measured at different temperatures.....	15
Figure A.3 – Normalised indenter mean values.....	16
Figure A.4 – Example of change of indenter modulus value in laboratory conditions of a hygroscopic sample after removal from long-term exposure in a heat chamber.....	17
Figure A.5 – Adaptation of a decay curve to the measured indenter modulus values in Figure A.4.....	17
Figure B.1 – Example of measured force versus time.....	18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 2: Indenter modulus

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.

IEEE Standards documents are developed within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. IEEE develops its standards through a consensus development process, approved by the American National Standards Institute, which brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve the final product. Volunteers are not necessarily members of IEEE and serve without compensation. While IEEE administers the process and establishes rules to promote fairness in the consensus development process, IEEE does not independently evaluate, test, or verify the accuracy of any of the information contained in its standards. Use of IEEE Standards documents is wholly voluntary. IEEE documents are made available for use subject to important notices and legal disclaimers (see <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> for more information).

IEC collaborates closely with IEEE in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations. This Dual Logo International Standard was jointly developed by the IEC and IEEE under the terms of that agreement.

- 2) The formal decisions 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. The formal decisions of IEEE on technical matters, once consensus within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees has been reached, is determined by a balanced ballot of materially interested parties who indicate interest in reviewing the proposed standard. Final approval of the IEEE standards document is given by the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board.
- 3) IEC/IEEE Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees/IEEE Societies in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC/IEEE Publications is accurate, IEC or IEEE 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 (including IEC/IEEE Publications) transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC/IEEE Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC and IEEE do not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC and IEEE are 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 IEEE or their directors, employees, servants or agents including individual experts and members of technical committees and IEC National Committees, or volunteers of IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board, 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/IEEE Publication or any other IEC or IEEE 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 implementation of this IEC/IEEE Publication may require use of material covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the existence or validity of any patent rights in connection therewith. IEC or IEEE shall not be held responsible for identifying Essential Patent Claims for which a license may be required, for conducting inquiries into the legal validity or scope of Patent Claims or determining whether any licensing terms or conditions provided in connection with submission of a Letter of Assurance, if any, or in any licensing agreements are reasonable or non-discriminatory. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC/IEEE 62582-2 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2011-08) [documents 45A/841/FDIS and 45A/850/RVD] and its amendment 1 (2016-02) [documents 45A/1054/FDIS and 45A/1067/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC/IEEE 62582-2 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation, in cooperation with the Nuclear Power Engineering Committee of the Power & Energy Society of the IEEE¹, under the IEC/IEEE Dual Logo Agreement between IEC and IEEE.

This publication is published as an IEC/IEEE Dual Logo standard.

International standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of IEC/IEEE 62582 series, under the general title *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods*, can be found on the IEC website.

The IEC Technical Committee and IEEE Technical Committee have decided that the contents of this publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

¹ The lists of IEEE participants can be found at the following URLs: http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-2011/62582-2-2011_wg-participants.pdf and http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-amd1-2016/62582-2-amd1-2016_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organisation of this standard

This part of this IEC/IEEE standard specifically focuses on indenter modulus methods for condition monitoring for the management of ageing of electrical equipment installed in nuclear power plants. The indenter method is commonly used to carry out measurements on cables (jackets, insulation) and o-rings.

This part of IEC/IEEE 62582 is the second part of the IEC/IEEE 62582. It contains detailed descriptions of condition monitoring based on indenter modulus measurements.

The IEC/IEEE 62582 series is issued with a joint logo which makes it applicable to the management of ageing of electrical equipment qualified to IEEE as well as IEC Standards.

Historically, IEEE Std 323-2003 introduced the concept and role that condition based qualification could be used in equipment qualification as an adjunct to qualified life. In equipment qualification, the condition of the equipment for which acceptable performance was demonstrated is the qualified condition. The qualified condition is the condition of equipment, prior to the start of a design basis event, for which the equipment was demonstrated to meet the design requirements for the specified service conditions.

Significant research has been performed on condition monitoring techniques and the use of these techniques in equipment qualification as noted in NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL - NUREG-52610) and JNES-SS-0903, 2009.

It is intended that this IEC/IEEE standard be used by test laboratories, operators of nuclear power plants, systems evaluators, and licensors.

b) Situation of the current standard in the structure of the IEC SC 45A standard series

Part 2 of IEC/IEEE 62582 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of application and performance of indenter modulus measurements in management of ageing of electrical instrument and control equipment in nuclear power plants.

Part 2 of IEC/IEEE 62582 is to be read in association with part 1 of IEC/IEEE 62582, which provides background and guidelines for the application of methods for condition monitoring of electrical equipment important to safety of nuclear power plants.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

c) Recommendations and limitations regarding the application of this standard

It is important to note that this Standard establishes no additional functional requirements for safety systems.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)

The top-level document of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorisation of functions and classification of systems, qualification, separation of systems, defence against common cause failure, software aspects of computer-based systems,

hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45A standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework and provides an interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of IEC 61508 as they have been interpreted for the nuclear industry. In this framework IEC 60880 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector.

IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA 50-C-QA (now replaced by IAEA GS-R-3) for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the Requirements NS-R-1, establishing safety requirements related to the design of Nuclear Power Plants, and the Safety Guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 2: Indenter modulus

1 Scope and object

This part of IEC/IEEE 62582 contains methods for condition monitoring of organic and polymeric materials in instrumentation and control systems using the indenter modulus technique in the detail necessary to produce accurate and reproducible measurements. It includes the requirements for the selection of samples, the measurement system and measurement conditions, and the reporting of the measurement results.

The different parts of IEC/IEEE 62582 are measurement standards, primarily for use in the management of ageing in initial qualification and after installation. Part 1 of IEC/IEEE 62582 includes requirements for the application of the other parts of IEC/IEEE 62582 and some elements which are common to all methods. Information on the role of condition monitoring in the qualification of equipment important to safety is found in IEEE Std 323.

This standard is intended for application to non-energised equipment.

2 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

2.1

indenter modulus

ratio between the changes in applied force and corresponding displacement of a probe of a standardised shape, driven into a material. It is expressed in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

NOTE The term “modulus” typically refers to the modulus of elasticity of a material which is defined as the ratio of the applied stress and the corresponding strain and is expressed in $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ (Pa). However, in the use of the indenter, it has become common practice to use the term indenter modulus to describe the ratio of the change in applied force to material deformation and express it in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

3 Abbreviations and acronyms

DBE	Design Basis Event
IM	Indenter Modulus
SiR	silicone rubber
CSPE	chlorosulphonated polyethylene
EPDM	ethylene propylene diene monomer
XLPE	crosslinked polyethylene

4 General description

A typical indenter uses an instrumented probe, which is driven at a fixed velocity into the material and includes a load cell or similar force-measuring device, connected to the probe, which measures the force necessary to maintain the constant velocity. The probe's displacement is measured by an appropriate transducer. The travel and force are purposely limited to protect the material from permanent damage. The indenter modulus is calculated by dividing the change in force by the corresponding displacement during inward travel.

5 Applicability, reproducibility, and complexity

5.1 General

When organic and polymeric materials age, they often harden which will result in an increase of indenter modulus. Some materials, such as some formulations of Butyl Rubber, soften during thermal and/or radiation ageing. The purpose of monitoring changes in indenter modulus is to estimate degradation rates and levels induced by ageing.

5.2 Applicability

The indenter method is commonly used to carry out measurements on cables (jackets, insulation) and o-rings. Its use requires special fixtures depending on the geometry of the samples.

This method should only be applied to materials whose hardness changes monotonically with ageing.

The indenter method may be carried out on equipment with high integrity in a non-invasive manner. However, the process of performing indenter measurements on equipment in field should include controls to ensure that damage – from the probe or from handling in order to access suitable measurement points – has not been imparted to the equipment. The process should include correction of any equipment that has been damaged or suspected of incurring damage.

Measurements in the field require access to the exterior wall of the equipment. For field measurements on cables, this often limits the measurements to jacket materials. It may be possible to assess the condition of cable insulation from indenter measurements on its jacket if there is a known relationship between the ageing degradation of the jacket material and the degradation of the insulation. This relationship shall be justified to be valid and sufficiently sensitive to provide the valid monitoring through life.

5.3 Reproducibility

Indenter modulus values can be influenced by variability in specimen dimensions and construction, temperature and moisture content of the specimen, stabilisation of the specimen, and contamination of the specimen. If measurements are made under excessive vibration, this can influence the measured value. The influence by variability in the specimen dimensions and construction is typically the case for measurements on cables, where the measurement point may be situated above a cavity beneath the jacket surface. The cross-section of typical cable core insulation may differ substantially from that of an ideal tube and can result in variability in the measured values of indenter modulus depending on where the measurement is made. These variations tend to be localised. Measurements shall be taken at several points on the equipment to compensate for these local variations (see 6.6).

An illustration of variations due to variability in specimen dimensions and construction is given in Annex A.

NOTE A good knowledge of the construction of the equipment is important before the selection of measurement positions is made. In the case of loosely constructed cables, the variability is expected to be high and it is important that the measurements on the jacket are made over a conductor rather than free space.

5.4 Complexity

The degree of complexity experienced during indenter modulus measurements in the field will often depend on cable accessibility. Existing instruments may be used in the field on cables that are accessible. In this case, data generation is rapid and measurements at a large number of points can be carried out over short time periods. Instruments can be configured such that data are generated and stored directly. Measurements on equipment with more complex geometries and limited accessibility may require the development of special fixtures. The same fixture shall be used for repeated indenter modulus measurements.

6 Measurement procedure

6.1 Stabilisation of the polymeric materials

An appropriate time period shall be allowed for the polymeric materials in recently manufactured equipments to stabilise before any condition monitoring or accelerated ageing programmes are carried out. The time period over which the polymeric materials stabilise is normally dependent on the processing additives and polymer composition. If manufacturers' stabilisation time data are not available, a period of 6 months should be allowed.

6.2 Sampling and measurement locations

Laboratory measurements of indenter modulus on samples selected from the field and indenter modulus measurements in the field only provide information on the status of the equipment at a specific location. Knowledge of the environmental conditions in representative areas during plant operation is a prerequisite for selecting locations. Since equipment heating and radiation effects could be most apparent closest to the sources of heat and radiation, the choice of locations should consider capturing the potential for significant ageing effects near sources of heating and radiation. The position of the locations and available information about the environmental time history of the locations selected shall be documented.

Sampling and measurement procedures shall comply with local instructions, taking into account the safety of personnel and equipment. Handling of equipment during measurement or removal of samples from the plant should be minimised e.g. cables should not be bent more than necessary for the measurement or for the removal of the sample.

6.3 Conditions for measurement

The surface on which the measurements are made shall be cleaned of surface debris. In the field, it may be necessary to apply a dry wipe to remove accumulated dirt from the surface and prevent contamination of the indenter instrument. Under no circumstances shall solvents be used for surface cleaning.

The indenter modulus varies with the temperature and moisture content of the sample as shown in Annex A.

When measurements are carried out in the laboratory, e.g. after accelerated thermal ageing, they shall be made in a surrounding air temperature of 20 ± 5 °C and a relative humidity of 45 % to 75 %. Samples shall be allowed time to reach equilibrium with their surroundings before measurements are started.

NOTE 1 Where the materials are hygroscopic, it should be noted that the sample can be extremely dry after artificial accelerated ageing as a consequence of long-term exposure to high temperatures in an oven. For these materials, the values of indenter modulus measured can be significantly higher than for a sample in equilibrium with the laboratory atmosphere. This is particularly important for condition monitoring of hygroscopic insulation material when the final value of indenter modulus, on which qualified condition is based, is measured on

completion of accelerated thermal ageing before the sample is subjected to a DBE test. Clause A.3 provides guidance on dealing with this specific concern.

It may not be possible to make field measurements in standard atmospheric conditions. In such cases the surrounding air temperature and the temperature at the surface at which the measurements are made shall be recorded.

NOTE 2 Annex A shows a method for transformation of a measured indenter modulus to a corresponding modulus at a different temperature. In addition to reporting the temperature at which the value has been measured, it is recommended that the corresponding value at 20 °C be calculated and reported.

6.4 Instrumentation

The indenter functions by driving an instrumented probe at a fixed velocity into the material whilst a load cell or similar force-measuring device, connected to the probe, measures the applied force. The probe shall have the shape of a truncated steel cone with the geometry and dimensions shown in Figure 1. The probe's displacement is measured by an appropriate transducer. The point at which the tip of the probe is brought into contact with the material is sensed by a change in force. The probe's total displacement is normally limited to a fraction of a mm to prevent permanent deformation and to keep within the range of approximate linear proportionality between force and displacement. The indenter modulus (IM) is then calculated by dividing the change in force by the corresponding displacement during inward travel. The small displacements and loads that occur during this process prevent permanent effects on the material.

NOTE Although the total displacement is limited, for some materials the relationship between force and displacement is still significantly non-linear.

Dimensions in millimetres

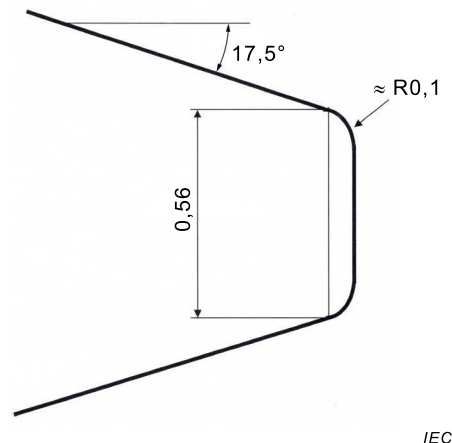


Figure 1 – Geometry and dimensions of the profile of the probe tip (truncated cone) used in the indenter

A typical indenter is a hand held cylindrical instrument. At the head of the instrument, an appropriate clamping device holds a cable or wire securely in position so that the probe can be driven uniformly into the jacket or insulation of the cable or wire respectively. The probe is situated within the instrument and is attached to a sensitive load cell. A servo-controlled electric motor with appropriate gearing provides the capability to drive the probe towards the sample and the probe's position is measured by a transducer. A temperature sensor is located close to the clamping device. The power and servo-control to the electric motor, and outputs from the load cell, transducer and temperature sensor are fed by cable into a separate controller which may be directly connected to a computer or capable of data storage in-situ which may be downloaded into a remote computer. Parameters such as probe velocity, and maximum load, and displacement are preloaded into the controller before the start of measurement. The instrument is also designed such that the cable clamp can be

modified to allow calibration of the load cell using an appropriate weight and the probe travel using a dial gauge.

6.5 Calibration and tolerances

The indenter and the measurement system shall be calibrated before each series of measurements in accordance with the manufacturer's instructions. The calibration shall be carried out on both the force sensor and probe velocity. The total error of force measurement shall be less than 3 % of the upper limit of the force range, including instrumentation tolerances as well as reading precision. The probe velocity shall be constant. The total measurement error of the required velocity shall be less than 2 %.

6.6 Selection of measurement points

In each of the selected locations for field measurements, measurements shall be carried out at several points and the mean value and standard deviation shall be reported. If the number of points is more than 7, the highest and lowest value shall be deleted before calculation of the mean value and the standard deviation. For measurements on cables, a minimum of three points around the circumference at each of three longitudinal positions shall be used. Where space is limited, it may not be possible to rotate around the cable circumference. In this case, a minimum of nine points shall be selected with a separation of 60 mm to 100 mm along the cable length.

In the case of laboratory measurements on samples of cables, a minimum of three points around the circumference at each of three longitudinal positions shall be used. None of the measurement points shall be less than 100 mm from the ends of the sample.

For measurements on o-rings, a similar number of points shall be measured if the size of the o-ring allows.

6.7 Selection of probe velocity and maximum force

Before the start of the measurement, the test parameters shall be loaded into the measurement system. In particular, the required maximum load and maximum displacement should be set as limits to prevent damage to the equipment measured.

The probe velocity can have a significant influence on the measured value of indenter modulus. The probe velocity shall be $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ to $5,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. The probe velocity that is selected shall be reported.

The maximum force that is selected needs to be a compromise between a value which is high enough to achieve reasonable resolution in the displacement axis and a value that is low enough to ensure that the probe does not damage the cable. For many polymeric insulation materials, a maximum force of 10 N is recommended. This will normally result in a probe penetration depth which is significantly less than 1 mm. For certain insulation materials, such as SiR, a maximum value lower than 10 N may be required to avoid excessive penetration.

6.8 Clamping

When carrying out measurements on cables, the measured value of indenter modulus may be strongly affected by variations in the force used to keep the cables securely in position within the clamp. In order to minimise these effects, the cable shall be clamped using the minimum force required to keep it in place. Problems in clamping shall be included in the measurement report.

6.9 Determination of the value of the indenter modulus

The indenter modulus is determined by the slope of the force-displacement curve and is expressed in $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

$$IM = (F_2 - F_1)/(d_2 - d_1) \quad (1)$$

where

IM is the indenter modulus;

F_i is the corresponding force value at displacement d_i .

IM shall be determined by using the values $F_1 = 1$ N and $F_2 = 4$ N, see Figure 2.

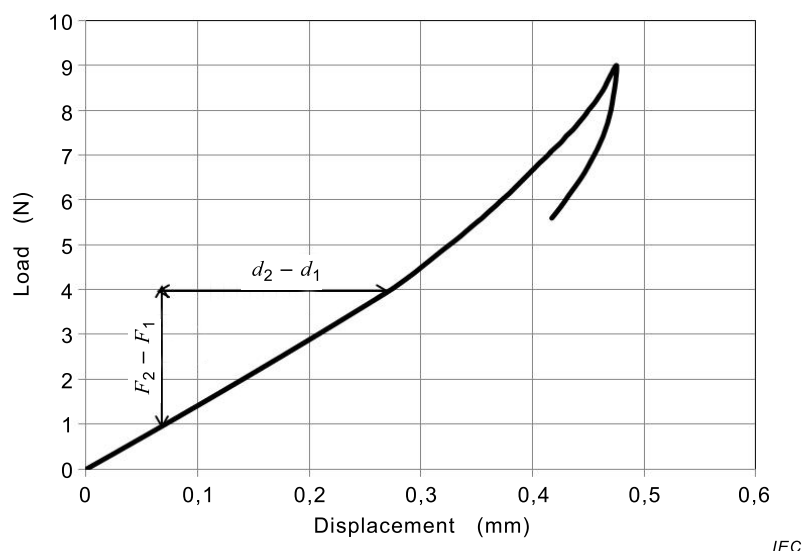


Figure 2 – Calculation of indenter modulus

NOTE Some instruments used for indenter measurements show the result in load versus time (in $N \cdot s^{-1}$). The value of the indenter modulus in $N \cdot mm^{-1}$ is then calculated as the value in $N \cdot s^{-1}$ divided by the probe velocity in $mm \cdot s^{-1}$.

6.10 Reporting

The measurement report shall as a minimum include the following items

- a) Identification of the equipment measured, including the material formulation. For selection of samples from the field or measurements in the field this shall include plant and location relative to heat and radiation sources (6.2).
- b) Pre-history of the equipment. This may include
 - indenter measurements on samples of new (un-aged) equipment: storage and time interval between production of the equipment sampled and start of the measurement (6.1);
 - indenter measurements on artificially aged samples: ageing conditions of the samples (6.2);
 - indenter measurements on naturally aged samples (e.g. field measurements): history of environmental conditions to which the sample has been subjected (6.2).
- c) Place and date of the measurement (laboratory, on-site).
- d) For laboratory measurement of samples subjected to artificial thermal ageing: time interval between removing the sample from the heat chamber until start of measurement (6.3).
- e) Ambient and surface temperature at the time of measurement (6.3).
- f) Other local conditions and situations encountered during measurement that may influence the results.
- g) Measurement instrumentation, including software version (6.4).
- h) Calibration procedure (6.5).
- i) Measurement points (6.6).

- j) Probe velocity (6.7).
- k) Maximum force (6.7).
- l) Mounting of the sample and problems in clamping (6.8).
- m) For measurements in the field: observations on the condition of the equipment before and after indenter measurements (6.2).
- n) Mean value and standard deviation of indenter modulus (after deleting the highest and lowest value), in $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ together with information on the force interval for which it has been determined (normally 1 N to 4 N) (6.6 and 6.9).

NOTE If the indenter measurements are made at a temperature above 25 °C, it is recommended that the value referenced to 20 °C is also reported, calculated according to Annex A.

- o) Diagram showing a typical force versus displacement curve.
- p) Any other information of importance in interpretation of the measurement results in relation to the purposes of the measurements.

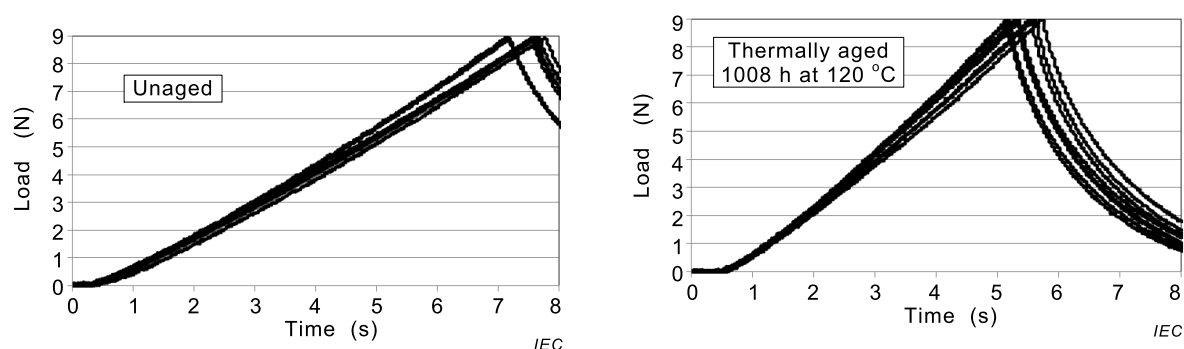
An example of a measurement report is given in Annex B.

Annex A (informative)

Examples illustrating factors affecting the variation of the indenter modulus value

A.1 Example of influence of variability in equipment dimensions and construction

Figure A.1 illustrates the variations due to variability in equipment dimensions and construction, showing sets of data from indenter measurements at eight points on the jacket of a 7 core cable with jacket material CSPE and insulator material EPDM. The mean values and standard deviations of the indenter modulus measured were $15,57 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ and $0,58 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ for the unaged cable jacket, $23,21 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ and $1,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ for the thermally aged cable jacket.



NOTE The probe velocity was $5,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ and the indenter modulus values were calculated from the slope between 1 N and 4 N by division by $5,2\cdot 60^{-1}$.

Figure A.1 – Example of local variation of indenter modulus due to variation in equipment dimensions and construction

A.2 Examples of temperature dependence

These examples come from a study of the temperature dependence of the indenter values of three types of thermally aged cables:

- jacket and lead insulation materials CSPE,
- jacket material CSPE, lead insulation material XLPE,
- jacket and lead insulation materials EPDM.

The measurements were made at 9 (3×3) points on the jacket and the indenter modulus values were obtained from the slope of the force-distance curve between 1 N and 4 N. All cables had been thermally aged at $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ for 48 days. The measurements were made after temperature stabilisation at $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figure A.2 shows the results in terms of mean values and standard deviation of the indenter modulus.

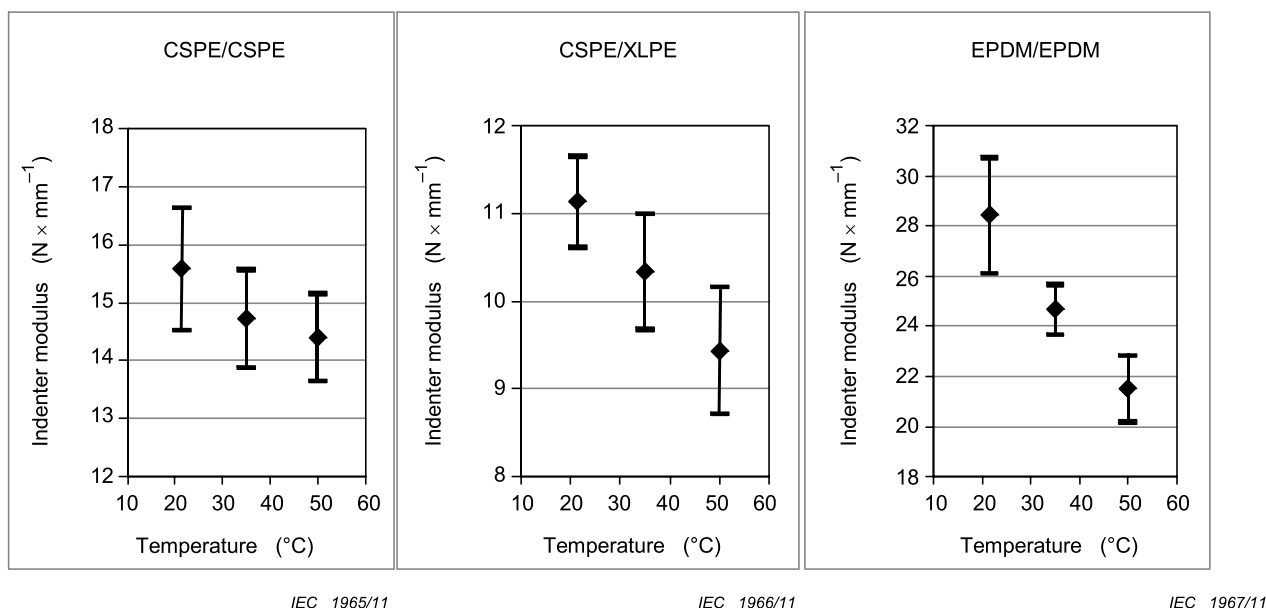


Figure A.2 – Indenter values measured at different temperatures

The results illustrate the temperature dependence of indenter modulus measurements.

In the case where indenter measurements are made at a temperatures which differ substantially from the standard temperature for testing t_{ref} (20 °C), e.g. on site, normalisation to a value IM_{ref} at 20 °C can be made. The calculated value of IM_{ref} is given by the following empirical formula

$$IM_{\text{ref}} = [1 + A \times (t - t_{\text{ref}}) / (t_1 - t_2)] \times IM_t \quad (\text{A.1})$$

$$A = (IM_2 - IM_1) / [(IM_2 + IM_1)/2]$$

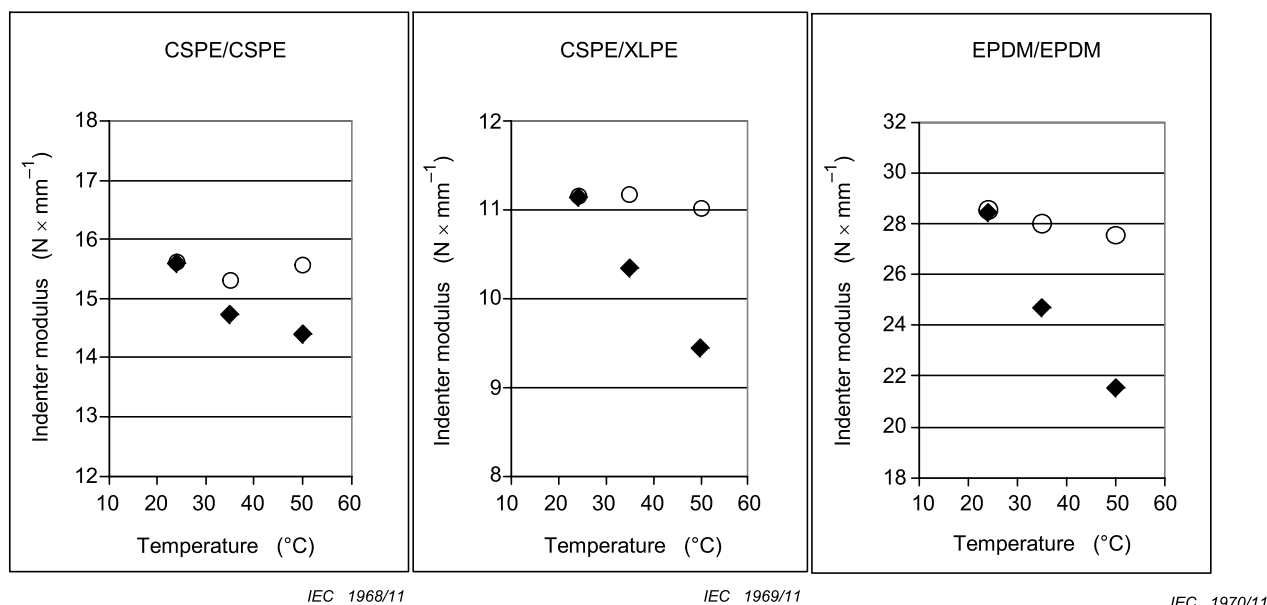
where

t is the temperature at which the measurement in the field is made;

IM_t is the measured value of indenter modulus at temperature t ;

IM_1 and IM_2 are the values of indenter modulus at two different temperatures t_1 and t_2 respectively from laboratory measurements made on the same material.

t_1 should be selected in the region of the highest temperature at which measurements in the field may be made, and t_2 should be in the region of 20 °C. Figure A.3 shows the mean values in Figure A.2 normalised according to Equation (A.1).



NOTE The diamond represents the measured value and the circle represents the normalised value.

Figure A.3 – Normalised indenter mean values

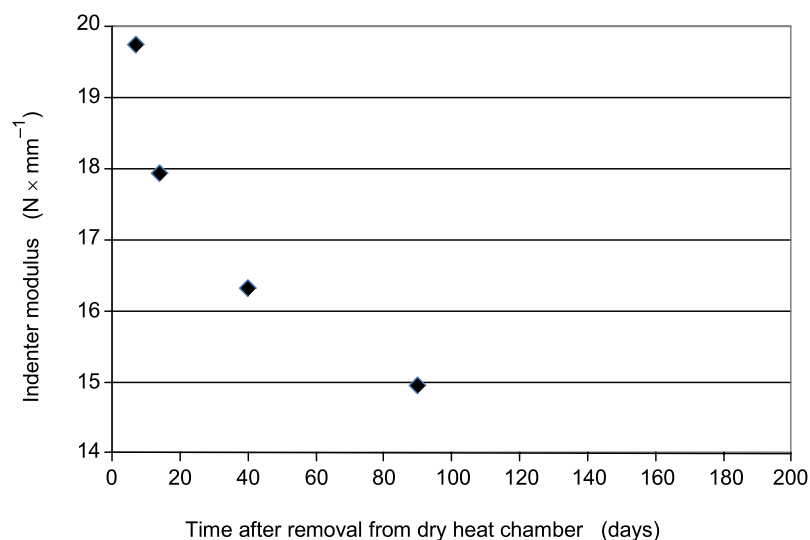
The normalisation works well over the measurement temperature interval 20 °C to 50 °C.

To summarise, the recommendation is

- If practicable, to measure the indenter modulus after stabilisation to a standard laboratory temperature of 20 °C.
- If it is foreseen that measurements will be made on site at significantly higher temperature than standard laboratory temperature, e.g. for comparison with qualified condition, it is recommended that the relevant value of A is determined and reported by using measurements at two temperatures (laboratory temperature and one elevated temperature, close to what can be expected in site measurements). This should be carried out after the artificial laboratory ageing which forms part of the initial qualification testing.

A.3 Examples of effects on the indenter modulus from drying out after high temperature ageing

Most organic and polymeric materials currently used in-containment are not significantly hygroscopic. If hygroscopic materials are used, the influence of the moisture content of the material on indenter modulus can be significant and should be taken into account. An example of the influence for such a material is shown in Figure A.4. The example shows the change of the indenter modulus after removal from the dry heat chamber used for artificial ageing (120 °C during 46 days). The change is due to the gradual restoration of the normal moisture content when subjected to the laboratory climatic conditions.

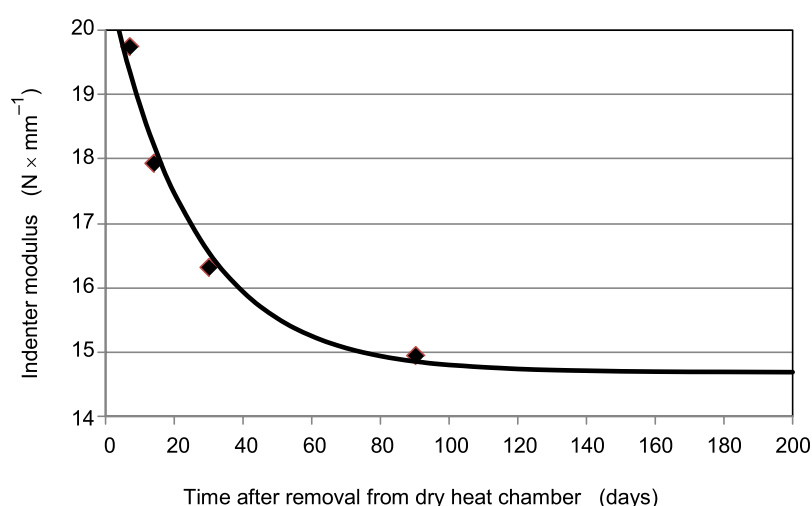


IEC 1971/11

Figure A.4 – Example of change of indenter modulus value in laboratory conditions of a hygroscopic sample after removal from long-term exposure in a heat chamber

As shown in Figure A.4, moisture stabilisation in the laboratory after drying out of a hygroscopic sample can take a long time. It may not be practical to allow the time needed for the sample to attain moisture equilibrium before subjecting the sample to simulated design basis event conditions. A practical solution is to measure the indenter modulus versus time in the laboratory on one of the samples which has been subjected to the accelerated ageing whilst the other samples are subjected to simulated design basis event conditions. The resulting curve, similar to Figure A.4, can be used to estimate an indenter modulus value which represents normal moisture conditions. This value can then be used as the qualified condition.

By adapting a fitting decay curve, the indenter modulus value after restoration of the moisture content related to laboratory conditions can be estimated. This is illustrated in Figure A.5.



IEC 1972/11

NOTE The decay curve has the form $Ae^{-kt} + B$, where t is the time after removal. The estimated value after restoration of the moisture content to laboratory conditions is $14,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Figure A.5 – Adaptation of a decay curve to the measured indenter modulus values in Figure A.4

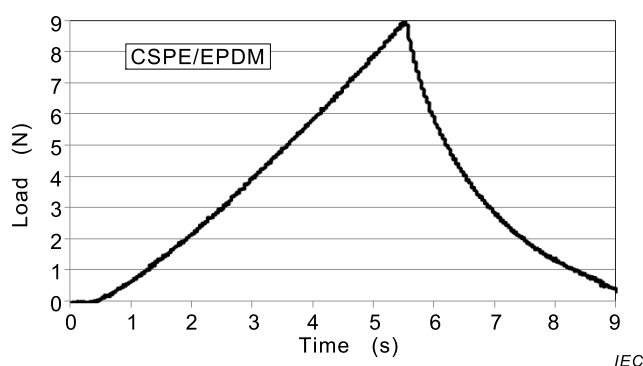
Annex B (informative)

Example of a measurement report for indenter measurements in laboratory

This example is from the round-robin test programme carried out as part of an IAEA coordinated research programme on cable ageing.

Equipment ID	274 Cable FSSR 7X1
Material	Jacket: CSPE (2 mm) – blue. Insulation and conductors: 7 core EPDM on stranded Cu – grey (0,7 mm)
Pre-history	Artificially aged in dry heat test chamber. Method: IEC 60068 Test Ba. Ageing conditions: 120 °C for 42 days
Place and date of measurement	2 February 1998 Measurement in laboratory at ABB Atom, Västerås
Conditions for measurement	Time interval between removing the sample from the heat chamber until start of indenter measurement: > 30 days Measurement temperature: 21,5 °C
Instrument	OGDEN CI 96100007
Calibration	Before measurements according to the instrument manufacturer's instructions. Force calibrated with weights, probe velocity calibrated with stop-watch. See calibration report No xxxx
Measurement points	3 points on the jacket around the circumference at each of three cross-sections
Probe velocity	5,162 mm·min ⁻¹
Maximum force	9 N
Mounting	Clamped in fixture provided by the instrument manufacturer with minimum force required to keep the cable in place. Fixture type large used.
Indenter modulus value	Mean value 23,39 N·mm ⁻¹ ; Standard deviation 0,99 N·mm ⁻¹ . (After deletion of the highest and lowest values)

(Measurements in 8 points on the lead insulation (separately aged) showed a mean value of 29,35 N·mm⁻¹ with a standard deviation of 2,34 N·mm⁻¹.)



NOTE The indenter modulus value was calculated from the slope between 1 N and 4 N by division by 5,162·60⁻¹.

Figure B.1 – Example of measured force versus time

Signature

Date

Bibliography

IEC 60544-5, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 5: Procedures for assessment of ageing in service*

IEC 60780, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC/IEEE 62582-1, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods – Part 1: General*

IEEE Std 323:2003, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

JNES-SS-0903:2009, *The final report of the project “Assessment of cable ageing for nuclear power plant”. T. Yamamoto & T. Minikawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System Safety Division*

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables, IAEA, Vienna*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
INTRODUCTION.....	24
1 Domaine d'application et objet	26
2 Termes and définitions	26
3 Abréviations et acronymes	26
4 Description générale.....	27
5 Applicabilité, reproductibilité et complexité	27
5.1 Généralités.....	27
5.2 Applicabilité.....	27
5.3 Reproductibilité	27
5.4 Complexité	28
6 Procédure de mesure	28
6.1 Stabilisation des polymères	28
6.2 Echantillonnage et localisation des points de mesure	28
6.3 Conditions de mesure	28
6.4 Instrumentation.....	29
6.5 Etalonnage et tolérances	30
6.6 Sélection des points de mesure	30
6.7 Sélection de la vitesse de la sonde et de la force maximale exercée.....	31
6.8 Serrage	31
6.9 Détermination de la valeur du module indenter	31
6.10 Compte rendu.....	32
Annexe A (informative) Exemples de facteurs induisant des écarts au niveau de la mesure du module indenter.....	34
Annexe B (informative) Exemple de rapport de mesure du module indenter en laboratoire	38
Bibliographie	39
Figure 1 – Géométrie et dimensions correspondant au profil de l'extrémité de la sonde (cône tronqué) utilisée pour le poinçonnement.....	30
Figure 2 – Calcul du module indenter	32
Figure A.1 – Exemple de variation locale de la valeur du module indenter due à la variation de dimension et de construction de l'équipement.....	34
Figure A.2 – Valeur du module indenter mesuré à différentes températures	35
Figure A.3 – Valeurs normalisées moyennes du module indenter	36
Figure A.4 – Exemple de variation de la valeur du module indenter d'un échantillon hygroscopique observée en laboratoire après retrait du four suite à un long séjour	37
Figure A.5 – Adaptation de la courbe de décroissance de la valeur du module indenter de la Figure A.4	37
Figure B.1 – Exemple de la force mesurée en fonction du temps.....	38

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 2: Module indenter

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.

Les normes de l'IEEE sont élaborées par les Sociétés de l'IEEE, ainsi que par les Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA). Ces normes sont l'aboutissement d'un consensus, soumis à l'approbation de l'Institut national américain de normalisation, qui rassemble des bénévoles représentant divers points de vue et intérêts. Les participants bénévoles ne sont pas nécessairement membres de l'IEEE et leur intervention n'est pas rétribuée. Si l'IEEE administre le déroulement de cette procédure et définit les règles destinées à favoriser l'équité du consensus, l'IEEE lui-même n'évalue pas, ne teste pas et ne vérifie pas l'exactitude de toute information contenue dans ses normes. L'utilisation de normes de l'IEEE est entièrement volontaire. Les documents de l'IEEE sont disponibles à des fins d'utilisation, à condition d'être assortis d'avis importants et de clauses de non-responsabilité (voir <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> pour de plus amples informations).

L'IEC travaille en étroite collaboration avec l'IEEE, selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations. Cette norme internationale double logo a été élaborée conjointement par l'IEC et l'IEEE, conformément aux dispositions de cet accord.

- 2) Les décisions officielles 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. Une fois le consensus établi entre les Sociétés de l'IEEE et les Comités de coordination des normes, les décisions officielles de l'IEEE relatives aux questions techniques sont déterminées en fonction du vote exprimé par un groupe à la composition équilibrée, composé de parties intéressées qui manifestent leur intérêt pour la révision des normes proposées. L'approbation finale de la norme de l'IEEE est soumise au Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA).
- 3) Les Publications IEC/IEEE se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC/Sociétés de l'IEEE. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin de s'assurer de l'exactitude du contenu technique des Publications IEC/IEEE; l'IEC ou l'IEEE ne peuvent pas être tenus responsables 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 (y compris les Publications IEC/IEEE) dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications IEC/IEEE et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC et l'IEEE eux-mêmes ne fournissent 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 et l'IEEE ne sont responsables 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 ou à l'IEEE, 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, ou les bénévoles des Sociétés de l'IEEE et des Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA), 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 IEC/IEEE ou toute autre publication de l'IEC ou de l'IEEE, 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 fait que la mise en application de cette Publication IEC/IEEE peut requérir l'utilisation de matériels protégés par des droits de brevet. En publiant cette norme, aucun parti n'est pris concernant l'existence ou la validité de droits de brevet y afférents. Ni l'IEC ni l'IEEE ne peuvent être tenus d'identifier les revendications de brevet essentielles pour lesquelles une autorisation peut s'avérer nécessaire, d'effectuer des recherches sur la validité juridique ou l'étendue des revendications des brevets, ou de déterminer le caractère raisonnable ou non discriminatoire des termes ou conditions d'autorisation énoncés dans le cadre d'un Certificat d'assurance, lorsque la demande d'un tel certificat a été formulée, ou contenus dans tout accord d'autorisation. Les utilisateurs de cette norme sont expressément informés du fait que la détermination de la validité de tous droits de propriété industrielle, ainsi que les risques qu'impliquent la violation de ces droits, relèvent entièrement de leur seule responsabilité.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC/IEEE 62582-2 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2011-08) [documents 45A/841/FDIS et 45A/850/RVD] et son amendement 1 (2016-02) [documents 45A/1054/FDIS et 45A/1067/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC/IEEE 62582-2 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire, en coopération avec le « Nuclear Power Engineering Committee » de la « Power & Energy Society » de l'IEEE¹, selon l'accord double logo IEC/IEEE entre l'IEC et l'IEEE.

La présente publication est une norme double logo IEC/IEEE.

Les normes internationales sont rédigées selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC/IEEE 62582, présentées sous le titre général *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

¹ Les listes des participants IEEE sont disponibles aux adresses suivantes: http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-2011/62582-2-2011_wg-participants.pdf et http://standards.ieee.org/downloads/62582-2/62582-2-amd1-2016/62582-2-amd1-2016_wg-participants.pdf.

Le comité d'études de l'IEC et le comité d'études de l'IEEE ont décidé que le contenu de cette publication et de son amendement 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.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions importantes et structure de la présente norme

La présente partie de cette norme IEC/IEEE s'intéresse plus particulièrement aux méthodes de module indenter utilisées dans le cadre de surveillance d'état pour la gestion du vieillissement des matériels électriques installés dans les centrales nucléaires. La méthode indenter est communément utilisée pour réaliser des mesures sur les câbles (gaine externe, isolant) et sur les joints toriques.

Cette partie est la seconde de la série IEC/IEEE 62582. Elle contient une description détaillée de la surveillance d'état basée sur les mesures faites par module indenter.

La série IEC/IEEE 62582 est publiée en double logo ce qui la rend applicable pour la gestion du vieillissement des matériels électriques qualifiés tant dans le cadre des normes IEEE que dans celui des normes IEC.

Historiquement, la norme IEEE 323-2003 a introduit le concept et le rôle complémentaire que pouvait jouer la qualification reposant sur l'état du matériel dans le cadre de la qualification des matériels au niveau de la durée de vie certifiée. Dans le cadre de la qualification du matériel, l'état du matériel pour lequel des performances acceptables ont été prouvées correspond à l'état qualifié. L'état qualifié est l'état de l'équipement prévalant au début d'un événement de dimensionnement, pour lequel il a été démontré que le matériel satisfaisait aux exigences de conception pour les conditions de service spécifiées.

Des recherches importantes ont été réalisées sur les techniques de surveillance de l'état des matériels et l'utilisation de ces techniques dans le cadre de la qualification des matériels, comme indiqué dans les documents NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610) et JNES-SS-0903, 2009.

L'objectif de la présente norme IEC/IEEE est d'être utilisée par les laboratoires d'essai, les exploitants de centrales nucléaires, les évaluateurs de système et par les régulateurs.

b) Position de la présente norme dans la collection de normes du SC 45A de l'IEC

La partie 2 de l'IEC/IEEE 62582 est le document du SC 45A de l'IEC de troisième niveau qui traite du problème particulier de l'application et des performances des mesures faites par module indenter dans le cadre de la gestion du vieillissement des matériels électriques d'I&C utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

La partie 2 de la norme IEC/IEEE 62582 doit être lue avec la partie 1 de la norme IEC/IEEE 62582, qui fournit les éléments de contexte et des recommandations pour l'application des méthodes de surveillance d'état des matériels électriques importants pour la sûreté utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de l'IEC, voir le point d) de cette introduction.

c) Recommandations et limites relatives à l'application de présente norme

Il est important de noter que la présente norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté.

d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de l'IEC et relations avec d'autres documents de l'IEC et d'autres organisations (AIEA, ISO)

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de l'IEC est l'IEC 61513. Cette norme traite des exigences relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires, et structure la collection de normes du SC 45A de l'IEC.

L'IEC 61513 fait directement référence aux autres normes du SC 45A de l'IEC traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec l'IEC 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas référencées directement par l'IEC 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de l'IEC correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

L'IEC 61513 a adopté une présentation similaire à celle de l'IEC 61508, avec un cycle de vie et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et une interprétation des exigences générales des IEC 61508-1, IEC 61508-2 et IEC 61508-4 pour le secteur nucléaire. La conformité à l'IEC 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de l'IEC 61508 telles qu'elles ont été interprétées dans l'industrie nucléaire. Dans ce cadre, l'IEC 60880 et l'IEC 62138 correspondent à l'IEC 61508-3 pour le secteur nucléaire.

L'IEC 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA GS-R-3) pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Les normes produites par le SC 45A de l'IEC sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier avec le document d'exigences NS-R-1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires et avec le guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite de l'instrumentation et du contrôle commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 2: Module indenter

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC/IEEE 62582 présente des méthodes de surveillance d'état de matériaux organiques et de polymères des systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande en utilisant une technique de module indenter, de façon suffisamment détaillée pour obtenir des mesures reproductibles et précises. Elle comprend des exigences concernant la sélection d'échantillons, les systèmes de mesure et les conditions de mesure, ainsi que les rapports des résultats de mesure.

Les différentes parties de l'IEC/IEEE 62582 sont des normes de mesure, principalement destinées à être utilisées pour la gestion du vieillissement dans le cadre de la qualification initiale et après installation. La partie 1 de l'IEC/IEEE 62582 fournit des exigences applicables pour toutes les autres parties de l'IEC/IEEE 62582 et certains éléments communs à toutes les méthodes. L'IEEE 323 fournit des informations concernant le rôle de la surveillance de l'état dans la qualification des équipements importants pour la sûreté.

Cette norme est applicable aux équipements qui ne sont pas sous tension.

2 Termes and définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1

module indenter

rapport entre les différences des forces appliquées pour obtenir une pénétration donnée d'une sonde de forme standard dans un matériau. Celui-ci est exprimé en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

NOTE Le terme "module" fait typiquement référence au module d'élasticité du matériau qui est défini comme le rapport des contraintes appliquées pour obtenir une déformation élastique donnée et qui est exprimé en $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ (Pa). Cependant, dans le cas de l'utilisation d'un poinçon, il est courant d'employer le terme « module indenter » pour décrire le rapport entre les forces appliquées pour déformer le matériau et d'exprimer celui-ci en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

3 Abréviations et acronymes

EDD	Evènement De Dimensionnement
IM	Module indenter
SiC	Caoutchouc silicone
CSPE	Polyéthylène chlorosulphoné
EPDM	Caoutchouc éthylène-propylène diène
XLPE	Polyéthylène réticulé

4 Description générale

On utilise généralement une sonde instrumentée pour le poinçonnement, qui pénètre le matériau à une vitesse donnée, celui-ci comprenant une cellule de charge ou dispositif de mesure de force équivalent, branchée sur la sonde, qui mesure la force nécessaire pour maintenir la vitesse constante. Le déplacement de la sonde est mesuré par un dispositif adapté. Le déplacement ainsi que la vitesse sont limités pour protéger le matériau d'une détérioration irréversible. Le module indenter est calculé en faisant le rapport des forces appliquées évoluant pour une déformation donnée durant le déplacement à l'intérieur du matériau.

5 Applicabilité, reproductibilité et complexité

5.1 Généralités

Lorsque des matériaux organiques ou des polymères vieillissent, ils durcissent souvent, ce qui entraîne une augmentation du module indenter. Certains matériaux, tels que certaines formules de caoutchouc de butyle, ramollissent sous l'effet du vieillissement thermique et/ou des rayonnements. L'objectif de la surveillance de l'évolution du module indenter est l'estimation des vitesses et des niveaux de dégradation causés par le vieillissement.

5.2 Applicabilité

La méthode indenter est généralement utilisée pour réaliser des mesures sur les câbles (gainés, isolant) et les joints toriques. Son utilisation nécessite des fixations particulières adaptées aux formes des échantillons.

Il convient que cette méthode ne soit appliquée que pour des matériaux dont la dureté varie de façon monotone par rapport au vieillissement.

La méthode indenter peut être appliquée pour des équipements présentant un niveau d'intégrité élevé de façon non intrusive. Cependant, il convient que le processus de réalisation de mesures de module indenter sur des équipements sur le terrain comprenne les contrôles permettant de garantir que les détériorations – causées par la sonde ou dues aux manipulations nécessaires pour atteindre les points de mesure – n'ont pas dégradé l'équipement. Il convient que le processus mette en œuvre les réparations nécessaires pour prendre en compte tout équipement qui a été endommagé ou qui est susceptible de subir une détérioration.

Les mesures réalisées sur le terrain n'ont accès qu'à la paroi externe de l'équipement. Concernant les mesures sur les câbles faites sur le terrain, ceci limite de fait les mesures aux matériaux de gainage des câbles. Il peut être possible d'évaluer l'état de l'isolant du câble à partir des mesures réalisées sur sa gaine, si une relation entre la dégradation liée au vieillissement du matériau de gainage et la dégradation liée au vieillissement de l'isolant du câble est connue. La validité de cette relation doit être démontrée et elle doit être suffisamment sensible pour permettre une surveillance correcte durant la vie du câble.

5.3 Reproductibilité

Les valeurs du module indenter peuvent être influencées par les différences observées aux niveaux des dimensions et de la constitution interne des spécimens, par la température et l'humidité des spécimens, par la stabilité des spécimens et par la contamination des spécimens. Si des mesures sont réalisées en présence de vibrations excessives, cela peut avoir une influence sur la valeur mesurée. L'influence liée aux différentes dimensions des spécimens et leurs constitutions est généralement observée dans le cas de mesures pratiquées sur les câbles, lorsque le point de mesure peut être situé au-dessus d'une cavité présente sous la surface de la gaine. La coupe transversale de l'isolant du conducteur d'un câble classique peut être significativement différente de celle d'un tube idéal et ceci peut, suivant l'endroit où la mesure est faite, entraîner des variations au niveau des valeurs

mesurées pour le module indenter. Ces variations tendent à être localisées. Les mesures doivent être réalisées en différents points de l'équipement afin de compenser ces variations localisées (voir 6.6).

Une illustration des variations dues aux différences entre les dimensions et les constitutions des spécimens est donnée en Annexe A.

NOTE Une bonne connaissance de la constitution de l'équipement est importante avant de faire le choix de la position du point de mesure. Lorsque la fabrication des câbles n'a pas été rigoureuse, on peut s'attendre à avoir des variations significatives et il est important que les mesures sur la gaine soient réalisées au contact du conducteur plutôt qu'au dessus d'une cavité.

5.4 Complexité

Le degré de complexité auquel on doit faire face pour réaliser des mesures de module indenter sur le terrain dépend souvent de difficulté rencontrée pour accéder aux câbles. Des systèmes d'instrumentation installés de façon permanente peuvent être utilisés sur le terrain pour les câbles accessibles. Dans ce cas, la génération des données est rapide et les mesures peuvent être réalisées en un grand nombre de points sur une période de temps courte. Les instruments peuvent être configurés pour que ces données soient produites et stockées directement. Les mesures à réaliser sur des équipements présentant des géométries plus complexes et des possibilités d'accès limitées peuvent demander la mise en œuvre de systèmes de fixations particuliers. Les mêmes systèmes de fixation doivent être utilisés pour répéter les mesures du module indenter.

6 Procédure de mesure

6.1 Stabilisation des polymères

Un délai approprié doit être prévu pour que les polymères des équipements fabriqués récemment se stabilisent avant de réaliser toute surveillance de l'état ou tout programme de vieillissement accéléré. Cette période de temps durant laquelle les polymères se stabilisent dépend normalement des additifs de traitement et de la composition des polymères. Si des données concernant le temps de stabilisation ne sont pas disponibles auprès du fabricant, il convient de prendre un délai de 6 mois.

6.2 Echantillonnage et localisation des points de mesure

Les mesures du module indenter réalisées en laboratoires sur des échantillons prélevés sur le terrain et les mesures du module indenter réalisées sur le terrain fournissent seulement des informations sur l'état d'un équipement installé à un endroit précis. La connaissance des conditions d'environnement dans des zones représentatives de l'exploitation de la tranche est un pré-requis pour choisir la localisation des points de mesure. Comme les effets liés à l'échauffement des équipements et aux rayonnements peuvent être plus importants à proximité des sources de chaleur et de rayonnements, il convient de considérer le choix de la localisation des points de mesure en prenant en compte cela. La position des points de mesure et l'information disponible à propos de l'historique environnemental de la localisation de ces points de mesure doivent être documentées.

Les procédures d'échantillonnage et de mesure doivent être conformes aux consignes locales, prenant en compte la sûreté des personnels et des équipements. Il convient de limiter au minimum les manipulations des équipements au cours des mesures ou lors du prélèvement des échantillons sur l'installation, par exemple il convient que les câbles ne soient pas courbés plus que nécessaire lors de la mesure ou lors du prélèvement de l'échantillon.

6.3 Conditions de mesure

La surface sur laquelle les mesures sont à faire ne doit pas présenter de débris de surface. Sur le terrain, il peut être nécessaire de procéder à un essuyage à sec pour enlever la saleté

présente en surface et empêcher toute contamination du dispositif de poinçonnement. En aucun cas on ne doit utiliser de solvants pour nettoyer la surface.

Le module indenter varie avec la température et l'humidité contenue dans l'échantillon comme indiqué par l'Annexe A.

Lorsque les mesures sont réalisées en laboratoire, par exemple suite à un vieillissement thermique accéléré, elles doivent être faites dans de l'air ambiant à une température de 20 ± 5 °C, avec une humidité relative située entre 45 % et 75 %. On doit prévoir suffisamment de temps pour que les échantillons se stabilisent de façon équilibrée par rapport à l'environnement ambiant avant de commencer les mesures.

NOTE 1 Lorsque les matériaux sont hygroscopiques, il convient de noter que les échantillons peuvent être extrêmement secs à la suite du vieillissement artificiel accéléré, ceci étant dû à l'exposition long terme à des températures élevées dans un four. Pour ces matériaux, les valeurs du module indenter mesurées peuvent être significativement plus élevées que celles observées pour un échantillon à l'équilibre avec les conditions d'ambiance du laboratoire. Ceci est particulièrement important pour la surveillance de l'état des matériaux isolants hygroscopiques, lorsque la valeur finale du module indenter, sur laquelle repose l'état qualifié, est mesurée à la suite d'un vieillissement thermique accéléré avant que cet échantillon ne soit soumis à un essai de EDD. L'Article A.3 fournit des recommandations pour traiter de ces questions particulières.

Il peut être impossible de réaliser des mesures sur le terrain en ambiance atmosphérique normale. Dans ce cas la température de l'air environnant et la température de surface pour lesquelles les mesures sont faites doivent être enregistrées.

NOTE 2 L'Annexe A montre une méthode permettant d'établir les valeurs mesurées du module indenter à différents niveaux de température. En plus de noter la température à laquelle la valeur a été mesurée, il est recommandé que la valeur correspondant à 20 °C soit calculée et enregistrée.

6.4 Instrumentation

Le poinçonnement est réalisé en faisant pénétrer une sonde instrumentée à une vitesse constante dans le matériau, alors qu'une cellule de charge ou un dispositif de mesure de force équivalent, connecté à la sonde, mesure la force appliquée. La sonde doit avoir la forme d'un cône en acier tronqué dont la géométrie et les dimensions sont présentées par la Figure 1. Le déplacement de la sonde est mesuré par un dispositif approprié. Le point de l'extrémité de la sonde qui est au contact du matériau est sensible au changement de force exercée. Le déplacement total de la sonde est normalement limité à une fraction de mm pour prévenir toute déformation irréversible et pour rester dans le domaine où la force exercée et le déplacement sont à peu près linéairement proportionnels. Le module indenter est alors calculé en divisant la variation de la force exercée par le déplacement correspondant durant la pénétration. Les faibles charges et les faibles déplacements mis en œuvre par ce procédé empêchent l'apparition d'effets irréversibles pour le matériau.

NOTE Bien que le déplacement total soit limité, pour certains matériaux la relation liant la force exercée et le déplacement est significativement non linéaire.

Dimensions en millimètres

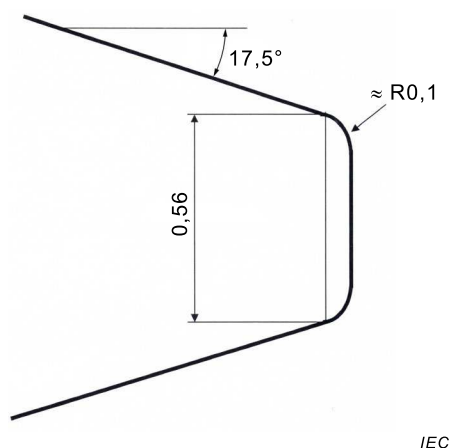


Figure 1 – Géométrie et dimensions correspondant au profil de l'extrémité de la sonde (cône tronqué) utilisée pour le poinçonnement

Généralement un poinçon est un instrument cylindrique manipulable à la main. A l'extrémité de l'instrument, un dispositif approprié de serrage maintient le câble ou le fil dans une position de sécurité pour que la sonde puisse pénétrer uniformément dans la gaine ou dans l'isolant du câble ou du fil respectivement. La sonde est située dans l'instrument et est reliée à une cellule de charge sensible. Un servomoteur et un appareillage approprié permettent de faire pénétrer la sonde dans l'échantillon et la position de la sonde est mesurée par un capteur de position. Un capteur de température est situé à proximité des dispositifs de serrage. L'alimentation électrique et les signaux de commande des moteurs électriques, ainsi que les sorties de la cellule de charge, du capteur de position et du capteur de température sont transmis par des câbles reliés à un contrôleur séparé qui peut être branché directement à un ordinateur ou qui peut enregistrer les données sur site qui ensuite peuvent être déchargées sur un ordinateur distant. Les paramètres tels que la vitesse de la sonde, la force maximale exercée et le déplacement sont chargés à l'avance sur le contrôleur avant de commencer la mesure. L'instrument est aussi conçu pour qu'on puisse modifier le système de serrage du câble pour permettre l'étalonnage de la cellule de charge en utilisant des poids adaptés et le déplacement de la sonde en utilisant un comparateur.

6.5 Etalonnage et tolérances

Le poinçon et le système de mesure doivent être étalonnés avant chaque série de mesures conformément aux recommandations du fabricant. L'étalonnage doit être réalisé pour le capteur de force comme pour le capteur de vitesse. L'erreur totale relative à la mesure de la force doit être inférieure à 3 % de la valeur maximale de la gamme de force exercée, ceci prenant en compte les tolérances associées à l'instrumentation comme à la précision de la lecture. La vitesse de déplacement de la sonde doit être constante. L'erreur totale relative à la mesure de la vitesse demandée doit être inférieure à 2 %.

6.6 Sélection des points de mesure

On doit réaliser des mesures en plusieurs points de chacun des endroits choisis pour effectuer les mesures sur le terrain, on doit calculer et enregistrer la moyenne des mesures et l'écart type. Si le nombre de points est supérieur à sept, la plus haute et la plus basse des valeurs doivent être exclues des calculs de la valeur moyenne et de l'écart type. Pour les mesures devant être réalisées sur les câbles, on doit utiliser un minimum de trois points situés sur la circonférence câble pour une position donnée sur la longueur et ceci pour trois positions distinctes sur la longueur du câble. Lorsque l'espace est limité, il peut ne pas être possible de tourner sur la circonférence du câble. Dans ce cas, on doit choisir un minimum de neuf points, chacun distant de 60 mm à 100 mm le long du câble.

Dans le cas de mesures effectuées en laboratoire sur des échantillons de câbles, on doit utiliser un minimum de trois points sur la circonférence du câble pour une position donnée sur la longueur du câble. Les positions de mesure sur le câble doivent se situer à plus de 100 mm des extrémités de l'échantillon.

Pour les mesures à réaliser sur des joints toriques, on doit faire celles-ci en un nombre comparables de points, si la taille du joint le permet.

6.7 Sélection de la vitesse de la sonde et de la force maximale exercée

Avant de commencer les mesures, les paramètres d'essai doivent être chargés dans le système de mesure. En particulier, il convient de définir des limites pour la charge maximale exercée et le déplacement maximal pour éviter tout endommagement de l'équipement objet de la mesure.

La vitesse de déplacement de la sonde peut avoir une influence significative sur la valeur mesurée du module indenter. La vitesse de la sonde doit être comprise entre 5 mm par min et 5,2 mm par min. La vitesse de la sonde choisie doit être enregistrée dans le compte rendu.

La force maximale exercée doit être comprise entre une valeur suffisamment élevée pour obtenir une résolution satisfaisante sur l'axe de déplacement et une valeur suffisamment basse pour garantir que la sonde n'endommage pas le câble. Pour beaucoup d'isolants polymères, une force maximale de 10 N est recommandée. Ceci entraîne une pénétration de la sonde bien inférieure à 1 mm. Pour certains matériaux isolants, tels que le SiR, une valeur plus faible que 10 N peut être nécessaire pour éviter toute pénétration excessive.

6.8 Serrage

Lorsqu'on réalise des mesures sur les câbles, la valeur mesurée du module indenter peut être fortement influencée par le niveau de pression exercée par les mors de serrage, nécessaire au maintien en position sûre des câbles. De façon à minimiser ces effets, les câbles doivent être maintenus en utilisant le niveau de force minimal pour les garder en place. Les problèmes relatifs au serrage de maintien doivent être enregistrés dans le compte rendu de mesure.

6.9 Détermination de la valeur du module indenter

Le module indenter est déterminé par la pente de la droite représentant la force en fonction du déplacement et il est exprimé en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$.

$$IM = (F_2 - F_1)/(d_2 - d_1) \quad (1)$$

où

IM est le module indenter;

F_i est la valeur de la force correspondant au déplacement d_i .

IM doit être déterminé en utilisant les valeurs $F_1 = 1 \text{ N}$ et $F_2 = 4 \text{ N}$, voir la Figure 2.

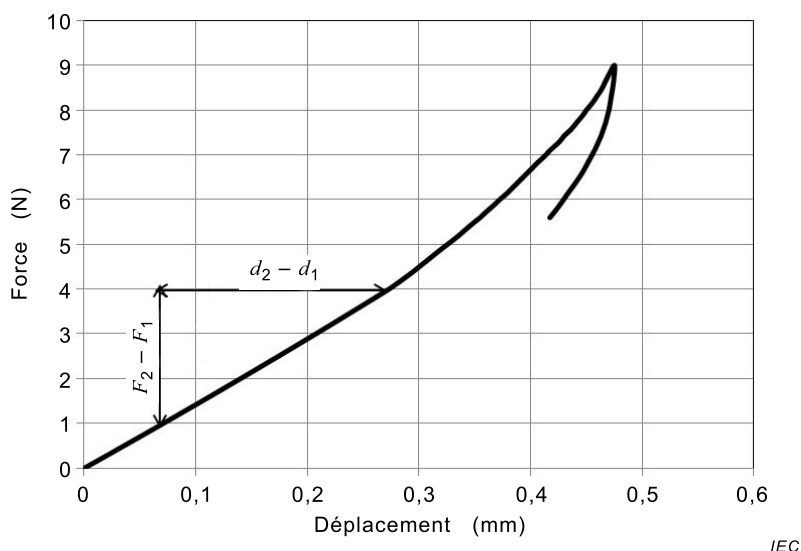


Figure 2 – Calcul du module indenter

NOTE Certains appareils utilisés pour les mesures indenter indiquent la valeur de la force en fonction du temps (exprimée en $\text{N}\cdot\text{s}^{-1}$). La valeur du module indenter exprimée en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ est alors calculée comme la valeur exprimée en $\text{N}\cdot\text{s}^{-1}$ divisée par la vitesse de la sonde en $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

6.10 Compte rendu

Le compte rendu de mesure doit au minimum comprendre les éléments suivants:

- a) Identification de l'équipement objet de la mesure, y compris la formule de composition de la matière. Concernant le choix des échantillons sur le terrain ou bien les mesures sur le terrain, on doit indiquer la tranche et la localisation par rapport aux sources de chaleur et de rayonnements (6.2).
- b) Historique de l'équipement avant mesure qui peut comprendre:
 - les mesures indenter réalisées sur des échantillons d'un équipement neuf (non vieilli): stockage et intervalle de temps entre la production de l'équipement échantillonné et le début de la mesure (6.1);
 - les mesures indenter réalisées sur des échantillons vieillis artificiellement: conditions de vieillissement des échantillons (6.2);
 - les mesures indenter réalisées sur des échantillons vieillis naturellement (par exemple mesures sur le terrain): historique des conditions environnementales auxquelles l'échantillon a été soumis (6.2).
- c) Lieu et date de la mesure (laboratoire ou site).
- d) Pour les mesures en laboratoires pratiquées sur des échantillons vieillis artificiellement par procédé thermique: l'intervalle de temps séparant le retrait de l'échantillon de la chambre chaude et le début de la mesure (6.3).
- e) Température ambiante et de surface au moment de la mesure (6.3).
- f) Autres conditions et situations locales rencontrées durant les mesures et qui peuvent avoir une influence sur les résultats.
- g) Instrumentation de mesure, y compris les versions logicielles (6.4).
- h) Procédure d'étalonnage (6.5).
- i) Points de mesure (6.6).
- j) Vitesse de déplacement de la sonde (6.7).
- k) Force maximale exercée (6.7).
- l) Montage de l'échantillon et problèmes liés au serrage (6.8).

- m) Pour les mesures sur le terrain: observations de l'état de l'équipement avant les mesures du module indenter et après (6.2).
- n) Valeur moyenne et écart type du module indenter (après avoir supprimé la plus grande et la plus petite valeur), en $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ ainsi que les informations relatives à la gamme de force pour laquelle celui-ci a été déterminé (normalement 1 N à 4 N) (6.6 et 6.9).

NOTE Si les mesures du module indenter sont réalisées à une température supérieure à 25 °C, il est recommandé que la valeur référencée à 20 °C, calculée conformément aux recommandations de l'Annexe A, soit aussi enregistrée dans le compte rendu.

- o) La courbe présentant la force par rapport au déplacement.
- p) Toute autre information importante pour l'interprétation des résultats de mesure ayant un lien avec l'objectif de ces mesures.

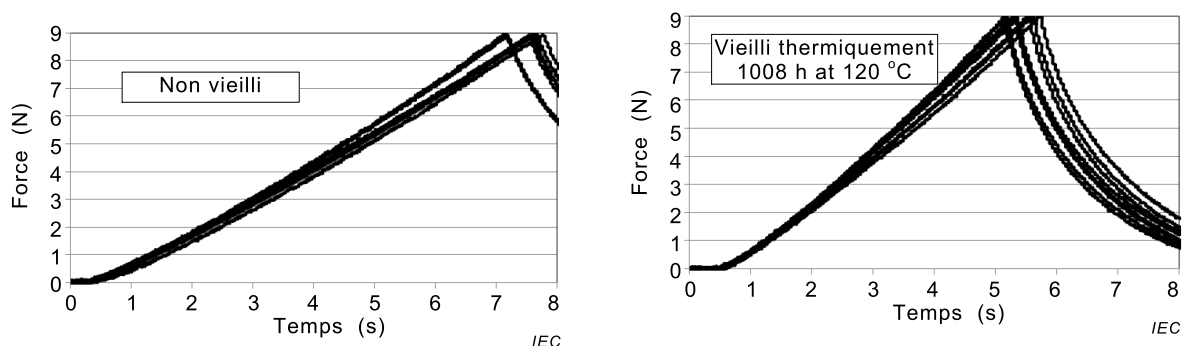
Un exemple de compte rendu de mesure est fourni en Annexe B.

Annexe A (informative)

Exemples de facteurs induisant des écarts au niveau de la mesure du module indenter

A.1 Exemple de l'influence des différents types de construction et différentes dimensions d'équipement

La Figure A.1 montre les variations dues aux différents types de construction et différentes dimensions d'équipement, en présentant des ensembles de données correspondant à des mesures de module indenter réalisées en huit endroits différents de la gaine d'un câble à 7 conducteurs, gainé en CSPE et dont le matériau isolant est de l'EPDM. Les valeurs moyennes et les écarts type du module indenter étaient de $15,57 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ et $0,58 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ pour une gaine de câble non vieilli, $23,21 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ et $1,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ pour une gaine de câble vieilli thermiquement.



NOTE La vitesse de la sonde était de $5,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ et les valeurs du module indenter ont été calculées entre 1 N et 4 N en divisant par $5,2\cdot 60^{-1}$.

Figure A.1 – Exemple de variation locale de la valeur du module indenter due à la variation de dimension et de construction de l'équipement

A.2 Exemples d'influence de la température

Ces exemples proviennent d'une étude de la dépendance des valeurs du module indenter par rapport à la température et ceci sur trois types de câble vieillis thermiquement:

- Gaine et matériau isolant les conducteurs: CSPE,
- Gaine: CSPE et matériau isolant les conducteurs: XLPE,
- Gaine et matériau isolant les conducteurs: EPDM.

Les mesures ont été réalisées en 9 points de la gaine (3×3) et les valeurs du module indenter ont été obtenues à partir de la pente de la droite force-déplacement pour une force variant entre 1 N et 4 N. Tous les câbles ont été thermiquement vieillis à 120 °C pendant 48 jours. Les mesures ont été réalisées après stabilisation de la température à 21 °C, 35 °C et 50 °C.

La Figure A.2 montre les résultats en termes de valeur moyenne et d'écart type du module indenter.

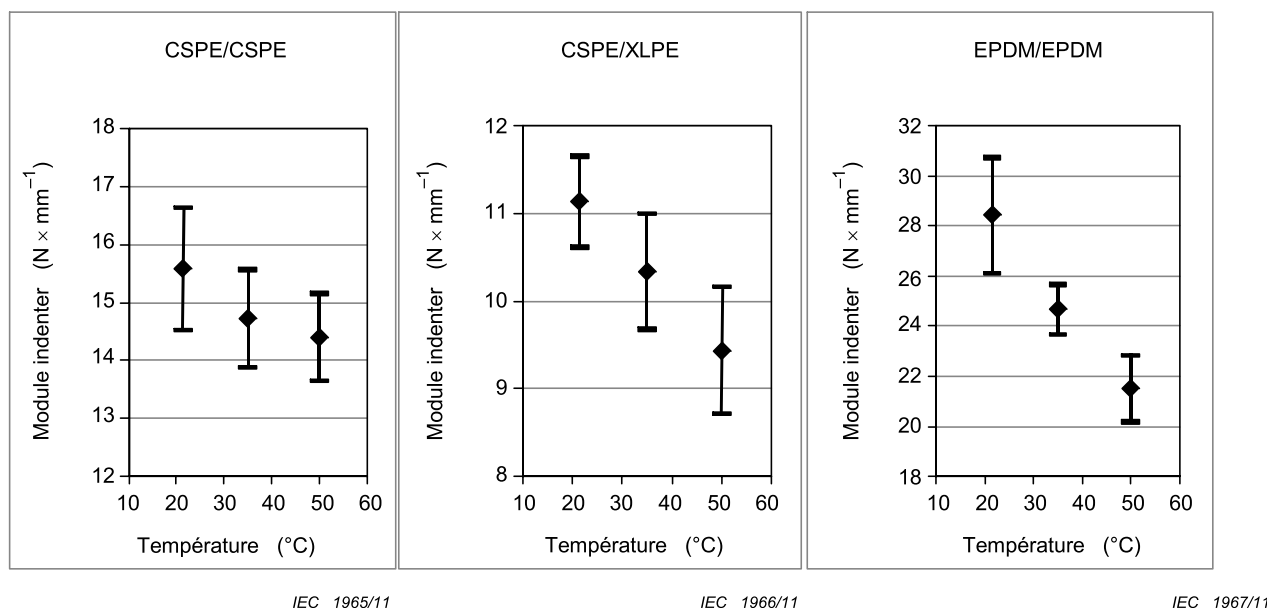


Figure A.2 – Valeur du module indenter mesuré à différentes températures

Les résultats illustrent la dépendance des mesures du module indenter par rapport à la température.

Dans le cas où les mesures sont faites à une température substantiellement différente de la température standard d'essai t_{ref} (20 °C), par exemple sur site, on peut normaliser la valeur IM_{ref} à 20 °C. La valeur calculée de IM_{ref} est donnée par la formule empirique:

$$IM_{\text{ref}} = [1 + A \times (t - t_{\text{ref}}) / (t_1 - t_2)] \times IM_t \quad (\text{A.1})$$

$$A = (IM_2 - IM_1) / [(IM_2 + IM_1)/2]$$

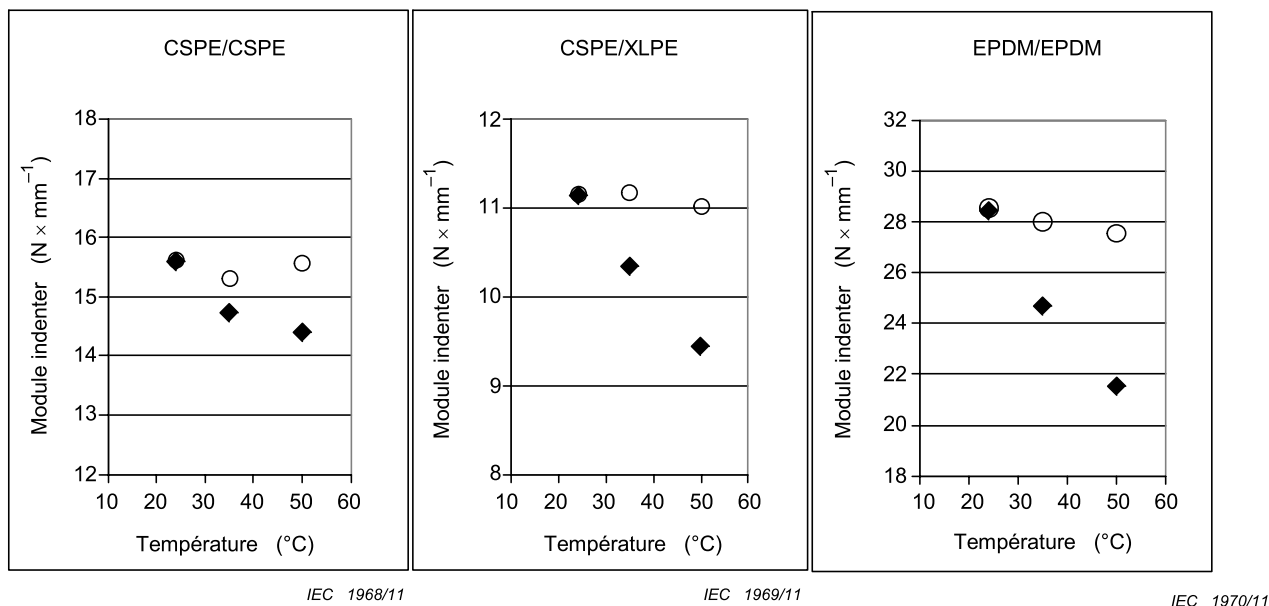
Où

t est la température pour laquelle la mesure a été faite sur le terrain;

IM_t est la valeur mesurée du module indenter à la température t ;

IM_1 et IM_2 sont les valeurs du module indenter respectivement à deux températures différentes t_1 et t_2 obtenues en laboratoires sur le même matériau.

Il convient de choisir t_1 dans la gamme des températures les plus hautes pour lesquelles les mesures ont pu être réalisées sur le terrain, et il convient de choisir t_2 autour des 20 °C. La Figure A.3 montre les valeurs moyennes présentées par la Figure A.2 normalisée conformément à l'Equation (A.1).



NOTE Les pointes de diamant représentent les valeurs mesurées et les ronds les valeurs normalisées.

Figure A.3 – Valeurs normalisées moyennes du module indenter

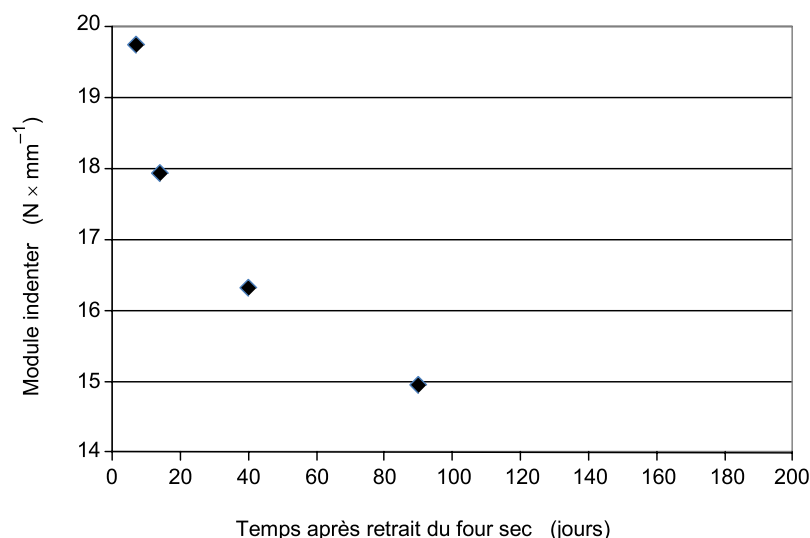
La normalisation marche bien pour des températures comprises entre 20 °C et 50 °C.

Pour résumer, il est recommandé:

- si possible, de mesurer le module indenter après stabilisation à une température standard de 20 °C comme en laboratoire ;
- si il est prévu que les mesures sur site se fassent à des températures significativement plus élevées que la température standard du laboratoire, par exemple pour une comparaison avec l'état qualifié, qu'une valeur pertinente de A soit déterminée et enregistrée dans le compte rendu en utilisant les mesures à deux températures (température du laboratoire et une température élevée proche de celle que l'on prévoit pour les mesures sur site). Il convient que ceci soit réalisé après le vieillissement artificiel en laboratoire qui fait partie des essais de qualification initiale.

A.3 Exemples des effets du dessèchement survenu après vieillissement à hautes températures sur le module indenter

La plupart des matériaux organiques et des polymères utilisés de façon courante à l'intérieur de l'enceinte ne sont pas significativement hygroscopiques. Si des matériaux hygroscopiques sont utilisés, l'influence de l'humidité contenue dans ces matériaux peut être significative pour le module indenter et il convient de prendre celle-ci en compte. Un exemple d'une telle influence pour un matériau donné est fourni par la Figure A.4. L'exemple montre la variation du module indenter après retrait de l'échantillon du four utilisé pour le vieillissement artificiel (120 °C durant 46 jours). Cette variation est due à la récupération graduelle de l'humidité interne de l'échantillon exposé aux conditions d'environnement du laboratoire.

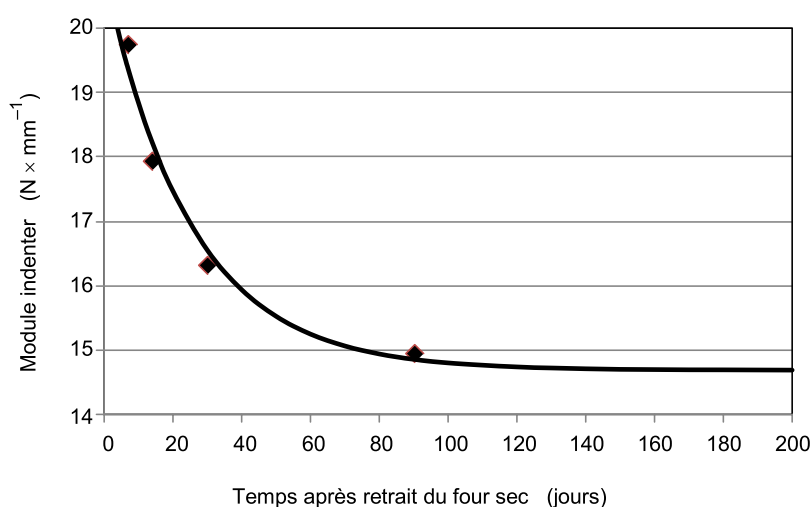


IEC 1971/11

Figure A.4 – Exemple de variation de la valeur du module indenter d'un échantillon hygroscopique observée en laboratoire après retrait du four suite à un long séjour

Comme montré par la figure A.4, la stabilisation en laboratoire du taux d'humidité interne après dessèchement d'un échantillon de matériau hygroscopique peut prendre longtemps. On peut en pratique ne pas avoir le temps nécessaire, pour que l'échantillon atteigne l'équilibre au niveau humidité interne, avant que celui-ci ne soit soumis aux conditions d'évènement de dimensionnement simulées. Une solution pratique consiste à mesurer le module indenter en laboratoire en fonction du temps sur un des échantillons qui a subi le vieillissement accéléré alors que les autres échantillons sont soumis aux conditions d'évènement de dimensionnement. La courbe résultant, similaire à celle présentée par la Figure A.4, peut être utilisée pour estimer la valeur du module indenter associée aux conditions normales d'humidité interne. Cette valeur peut être alors utilisée pour l'état qualifié.

En adaptant la courbe de décroissance, la valeur du module indenter après récupération de l'humidité interne liée aux conditions d'environnement du laboratoire peut être estimée. Ceci est illustré par la Figure A.5.



IEC 1972/11

NOTE La courbe de décroissance est de forme $Ae^{-kt} + B$, où t est le temps après retrait. La valeur estimée après récupération de l'humidité interne par rapport aux conditions d'environnement en laboratoire est de $14,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

Figure A.5 – Adaptation de la courbe de décroissance de la valeur du module indenter de la Figure A.4

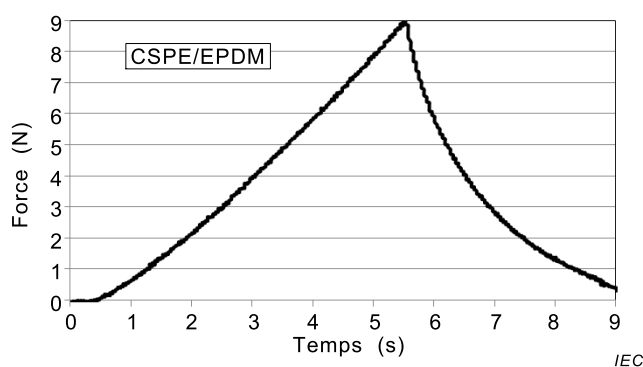
Annexe B (informative)

Exemple de rapport de mesure du module indenter en laboratoire

Cet exemple est tiré d'un programme d'essai d'évaluation réalisé dans le cadre d'un programme de recherche coordonné de l'AIEA sur le vieillissement des câbles.

ID de l'équipement	274 Câble FSSR 7X1
Matériau	Gaine: CSPE (2 mm) – bleue. Isolant et conducteurs: 7 fils: EPDM Cu filé – gris (0,7 mm)
Historique avant mesure	Vieilli artificiellement en four chaud sec. Méthode: Essai Ba IEC 60068. Conditions de vieillissement: 120 °C pendant 42 jours
Lieu et date de la mesure	2 Février 1998 Mesures effectuées dans le laboratoire ABB Atom, Västerås
Conditions de mesure	Intervalle de temps entre le retrait de l'échantillon du four et le début de la mesure du module indenter > 30 jours Mesure de la température: 21,5 °C
Instrument	OGDEN CI 96100007
Étalonnage	Réalisé avant les mesures conformément aux instructions du fabricant de l'instrument. Force étalonnée avec des poids, vitesse de la sonde étalonnée avec un chronomètre. Voir le rapport d'étalonnage N° XXXX.
Points de mesure	3 points sur la gaine positionnés sur chaque circonférence de coupe et ceci en trois endroits sur la longueur du câble.
Vitesse de la sonde	5,162 mm·min ⁻¹
Force maximale	9 N
Montage	Serrage dans des fixations fournies par le fabricant de l'instrument avec la force minimale nécessaire au maintien du câble en place. Fixation de type large utilisée.
Valeur du module indenter	Valeur moyenne 23,39 N·mm ⁻¹ ; écart type 0,99 N·mm ⁻¹ . (Après suppression de la valeur la plus grande et la plus petite)

(Les mesures en 8 points de l'isolant du conducteur (vieilli séparément) donnent une valeur moyenne de 29,35 N·mm⁻¹ avec un écart type de 2,34 N·mm⁻¹.)



NOTE La valeur du module indenter a été calculée en prenant la pente entre 1 N et 4 N et en divisant par 5,162·60⁻¹.

Figure B.1 – Exemple de la force mesurée en fonction du temps

Signature

Date

Bibliographie

IEC 60544-5, *Matériaux isolants – Détermination des effets des rayonnements ionisants – Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service*

IEC 60780, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

IEC/IEEE 62582-1, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques – Partie 1: Généralités*

IEEE Std 323: 2003, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

JNES-SS-0903:2009, *The final report of the project "Assessment of cable ageing for nuclear power plant". T. Yamamoto & T. Minikawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System Safety Division*

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables, IAEA, Vienna*

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