

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 1-5: Encapsulants – Measurement of change in linear dimensions of sheet
encapsulation material resulting from applied thermal conditions**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules
photovoltaïques –**

**Partie 1-5: Encapsulants – Mesurage de la variation des dimensions linéaires
des matériaux d'encapsulation en couches minces résultant des conditions
thermiques appliquées**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 1-5: Encapsulants – Measurement of change in linear dimensions of sheet
encapsulation material resulting from applied thermal conditions**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules
photovoltaïques –
Partie 1-5: Encapsulants – Mesurage de la variation des dimensions linéaires
des matériaux d'encapsulation en couches minces résultant des conditions
thermiques appliquées**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-3494-5

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references.....	5
3 Principle	5
4 Apparatus.....	6
5 Test specimens	6
5.1 Specimen preparation	6
5.2 Number of specimens.....	7
5.3 Preconditioning of specimens	8
6 Procedure	8
7 Calculation and expression of results	9
8 Test report.....	10
Annex A (informative) Implementation and design of the test	11
Bibliography	12
Figure 1 – Schematic identifying the location of specimens within a sample set.....	7
Figure 2 – Schematic identifying the designated measurement locations (AA', BB', CC', DD', EE', aa', bb', cc', dd', and ee') for each specimen	9

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS
USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –****Part 1-5: Encapsulants –
Measurement of change in linear dimensions of sheet
encapsulation material resulting from applied thermal conditions**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62788-1-5 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

FDIS	Report on voting
82/1114/FDIS	82/1134/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62788 series, published under the general title *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules*, can be found on the IEC website.

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

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

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 document using a colour printer.

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 1-5: Encapsulants – Measurement of change in linear dimensions of sheet encapsulation material resulting from applied thermal conditions

1 Scope

This part of IEC 62788 provides a method for measuring the maximum representative change in linear dimensions of encapsulation sheet material in an unrestricted thermal exposure as might or might not be seen during photovoltaic (PV) module fabrication. The standard does not take into account any resulting stresses which may develop due to restricted dimensional changes or friction during module fabrication.

Data obtained using this method may be used by encapsulation material manufacturers for the purpose of quality control of their encapsulation material as well as for reporting in product datasheets. Data obtained using this method may be used by PV module manufacturers for the purpose of material acceptance, process development, design analysis, or failure analysis.

This method may also be used to examine other materials, such as backsheets and frontsheets as described in IEC 62788-2. Certain details of the test (including specimen size and substrate) are specified for that application in 62788-2.

2 Normative references

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

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO 291:2008, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 11357-2:2013, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 2: Determination of glass transition temperature and glass transition step height*

ISO 11357-3:2011, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization*

ASTM C778–06, *Standard specification for standard sand*

3 Principle

Encapsulation material (in sheet form) may change dimensions when processed during the fabrication of a PV module. The change in dimensions is typically caused by stresses formed

in the encapsulant during its fabrication (e.g., extrusion). Subsequent changes during module fabrication (e.g., lamination, including: heating, cooling, and pressurization) can cause stress within the module that may result in deleterious phenomenon including: the formation of bubbles (voids), movement or fracture of internal components, or delamination of the encapsulation at its interface(s). A standardized characterization of the maximum change in dimensions is defined in this procedure. The change in dimensions is characterized on sand to minimize friction (or adhesion) to standardize the result. The stress and strain generated during module lamination are complicated by additional factors not considered here. The effects specific to the processing (lamination) procedure are not necessarily addressed with this procedure.

4 Apparatus

The following equipment shall be utilized to perform the test:

- a) A die, scissors, or other cutting device that may be used to accurately cut-to-size the samples of encapsulation material.
- b) A soft-tipped marker or equivalent device used to indicate the specimen orientation relative to the encapsulation stock.
- c) A calibrated linear measuring device with the resolution of at least $\pm 0,5$ mm. Examples include (but are not limited to) a vernier calliper, ruler, or calibrated camera. The measurement device used should not cause the sample to be distorted during the measurement. The measurement device shall allow an uncertainty for the measured value of the change in linear dimension of $\pm 0,5$ % or less.
- d) A calibrated thickness measuring device with the resolution of at least $\pm 0,01$ mm. Examples include a vernier calliper or micrometre.
- e) A new piece of aluminium foil ("heavy duty" foil, with a thickness of 20 μm to 25 μm) at least 300 mm in length and 300 mm in width.
- f) An air circulating closed-loop controlled oven with a minimum size of 300 mm in length and 300 mm in width, capable of achieving the maximum processing temperature for the encapsulant under test. The temperature within the chamber of the oven should not vary by more than $\pm 2,5$ °C from the intended temperature. An oven consistent with IEC 60216-4-1 may be used.
- g) "Graded" sand, as specified in ASTM C778, used to allow free movement of the sheet of the encapsulation material over the surface of the aluminium foil.

5 Test specimens

5.1 Specimen preparation

From a received roll of encapsulation material which has been verified to have been stored according to supplier recommendations and has not exceeded its expiration date, cut square specimens 100 mm $\times$ 100 mm in size. The specimens shall be obtained at least 200 mm from the outside edges of the roll. A carefully cut (uniform) edge that minimizes size variation (in length and width) shall be used. The exact specimen size may vary slightly (± 5 mm) from that intended; however, all specimens shall be smaller than the piece of aluminium foil.

Some users may wish to apply the test procedure for other purposes, such as verifying the homogeneity of the material across the width of a roll of encapsulation. In such cases, material may be sampled from other locations within the roll.

The specimens shall be handled without sudden movement, in a rigid manner during and after preparation to avoid undue stretching of the material.

The machine direction (along the length of the roll) and transverse direction (across the width of the roll) shall be marked on each specimen.

Once cut to size, any interleaf, liner, or release film shall be removed from the encapsulation specimens.

The thickness of the encapsulation test specimen shall be measured after its preparation. The thickness shall be taken as the mean of three values obtained at different locations on the specimen, preferably away from the cut edges which may have been deformed during cutting.

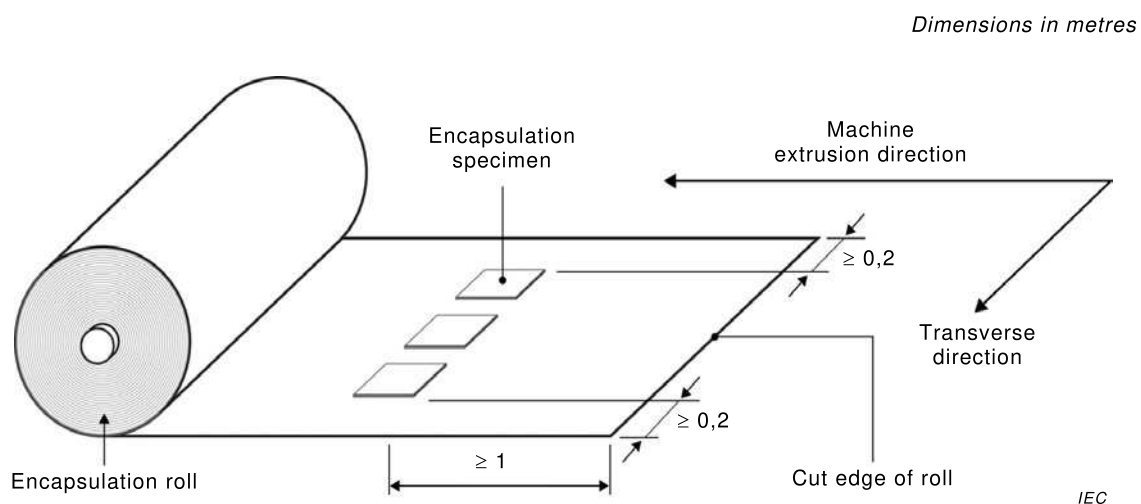
Use of gloves is recommended during specimen preparation to avoid contaminating the specimens and/or roll of material.

A consistent thickness measurement technique should be used for the thickness measurement, which is applied only for reference in this standard, because some encapsulation products are embossed or surface textured.

5.2 Number of specimens

A sample set shall be defined as three specimens taken from a separate location along the lateral (transverse) direction of the roll.

For the purpose of datasheet reporting, a minimum of 6 sample sets shall be prepared, where a set sample consists of three specimens. The sample sets shall be obtained from at least two separate rolls of material, where the sample sets shall be taken from the beginning, middle and end of each roll (for a total of 18 specimens). Each sample set consists of a specimen obtained from the interior in addition to two specimens obtained closer to the edges of the roll, as shown in Figure 1. The sample sets obtained from the “beginning” and “end” of the roll shall be taken at least 1 m from the ends of the roll.



NOTE Only the sample set taken at the beginning of a roll is shown.

Figure 1 – Schematic identifying the location of specimens within a sample set

If the datasheet value is also used as a baseline for the purpose of quality control, sampling considerations (and the corresponding number of samples) should incorporate: a time interval between sampling (to avoid successively manufactured rolls); sampling from multiple production lines (if applicable); sample size (number of rolls) allowing for analysis of statistical variation.

For the purpose of quality control and manufacturing process control, different sampling quantities and sampling sets may be chosen by the material or module manufacturer.

5.3 Preconditioning of specimens

The specimens shall not be processed (such as a thermal cure) or preconditioned prior to this test. Rolls of material should be stored and subsequently handled as recommended by their manufacturer. The specimens shall be maintained at laboratory conditions (25 °C and 50 % relative humidity as in ISO 291) before and after the test. The specimens shall be tested promptly (within 8 h) after their preparation.

To obtain representative results, the time between the test and sample preparation should be kept consistent.

6 Procedure

The following procedure shall be performed for each specimen of the sample set:

- a) Adjust the oven temperature to the maximum processing temperature recommended by the encapsulation material manufacturer (or the maximum processing temperature used by the module manufacturer) and allow the temperature of the oven to stabilize at the designated temperature for at least 5 min.

In the case of materials that have a phase transition and a thermal facilitated cross-linking reaction, the material shall be examined at a temperature intermediate to the phase transition and the cross-linking temperature in order to determine the maximum size-change. Phase transitions should be evaluated as in ISO 11357-2 or ISO 11357-3. For example, poly(ethylene-co-vinyl acetate) may be examined at approximately 100 °C which is intermediate to its melt and curing temperatures.

- b) Place a new piece of smooth, wrinkle-free aluminium foil on a rack inside or on the base of the chamber of the oven. A tray or metal sheet may be placed on the rack in the oven to support the aluminium foil and facilitate specimen removal.
- c) Place a uniformly thick layer of sand (approximately 2 mm to 4 mm thick) on top of the aluminium foil and close the oven door. The sand may be graded by passing a straight-edge (such as a blade, rigid applicator, ruler, roller, or similar object) over its surface to improve its uniformity of thickness.
- d) Allow the temperature of the sand to stabilize for at least 5 min in the oven. The temperature of the sand substrate (at equilibrium within the heated oven) should be verified for the oven at least once prior to testing. Temperature may be verified at locations, including the centre of the substrate, using: a thermocouple, infrared thermometer, infrared imaging, or other suitable methods.
- e) Accurately mark, measure, and record the dimensions of the test specimen in the machine direction (MD) and transverse direction (TD). Five separate measurements spaced evenly (20 mm nominal separation) shall be performed along the MD (from A to A', B to B', C to C', D to D', E to E') and TD (a to a', b to b', c to c', d to d', e to e') of the sample. Two of the five measurements shall be performed at least 10 mm from the corners of the specimens, as shown in Figure 2. All measurements shall be performed at least 10 mm within the specimen periphery. The specimens shall be marked with a soft-tip marker so that the same measurement locations may be used before and after heat treatment.

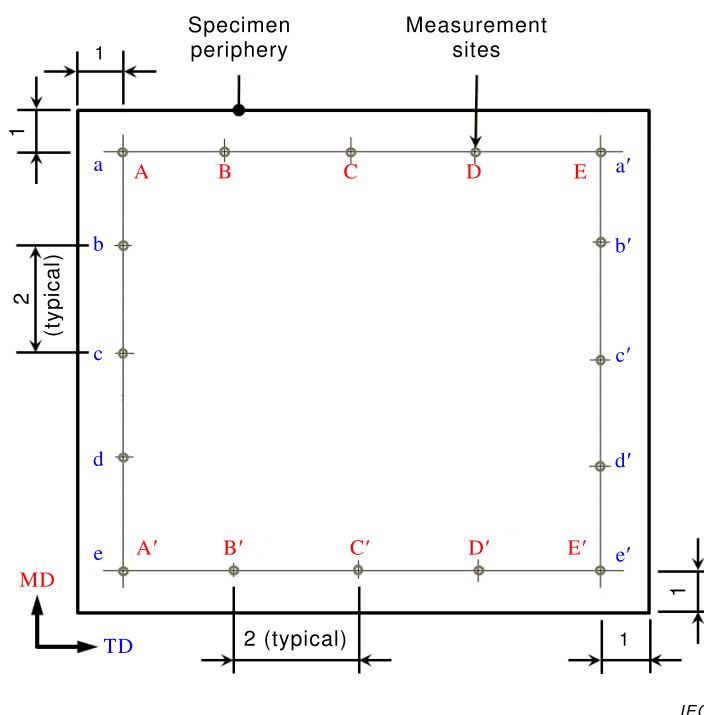
Dimensions in centimetres

Figure 2 – Schematic identifying the designated measurement locations (AA', BB', CC', DD', EE', aa', bb', cc', dd', and ee') for each specimen

- f) Open the oven door, place the encapsulation specimen on top of the sand, and close the oven door.
Multiple specimens may be simultaneously conditioned in the same oven. If the oven has adequate space, ensure that the specimens are loaded quickly, so that the oven chamber temperature is minimally affected.
- g) After 300 s, remove the aluminium foil (supporting the sand and test specimen) from the heated oven.
- h) Place the aluminium foil including sand and test specimen in a separate location and allow sufficient time for it to cool to ambient temperature, which may be confirmed by measuring the sand temperature.
- i) Remove the specimen from the sand, measure and record the dimensions of the cooled specimen along the MD and TD at the same locations measured before heating.

7 Calculation and expression of results

Use formula (1) to calculate ΔL , the percent size change by subtracting the final measurement (L_f) from the initial measurement (L_i) obtained at the corresponding location in the same direction. Divide the difference by the initial measurement (at each corresponding measurement site in each direction), and then multiply by 100.

$$\Delta L = 100 \cdot \frac{L_f - L_i}{L_i} \quad (1)$$

If the initial measurement is less than the final measurement, a positive ΔL value indicates specimen growth; if the initial measurement is more than the final measurement a negative ΔL value indicates specimen shrinking.

From the six different set samples, determine the maximum ΔL (the maximum of the 90 values) and corresponding range (the maximum of the ninety ΔL values minus the corresponding minimum of the ninety ΔL values) in each direction.

From the six different set samples, determine the mean ΔL and corresponding standard deviation (of all ninety ΔL values) in each direction.

The repeatability and reproducibility of the method are described in [2]¹.

8 Test report

A report of the test shall be prepared by the test agency in accordance with ISO/IEC 17025. The report shall contain the detail specification for the specimens. Each test report shall include at least the following information:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the report and of each page;
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item tested including the thickness of the sample;
- f) characterization and condition of the test item, including the test temperature and the duration of the test;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) identification of test method used;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to a specific tests, such as environmental conditions;
- k) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate, including the maximum ΔL and corresponding range measured in each specimen in the set samples in both the machine extrusion (rolling) and transverse directions; the mean ΔL and corresponding standard deviation measured in each specimen in both directions;
- l) a statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant);
- m) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- n) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- o) a statement that the report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

It is highly recommended that both encapsulation suppliers and module manufacturers maintain a copy of this report, which shall be kept for reference purposes.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

Annex A (informative)

Implementation and design of the test

Details that may aid in the implementation or understanding of the test may be found in the literature.

Bibliography

- [1] D.C. Miller, L. Ji, G. Kelly, X.H. Gu, N. Nickel, P. Norum, T. Shioda, and G. Tamizhmani, and J.H. Wohlgemuth, “Examination of Size-Change Test for PV Encapsulation Materials”, *Proc. SPIE*, 2012, pp. 8472-29
- [2] D. C. Miller, J. Bokria, X.H. Gu, C. Honeker, N. Nickel, K. Sakurai, T. Shioda, G. Tamizhmani, E. Wang, S.Y. Yang, T. Yoshihara, O. Zubillaga, and J.H. Wohlgemuth, “Verification of Size-Change Test for PV Encapsulation Materials”, *Proc. SPIE*, 2015
- [3] IEC TS 62788-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials used for frontsheets and backsheets*²

² To be published.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
1 Domaine d'application.....	17
2 Références normatives	17
3 Principe.....	18
4 Appareillage	18
5 Éprouvettes	18
5.1 Préparation de l'éprouvette.....	18
5.2 Nombre d'éprouvettes	19
5.3 Préconditionnement des éprouvettes	20
6 Procédure	20
7 Calcul et expression des résultats.....	22
8 Rapport d'essai	23
Annexe A (informative) Mise en œuvre et conception de l'essai	25
Bibliographie	26
Figure 1 – Schéma indiquant l'emplacement des éprouvettes d'un jeu d'échantillons.....	20
Figure 2 – Schéma indiquant les emplacements de mesure désignés (AA', BB', CC', DD', EE', aa', bb', cc', dd', et ee') pour chaque éprouvette.....	22

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS
DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –****Partie 1-5: Encapsulants –
Mesurage de la variation des dimensions linéaires
des matériaux d'encapsulation en couches minces résultant
des conditions thermiques appliquées**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62788-1-5 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1114/FDIS	82/1134/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62788, publiées sous le titre général *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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.

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-5: Encapsulants – Mesurage de la variation des dimensions linéaires des matériaux d'encapsulation en couches minces résultant des conditions thermiques appliquées

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62788 fournit une méthode de mesure de la variation maximale représentative des dimensions linéaires des matériaux d'encapsulation en couches minces dans le cas d'une exposition thermique non limitée qui pourrait se produire au cours de la fabrication de modules photovoltaïques (PV). La norme ne prend pas en compte les éventuelles contraintes résultant de variations dimensionnelles limitées ou d'un frottement au cours de la fabrication des modules.

Les données obtenues avec cette méthode peuvent être utilisées par les fabricants de matériaux d'encapsulation dans le but d'assurer le contrôle de la qualité de leurs matériaux, et de les consigner dans les fiches techniques de leurs produits. Les données obtenues avec cette méthode peuvent être utilisées par les fabricants de modules photovoltaïques à des fins d'acceptation des matériaux, d'élaboration de procédés, d'analyse de conception ou d'analyse de défaillances.

Cette méthode peut aussi être utilisée pour le contrôle d'autres matériaux comme ceux utilisés dans les faces arrière et les faces avant décrites dans l'IEC 62788-2. Certains détails de l'essai (y compris la taille de l'éprouvette et le substrat) sont spécifiés pour cette application dans l'IEC 62788-2.

2 Références normatives

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

IEC 60216-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO 291:2008, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 11357-2:2013, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 2: Détermination de la température de transition vitreuse et de la hauteur de palier de transition vitreuse*

ISO 11357-3:2011, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 3: Détermination de la température et de l'enthalpie de fusion et de cristallisation*

ASTM C778–06, *Standard specification for standard sand* (disponible en anglais seulement)

3 Principe

Les dimensions des matériaux d'encapsulation (en couches minces) peuvent varier lors de leur traitement au cours de la fabrication d'un module photovoltaïque. La variation des dimensions est généralement due aux contraintes subies par l'encapsulant pendant sa fabrication (par exemple, au cours de l'extrusion). Les modifications ultérieures observées au cours de la fabrication des modules (par exemple, pendant la lamination, avec le chauffage, le refroidissement et la mise sous pression atmosphérique) peuvent générer des contraintes à l'intérieur du module pouvant engendrer des phénomènes nuisibles comme la formation de bulles (vides), le déplacement ou la rupture de composants internes ou la délamination de l'encapsulation à son ou ses interfaces. Cette procédure définit une méthode de caractérisation normalisée de la variation dimensionnelle maximale. Cette variation dimensionnelle est évaluée sur du sable de manière à réduire le plus possible le frottement (ou l'adhérence) afin d'obtenir des résultats avec une démarche normalisée. Des facteurs supplémentaires qui ne sont pas pris en compte ici rendent les contraintes et les déformations produites au cours de la lamination des modules encore plus complexes. Les effets spécifiques à la procédure de traitement (lamination) ne sont pas nécessairement traités par cette procédure.

4 Appareillage

Le matériel suivant doit être utilisé pour réaliser l'essai:

- a) Une matrice, des ciseaux ou tout autre dispositif permettant de couper avec exactitude les échantillons de matériau d'encapsulation aux dimensions souhaitées.
- b) Un marqueur à pointe douce ou un dispositif équivalent utilisé pour indiquer l'orientation des éprouvettes par rapport au corps d'encapsulation.
- c) Un dispositif de mesure linéaire étalonné avec une résolution d'au moins $\pm 0,5$ mm. On peut donner comme exemples de tels dispositifs (liste non exhaustive) un pied à coulisse, une règle ou une caméra étalonnée. Il convient que le dispositif de mesure ne provoque pas de déformation de l'échantillon pendant le mesurage. Le dispositif de mesure doit autoriser une incertitude de la valeur mesurée pour la variation des dimensions linéaires de $\pm 0,5$ % ou moins.
- d) Un dispositif de mesure de l'épaisseur étalonné avec une résolution d'au moins $\pm 0,01$ mm. On peut donner comme exemples de tels dispositifs un pied à coulisse ou un micromètre.
- e) Une nouvelle feuille d'aluminium (feuille "résistante", d'une épaisseur de 20 μm à 25 μm) d'une longueur et d'une largeur d'au moins 300 mm.
- f) Une étuve à commande en boucle fermée et à circulation d'air dont les dimensions minimales (longueur et largeur) sont de 300 mm, capable d'atteindre la température de traitement maximale pour l'encapsulant en essai. Il convient que la température interne de la chambre de l'étuve ne varie pas de plus de $\pm 2,5$ °C par rapport à la température prévue. Une étuve conforme à l'IEC 60216-4-1 peut être utilisée.
- g) Du sable "normalisé de référence", tel que spécifié dans la norme ASTM C778, utilisé pour permettre le libre déplacement de la couche de matériau d'encapsulation sur la surface de la feuille d'aluminium.

5 Éprouvettes

5.1 Préparation de l'éprouvette

Découper des éprouvettes de forme carrée de 100 mm $\times$ 100 mm de côté dans un rouleau de matériau d'encapsulation disponible après avoir vérifié qu'il a été stocké conformément aux recommandations du fournisseur et qu'il n'a pas dépassé sa date limite d'utilisation. Les éprouvettes doivent être découpées à au moins 200 mm des bords extérieurs du rouleau. Un bord découpé avec soin (uniforme) réduisant le plus possible la variation dimensionnelle (tant en longueur qu'en largeur) doit être utilisé. La dimension exacte des éprouvettes peut varier

légèrement (± 5 mm) par rapport à celle prévue; toutefois, toutes les éprouvettes doivent avoir des dimensions inférieures à celles de la feuille d'aluminium.

Certains utilisateurs peuvent souhaiter appliquer la procédure d'essai à d'autres fins telles que la vérification de l'homogénéité du matériau sur toute la largeur d'un rouleau de matériau d'encapsulation. Si tel est le cas, le matériau peut être prélevé à d'autres emplacements du rouleau.

Les éprouvettes doivent être manipulées sans mouvement brusque, sans déformation pendant et après leur préparation afin d'éviter tout étirement excessif du matériau.

Le sens machine (sur toute la longueur du rouleau) et le sens transversal (sur toute la largeur du rouleau) doivent être marqués sur chaque éprouvette.

Après avoir été coupés aux dimensions, les couches intercalaires, revêtements ou couches de protection éventuels doivent être retirés des éprouvettes d'encapsulation.

L'épaisseur de l'éprouvette d'encapsulation doit être mesurée après sa préparation. L'épaisseur doit être prise comme la moyenne de trois valeurs obtenues à des emplacements différents sur l'éprouvette, de préférence à distance des bords coupés qui peuvent avoir été déformés lors de la découpe.

Il est recommandé d'utiliser des gants pour la préparation des éprouvettes afin d'éviter toute contamination de ces dernières et/ou du rouleau de matériau.

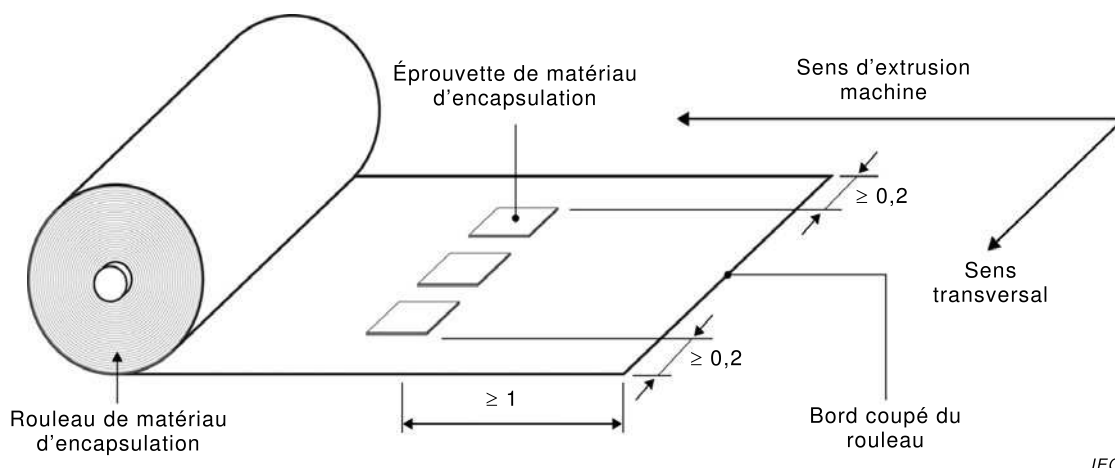
Il convient d'utiliser une technique de mesure d'épaisseur cohérente pour le mesurage de l'épaisseur qui est appliqué uniquement à titre de référence dans la présente norme, étant donné que certains produits d'encapsulation sont gaufrés ou présentent une surface texturée

5.2 Nombre d'éprouvettes

Un jeu d'échantillons doit être défini comme un ensemble de trois éprouvettes prélevées sur une zone distincte dans le sens latéral (en travers) du rouleau.

Pour les besoins d'enregistrement dans les fiches techniques, au minimum six jeux d'échantillons doivent être préparés, un jeu d'échantillons étant constitué de trois éprouvettes. Les jeux d'échantillons doivent être obtenus à partir d'au moins deux rouleaux de matériau distincts. Ces jeux d'échantillons doivent être prélevés au début, au milieu et à la fin de chaque rouleau (pour un nombre total de 18 éprouvettes). Chaque jeu d'échantillons se compose d'une éprouvette issue de la partie intérieure du rouleau, ainsi que de deux éprouvettes issues d'une zone plus proche des bords du rouleau, comme cela est représenté à la Figure 1. Les jeux d'échantillons issus d'une zone située au "début" et à la "fin" du rouleau doivent être prélevés à 1 m au moins des extrémités du rouleau.

Dimensions en mètres



IEC

NOTE Seul le jeu d'échantillons prélevé au début d'un rouleau est représenté.

Figure 1 – Schéma indiquant l'emplacement des éprouvettes d'un jeu d'échantillons

Lorsque la valeur de la fiche technique sert également de référentiel à des fins de contrôle de la qualité, il convient de prévoir pour l'échantillonnage (et le nombre correspondant d'échantillons): un délai entre les échantillonnages (afin d'éviter des prélèvements sur deux rouleaux fabriqués consécutivement), un échantillonnage à partir de rouleaux provenant de plusieurs chaînes de production (si applicable), ainsi qu'un effectif d'échantillons (nombre de rouleaux) permettant d'analyser la variation statistique.

Le fabricant de matériaux ou de modules peut choisir des critères d'échantillonnage et des jeux d'échantillons différents à des fins de contrôle de la qualité et de contrôle du procédé de fabrication.

5.3 Préconditionnement des éprouvettes

Les éprouvettes ne doivent pas faire l'objet d'un traitement (tel qu'un traitement thermique) ou d'un preconditionnement préalablement à cet essai. Il convient que le stockage et la manutention ultérieure des rouleaux de matériau suivent les recommandations de leur fabricant. Les éprouvettes doivent être maintenues dans des conditions de laboratoire (température de 25 °C et humidité relative de 50 % comme indiqué dans l'ISO 291) avant et après l'essai. Les éprouvettes doivent être soumises à l'essai rapidement (dans un délai de 8 h) après leur préparation.

Pour obtenir des résultats représentatifs, il convient de respecter un délai constant entre l'essai et la préparation des échantillons.

6 Procédure

La procédure suivante doit être appliquée pour chaque éprouvette du jeu d'échantillons:

- Régler la température de l'étuve à la température de traitement maximale recommandée par le fabricant du matériau d'encapsulation (ou à la température de traitement maximale utilisée par le fabricant de modules) et laisser l'étuve se stabiliser à la température désignée pendant au moins 5 min.

Dans le cas de matériaux présentant une transition de phase et une réaction de réticulation sous l'effet de la chaleur, le matériau doit être examiné à une température intermédiaire entre les températures de transition de phase et de réticulation afin de déterminer la variation dimensionnelle maximale. Il convient d'évaluer les transitions de phase comme stipulé dans l'ISO 11357-2 ou l'ISO 11357-3. Par exemple, le poly(éthylène-

co-acétate de vinyle) peut être examiné à environ 100 °C qui constitue une température intermédiaire entre ses températures de fusion et de durcissement.

- b) Placer une nouvelle feuille d'aluminium lisse sans plis sur un support à l'intérieur ou sur le fond de la chambre de l'étuve. Un plateau ou une feuille métallique peut être placé(e) sur le support dans l'étuve afin de soutenir la feuille d'aluminium et de faciliter le retrait des éprouvettes.
- c) Placer une couche de sable d'épaisseur uniforme (de 2 mm à 4 mm environ) sur la partie supérieure de la feuille d'aluminium et fermer la porte de l'étuve. Le sable peut être nivelé en faisant passer une raclette (comme une lame, un applicateur rigide, une règle, un rouleau ou un objet analogue) sur sa surface afin d'uniformiser au mieux son épaisseur.
- d) Laisser la température du sable se stabiliser pendant au moins 5 min dans l'étuve. Il convient de vérifier la température du substrat de sable (à l'équilibre dans l'étuve chauffée) au moins une fois avant les essais. La température peut être vérifiée en différents emplacements y compris au centre du substrat, au moyen d'un thermocouple, d'un thermomètre à infrarouges, d'un dispositif à imagerie infrarouge ou d'autres méthodes appropriées.
- e) Marquer, mesurer et enregistrer précisément les dimensions de l'éprouvette dans le sens machine (MD pour "machine direction" en anglais) et dans le sens transversal (TD pour "transverse direction" en anglais). Cinq mesurages distincts uniformément espacés (séparation nominale de 20 mm) doivent être effectués dans le sens machine (de A à A', B à B', C à C', D à D', E à E') et dans le sens transversal (a à a', b à b', c à c', d à d', e à e') de l'échantillon. Deux de ces cinq mesurages doivent être effectués à au moins 10 mm des angles des éprouvettes, comme le représenté à la Figure 2. Tous les mesurages doivent être effectués à au moins 10 mm du pourtour des éprouvettes. Les éprouvettes doivent être marquées à l'aide d'un marqueur à pointe douce de sorte que les mêmes emplacements de mesure puissent être utilisés avant et après le traitement thermique.

Dimensions en centimètres

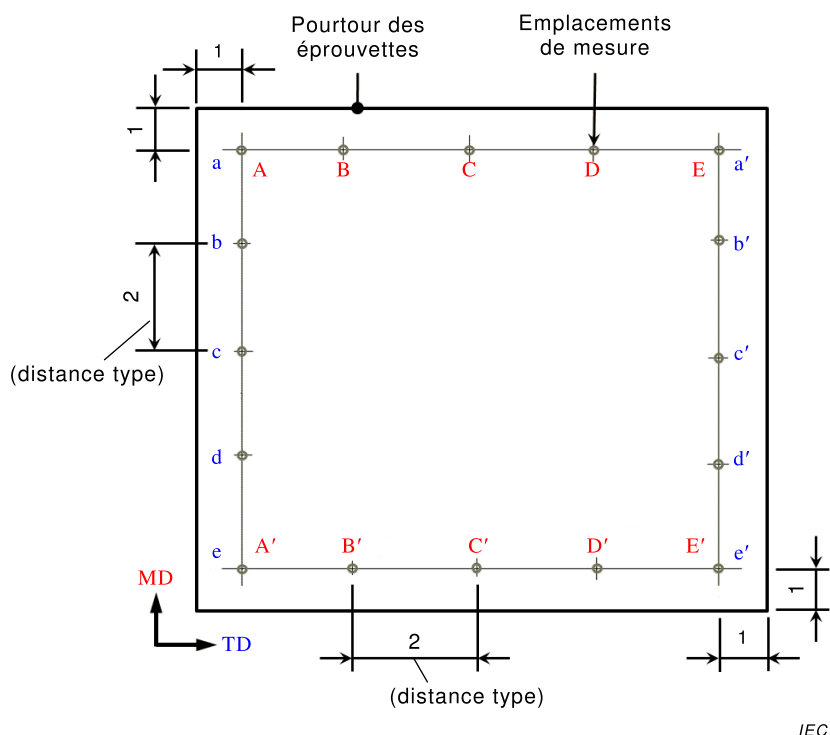


Figure 2 – Schéma indiquant les emplacements de mesure désignés (AA', BB', CC', DD', EE', aa', bb', cc', dd', et ee') pour chaque éprouvette

- f) Ouvrir la porte de l'étuve, placer l'éprouvette d'encapsulation sur le sable, puis fermer la porte de l'étuve.
Plusieurs éprouvettes peuvent être conditionnées simultanément dans la même étuve. Lorsque l'espace de l'étuve le permet, s'assurer du chargement rapide des éprouvettes de manière à affecter le moins possible la température de la chambre de l'étuve.
- g) Attendre 300 s pour retirer la feuille d'aluminium (qui soutient le sable et l'éprouvette) de l'étuve chauffée.
- h) Placer la feuille d'aluminium avec le sable et l'éprouvette à un autre endroit et la laisser refroidir pendant une durée suffisante pour arriver à température ambiante, ce que la mesure de la température du sable peut confirmer.
- i) Retirer l'éprouvette du sable, mesurer et enregistrer les dimensions de l'éprouvette refroidie dans le sens machine et dans le sens transversal aux mêmes emplacements que ceux utilisés pour la mesure avant l'échauffement.

7 Calcul et expression des résultats

Utiliser la formule (1) pour calculer ΔL , le pourcentage de variation dimensionnelle, en soustrayant la mesure finale (L_f) à la mesure initiale (L_i) obtenue à l'emplacement correspondant dans la même direction. Diviser la différence par la mesure initiale (à chaque emplacement de mesure correspondant dans chaque direction), puis multiplier le résultat par 100.

$$\Delta L = 100 \cdot \frac{L_f - L_i}{L_i} \quad (1)$$

Si la valeur de mesure initiale est inférieure à celle de la mesure finale, une valeur ΔL positive indique une augmentation des dimensions de l'éprouvette; si la valeur de mesure initiale est

supérieure à celle de la mesure finale, une valeur ΔL négative indique un rétrécissement de l'éprouvette.

Déterminer la valeur ΔL maximale (valeur maximale des 90 valeurs) et la plage correspondante (la valeur maximale des 90 valeurs ΔL moins la valeur minimale correspondante des 90 valeurs ΔL) dans chaque direction à partir des six jeux d'échantillons différents.

Déterminer la valeur ΔL moyenne et l'écart-type correspondant (de l'ensemble des 90 valeurs ΔL) dans chaque direction à partir des six jeux d'échantillons différents.

La répétabilité et la reproductibilité de la méthode sont décrites en [2]¹.

8 Rapport d'essai

Un rapport d'essai doit être préparé par l'agence chargée des essais conformément à l'ISO/IEC 17025. Le rapport doit indiquer la spécification particulière applicable aux éprouvettes. Chaque rapport d'essai doit comprendre au moins les informations suivantes:

- a) un titre;
- b) le nom et l'adresse du laboratoire d'essai et l'emplacement où les essais ont eu lieu;
- c) une identification unique du rapport et de chaque page;
- d) le nom et l'adresse du client, le cas échéant;
- e) la description et l'identification de l'élément soumis à essai, y compris l'épaisseur de l'échantillon;
- f) la caractérisation et l'état de l'élément soumis à l'essai, y compris la température d'essai et la durée de l'essai;
- g) la date de réception de l'élément soumis à l'essai et la ou les dates d'essai, le cas échéant;
- h) une identification de la méthode d'essai utilisée;
- i) une référence à la procédure d'échantillonnage, le cas échéant;
- j) les écarts, ajouts ou exclusions éventuels par rapport à la méthode d'essai, ainsi que toutes les autres informations relatives à un essai spécifique, telles que les conditions ambiantes;
- k) les mesurages, examens et résultats obtenus illustrés par les tableaux, graphiques, croquis et photographies suivant le cas, y compris la valeur ΔL maximale et la plage correspondante mesurée pour chaque éprouvette du jeu d'échantillons dans le sens d'extrusion (laminage) machine et dans le sens transversal; la valeur ΔL moyenne et l'écart-type correspondant pour chaque éprouvette du jeu d'échantillons dans les deux directions;
- l) une indication de l'incertitude estimée des résultats d'essai (le cas échéant);
- m) la signature et la fonction, ou une identification équivalente de la ou des personnes assumant la responsabilité du contenu du rapport, ainsi que la date d'émission;
- n) le cas échéant, une indication signalant que les résultats ne concernent que les éléments soumis à l'essai;
- o) une indication signalant que le rapport ne doit être reproduit que dans son intégralité et avec le consentement écrit du laboratoire.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

Il est fortement recommandé que les fournisseurs de matériaux d'encapsulation d'une part et les fabricants de modules d'autre part conservent un exemplaire de ce rapport, qui doit être gardé à des fins de référence.

Annexe A (informative)

Mise en œuvre et conception de l'essai

Les informations détaillées de nature à faciliter la mise en œuvre ou la compréhension de l'essai peuvent être consultées dans les ouvrages de référence.

Bibliographie

- [1] D.C. Miller, L. Ji, G. Kelly, X.H. Gu, N. Nickel, P. Norum, T. Shioda, and G. Tamizhmani, and J.H. Wohlgemuth, “Examination of Size-Change Test for PV Encapsulation Materials”, *Proc. SPIE*, 2012, pp. 8472-29
- [2] D. C. Miller, J. Bokria, X.H. Gu, C. Honeker, N. Nickel, K. Sakurai, T. Shioda, G. Tamizhmani, E. Wang, S.Y. Yang, T. Yoshihara, O. Zubillaga, and J.H. Wohlgemuth, “Verification of Size-Change Test for PV Encapsulation Materials”, *Proc. SPIE*, 2015
- [3] IEC TS 62788-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials used for frontsheets and backsheets* (disponible en anglais seulement)²

² A publier.

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