



ISBN 978 3 901906 90 9

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

PRACTICAL DAYLIGHT SOURCES FOR COLORIMETRY

CIE 192:2010

UDC: 535.65
612.843.31

Descriptor: Colorimetry
Colour vision

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organisation devoted to international co-operation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the art and science of lighting. Its membership consists of the National Committees in about 40 countries.

The objectives of the CIE are:

1. To provide an international forum for the discussion of all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting and for the interchange of information in these fields between countries.
2. To develop basic standards and procedures of metrology in the fields of light and lighting.
3. To provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
4. To prepare and publish standards, reports and other publications concerned with all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting.
5. To maintain liaison and technical interaction with other international organisations concerned with matters related to the science, technology, standardisation and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried on by seven Divisions each with about 20 Technical Committees. This work covers subjects ranging from fundamental matters to all types of lighting applications. The standards and technical reports developed by these international Divisions of the CIE are accepted throughout the world.

A plenary session is held every four years at which the work of the Divisions and Technical Committees is reviewed, reported and plans are made for the future. The CIE is recognised as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organisations.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les Pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage. Elle est composée de Comités Nationaux représentant environ 40 pays.

Les objectifs de la CIE sont :

1. De constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage et pour l'échange entre pays d'informations dans ces domaines.
2. D'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
3. De donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
4. De préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
5. De maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Les travaux de la CIE sont effectués par 7 Divisions, ayant chacune environ 20 Comités Techniques. Les sujets d'études s'étendent des questions fondamentales, à tous les types d'applications de l'éclairage. Les normes et les rapports techniques élaborés par ces Divisions Internationales de la CIE sont reconnus dans le monde entier.

Tous les quatre ans, une Session plénière passe en revue le travail des Divisions et des Comités Techniques, en fait rapport et établit les projets de travaux pour l'avenir. La CIE est reconnue comme la plus haute autorité en ce qui concerne tous les aspects de la lumière et de l'éclairage. Elle occupe comme telle une position importante parmi les organisations internationales.

DIE INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ist eine Organisation, die sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Austausch von Informationen zwischen ihren Mitgliedsländern bezüglich der Kunst und Wissenschaft der Lichttechnik widmet. Die Mitgliedschaft besteht aus den Nationalen Komitees in rund 40 Ländern.

Die Ziele der CIE sind :

1. Ein internationaler Mittelpunkt für Diskussionen aller Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik und für den Informationsaustausch auf diesen Gebieten zwischen den einzelnen Ländern zu sein.
2. Grundnormen und Verfahren der Messtechnik auf dem Gebiet der Lichttechnik zu entwickeln.
3. Richtlinien für die Anwendung von Prinzipien und Vorgängen in der Entwicklung internationaler und nationaler Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu erstellen.
4. Normen, Berichte und andere Publikationen zu erstellen und zu veröffentlichen, die alle Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik betreffen.
5. Liaison und technische Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen zu unterhalten, die mit Fragen der Wissenschaft, Technik, Normung und Kunst auf dem Gebiet der Lichttechnik zu tun haben.

Die Arbeit der CIE wird in 7 Divisionen, jede mit etwa 20 Technischen Komitees, geleistet. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtanwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind auf der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft, berichtet und neue Pläne für die Zukunft ausgearbeitet werden. Die CIE wird als höchste Autorität für alle Aspekte des Lichtes und der Beleuchtung angesehen. Auf diese Weise unterhält sie eine bedeutende Stellung unter den internationalen Organisationen.

Published by the

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
CIE Central Bureau
Kegelgasse 27, A-1030 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87 0, Fax: +43(1)714 31 87 18
e-mail: ciecb@cie.co.at
WWW: <http://www.cie.co.at/>

© CIE 2010 - All rights reserved



ISBN 978 3 901906 90 9

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

TECHNICAL REPORT

PRACTICAL DAYLIGHT SOURCES FOR COLORIMETRY

CIE 192:2010

UDC: 535.65
612.843.31

Descriptor: Colorimetry
Colour vision

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 1-44 of Division 1 "Vision and Colour". The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by the CIE membership and other interested parties. It should be noted, however, that the status of this document is advisory and not mandatory. The latest CIE proceedings or CIE NEWS should be consulted regarding possible subsequent amendments.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique CIE 1-44 de la Division 1 "Vision et Couleur". Le document expose les connaissances et l'expérience actuelles dans le domaine particulier de la lumière et de l'éclairage décrit ici. Il est destiné à être utilisé par les membres de la CIE et par tous les intéressés. Il faut cependant noter que ce document est indicatif et non obligatoire. Il faut consulter les plus récents comptes rendus de la CIE, ou le CIE NEWS, en ce qui concerne des amendements nouveaux éventuels.

Dieser Technische Bericht ist vom Technischen Komitee CIE 1-44 der Division 1 "Sehen und Farbe" ausgearbeitet. Das Dokument berichtet über den derzeitigen Stand des Wissens und Erfahrung in dem behandelten Gebiet von Licht und Beleuchtung; es ist zur Verwendung durch CIE-Mitglieder und durch andere Interessierte bestimmt. Es sollte jedoch beachtet werden, dass das Dokument eine Empfehlung und keine Vorschrift ist. Die neuesten CIE-Tagungsberichte oder die CIE NEWS sollten im Hinblick auf mögliche spätere Änderungen zu Rate gezogen werden.

Any mention of organisations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of any lists, up to the time of going to press, these may not be comprehensive.

Toute mention d'organisme ou de produit n'implique pas une préférence de la CIE. Malgré le soin apporté à la compilation de tous les documents jusqu'à la mise sous presse, ce travail ne saurait être exhaustif.

Die Erwähnung von Organisationen oder Erzeugnissen bedeutet keine Billigung durch die CIE. Obgleich große Sorgfalt bei der Erstellung von Verzeichnissen bis zum Zeitpunkt der Drucklegung angewendet wurde, besteht die Möglichkeit, dass diese nicht vollständig sind.

The following members of TC 1-44, "Practical Daylight Sources for Colorimetry", took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 1 "Vision and Colour".

Members:

| | |
|-----------------|-----------------|
| P. Chong | USA |
| R. Hirschler | Hungary (Chair) |
| R.W.G. Hunt | United Kingdom |
| M.R. Luo | United Kingdom |
| J. van Kemenade | Netherlands |
| C. McCamy | USA |
| M. Pointer | United Kingdom |
| Y. Ohno | USA |
| C. Puebla | Germany |
| A. Rodrigues | USA |
| J. Schanda | Hungary |
| K. Witt | Germany |
| R. Young | USA |
| J. Zwinkels | Canada |

Advisors:

| | |
|-------------|-----------|
| K. Imura | Japan |
| N. Lena | USA |
| C. Lam | Hong Kong |
| G. Lorditch | USA |
| D. Rich | USA |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| SUMMARY | VI |
| RESUME | VI |
| ZUSAMMENFASSUNG | VII |
| 1 INTRODUCTION | 1 |
| 2 DAYLIGHT SIMULATOR TECHNOLOGIES | 3 |
| 2.1 Filtered Incandescent Lamps | 3 |
| 2.2 Dichroic Lamps | 3 |
| 2.3 Filtered Xenon Lamps | 3 |
| 2.3.1 Filtered Xenon Short Arc Lamps | 4 |
| 2.3.2 Filtered Xenon Flash Lamps | 4 |
| 2.3.3 UV Calibration of Xenon Lamps | 4 |
| 2.4 Fluorescent Lamps | 7 |
| 2.5 LED (Light Emitting Diode) Sources | 8 |
| 3 PRACTICAL DAYLIGHT SIMULATORS FOR VISUAL ASSESSMENT | 9 |
| 3.1 Filtered Incandescent Lamp | 10 |
| 3.2 Dichroic Lamp | 11 |
| 3.3 Filtered Xenon Short Arc Lamp | 11 |
| 3.4 Fluorescent Lamps | 12 |
| 3.5 LED Sources | 15 |
| 3.5.1 Tunable LEDs | 15 |
| 3.5.2 White LED | 15 |
| 3.6 Summary of Daylight Simulators for Visual Evaluation | 16 |
| 3.6.1 Filtered Tungsten Lamps | 16 |
| 3.6.2 Dichroic Lamps | 16 |
| 3.6.3 Filtered Short-Arc Xenon | 16 |
| 3.6.4 Fluorescent Lamps | 16 |
| 3.6.5 LED-Based Lamps | 17 |
| 4 PRACTICAL DAYLIGHT SIMULATORS IN COLOUR MEASURING INSTRUMENTS | 17 |
| 4.1 Visual Colour Measuring Instruments | 17 |
| 4.2 Tristimulus Colorimeters | 17 |
| 4.3 Spectrophotometers | 17 |
| 4.4 Summary of Daylight Simulators for Colour Measuring Instruments | 20 |
| 5 CONCLUSIONS | 20 |
| 5.1 Daylight Simulators for Visual Evaluation | 20 |
| 5.1.1 D50 Simulators | 20 |
| 5.1.2 D65 Simulators | 20 |
| 5.1.3 D75 Simulators | 20 |
| 5.2 Daylight Simulators for Spectrophotometers | 20 |
| 5.3 CIE Standard Sources | 20 |
| 5.4 Methods for the Evaluation of Daylight Simulators | 20 |
| 5.5 Standards for the Specification of Daylight Simulators | 21 |
| 5.6 UV Calibration Practices | 21 |
| 6 RECOMMENDATIONS | 21 |
| 6.1 Competing Technologies | 21 |
| 6.2 Methods for the Evaluation of Daylight Simulators | 21 |
| 6.3 Recommendation of Standard Daylight Sources | 22 |
| 7 REFERENCES | 22 |
| 7.1 General References | 22 |
| 7.2 Data Acquisition for the TC | 24 |
| 7.3 Standards and CIE Technical Reports | 26 |
| BIBLIOGRAPHY | 27 |

| | | |
|---------|---|----|
| ANNEX A | STANDARD METHODS FOR THE EVALUATION OF DAYLIGHT SIMULATORS | 29 |
| A.1 | Methods Based on Spectral Comparison | 29 |
| A.1.1 | Band Method (BS 950) | 29 |
| A.1.2 | Root Mean Square (ASTM E991) | 29 |
| A.2 | Methods Based on Sample Evaluation | 29 |
| A.2.1 | Colour Rendering Indices | 30 |
| A.2.2 | Metameric Pairs | 31 |
| A.3 | Reliability of Methods for Evaluating Daylight Simulators | 31 |

PRACTICAL DAYLIGHT SOURCES FOR COLORIMETRY

SUMMARY

This publication discusses the state-of-the-art of practical daylight sources for colorimetry. It provides information on these lamps and devices used for illumination in the visual evaluation and instrumental measurement of non-fluorescent and fluorescent specimens.

Suppliers of lamps, booths and spectrophotometers provided some of the data on daylight sources. TC members and advisors at four institutions measured the rest. These institutions are the University of Derby (UK), the Hong Kong Polytechnic University (Hong Kong, China), the University of Pannonia (Veszprém, Hungary) and SENAI/CETIQT (Rio de Janeiro, Brazil).

The report concludes from these data that practical daylight sources are commercially available that satisfy the criteria of the relevant national and international standards for both visual evaluation and instrumental measurement. Filtered tungsten, filtered xenon and fluorescent lamps currently provide the best results for visual evaluation. Pulsed filtered xenon provides the best results for instrumental measurements. Light-emitting diode (LED) sources may appear as viable alternatives for both applications in the not too distant future.

Standardization of any particular source as "best representing daylight" is **not recommended**. There are significant differences between the spectral properties of the sources currently used in visual evaluation and the sources used in instrumental measurement. These differences produce large differences in the rendering of colours of specimens, especially fluorescent specimens.

SOURCES PRATIQUES LUMIERE DU JOUR POUR LA COLORIMETRIE

RESUME

Cette publication fait le point de l'état de l'art concernant les sources pratiques reproduisant la lumière du jour pour la colorimétrie. Elle fournit des informations sur les lampes et les dispositifs d'éclairage utilisés pour les évaluations visuelles et pour les mesures instrumentales des matériaux non fluorescents et des matériaux fluorescents.

Les fournisseurs de lampes, de cabines d'éclairage et de spectrophotomètres ont communiqué quelques données sur les sources lumière du jour. Les membres du TC et les consultants de quatre institutions ont mesuré les autres données. Ces institutions sont l'Université de Derby (UK), l'Université Polytechnique de Hong-Kong (Hong-Kong, Chine), l'Université de Pannonie (Veszprém, Hongrie) et le SENAI/CETIQT (Rio de Janeiro, Brésil).

De ces données, le rapport tire la conclusion que les sources pratiques reproduisant la lumière du jour sont disponibles dans le commerce et qu'elles satisfont les exigences des normes nationales et internationales appropriées, aussi bien pour l'évaluation visuelle que pour les mesures instrumentales. Les lampes tungstène filtré, les lampes au xénon filtré et les lampes fluorescentes fournissent usuellement les meilleurs résultats pour les évaluations visuelles. Le xénon pulsé et filtré fournit les meilleurs résultats pour les mesures instrumentales. Les sources à diodes électroluminescentes (LED) paraissent fournir, pour un futur pas trop éloigné, une alternative valable pour ces deux types d'applications.

La normalisation de toute source particulière comme "la meilleure représentation de la lumière du jour" n'est **pas recommandée**. Il existe des différences significatives entre les propriétés spectrales des sources usuellement utilisées dans les évaluations visuelles et les sources employées pour les évaluations instrumentales. Ces différences sont à l'origine de grandes différences dans le rendu des couleurs des matériaux, spécialement pour les matériaux fluorescents.