



ISBN 978 3 901906 31 2

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

TECHNICAL REPORT

GUIDE FOR THE LIGHTING OF ROAD TUNNELS AND UNDERPASSES

CIE 88:2004
2nd edition

UDC: 628.931
628.971
628.971.6

Descriptor: Artificial lighting: Design and calculation
Exterior lighting
Street lighting

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 37 countries and one geographical area and of 5 associate members.

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 37 pays plus un territoire géographique, et de 5 membres associés.

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 37 Ländern und einem geographischen Gebiet und aus 5 assoziierten Mitgliedern.

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 Lichtenwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind von der ganzen Welt anerkannt.

Tagungen werden alle vier Jahre abgehalten, in der die Arbeiten der Divisionen überprüft und 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(01)714 31 87 0, Fax: +43(01)714 31 87 18
e-mail: ciecb@cie.co.at
WWW: <http://www.cie.co.at/>

© CIE 2004 – All rights reserved



ISBN 978 3 901906 31 2

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

TECHNICAL REPORT

GUIDE FOR THE LIGHTING OF ROAD TUNNELS AND UNDERPASSES

CIE 88:2004
2nd edition

UDC: 628.931
628.971
628.971.6

Descriptor: Artificial lighting: Design and calculation
Exterior lighting
Street lighting

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee 4-35 of Division 4 "Lighting and Signalling for Transport" and has been approved by the Board of Administration of the Commission Internationale de l'Eclairage for study and application. 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 4-35 de la Division 4 "Eclairage et signalisation pour les transports" et a été approuvé par le Bureau de la Commission Internationale de l'Eclairage, pour étude et emploi. Le document expose les connaissances et l'expérience courantes 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 tout 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 CIE Technischen Komitee 4-35 der Division 4 "Beleuchtung und Signale für den Verkehr" ausgearbeitet und vom Vorstand der Commission Internationale de l'Eclairage gebilligt worden. 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 das 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, ist es möglich, daß diese nicht vollständig sind.

The following members of TC 4-35, "Tunnel Lighting" took part in the preparation of this technical report. The committee comes under Division 4 "Lighting and Signalling for Transport". This present publication replaces CIE 88-1990 "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses".

Members:

| | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Werner Adrian | Canada |
| Arve Augdal | Norway |
| Marko Bizjak | Slovenia |
| Peter Blaser | Switzerland |
| David Coatham | UK |
| Jan de Vlieger † | The Netherlands |
| Jean-Marie Dijon | Belgium |
| Marc Gillet | Belgium (Chair from Sept. 2001) |
| Pentti Hautala | Finland |
| James A. Havard | USA |
| Hans Huijben | The Netherlands |
| Jaroslav Kotek | Czech Republic |
| Paul J. Lutkevich | USA |
| Jean-Claude Martin | France |
| Edmund H. Morel | USA |
| Kohei Narisada | Japan |
| Sermin Onaygil | Turkey |
| John Rands | UK |
| Werner Riemenschneider † | Switzerland (Chair until Sept. 2001) |
| Carlo Rocca | Italy |
| Duco A. Schreuder | The Netherlands |
| Alfredo Valero Seros | Spain |
| Bryan Shortreed | UK |
| Paolo Soardo | Italy |
| Richard E. Stark | USA |
| Axel Stockmar | Germany |
| Luuk Swart | The Netherlands |
| Fernando Vila | Spain |
| Pieter Walraven | The Netherlands |

TABLE OF CONTENTS

| | |
|---|----|
| SUMMARY | VI |
| RESUME | VI |
| ZUSAMMENFASSUNG | VI |
| FOREWORD | 1 |
| Terms of reference | 1 |
| Disclaimer | 1 |
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 2. THE DEFINITION OF THE PROBLEM | 2 |
| 3. TRAFFIC AND VISUAL TASKS | 3 |
| 4. DISTINCTION BETWEEN LONG AND SHORT TUNNELS | 3 |
| 5. DEFINITIONS | 4 |
| 5.1 Design speed | 4 |
| 5.2 Reference point | 4 |
| 5.3 Tunnel related zones | 5 |
| 5.4 Tunnel lighting related terms | 6 |
| 5.5 Traffic | 7 |
| 6. DAYTIME LIGHTING FOR LONG TUNNELS | 7 |
| 6.1 Lighting in the threshold zone | 7 |
| 6.2 The perceived contrast method | 7 |
| a. The influence of the atmosphere and the windscreen | 8 |
| b. Determination of L_{seq} | 9 |
| c. Minimum required perceived contrast | 10 |
| d. Calculation of threshold luminance | 10 |
| 6.3 Example of tunnel design with the perceived contrast method | 11 |
| a. Drawing for L_{seq} evaluation | 11 |
| b. L_{ij} matrix for L_{seq} evaluation | 12 |
| c. L_{ije} matrix for L_{seq} evaluation | 15 |
| d. Selection of the minimal required perceived contrast | 15 |
| e. Calculation of L_{th} | 15 |
| 6.4 Use of daylight-screens | 16 |
| 6.5 Length of the threshold zone | 16 |
| 6.6 Luminance in the transition zone | 16 |
| 6.7 Daytime luminance in the interior zone | 17 |
| 6.8 Luminance in the exit zone | 18 |
| 6.9 Parting zone lighting | 18 |
| 6.10 Lighting of the walls and the ceiling in all zones | 18 |
| 6.11 Uniformity of luminance | 18 |
| 6.12 Daylight variation and lighting control | 19 |
| 6.13 Glare restriction | 19 |
| 6.14 Restriction of the flicker effect | 20 |
| 7. NIGHT-TIME LIGHTING | 20 |
| 8. EMERGENCY LIGHTING | 20 |
| 9. MAINTENANCE | 21 |
| 9.1 General | 21 |
| 9.2 Lamp Lumen Depreciation (<i>LLD</i>) | 21 |
| 9.3 Burnouts | 22 |
| 9.4 Luminaire Dirt Depreciation (<i>LDD</i>) | 22 |
| 9.5 Equipment Factors (<i>EF</i>) | 22 |
| 9.5.1 Ambient temperature | 22 |
| 9.5.2 Voltage | 22 |
| 9.5.3 Control gear and Lamp Factor | 23 |
| 9.5.4 Luminaire component depreciation | 23 |

| | | |
|-------|---|----|
| 9.6 | Maintenance of the control photometers | 23 |
| 9.7 | Tunnel surface reflectance depreciation | 23 |
| 9.7.1 | Selection of tunnel surface reflectance | 23 |
| 9.7.2 | Reflectance depreciation | 23 |
| 9.8 | Luminaire cleaning, relamping and replacement | 23 |
| 9.8.1 | Luminaire cleaning | 23 |
| 9.8.2 | Relamping | 24 |
| 9.8.3 | Luminaire replacement | 24 |
| 9.9 | Other factors | 24 |
| 9.9.1 | Pavement reflectance | 24 |
| 9.9.2 | Other reflection characteristics | 24 |
| 9.9.3 | Physical geometry | 24 |
| 9.9.4 | Errors associated with the luminaire and control gear | 24 |
| | ANNEXES | 26 |
| A.1 | L20 METHOD | 26 |
| | Example | 27 |
| A.1.1 | Evaluation of the luminance in the threshold zone with the L20 method | 28 |
| A.2 | STOPPING DISTANCE | 28 |
| A.3 | EVALUATION OF L_{SEQ} / CORRECT USE OF A CAMERA | 30 |
| | Scope | 30 |
| | Type of camera | 30 |
| | Film type | 30 |
| | Objective | 31 |
| | Verification of distortions | 31 |
| | Shooting distance | 31 |
| | Evaluation of L_{seq} | 31 |
| | BIBLIOGRAPHY | 32 |

GUIDE FOR THE LIGHTING OF ROAD TUNNELS AND UNDERPASSES

SUMMARY

After having reviewed and defined the various factors to be taken into consideration with regard to the lighting of tunnels and road underpasses, the present document sets out recommendations concerning the daytime and night-time lighting. It also describes the measures to be taken into consideration in order to adapt this lighting to the fluctuations in the external lighting or in the case of failure of the normal electrical power supply of the lighting installations. Attention is also given to maintenance which has to be carried out in order to ensure the lasting quality of the installations.

It is also important to note that while this publication is part of a general activity aimed at improving road safety, safety depends on a large number of factors among which lighting is only one particular constituent. The contribution of lighting in this context is to enable the road user to perform his visual tasks by ensuring a sufficient visibility of objects.

GUIDE DE L'ÉCLAIRAGE DES TUNNELS ROUTIERS ET PASSAGES COUVERTS

RESUME

Après avoir passé en revue et défini les divers facteurs qui doivent être pris en compte pour l'éclairage des tunnels routiers et passages couverts, le présent document établit une série de recommandations pour l'éclairage de jour et l'éclairage de nuit. Il décrit les mesures qui doivent être prises afin d'adapter cet éclairage aux fluctuations des conditions de luminosité extérieures ou en cas de défaillance de l'alimentation électrique des installations d'éclairage. Un soin tout particulier a été apporté concernant les aspects liés à la maintenance qui doit être assurée afin de maintenir le niveau de qualité des installations.

Il est important de signaler que cette publication concerne une seule des diverses composantes visant à améliorer la sécurité routière et que cette dernière dépend d'un nombre important de facteurs dont l'éclairage. La fonction première de l'éclairage, qui a inspiré essentiellement ce document, est d'assurer une visibilité suffisante des obstacles éventuels, ce qui représente une des tâches visuelles fondamentales que l'utilisateur de la route a à exécuter.

LEITFADEN ZUR BELEUCHTUNG VON STRASSENTUNNELN UND UNTERFÜHRUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Nach Prüfung und Festlegung der zu berücksichtigenden Faktoren legt dieser Leitfaden Richtlinien zur Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen bei Tag und bei Nacht fest. Es werden auch die in Betracht zu ziehenden Maßnahmen zur Anpassung der Beleuchtung an die Schwankungen der Außenbeleuchtung oder bei Ausfall der normalen Stromversorgung der Beleuchtungsanlagen beschrieben. Der für die Sicherung der dauerhaften Qualität der Anlagen notwendigen Wartung wird ebenfalls Augenmerk geschenkt.

Obwohl diese Publikation Teil der allgemeinen Bemühungen zur Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr ist, ist es wichtig darauf hinzuweisen, daß diese von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, von denen die Beleuchtung nur einer ist. Für die Zwecke dieser Publikation ist die wichtigste Aufgabe der Beleuchtung, die ausreichende Sichtbarkeit von Objekten zu gewährleisten, die einen Teil der vom Straßenbenutzer zu leistenden Sehaufgabe bildet.

FOREWORD

In 1973, CIE published "International recommendations for tunnel lighting" (Publication CIE No. 26). After several years, a revision of Publication No. 26 was undertaken in two steps. In 1985 a report was published reviewing fundamental experiments concerning the daytime entrance lighting requirements (CIE 61-1984: "Tunnel entrance lighting - a survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone"). With CIE 61-1984 as the background document, the recommendations were revised and published as a new document: CIE 88-1990: "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses". That Guide was prepared in close contact with the working group "Lighting" of the Committee on Road Tunnels of PIARC (Permanent International Association of Road Congresses).

Considerable developments in the field of tunnel lighting have taken place in the last decade necessitating revisions, which could more accurately reflect recent experimental research and engineering experiences.

Terms of reference

The terms of reference are to prepare a revision of CIE 88-1990: "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses". CIE 61-1984: "Tunnel entrance lighting: A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone" will stay on the CIE list without alterations.

Disclaimer

The primary purpose of this document is to serve as the basis for design of tunnel lighting. The document deals entirely with lighting and does not give advice on construction. Its purpose is to provide recommended practices for designing new tunnel lighting. It is not intended to be applied to existing tunnel lighting systems until such systems are redesigned.

1. INTRODUCTION

The basic principles on which CIE 88-1990 were founded, are still completely valid for the present revision. Regarding several items, however, new insight, the result of new research and the extensive practical experience from tunnels constructed over the last decade, did lead to considerable differences between CIE 88-1990 and the present revision.

The main item is the determination of the luminance in the first part of the threshold zone. According to CIE 88-1990, the L20-method was recommended and the veiling luminance method was suggested to be used in the future. Recent research allowed to base the present revision on the veiling luminance method. This change allows to determine the threshold zone luminance more accurately than according to the earlier document, more in particular in non-standard situations.

Another difference is found in the recommended values of the luminance in the interior zone of long and very long tunnels. It has followed from practical experience in the many hundreds of tunnels that were put in operation since the publication of CIE 88-1990, that the influence of the traffic volume was greater than anticipated, and that modern equipment could result in the same level of comfort and a similar level of visibility at lower levels of luminance.

The differences between CIE 88-1990 and the present revision are important but they follow directly from a further development of the principles that are laid down in CIE 88-1990.

The requirements for lighting installation of a tunnel are influenced by several critical factors which determine visibility. These conditions are eminently variable, and involve characteristics of the driver, including ability, age and personal habits; the physical conditions of the road, access to and the length of the tunnel; atmospheric conditions; traffic density, volume and speed; and type of vehicles in transit. Additional considerations include the contribution of lighting to the architectural aspect of the tunnel opening with regard to visual guidance, comfort and to the overall maintenance of the installation.