

COLOUR RENDERING OF WHITE LED LIGHT SOURCES

SUMMARY

This Technical Report reviews the applicability of the CIE colour rendering index to white LED light sources based on the results of visual experiments. The currently recommended colour rendering index (CRI) calculation method was officially introduced in 1974, and is described in the current publication CIE 13.3-1995 (CIE, 1995). Visual experience has shown that the current CRI based ranking of a set of light sources containing white LED light sources contradicts the visual ranking.

In this Technical Report, three recent visual experiments (including simulations) on colour rendering including white LED light sources are described that confirm this contradiction. It was concluded from these visual colour rendering results that the current CRI method did not describe well those situations where white LED light sources were involved i.e. if white LED light sources were visually ranked together with other light sources. Low correlation was found between the visual colour differences and the computed colour differences if the current CRI method was applied to calculate those colour differences. The conclusion of the Technical Committee is that the CIE CRI is generally not applicable to predict the colour rendering rank order of a set of light sources when white LED light sources are involved in this set.

The Committee recommends the development of a new colour rendering index (or a set of new colour rendering indices) by a Division 1 Technical Committee. This index (or these indices) shall not replace the current CIE colour rendering index immediately. The usage of the new index or indices should provide information supplementary to the current CIE CRI, and replacement of CRI will be considered after successful integration of the new index. The new supplementary colour rendering index (or set of supplementary colour rendering indices) should be applicable to all types of light sources and not only to white LED light sources. Possibilities for an improved description of colour rendering are summarized in the Appendix of this Technical Report.

RENDITION DE LA COULEUR DES SOURCES DE LUMIERE LED BLANCHES

RESUME

Ce rapport technique examine la validité de l'indice de rendu des couleurs CIE pour les sources lumineuses blanches à base de diodes électroluminescentes (DEL) à partir des résultats d'expériences visuelles. La méthode actuellement recommandée pour le calcul de l'indice de rendu des couleurs (IRC) a été officiellement introduite en 1974, elle est décrite dans la publication CIE 13.3-1995 (CIE, 1995). L'expérience visuelle a montré que, pour un ensemble de sources lumineuses contenant les sources lumineuses blanches à base de DEL, le classement fondé sur l'IRC actuel contredit le classement visuel.

Dans ce rapport technique, on décrit trois expérimentations visuelles récentes (simulations comprises) qui confirment cette contradiction sur le rendu des couleurs, avec des sources lumineuses blanches à base de DEL. En conclusion de ces résultats sur le rendu visuel des couleurs, la méthode actuelle de calcul de l'IRC n'a pas bien décrit les situations où les sources lumineuses blanches à base de DEL étaient impliquées, c.-à-d. quand des sources lumineuses blanches à base de DEL étaient classées visuellement avec d'autres sources lumineuses. On a trouvé une faible corrélation entre les différences de couleur visuelles et les différences de couleur calculées quand la méthode actuelle du calcul de l'IRC était appliquée. Le Comité technique conclut que l'IRC CIE n'est généralement pas applicable pour prévoir le classement du rendu des couleurs d'un ensemble de sources lumineuses quand des sources lumineuses blanches à base de DEL font partie de cet ensemble.

Le Comité recommande le développement d'un nouvel indice de rendu des couleurs (ou d'un ensemble de nouveaux indices de rendu des couleurs) par un Comité technique de la Division 1. Cet indice (ou ces indices) ne remplacera pas l'actuel indice de rendu des couleurs CIE immédiatement. L'utilisation du nouvel indice ou des nouveaux indices devrait fournir des informations complémentaires à l'actuel IRC CIE, et le remplacement de l'IRC

actuel sera envisagé après l'intégration satisfaisante du nouvel indice. Le nouvel indice supplémentaire de rendu des couleurs (ou l'ensemble d'indices supplémentaires de rendu des couleurs) devrait être applicable à tous les types de sources lumineuses et non seulement aux sources lumineuses blanches à base de DEL. Des possibilités de description améliorée du rendu des couleurs sont récapitulées dans l'annexe de ce rapport technique.

FARBWIEDERGABE WEISSER LED LICHTQUELLEN

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser technische Bericht überprüft, basierend auf den Ergebnissen von visuellen Versuchen, die Anwendbarkeit des CIE Farbwiedergabeindex auf weiße LED Lichtquellen. Die derzeit empfohlene Berechnungsmethode für den Farbwiedergabeindex (CRI) wurde 1974 offiziell eingeführt und ist in der gegenwärtigen Veröffentlichung CIE 13.3-1995 (CIE, 1995) beschrieben. Visuelle Erfahrungen haben gezeigt, dass die gegenwärtige, auf CRI basierende Bewertung einer Reihe von Lichtquellen, die weiße LEDs enthalten, der visuellen Rangfolge widerspricht.

In diesem technischen Bericht werden drei neue visuelle Versuchsreihen (einschließlich Simulationen) zur Ermittlung der Farbwiedergabe auch weißer LEDs beschrieben, die diesen Widerspruch bestätigen. Aus den Ergebnissen dieser visuellen Farbwiedergabeversuche wurde geschlossen, dass die gegenwärtige CRI-Methode Beleuchtungssituationen mit weißen LED Lichtquellen nicht gut beschreibt, d.h. solche Fälle, in denen weiße LED's visuell zusammen mit anderen Lichtquellen eingeordnet werden. Zwischen den visuellen Farbunterschieden und den berechneten Farbunterschieden wurde nur eine schwache Korrelation gefunden, wenn die gegenwärtige CRI-Methode zur Berechnung der Farbunterschiede angewandt wurde. Die Schlussfolgerung des Technischen Komitees ist, dass die CRI-Methode generell nicht anwendbar ist, um eine Anzahl von Lichtquellen gemäß ihrer Farbwiedergabe einzuordnen, wenn weiße LEDs darunter sind.

Das Komitee empfiehlt die Entwicklung eines neuen Farbwiedergabeindex (oder eines Satzes von neuen Farbwiedergabeindizes) durch ein Technisches Komitee der Division 1. Dieser Index (oder diese Indizes) sollen den gegenwärtigen CIE Farbwiedergabeindex nicht sofort ersetzen. Der Gebrauch des neuen Index oder der neuen Indizes sollte Informationen liefern, die den gegenwärtigen CIE CRI ergänzen. Ein Ersatz des CRI wird erst nach erfolgreicher Integration des neuen Index in Betracht gezogen. Der neue zusätzliche Farbwiedergabeindex (oder Satz von zusätzlichen Farbwiedergabeindizes) sollte auf alle Arten von Lichtquellen anwendbar sein und nicht nur auf weiße LEDs. Die Möglichkeiten für eine verbesserte Beschreibung der Farbwiedergabe sind im Anhang dieses technischen Berichts zusammengefasst.

1. INTRODUCTION

Colour rendering (CR) is defined as an "Effect of an illuminant on the colour appearance of objects by conscious or subconscious comparison with their colour appearance under a reference illuminant" (CIE, 1987). The currently recommended colour rendering index (CRI) calculation method was officially introduced in 1974, and it is described in the current publication CIE 13.3-1995 (CIE, 1995). CIE first standardized a spectral band method (1948), but in 1961, it was decided to regard the "test sample colour shift" method (CIE, 1995) as the fundamental method for CR appraisal.

Besides graphical colour shift vector representations and multi-number rating, it seemed desirable to derive a *single-number* CR characterization of each light source. Later demand resulted in the establishment of the current CIE CRI calculation method. It may be of interest to mention that, besides the concept of CR, there exist other concepts to describe light source "colour quality" (Halstead, 1977; Valberg et al., 1980) (CQ), including colour discrimination capability (Thornton, 1973; Schanda and Cibula, 1980), "visual clarity" (Hashimoto and Nayatani, 1994), and colour preference or "flattery" (Judd, 1967).

There are several types of white LED light sources, including the so-called *clusters* of red, green, and blue (RGB) LEDs (including eventually other colours e.g. amber or yellow in the cluster or in one chip), white phosphor LEDs, and organic white LEDs. Fig. 1 shows the relative spectral power distributions of a typical RGB LED cluster and a white phosphor LED.

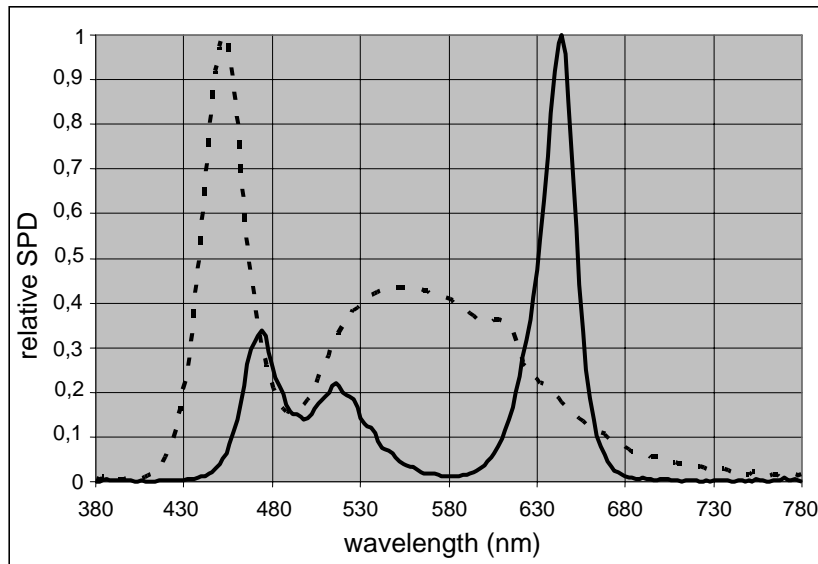


Fig. 1. Relative spectral power distributions of a typical RGB LED cluster (solid line) and a white phosphor LED (dashed line).

White LED light sources are efficient, long-living, and compact. The luminous flux and luminous efficiency of commercially available white LED light sources is rapidly improving. Today, by varying the types of LEDs used in the LED light sources, high CIE colour rendering indices (up to 97-99) could be achieved.

But visual experience shows that the CIE colour rendering index based ranking of a set of light sources containing white LED light sources by the current CIE colour rendering index (CIE, 1995) often contradicts the visual ranking (Sándor et al., 2003; Sándor et al., 2004; Bodrogi et al., 2004; Szabó, Sándor et al., 2005; Sándor and Schanda, 2005; CIE, 2002). Although, since the introduction of the CIE CRI calculation method in 1974, several *shortcomings* of the method have been realized and a number of new colorimetric recommendations [CIELAB and CIELUV colour spaces, new chromatic adaptation transforms and the CIECAM02 (CIE, 2004a) colour appearance model] have been made (Schanda, 2002; Bodrogi, 2004), today the CIE Colour rendering index (CIE, 1995) (using an outdated