

ARCHITECTURAL LIGHTING, CHROMATICITY AND ENVIRONMENT

POP Florin¹, POP Horia F², ORBAN Sandor³

1 - Technical University of Cluj-Napoca, 2 - "Babes-Bolyai" University of Cluj-Napoca,

3 - Greif Hungary Ltd.

The illuminance is not sufficient to describe a lit scene. It must be complemented by the luminance of the task and/or the luminance distribution in the viewing field. Reflection factors are mostly unknown, and practically it is difficult to consider luminance when designing. Reflexivity varies with the colour (spectral distribution), the material (roughness), the angles of light and viewing direction and the pollution of the surface. The relationship of the apparent colour of light sources to the reflection surface ensures the luminous quality of the environment, the chromatic integration of the ambient components. Measurements of the luminance and spectral reflection factors for several samples of materials are presented and the main futures of a computer program targeted to the chromaticity of the architectural lighting systems are discussed.

1. Introduction

A general model describing light reflection by a material has to take into account attention the three components: energy spectral distribution of the light source, spectral reflexivity and luminance factor of the surface. Photometric and chromatic quantities and concepts express the relationship between the light source and the reflection surface of which can be directly applied in lighting computations. So, it is necessary (1) to know the energy spectral distribution of the light sources; (2) to measure the spectral reflexivity and luminance factor

for several samples of materials used in the exterior surfaces of buildings; (3) to have a computer program which calculates the chromatic tri-stimulus values and, consequently, allows to design an architectural lighting system related to the luminance criterion and chromatic effects (following the CIE standard [9], illustrated in Figure 1).

The CIE chromaticity coordinates (x , y) are calculated on the basis of the CIE Tristimulus values [9]. The chromatic point correlates with the dominant wavelength and purity of a color. The color of an object may be specified only related to the light source whose radiance is

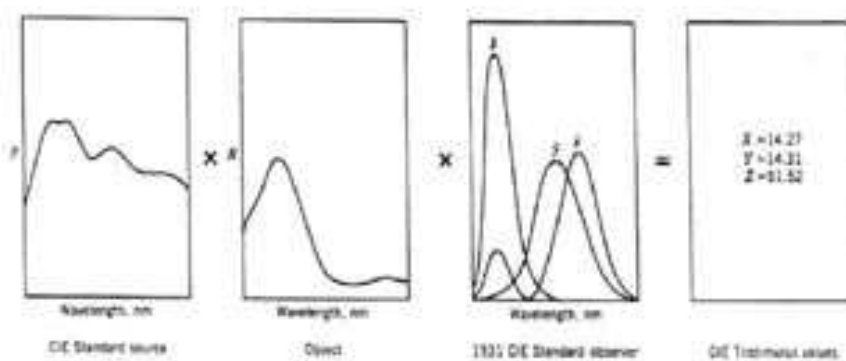


Figure 1 The CIE tristimulus value calculation from information on the light source, the reflectance of the object, and the standard observer functions – from [1]

reflected by the object surface, so it depends on the spectral distribution of that radiance and the spectral reflectance of that surface.

The *Correlated Color Temperature* T_{cc} is calculated as an explicit function of chromaticity coordinates using the model proposed by Mc Camy, presented on [3]:

$$n = (0,3320 - x) / (y - 0,1858);$$

$$T_{cc} = 449n^3 + 3525n^2 + 6823,3n + 5520,33.$$

2. Spectral reflexivity of materials

The spectral reflexivity of several materials used in the buildings field (brick, tile of wood, metallic surface, stone and email paint) are given in [6], a number of these being presented in Figure 2.

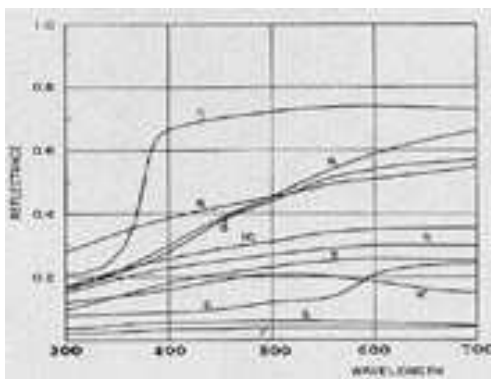


Figure 2 Spectral reflexivity of several materials for buildings [6].

(1) polished black granite; (2) polished pink granite; (3) polished black marble; (4) unpolished white marble with grey traces; (5) polished white marble; (6) polished travertine; (7) sand stone; (8) lime stone; (9) concrete; (10) roof slate; (11) concrete slate

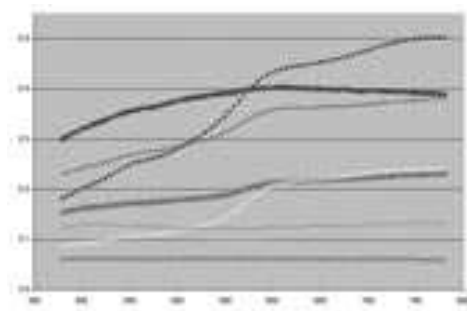


Figure 3 Spectral reflexivity of different samples of granite used as building surfaces [5].

♦ Yellow Granite; ▲ Granite Paradiso (brownish); * Granite Zimbabwe (black); + Granite Visage Blue (dark-blue); ■ Granite Tiffany (brownish-gray); × Granite Ved Aurora (dark green); ● Granite Rosabeta (red); — Granite Rosa Porino (pink-gray)

Figure 3 shows the spectral reflexivity measured for granite samples with different colours and having a well finished quality of their surfaces. The spectral reflectance measurements were performed at the Photometric Laboratory from the Technical University Berlin, FG Lichttechnik.

3. Computer program for architectural lighting system design

BUILDLIGHT – The computer program is a simple instrument for the architectural lighting systems design, component of the complex program LIGHT for wxWindows – [4]. The database of the program is referring to the current norms, equipment and national and CIE recommendations. By using the BUILDLIGHT program, one has the possibility (a) to design/analyse different lighting systems of the monuments or building facades; (b) to verify the qualitative aspects of the adopted lighting system; (c) to visualize the illuminance and luminance distributions on a bi/tri- dimensional view; (d) to compute chromaticity coordinates, describing the qualities of a colour in addition to its luminance factor (the CIE system of the chromaticity coordinates X, Y, Z, following [9]).

The BUILDLIGHT software program is written in a modular manner – Figure 4. Each module has one or more independent algorithms, and communicates with other modules through the main program environment. This is a visual application providing a nice graphic user interface, and menu-based functions callable using the mouse or the keyboard. The application is structured around the main computational modules, and the auxiliary, data management modules.

The BUILDING module allows a designer to compute the lighting systems for monuments and building facades. A floodlight is located by its position faced with the bottom left corner and the illumination point (target) on the lit surface. In order to design the required installation, the user may configure more floodlights, of more types and/or situated in different positions. The illuminances and luminances distributions on the lit surface are computed.

The Colorimetrics module determines the chromaticity coordinates (x, y) of an illuminated surface under the light of the selected lamp and, thus, the apparent color of that surface related with the spectral radiance of the light source; following this is also calculated the correlated color temperature.

The colour perception is analysed by stating the lighting source, with a known spectral radiation, and the spectral reflexivity of the architectural surface – the



Figure 4 Main menu of the Light for wxWindows program with the BUILDLIGHT component

program determines the chromatic coordinates (x , y) – Figure 5.

The *Chromaticity module* analyses the behaviour of different surfaces under the light of various light sources from the Database of Buildlight program, in the benefit of the designer decision.

4. Chromaticity of an architectural lighting system

Table 1 presents the chromatic answer of two granite building surfaces under the light of various lamps, also graphic illustrated in Figures 6 and 7.

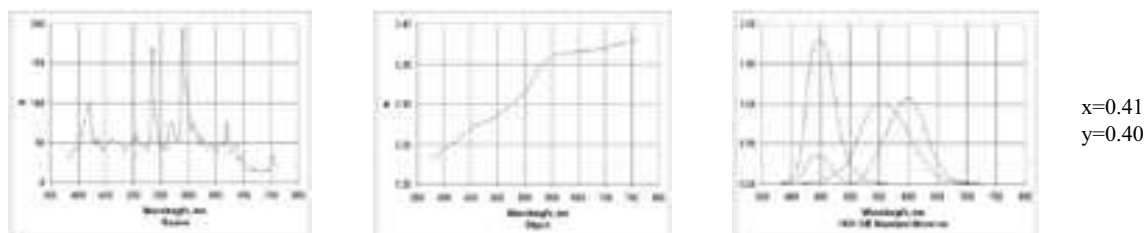


Figure 5 Computational example of the chromaticity coordinates (x , y) for a MHN-T 150 W lamp with spectral radiance $S(\lambda)$ which illuminates a Yellow Granite building surface having spectral reflectance $R(\lambda)$

	Cromaticity coordinates		Colour temperature	Cromaticity coordinates		Colour temperature	Cromaticity coordinates		Colour temperature
	x_l	y_l	T_{CCI}	x_s	y_s	T_{CCs}	x_s	y_s	T_{CCs}
	Lamp			Yellow Granite			Granite Visage Blue		
L1 - CDM-T 150W/830	0,43	0,39	3000	0,47	0,42	2656	0,43	0,40	3129
L2 - HPI-T 400W	0,38	0,38	4300	0,36	0,44	4714	0,32	0,40	5848
L3 - HPL-Comfort 250 W	0,42	0,39	3300	0,43	0,39	3042	0,38	0,34	3777
L4 - HPL-N 250W	0,38	0,38	4100	0,38	0,38	3933	0,33	0,32	5371
L5 - MHN-T 150W	0,37	0,37	4200	0,41	0,40	3414	0,36	0,36	4421
L6 - SDW-T 50W	0,35	0,48	2300	0,50	0,43	2247	0,47	0,42	2598
L7 - SON-Comfort 250 W	0,51	0,42	2150	0,53	0,43	2107	0,51	0,43	2266

Table 1 Colorimetric characteristics of lamps and illuminated surfaces

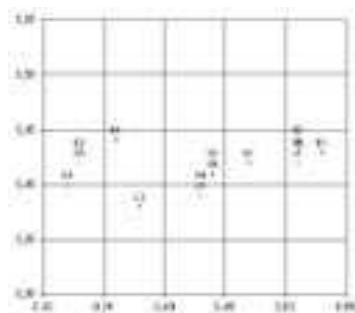


Figure 6 Chromaticity sharing of illuminated surfaces under the light of various lamps

L1 – Mastercolour CDM-T 150 W/830 (metal halide); L2 – HPI-T 400 W (metal halide); L7 – SON Comfort 250 W (high-pressure sodium)
S1 - Yellow Granite; S2 - Granite Ved Aurora (dark- green); S3 - Granite Rosabeta (red); S4 - Granite Visage Blue (dark-blue)

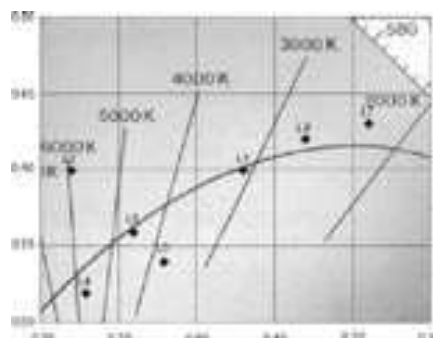
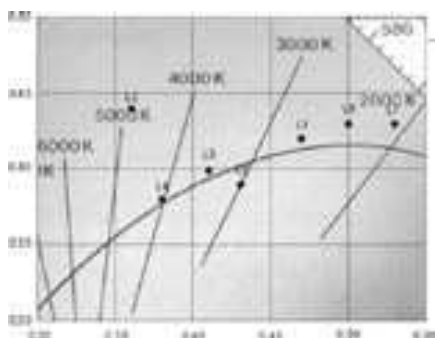


Figure 7 Chromaticity sharing of Yellow Granite (●) and, respectively Granite Visage Blue (◆) surfaces, illuminated with various light sources, on the CIE 1931 chromaticity diagram.

It is noticeable, on one hand, that a light source determines color points of illuminated surfaces closed with the lamp own color point (Figure 6). On the other hand, the chromaticity shearing of illuminated surfaces under the light of various lamps (Figure 7) depends on the “strength” of the light source, on its own chromaticity. A very particular lamp as the high-pressure sodium lamp - L7 SON Comfort – will “enforce” its own color toward illuminated surfaces. In the same time, the metal halide lamp - L2 HPI-T – will provide differentiated colors to the illuminated surfaces, related to their own chromaticity.

5. Conclusions

The architectural lighting systems are very complex in their calculus related to luminances, having in mind the continuous change of the observer position, the relative great number of luminaires/ floodlights, the calculus grid with a little step and the diversity of the surfaces materials. A large catalogue of photometric and colorimetric spectral measurements of the materials and of the spectral radiance of the lamps could be very helpful, together with a simple but effective computer software.

The analysis of the chromatic behavior of the illuminated surfaces under various light sources using spectral numerical model allows the lighting engineers to limit the considered light sources group for the architectural lighting system. The knowledge of the apparent color of a lighting scene on the initial design

stage will make the ‘in situ’ experiment of a proposed system easier, by reducing the involved costs and by simplifying the procedures.

6. Acknowledgement

We express our thanks for the kind support of Dr. Sirri AYDINLI, Technical University Berlin, FG Lichttechnik by measurements of spectral reflexivity of granite samples and to LUXTEN Lighting Romania for the offered information of the spectral distribution of the manufactured lamps.

7. References

1. Billmeyer, F. W. Jr., Saltzman, M., 1981, *Principles of Color Technology*, John Wiley & Sons, New York
2. Embrechts, J. J., 1985, The effect of walls on color rendering, *Lighting Research & Technology*, 17 (3)
3. Mitanchey, R., Fontoynt, M., 1998, Color perception under various light sources using spectral numerical models, *Proceedings of SPIE*, vol. 2179
4. Pop, H. F., Pop, F., 2000, LSD – Lighting Systems Design – a computer program for the optimum lighting systems design (Romanian), *Ingineria Iluminatului*, 2 (4)
5. Pop, F., Orban S., Pop, H. F., 2003, Integration of the architectural lighting on the environment, *Proceedings of the International Conference CONSTRUCTIONS 2003*, Cluj-Napoca

6. Rea, M. S., 2002, *Lighting Handbook*, 9th Edition, Illuminating Engineering Society of North America New York
7. Wyszecki, G., Stiles, W. S., 1967, *Color Science – Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas*, John Wiley and Sons, Inc., USA
8. CIE, 1993, *Guide for Floodlighting*, Publication CIE 94, - Technical Report
9. CIE, 1986, *Colorimetry*, CIE Publication No. 15.2-1986, 2nd ed., CIE Central Bureau, Vienna



Florin POP

Professor, Head of the Lighting Engineering Center
 Technical University of Cluj-Napoca
 15, C. Daicoviciu Street
 RO-400020 Cluj-Napoca, Romania
 Ph.: +40.745.516276 (mobil)
 Fax: +40.264.592055
 e-mail: florin.pop@insta.utcluj.ro



Horia F. POP

Associate Professor
 Babeş-Bolyai University
 Department of Computer Science
 1, M. Kogalniceanu Street
 RO-400084 Cluj-Napoca, Romania
 Ph: +40.264.418.655, ext. 5807
 Fax: +40.264.591.906
 e-mail: hfpop@cs.ubbcluj.ro

He is teaching courses in Data Structures, Functional and Logic Programming, Artificial Intelligence and others. He developed several scientific visits, the most recent being the development of a NSF contract on Soft Computing with the University of Memphis and the participation to a DFG program on Natural Language Processing with the University of Hamburg.

Sandor ORBAN

Managing Director
 Greif Hungary Ltd
 e-mail: sandor.orban@greif.com

Received 12 January 2004

Iluminatul arhitectural, cromaticitate și ambianță

Mărimea fotometrică „iluminare” nu este suficientă pentru a descrie o scenă iluminată. Ea trebuie completată cu luminanța sarcinii și/sau distribuția luminanțelor în câmpul vizual. Reflectanțele diferitelor suprafețe sunt rareori cunoscute și, practic, este dificil ca luminanța să fie luată în considerare în faza de proiectare. Reflectanțele variază cu culoarea (distribuția spectrală), materialul (rugozitatea), unghiurilor de iluminare și de privire și poluarea suprafeței. Corelarea între culoarea aparentă a sursei de lumină și reflexivitatea suprafeței iluminate asigură calitatea luminoasă a mediului ambiant, integrarea cromatică a componentelor acestuia. În lucrare sunt prezentate unele rezultate privind măsurări ale factorilor de luminanțe și de reflexivitate spectrală pentru diferite eșantioane de material, împreună cu principalele caracteristici ale unui program de calcul ce permite analiza cromaticității sistemelor de iluminat arhitectural.

1. Introducere

Un model general care să descrie reflexia luminii de către un material trebuie să ia în considerare cele trei componente: distribuția spectrală a energiei radiante a sursei de lumină, reflexivitatea spectrală și factorul de luminanță ale suprafeței materialului. Mărimile și conceptele fotometrice și cromatice exprimă relațiile de legătură între sursa de lumină și suprafața reflectantă, ce pot fi aplicate direct în calculele luminotehnice. Astfel, este necesar; (1) să fie cunoscute distribuțiile spectrale ale surselor de lumină; (2) să fie măsurate reflexivitățile spectrale și factorii de luminanțe ale unor eșantioane de

materiale utilizate în finisarea suprafețelor exterioare ale clădirilor; (3) să se dispună de un program de calcul pentru determinarea valorilor stimulilor tricromatici și, astfel, să permită proiectarea unui sistem de iluminat arhitectural în corelație cu criteriul de luminanță și efectele cromatice dorite (în conformitate cu metoda CIE [9], ilustrată în Figura 1).

Coordonatele de cromaticitate CIE (x , y) se calculează pe baza valorilor Tristimulilor CIE [9]. Punctul de cromaticitate este asociat cu lungimea de undă dominantă și puritatea culorii. Culoarea unui obiect poate fi specificată numai în corelație cu sursa de lumină

a cărei radiație este reflectată de suprafața obiectului, depinzând de distribuția spectrală a radiației incidente și de reflexivitatea spectrală a suprafeței iluminate.

Temperatura de culoare corelată T_{cc} este calculată ca o funcție explicită de coordonatele de cromaticitate folosind un model propus de Mc Camy [3].

2. Reflexivitatea spectrală a materialelor

Reflexivitatea spectrală a unor materiale utilizate în domeniul construcțiilor (beton, șindrilă, placă metalică, piatră și email pictat) sunt date în [6] - Figura 2. Figura 3 prezintă reflexivitățile spectrale măsurate pentru suprafețe de granit cu diferite culori. Măsurările spectrale au fost efectuate la Laboratorul Fotometric al Universității Tehnice din Berlin, Departamentul de Luminotehnică.

3. Program de calcul pentru proiectarea sistemelor de iluminat arhitectural

BUILDLIGHT – Programul este un instrument simplu de proiectare a sistemelor de iluminat arhitecturale, componentă a programului complex LIGHT for wxWindows – [4]. Baza de date a programului este creată pe normele și echipamentele curente și recomandările naționale și CIE. Utilizarea programului BUILDLIGHT permite: (a) proiectarea/analizarea diferitelor sisteme de iluminat ale monumentelor sau fațadelor clădirilor; (b) verificarea aspectelor calitative ale sistemului de iluminat adoptat; (c) vizualizarea 2D și 3D a distribuției iluminării și luminanței; (d) calcularea coordonatelor de cromaticitate, care permit evaluarea calității colorimetrice, cu luarea în considerare a factorilor de luminanțe (sistemul CIE al coordonatelor de cromaticitate X, Y, Z - [9]).

Programul de calcul BUILDLIGHT este scris într-o manieră modulară – Figura 4. Fiecare modul are unul sau mai mulți algoritmi de calcul independenți și comunică cu celelalte module prin intermediul programului principal. Această comunicare se face printr-o aplicație vizuală ce asigură o interfață grafică agreabilă și un meniu bazat pe funcții apelabile prin mouse sau tastatură. Aplicația este structurată în jurul modulelor principale, de calcul, și a modulelor auxiliare, de gestionare a datelor.

Modulul *Building* permite proiectantului să calculeze sistemele de iluminat pentru monumente și fațadele clădirilor. Un proiector este specificat prin poziția față de colțul din stânga-jos și de punctul țintă de pe suprafața iluminată. Utilizatorul poate configura mai multe proiectoare, de tipuri diferite și/sau situate în poziții diferite. Este calculată distribuția iluminării și a luminanței pe suprafața iluminată.

Modulul *Colorimetrics* determină coordonatele de cromaticitate (x , y) ale suprafeței iluminate de diferitele lămpi selectate și, astfel, culoarea aparentă

a acelei suprafețe în raport cu compoziția spectrală a radiației sursei de lumină; pe această bază este calculată temperatura de culoare corelată.

Percepția culorii este analizată prin precizarea sursei de lumină, cu radiația spectrală cunoscută, și a reflexivității spectrale a suprafeței arhitecturale, programul determinând coordonatele de cromaticitate (x , y) – Figura 5.

Modulul *Chromaticity* analizează comportamentul suprafețelor arhitecturale sub lumina diferitelor surse din Baza de Date ale programului Buildlight program, în sprijinul decizional al proiectantului.

4. Cromaticitatea unui sistem de iluminat arhitectural

Tabelul 1 prezintă răspunsul cromatic a două suprafețe din granit sub lumina diferitelor lămpi selectate, ilustrat grafic în Figurile 6 și 7. Este de remarcat, pe de o parte, că o sursă de lumină determină puncte de culoare ale suprafeței iluminate apropiate de punctul de culoare propriu al lămpii (Figura 6). Pe de altă parte, împrăștierea punctelor de culoare ale suprafeței iluminate sub diferitele surse de lumină (Figura 7) depinde de "tăria" sursei de lumină, de propria sa cromaticitate. O lampă cu un caracter deosebit de particular, cum este lampa cu vapori de sodiu de înaltă presiune - L7 SON Comfort – va "împune" culoarea sa proprie suprafețelor iluminate. În același timp, lampa cu halogenuri metalice - L2 HPI-T – va conferi culori diferențiate suprafețelor iluminate, în raport cu cromaticitatea proprie a acestora.

5. Concluzii

Sistemele de iluminat arhitectural sunt complexe în dimensionarea lor în raport cu luminanțele, având în vedere continua schimbare a poziției observatorului, numărul relativ mare al proiectoarelor, grila de calcul cu "pași" mici, și diversitatea materialelor de construcție/finisare a suprafețelor. Un catalog cu rezultatele măsurărilor fotometrice și spectrale ale materialelor și a distribuțiilor spectrale ale radiațiilor lămpilor va fi deosebit de util proiectanților, împreună cu un program de calcul simplu dar eficace.

Cunoașterea comportamentului cromatic al suprafețelor iluminate sub diferite lămpi, folosind un model numeric spectral, permite inginerilor de iluminat să limiteze grupul de lămpi luate în considerare pentru sistemul de iluminat arhitectural analizat. Determinarea culorii aparente a scenei iluminate într-un stadiu incipient al proiectării va face ca experimentele "in situ" să fie mult ușurate, reducând costurile implicate și simplificând procedurile de lucru.