

# INGINERIA ILUMINATULUI

## Lighting Engineering

Vol. 6, No. 13 – Summer, September 2004

### **3 Editorial – Advanced daylighting systems – human behaviour and costs**

*Florin POP*

### **5 Influence of daylighting and supplementary electric lighting on energy needs in office buildings**

*Gilbert ACHARD, Christelle FRANZETTI, Oana DOBRE, Gilles FRAISSE*

### **23 Researches concerning the influence of monochromatic LED-type light on the productivity performances, quality of the carcasses, health and methabolic profile of the broiler chickens**

*Gheorghe CÂMPEANU, Maria COSTEI, Ion VIȘAN, Stelian MATEI, Nicoleta CIOCÂRLIE, Alina ORȚAN, Emanuela PETRE*

### **33 Analysis of power quality parameters of the lighting sistems with fluourescent lamps**

*Ion MIRCEA, Denisa RUȘINARU*

### **Doctorate thesis**

### **41 Chromatic integration of architectural and ornamental lighting in the urban environment**

*Sandor ORBAN*

### **Conferences and symposiums**

### **43 The 3<sup>rd</sup> International Lighting Conference ILUMINAT 2005 & The 3<sup>rd</sup> Balkan Conference on Lighting BALKANLIGHT 2005, Cluj-Napoca, June 2-3, 2005, Second announcement**

### **45 The XII National Conference LIGHT 2004, Varna, Bulgaria**

*Plamen TSANKOV*

### **Information**

### **47 White colour with LED's concepts and methods for efficient solid-state lighting**

*Stelian MATEI*

### **59 Lighting Engineering Center – LEC – UTC-N**

*Florin POP*

### **61 Lighting in the New World. LED's - A Bright New World**

*Cristian ȘUVĂGĂU*

# INGINERIA ILUMINATULUI

Anul 6, Numărul 13 - Vara, Septembrie 2004

## **3 Editorial – Sisteme de iluminat natural avansate – comportament și costuri**

*Florin POP*

## **5 Influența iluminatului natural și a iluminatului electric suplimentar asupra necesarului de energie în clădirile de birouri**

*Gilbert ACHARD, Christelle FRANZETTI, Oana DOBRE, Gilles FRAISSE*

## **23 Cercetări privind influența luminii monocromatice de tip LED asupra performanțelor productive, calității carcaselor și stării de sănătate a puilor broiler**

*Gheorghe CÂMPEANU, Maria COSTEI, Ion VIȘAN, Stelian MATEI, Nicoleta CIOCÂRLIE, Alina ORȚAN, Emanuela PETRE*

## **33 Analiza parametrilor calitativi ai sistemelor de iluminat cu lămpi fluorescente**

*Ion MIRCEA, Denisa RUȘINARU*

## **Teze de doctorat**

## **41 Integrarea cromatică a iluminatului arhitectural și ornamental în mediul urban**

*Șandor ORBAN*

## **Conferințe și simpozioane**

## **43 A-3-a Conferință Internațională de Iluminat ILUMINAT 2005 & A 3-a Conferință Balcanică în iluminat BALKANLIGHT 2005, Cluj-Napoca, 2-3 Iunie, 2005, Al doilea anunț**

## **45 A XII-a Conferință Națională "LIGHT'2004", Varna, Bulgaria**

*Plamen TSANKOV*

## **Informații**

## **47 Culoarea albă cu LED-uri: concepte și metode în iluminarea eficientă cu componente solid-state**

*Stelian MATEI*

## **59 Centrul de Ingineria Iluminatului – UTC-N**

*Florin POP*

## **61 Iluminatul în Lumea Nouă. LED-urile, o Lume Nouă Strălucitoare**

*Cristian ȘUVĂGĂU*

## ADVANCED DAYLIGHTING SYSTEMS – HUMAN BEHAVIOUR AND COSTS



**Dr. Florin POP, Professor**

A modern design for interior lighting systems has to consider all the environmental issues – a proper electric lighting use in accordance with the daylight availability, energy, materials and equipment, maintenance programme, optimum quality of the light in space (photometric and colorimetric aspects) and of the electric network (harmonics), the users comfort and satisfaction.

Significant savings in energy consumption, and therefore cost, of providing lighting without reducing standards can be achieved by applying an energy-effective-design approach to lighting installations. The objective is clearly to provide lighting to the quantity and quality standards required, with the minimum usage of electrical energy. The energy consumed by a lighting installation depends upon *the installed load* and *the hours of use*. The hours of use of a lighting installation depend upon the occupancy patterns of the space, the daylight available in the space and the control system used.

There are two natural barriers to implement an energy efficient lighting: economical and educational. The low level of people income does not permit the purchasing of the newest energy efficient and good color rendering lamps. The lighting knowledge is lacking many times even through the educated people, and there are no media-dedicated programmes to improve it.

The EN 12464 (Lighting of work places) and EN 12665 (General terms and criteria for specifying lighting requirements) offer a new quality of further lighting installations – responsibility of the

illumination design author for results of his work and responsibility of the users for proper maintenance of the installations. Comparative with a lighting system based on general lighting, a localised lighting system (for task area) with additional ambient lighting (for immediate surrounding) may fall the specific power from 10-15 W/m<sup>2</sup> to 6-10 W/m<sup>2</sup>, representing about 50% savings [Govén 2001].

Lighting represents an important part of building energy consumption in the EU – around 10% of the total electricity consumption, ranging from 5% (Belgium, Luxemburg) to 15% (Denmark, The Netherlands, and, as well, Japan). The global electric lighting energy use may be split in four sectors: services 48%, residential 28%, industrial 16% and street lighting and other 8% [Mills 2002]. Lighting systems design trends are dynamics both in time and between countries. The recommended illuminance level represents only one of the design parameters, but it is determinant for a lighting system and its energy consumption [Mills & Borg 1998].

Lighting electricity consumption accounts for about 20 to 30% of the total energy required by an office building. On average, the investment cost of lighting facilities for an office building works out at around 1 to 2% of total investment. The power density for standard fluorescent lighting installations varies from 13 to 20 W/m<sup>2</sup>. Recent progress in equipment and design demonstrates the possibility to reduce these values in the range of 7 to 10 W/m<sup>2</sup>. A minimum acceptable lighting power density of about 7 W/m<sup>2</sup> will leads to annual lighting consumption of 16 kWh/m<sup>2</sup>. Dimming or extinction of lamps of ambient lighting may lead to annual consumption below 10 kWh/m<sup>2</sup> [Fontoyont, Escaffre & Marty 2002]. Based on the few comprehensive estimates studies, there is stipulated an approximate commercial sector lighting savings potential in the range of 25% to 40% [Mills 2002]. In practice savings will vary by country, depending on existing baseline conditions.

Daylight may cover the entire lighting need in very few buildings, and, in the same time, daylighting

can make an important energy contribution for many buildings. Both daylighting and electric lighting should be considered when designing a new building and lighting installation. The lack of knowledge on the performance of daylighting systems and lighting control strategies, the lack of daylighting design tools, of evidence of the advantages of daylighting prevent many designers to take into consideration daylight in their building design.

Direct use of daylight in buildings interior is available for the area closed with glazed areas on the building envelope – windows, skylights. The remote systems using light tubes or other devices redirect daylight into deep areas of buildings, unlit by conventional glazing.

A daylighting system through windows is concerned with the users requirements: (1) **Change and Variety** - the nature of sun and sky; (2) **Colour and View** - the contact with the weather and the world outside; (3) **Modelling and orientation, Sunlight effect** - the mood created by the variation of light. What is offering a remote lighting system of daylight in buildings interior? Some people state “gratuity”. Yes, the solar light source is free of costs. But, what the costs of the lighting collector and transport systems are? And, what the efficiency of the whole system is? Are the requirements for an improved mood, behaviour or well-being under the daylight received through a remote lighting system accomplished? Cost and energy efficiency comparison between different systems and installations is difficult due to their diversity and complexity and the prototype character of many of them. The remote lighting systems may cost between 300 €/m<sup>2</sup> for active zenithal systems (nearly 10 times that of a conventional electric lighting system) to 50-75 €/m<sup>2</sup> for passive zenithal guides (which is comparable with electric lighting). The most commercially spread system is that with the roof passive collectors, light tubes transport, and interior opalescent emitters - many thousands of such systems world-wide. The capital costs are depended by the pipe configuration and accommodation work required on building fabric. Light is distributed in an interior by emitters which differ little from conventional luminaires. The payback time for several case studies are at the level of 3-4 years. However many passive zenithal

systems are incapable of providing satisfactory task illuminance and require an electric system as supplement and backup [Carter 2004].

*The daylight is free, but the glazing or remote lighting systems of daylight can be very expensive. The daylight offered in the buildings interior by light tubes systems is NOT THE SAME as the daylight received through windows.*

Proiectarea modernă a sistemelor de iluminat interior trebuie să considere toate componentele ambientale – un iluminat electric adecvat în concordanță cu disponibilitatea luminii naturale, energia, materialele de construcție și finisare și echipamentul luminotehnic, programul de întreținere, distribuția optimă a luminii în spațiu (aspecte fotometrice și colorimetrice ale calității iluminatului), rețeaua electrică de alimentare (armonici), confortul și satisfacția utilizatorilor.

Lumina naturală poate să asigure întregul necesar de iluminat în foarte puține clădiri dar, în același timp, poate să aducă o contribuție energetică importantă pentru multe clădiri... Lipsa cunoașterii performanțelor sistemelor de iluminat natural și a strategiilor de control al iluminatului electric, a unor instrumente de proiectare și a evidențierii avantajelor iluminatului natural constituie impedimente majore pentru mulți proiectanți în considerarea luminii naturale în proiectarea clădirilor.

Utilizarea directă a luminii naturale în interiorul clădirilor este posibilă doar pentru o zonă limitată din apropierea suprafețelor vitrate ale anvelopei clădirii - ferestre sau luminatoare. Sistemele de transport la distanță a luminii utilizând tuburi de lumină sau alte dispozitive redirectionează lumina naturală adânc în interiorul clădirilor, în zone neiluminate de sistemele convenționale de vitrare.... Ce oferă un sistem de transport la distanță a luminii în interiorul clădirilor? Unii susțin “gratuitate”. Desigur, sursa de lumină solară este gratuită. Dar, care sunt costurile colectorului de lumină și ale sistemului de transport? Și care este eficiența întregului sistem? Sunt îndeplinite cerințele umane pentru un ambient confortabil, plăcut și care să determine o stare de bine sub efectul unei lumini naturale primite printr-un tub? ...

*Lumina naturală este gratuită, dar sistemele de vitrare sau de transport la distanță ale luminii naturale pot să fie foarte scumpe.*

# INFLUENCE OF DAYLIGHTING AND SUPPLEMENTARY ELECTRIC LIGHTING ON ENERGY NEEDS IN OFFICE BUILDINGS

Gilbert ACHARD \*, Christelle FRANZETTI \*\*, Oana DOBRE \*, Gilles FRAISSE \*

\* Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry, Université de Savoie

\*\* Electricité de France, Lyon

*Daylight and electric lighting are complementary and this coupling has to be considered in the analysis of the global energy needs of an office building because of the thermal loads generated by the electric lighting and the influence of the windows on both luminous and thermal behavior of the rooms. This paper deals with the foreseen energy balance of an office building with regards to the technological and architectural solutions. A global analysis is needed for a consistent approach of Energy Demand Save Management. The main objective is to test two linked softwares, one for luminous and the other for thermal behavior assessment, to obtain global energy needs of office buildings.*

## 1. Introduction

It is generally assumed that about 30% of the energy consumption of office buildings comes from electric lighting. In order to reduce this energy consumption, the manufacturers propose a variety of control systems which adjust the amount of electric light to the natural light entering the room, while maintaining the minimum level of illuminance with respect to activities and visual comfort. Those systems are said to reduce by 65%, in the best cases, the lighting energy consumption. However, the energy interaction between lighting and air conditioning has to be considered for consistent approach of Energy Demand Save Management. The thermal gains generated by electric lighting have positive effects on cold periods by reducing the needs for heating, but they increase the cooling demand on the hot period.

Many technological or architectural solutions can be used in order to develop and control daylight [2]. Lighting energy consumption is linked to the switch on time of electric lighting and to the installed power. The reduction of lighting energy consumption can be achieved by the choice of an efficient installation or by a better control of use time. This is the aim of new lighting technologies. Daylight and electric lighting are complementary and this property can be exploited to reduce energy consumption [3].

In the perspective of environmental protection, the energy needs of a building have to be globally considered. The interaction between lighting and air conditioning modulates the estimation of energy benefit of lighting systems. Our purpose is to identify and quantify the parameters of the interaction phenomena to guide people in the choice of lighting control technologies and architectural design. Two linked specific softwares, one for luminous behaviour and the other for thermal behaviour assessment, are tested and used for this parametric study.

## 2. Luminous and thermal behavior of an office building

To study the modulation of the global energy benefit due to intelligent lighting control device based on the complementarity between electric lighting and daylight, a lot of parameters have to be considered: architecture of the building, environment of the building, materials involved, technologies involved, activities and comfort of people.

We have selected fourteen parameters (Table 1) with reference to a previous sensibility analysis. They are those which seemed us the most characteristic among all the possible ones.

**Table 1** List of the studied parameters (the bold type parameters are the most efficient for the reference building)

PARAMETERS	HIGH LEVEL	LOW LEVEL	
<b>Climate area <math>H_i</math></b>	$H1$ (=+1) cold climate	$H3$ (= -1) very sunny climate	$H1$ in the north and NE, $H3$ in the SE and $H2$ in the rest of France.
Thermal insulation	high	low	Those three parameters describe the thermal property of the building and of the materials involved.
Thermal inertia	medium	ligh	
<b>Radiant energy transmission rate <math>TT</math></b>	efficient (=0,8)	not efficient (=0,3)	
Narrow screen	without	with	Element of the architecture which can shades a part of the windows
<b>External shading <math>ML</math></b>	without (= +1)	with (= -1)	It is an element of the environment (nearby or far-away)
<b>relative aperture rate <math>TV</math></b> (= $\tau_l \cdot S_{\text{windows}} / S_{\text{floor}}$ )	big (=0,675)	little (=0,037)	It takes into account the light transmission rate ( $\tau_l$ ), the area of the windows and of the floor
Horizontal position of the windows	on the right of the wall	on the left of the wall	The position of the window in the wall has an influence on the distribution of daylight in a room.
Vertical position of the window	centred	high in the wall	
<b>Lighting control system <math>Loi</math></b>	clock (=+1)	intelligent lighting devices (= -1)	The system of lighting control can vary from the basic one (“clock”) to the most effective
<b>Electric lighting power <math>Pi</math></b>	18 W/m <sup>2</sup> (not efficient)	8 W/m <sup>2</sup> (very efficient)	It depends on the type of lamps and ballasts, and on the efficiency of the light equipment
“Convection/radiation” ratio	convection equal radiation	more radiation than convection	The thermal loads of electric lighting have a convective and a radiative part.
Photometry properties of materials	high luminous reflection rate	low luminous reflection rate	This factor acts on the internal reflected components
<b>Shading of the windows <math>St</math></b>	without (=+1)	with (= -1)	It is a crucial parameter for the control of glare and summer overheating
	For $S=-1$ , there is a progressive shading when external vertical irradiance varies from 100 to 300 W.m <sup>-2</sup> [4]		

The simulations have been conducted with a computation tool developed by EDF and named CA-SIS [5]. It allows the estimation of the different energy needs (lighting, heating, cooling and global) of office buildings. The thermal behavior of building is simulated by TRNSYS [7] and the luminous behavior is evaluated with a specific programme we have developed and named LIGHT. This last programme takes into account electric lighting which supplies daylight if necessary. The daylight

illuminance on the working plane is obtained by the sum of the three components linked to the sky luminance distribution (direct, external reflected and internal reflected components) and the only internal reflected component of direct sun radiation. This last restriction corresponds to a good design of the façade allowing to avoid direct light from the sun on the working plane. The study of the luminous behavior of office buildings with LIGHT give good results ( $\pm 10\%$ ) until a daylight illuminance mean

value of 1000 lx on the working plane (see paragraph 3.3). Beyond this threshold, the probability of glare is so important that the users protect them by specific blinds to reduce the luminance window at a suitable value. In this case, we assume that daylight illuminance is always sufficient. So, the consequence of this daylight shading is only an alteration of the thermal behavior because the reduction of radiant energy transmission by the windows.

The interactions between natural and electric lighting and HVAC process can be evaluated by relationships linking energy needs and the most efficient parameters of Table 1.

We have chosen the “experience plan” method [8] to reduce the number of simulations necessary to obtain the above relations.

For each parameter, we define a high and a low level, chosen to be representative of up-to-date office buildings in France.

With a “screening procedure” [9], we select the most efficient parameters. Thanks to a statistical treatment [10] the weight of each of those parameters,

with a confidence interval, can then be estimated.

As an example, we present the results for a square-shaped and seven floors office building (reference case for the following). The total area of the seven floors is 2800 m<sup>2</sup>. All the offices are allocated on the periphery of each floor and the common services are in the center of the building.

The “screening procedure” gives a “fractional plan” of only 65 experiences, compared with 2<sup>14</sup> or 16,384 experiences of a “complete plan” corresponding to 14 parameters and 2 levels (Min and Max).

Different relations linking the most efficient parameters (Table 1) and their first order interactions with annual lighting energy consumption or other annual energy needs (heating-, cooling-, global energy needs) have been elaborated by applying the “experience plan” method. They correspond to the following formulas, where the results are in GWh and where extensive parameters (*Pi*, *TV*, *TT*) correspond to reduced value varying between 0 and +1, relatively to the interval of variation:

$$\begin{aligned}
 C_{lighting} &= (52.3 \pm 6.8) + (17.9 \pm 1.3) Pi + (9.4 \pm 1.3) Loi - (4.1 \pm 1.6) TV \\
 &\quad + (5.3 \pm 1.4) TV.Loi + (3.9 \pm 1.4) Pi.Loi + (2.3 \pm 1.4) ML.Loi \\
 B_{heating} &= (239.3 \pm 23.4) + 62.8 \pm 5.5) TV - (34.3 \pm 4.5) Hi - (16.6 \pm 4.5) TT \\
 &\quad + (11.5 \pm 4.6) Loi - (10.6 \pm 4.5) Pi - (9.7 \pm 4.8) St - (22.7 \pm 4.7) TV.Loi \\
 &\quad - (11.9 \pm 4.7) Hi.TV - (7.1 \pm 4.9) Hi.ML - (6.3 \pm 4.5) TV.St \\
 B_{cooling} &= (93.5 \pm 24) + (33.6 \pm 5.6)TV + (23.8 \pm 4.6)TT + (17.9 \pm 5)St \\
 &\quad + (15 \pm 5)TV.TT + (12.3 \pm 4.6)TT.St + (7.3 \pm 4.8)TV.St \\
 &\quad + (6.8 \pm 4.6)Hi.TT + (6.7 \pm 4.8)Hi.TV \\
 R_{global} &= (385.1 \pm 35) + (92.4 \pm 8.2) TV + (22.9 \pm 6.8) Loi + (13.4 \pm 7.2) TV.TT \\
 &\quad - (13 \pm 7) TV.Loi + (10.1 \pm 7) Pi.Loi
 \end{aligned} \tag{1}$$

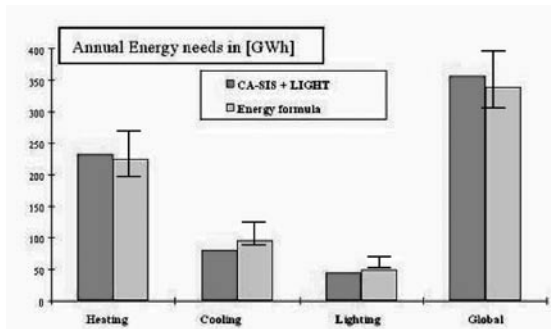
The data of the simulations are:

- required temperature for the heating: 20 °C in occupied period and 12 °C in unoccupied period;
- required temperature for the cooling: 24 °C in occupied period and 28 °C in unoccupied period;
- required level of working plane illuminance: 500 lx.

The global energy needs depend especially on the lighting technology (*Pi* and *Loi*) and on daylight

and solar gains (*TV* and *TT*). This result and the three others given by the above formulas illustrate the reality of the interaction between lighting and HVAC systems.

We note that the orientation is not among the selected parameters. Indeed, in the general case, its influence is so important that it must be considered as a data of the simulation. In the previous example, we have a particular case since it is a square-shaped office with peripherals offices where the orientation does not intervene on annual energy needs.



**Figure 1** Comparison between simulated annual energy needs with CA-SIS + LIGHT and those calculated by energy formulas (with confidence interval)

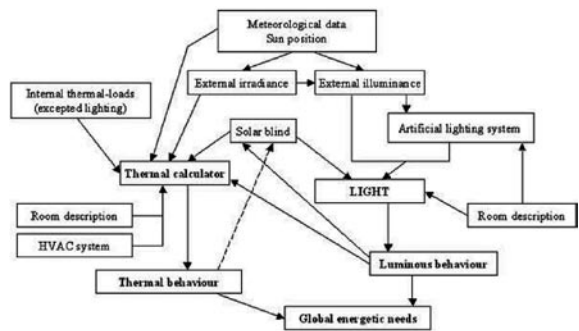
We have tested the validity of the previous relations (1), by comparison of the results they give and those calculated with CA-SIS + LIGHT, on a large office building different from that used in the example described above (=reference) but where orientation has again no influence (peripheral offices on rectangular shaped floors with shape ratio of 0.75). The values of annual energy needs obtained by the previous relations must be corrected by the volume ratio (=0.71) between the tested office building and the reference one (=example).

The results of the comparison are given by Figure 1. By taking into account the confidence interval applied on values calculated by energy formulas, the comparison is very good. Then, the relations (1) are good tools to quickly evaluate annual energy needs for a large office building whose shape is near a square and where orientation has no influence. Designers can study the sensibility of these results to the values of characteristic parameters and choose the better solution.

### 3. Simulation of the interaction between lighting and HVAC system

#### 3.1 Basic principles

Study of the interaction between lighting and thermal loads requires to carefully quantify both the electric/ natural light coupling, and the electric light/ thermal loads interaction. This can be done through the computer code CA-SIS, able to achieve transient thermal simulations [11]. This code has been completed by the light module called LIGHT.



**Figure 2** Diagram of interaction between thermal and luminous behavior

The thermal behavior computed by CA-SIS depends on the respective parts of convective and radiative fluxes of each entity producing thermal loads. The thermal effects generated by electric lighting are either of convective or radiative nature. The proportion of each component depends both on the light source (incandescent or fluorescent) and on the kind of installation (hanging or embedded lamp). The thermal loads on ambient air due to electric lighting are purely of convective nature. Between instantaneous radiative thermal effects and thermal loads, there is a delay more or less important, depending on the thermal inertia. The same phenomena exists for all the type of thermal loads inside the buildings, because their thermal effects always contain a radiative part (long wave radiation by occupants, processes and mutual wall radiation or short wave radiation as solar gains and electric lighting). The thermal inertia has a large influence on thermal comfort, but it does not much interfere on energy consumption for a long period as shown in the previous paragraph.

To take into account the lighting thermal loads, a continuous dialogue between thermal and luminous behavior must be established, as shown on Figure 2.

The interaction between lighting and air conditioning arises both from the thermal loads generated by the electric lighting and from the effect of the blinds, which impacts on natural light availability and solar gains.

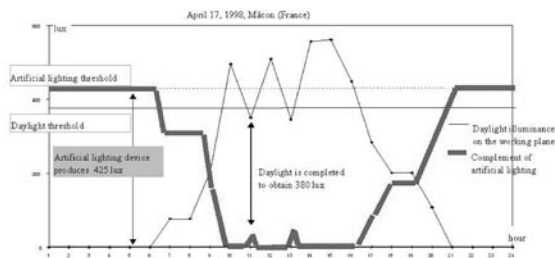
#### 3.2 Lighting calculations

To calculate the thermal loads of electric lighting which complete daylight, an illuminance level is assigned [12].



When daylight illuminance is below this setting level, two possibilities exist according to the efficiency of the control device:

- the basic lighting control device which contains only a clock and a presence detector switches on all – or a part of - the electric lighting equipment at the maximal power if the conditions of starting are carried out;
- the “intelligent” lighting control device, which have in addition a servo control and a power gradation, fixes the necessary amount of electric light just complementary to daylight and the required power is produced (see Figure 3).



**Figure 3** Complementarity between daylight and electric lighting

The power of the electric lighting equipment which is called out gives convective and radiative instantaneous gains. They have respectively a direct and an indirect delayed influence on sensible energy balance of the building. If the amount of available daylight equals or exceeds the setting level, then there is no extra thermal loads due to electric lighting.

The daylight illuminance on the working plane can be considered as the resultant value of three short wave radiation fluxes: diffuse flux from the sky, direct flux from the sun and flux from inside and outside reflections.

The inside illuminance  $E_{inj}$  is calculated at the centre of each zone  $j$  of the working plane which is divided in nine zones (Figure 4) The value which is compared with the setting value is the average of these punctual illuminances, excepted these of the zones near the windows (white zones in the Figure 4).

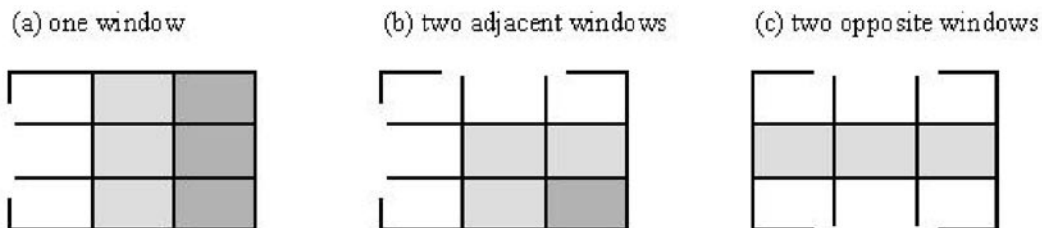
The calculations achieved by LIGHT every hour follow five steps:

- estimation of daylight outside diffuse horizontal illuminance;
- estimation of the diffuse component of internal illuminance;
- reduction of the diffuse component due to shading;
- estimation of the internal direct and diffuse reflected component;
- estimation of daylight inside illuminance.

### 3.2.1 Sky diffuse component of the daylight (outside and inside a building)

The current meteorological data of the solar radiation concern direct and diffuse irradiances (in  $W.m^{-2}$ ). To convert these energy data in luminous data, we have used luminous efficiency model of Perez [13] or Perraudeau [14] and the associated classification of the skies. These two authors have defined respectively 7 and 5 types of sky (from clear to overcast) by using air temperature, air humidity and respectively the correlation between diffuse irradiance and global irradiance (measured meteorological data) established by Reindl [15] or by Orgill and Hollands [16]. The Franzetti's procedure [1] gives a correspondence between these two classifications. Each type of sky is characterised by a specific luminance pattern which allows the calculation of outside diffuse illuminances on any plane.

Inside the buildings, the illuminances at any point



**Figure 4** Description of the working plane partition

of the working plane due to the sky is evaluated by using the notion of “Extended Daylight Factors”. We have developed this concept for each type of sky by taking into account their sky luminance pattern. This hypothesis is consistent with the results obtained by Dumortier [6].

The sky diffuse component ( $E_{int,d}$ ) at a point (or a zone) of the working plane can be expressed by the sum of the contributions of each part of the sky seen through meshes of the windows resulting from an adapted partition:

$$E_{int,d} = \left( \sum_i FJD_i \right) \cdot E_{ext,d} \quad (2)$$

$$FJD_i = a_{1i} + a_{2i} \cdot \mu_i \cdot Ls_i$$

where  $FJD$  is the extended daylight factor;  $a_1, a_2$  are parameters which depend on the type of sky [17] according to the classification proposed by Rerez or Perraudeau, and on the diffuse light transmission rate ( $\tau_d$ ) of the glass used as reference in the calculations;  $\mu$  is a function of the geometry of the luminous exchange between the window mesh and the zone;  $E_{ext,d}$  is the outside horizontal diffuse illuminance;  $Ls$  is the relative mean luminance of the sky seen through a part of the window (value of the mean luminance divided by  $E_{ext,d}$ ).

### 3.2.2 Reduction of the sky diffuse component due to shading

The diffuse component can be reduced by the presence of outside obstacles shading the sky to the windows, narrow screens (balconies, loggia walls, sun screens) and blinds.

The reduction of the diffuse component by outside obstacles is taken into account in cancelling the value of  $FJD$  corresponding to the parts of shaded sky.

The reduction ratio ( $\Delta_m$ ) of the diffuse component by outside narrow screens is a function of geometric characteristics of the parts which shade the sky to the windows.

The reduction ratio ( $\Delta_p$ ) of the diffuse component by a blind is a function of percentage of the windows obstructed.

The corrected extended daylight factor, which takes the place of  $FJD$  in the formula (2), is expressed by [18]:

$$(FJD_i)_{corr} = (FJD_i) \cdot (1 - \Delta_{mi}) \cdot (1 - \Delta_{pi}) \cdot (1 + \alpha) \quad (3)$$

where  $\alpha$  is a lump overvaluation (about 10% for

clear environment) to rough estimate the influence of the reflection of the light by the narrow obstacles and screens.

### 3.2.3 Internal diffuse reflected component

The inside parts of the walls of the room are supposed to be perfectly diffusive and obey to the Lambert’s law. Their average reflected rate is noted  $\rho_m$ . The internal reflected component is a function of this rate and of the sky diffuse component on a zone of the working plane [1]:

$$E_{refld} = f(d, \rho_m) \cdot E_{int,d} \quad (4)$$

where  $d$  depends on the geometry of the room.

### 3.2.4 Solar component

The sunlight generates two sources: the first one is the solar spot, the second one is an inside homogeneous flux of reflected light.

The purpose of LIGHT is to calculate the electric lighting necessary to complete daylight. As only mean illumination is taken into account; the solar spot is excluded because it generates high and very localised levels of illuminance, not representative of what is effective on the working plane.

Consequently, the solar component can be expressed only as the inside diffuse illuminance due to the direct solar flux entering the room through the window and reflected by the inside parts of the wall [1]:

$$E_{sun} = F(\rho_m, Sw/St, \tau_D) \cdot E_{sv} \quad (5)$$

where  $Sw/St$  is the ratio of windows area to the area of all the opaque inside parts of the room;  $E_{sv}$  is the direct solar vertical illuminance on the windows, when it exists (if not, it is equal to zero) and possibly corrected if shading by a blind is effective at the calculation time;  $\tau_D$  is the direct light transmission rate of the reference glass, depending on incidence angle of the solar radiation on the windows.

### 3.2.5 Final value of illuminance of the working plane

For a zone  $j$  of the working plane, the horizontal illuminance  $E_{int,j}$  is given by the following expression:

$$E_{int,j} = [(E_{int,d})_j + (E_{refld})_j] \cdot \beta_d + E_{sun} \cdot \beta_D \quad (6)$$

where  $\beta_d$  and  $\beta_D$  are correction factors to take into account the true properties of light transmission (d: diffuse and D: direct) of the glass of the windows, in

place of the properties of the glass used as reference in the calculations.

### 3.3 Experimental validation of light

An experimental study has been realised in a laboratory (Figure 5) to compare the measured value of daylight illuminance level on the working plane and the value estimated by LIGHT [19].

The laboratory is located in the Research Centre of EDF (Les Renardières). It is in accordance with

the prescriptions of the IEA's Task 21 [20]. Global and diffuse outside illuminances are measured with a LMT illuminance meter. Global and diffuse irradiances are measured with a KIPP and ZONEN pyrometer. In the laboratory, illuminance meters control the illumination level on the working plane and on other characteristic points.

The results of this experimental study are illustrated on the Figures 6 and 7. On the first figure, the comparison between the calculated and the

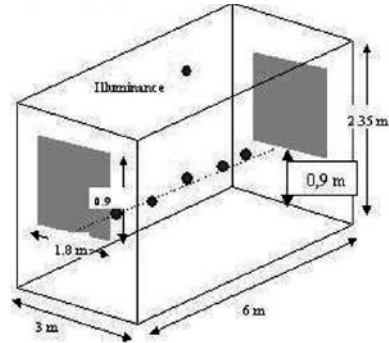


Figure 5 Laboratory and inside points of illuminance measures

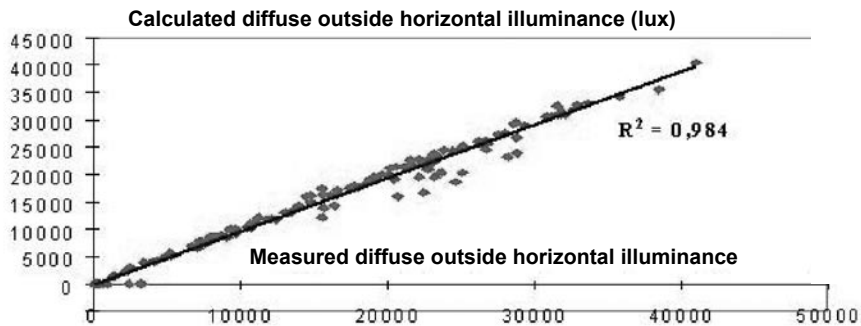


Figure 6 Comparison between calculated and measured values for diffuse outside horizontal illuminance

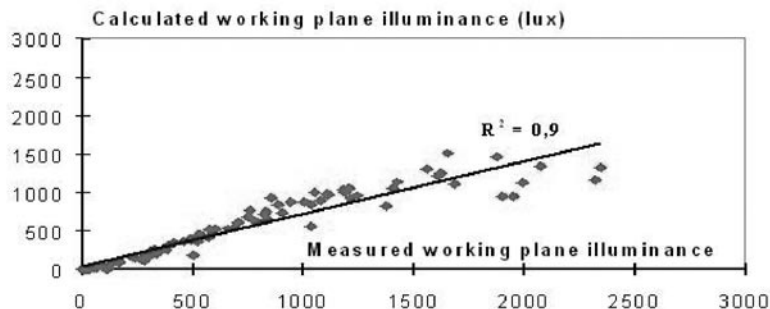


Figure 7 Comparison between calculated and measured values for diffuse working plane illuminance

measured values of the diffuse outside horizontal illuminance  $E_{extd}$  is very good and proof the validity of the luminous efficacy Perez's model, except for very small values which correspond to low values of sun height ( $<15^\circ$ ) where this model is not suitable.

The correlation between the measured illuminances and the estimated illuminances by LIGHT on the working plane is good (correlation rate of 0.9). It is better for levels under 1000 lx (see Figure 7). These levels probably correspond to the cases where the direct illuminances due to the sun is small compared to the diffuse illuminances due to the sky.

As LIGHT is not able to simulate the solar spot (see paragraph 3.2.4), the figure 7 shows the limit of this luminous behaviour model. But for high illuminance on the working plane resulting from solar spot, the electric lighting installation is useless. Therefore this validity threshold of 1000 lx for LIGHT is not damageable for the estimation of lighting energy consumption as we have soon said it in the second paragraph.

#### 4. Application of LIGHT programme

In the second paragraph, we have given an

application of the LIGHT programme linked with CA-SIS to define the most influent parameters on the different energy needs of an office building where orientation has no influence (large building with peripheral offices and square-shaped floors or closed cases). This first application illustrates the reality of the interaction between lighting and HVAC systems and shows that global energy needs depend on the lighting technology and on daylight and solar gains.

We present now two others applications of the association CA-SIS + LIGHT.

#### 4.1 Influence of the lighting devices and of the windows

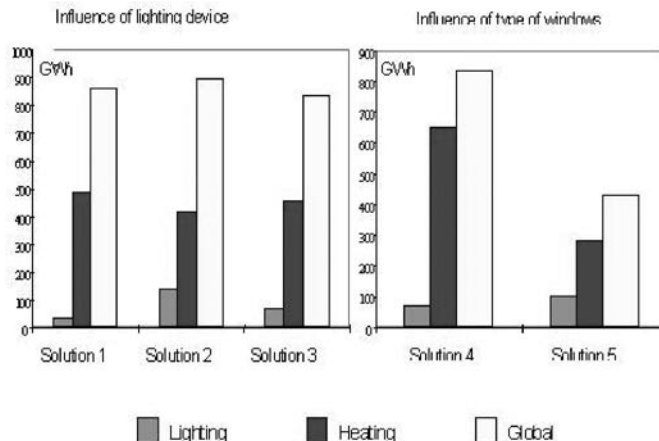
Considering a 5000 m<sup>2</sup> office building at the first step of the project design, the designers (architect and engineers) has to make some crucial architectural and technological choices.

For example, the new French thermal regulation [21] incites them to have considerations about the estimated energy needs of the projected building to limit green building effect gases emissions.

The association of the two tools CA-SIS + LIGHT allows them to foresee the consequences of their choices on the energy needs of the projected

The different solutions are defined by the following table where the parameters are the same as these of Table 1

	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4	Solution 5
$H_i$	-1 (Carpentras)	(-1) Carpentras	(-1) Carpentras	(+1) Trappes	(+1) Trappes
$TV$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
$TT$	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
$ML$	without	without	without	without	without
$St$	with	with	with	with	with
$Loi$	efficient lighting control device	no lighting control device	efficient lighting control device	efficient lighting control device	efficient lighting control device
$P_i$	9 W.m <sup>-2</sup>	16 W.m <sup>-2</sup>	16 W.m <sup>-2</sup>	16 W.m <sup>-2</sup>	16 W.m <sup>-2</sup>



**Figure 8** Estimation of energy needs of an office building vs its lighting installation and its windows

building. The Figure 8 shows what can be predicted for an office building as regards the influence of the lighting devices and of the kind of window.

The new French thermal regulation imposes a limit for the power of the lighting devices at 16 W/m<sup>2</sup> in an office building. In this application, thanks to a more efficient installation (only 9 W/m<sup>2</sup>) the lighting energy consumption is reduced, but the energy heating needs increase (Figure 8, *solution 1 and 3*).

The choice of an efficient lighting control device is favorable on lighting energy consumption and also on global energy needs, but again the energy heating needs increase a little in this case (Figure 8, *solution 2 and 3*).

A drastic reduction of the relative aperture rate *TV* by a factor 6 (for example by reducing windows area and light transmission rate) leads to heating and global energy saving of about 50%, but lighting energy consumption is 25% up (Figure 8, *solution 4 and 5*).

The choice of an efficient lighting device is very sensitive on the lighting annual energy consumption. But the choice of the relative aperture rate *TV* is a more sensitive parameter on the global energy needs of an office building.

The Figure 8 illustrates the fact that the technological choices have to be made in agreement with the architectural choices for a better energy design.

#### 4.2 Daylight development

The reference building described in the paragraph 2 has been tested in two situations: the first corresponds to a fictitious one where no daylight is available and in the second daylight is effective. In both cases, the office building is

located at Trappes ( $H_i=+1$ ), the power of electric lighting installation is 12 W.m<sup>-2</sup> (efficient lighting equipment), the lighting control device is of clock-type, the illuminance setting level is 425 lx on the working plane and a reverse thermodynamic system provides air conditioning with a COP of 1.5 (annual mean value). In the first situation, lighting is only electric and windows are fictitiously considered as having only a thermal influence, when they have in addition a luminous and visual influence in the second situation. They are double glazing windows with a light transmission rate equals to 0.82.

The annual energy needs obtained with CA-SIS + LIGHT in the two situations are given in Figure 9. It shows that without daylight, the cooling needs are more important than the heating needs. Cooling is used to evacuate the internal loads, which are mainly due to lighting in the hot period.

This implies a large reduction of all energy needs (except heating needs) when daylight is used even by a basic light control device.

The daylight availability according to the orientation of the offices of the reference building is shown by Figure 10. The switch on periods of electric lighting devices along the year, which is a sort of complementary measure of the daylight availability, vary a lot with orientation and season. In Trappes but in numerous places too, south orientation is the most interesting for the development of daylight.

#### 5. Conclusions

This work illustrates the importance of taking into account the interaction between lighting and HVAC system. This notion is useful to understand

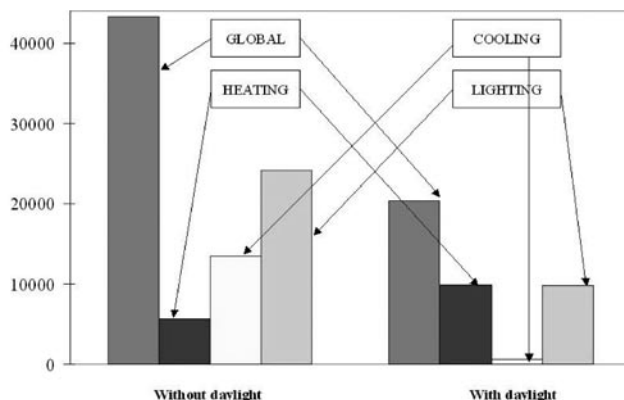
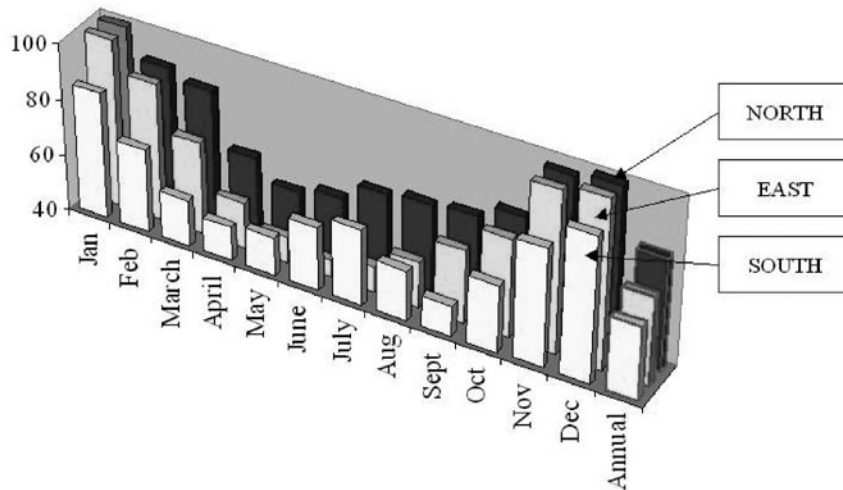


Figure 9 Annual energy needs [kWh]



**Figure 10** Switch on periods of the electric lighting devices

and foresee the energy needs of office buildings. The new French thermal regulation [21] makes this subject more sensitive. At the present time, the aim is to improve the thermal performances of new office buildings by 25%. The global reflection about technological and architectural design is important to succeed in a consistent approach of Energy Demand Save Management. For example, the choice of some expansive light control device must be justified by large reduction of energy consumption, not only for lighting but also for global consumption including heating and cooling too.

The next step of this work will be the generalisation of the simplified energy formulas to other buildings with regards to their architectural properties and their activities. This task will be made easier thanks to the new software LIGHT allowing to include the natural and electric light in thermal energy balance computed by the code CA-SIS or by others thermal codes. Some other validation works must be still carried out to increase confidence in this tool, in particular for a better control of visual comfort (glare control, luminance balance, ...) which must be always associated to a goal of energy saving.

## 6. References

1. Franzetti, C., 2001, *Etude de l'influence de la complémentarité entre l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel sur le comportement thermique*
2. D'Alfonso, 1996, *L'architecture: les formes et les styles, de l'antiquité à nos jours*, Ed. SOLAR
3. Fontoynt, M., Place, W., Bauman, F., 1984, Impact of Electric Lighting Efficiency on the Energy Saving Potential of Daylighting from Roof Monitors, *Energy and Buildings*, vol. 6, 375 – 386
4. \*\*\* , 1996, *Delta, a blind controller using fuzzy logic*, OFEN/BEN funding nr. 50943 Final Report, Laboratoire d'Energie Solaire, EPFL, Lausanne, November
5. Hartmann, O., Cordier, H., Franzetti, C., Leonard, J.C., 2000, *Exemples d'utilisation du logiciel de thermique du bâtiment CA-SIS, IBPSA 2000*, Sophia Antipolis, October
6. Dumortier, D., 1995, *Mesure, analyse et modélisation du gisement lumineux. Application à l'évaluation des performances de l'éclairage naturel des bâtiments*. Thèse Université de Savoie, December
7. TRNSYS, *A Transient Simulation Program, version 14.2*, Reference manuel, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA
8. Pillet, M., 1997, *Les plans d'expérience par la méthode de taguchi*, Editions d'organisation, Paris
9. UMETRICS, *Description du logiciel MODDE, fonctions et littérature associée*, <http://www.umetrics.com>
10. Tenenhaus, M., 1998, *La régression PLS: théorie et pratique*, Edition Technip
11. Roldan, A., 1985, *Etude thermique et aéraulique des*

*des bâtiments tertiaires*, Thèse Université de Savoie, March

*enveloppes de bâtiments. Influence des couplages intérieurs et du multi-zonage*, Thèse INSA de Lyon, December

12. \*\*\*, 1993, *Recommandations relatives à l'éclairage des locaux de travail*, Edition LUX, AFE Paris
13. Perez, R., Seals, R., Michalsky, J., 1993, All weather model for sky luminance distribution, preliminary configuration and validation, *Solar Energy*, vol. 50, nr. 3
14. Perraudau, M., 1986, *Climat lumineux à Nantes, résultats de 15 mois de mesures*, CSTB, EN-ECL 86.141 Report
15. Reindl, D. T., Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1990, Diffuse fraction correlations, *Solar Energy*, vol. 45, nr. 1, 1-7
16. Perraudau, M., 1990, *Daylight availability from energetic data*, *CIE Moscou*, vol. 1/A17
17. Perraudau, M., 1998, *Modélisation de l'éclairage naturel dans CA-SIS*, EN-ECL 98.9.C Technical Report
18. Achard, G., Franzetti, C., Binesti, D., 2001, *Etude de l'influence de l'éclairage naturel et artificiel sur les besoins énergétiques globaux des bâtiments tertiaires*, *V<sup>ème</sup> Colloque interuniversitaire franco-quebecois*, Lyon, 28 – 30 May, 463 – 470
19. Franzetti, C., Achard, G., Binesti, D., 2000, *Simulation du besoin énergétique global des bâtiments: modélisation et validation expérimentale de la pénétration de la lumière naturelle*, *IBPSA 2000 Proceedings*, Sophia Antipolis, October
20. International Energy Agency, 1998, Monitoring procedures for the assessment of daylighting. *Performance of buildings*, Task 21/A-2/DK: 96-11
21. Visier, J. C., Scwach, P., Herant, P., Farkh, S., Zirngibl, J., Millet, J. R., David, L., 2000, Réglementation thermique 2000, *CSTB magazine*, December, 3 - 29



**Prof Gilbert ACHARD**, Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry, Université de Savoie 73376 le Bourget du Lac Cedex, France  
Tel.: (33) 479 75 88 18;  
Fax: (33) 479 75 81 44  
e-Mail: gilbert.achard@univ-savoie.fr

**Dr. Eng. Christelle FRANZETTI**, Electricité de France, DCPE/Tertiel/REEL  
196 avenue Thiers 69461 Lyon Cedex 06 France  
e-Mail: christelle.franzetti@edf.fr



**Ass. Eng. Oana DOBRE**, Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry, Université de Savoie 73376 le Bourget du Lac Cedex, France  
Tel.: (33) 609 84 31 16  
e-Mail: oana.dobre@univ-savoie.fr

**Dr. Gilles FRAISSE**, Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry, Université de Savoie 73376 le Bourget du Lac Cedex, France  
Tel.: (33) 479 75 88 95; Fax: (33) 479 75 81 44  
e-Mail: gilles.fraisse@univ-savoie.fr

Received 10 July 2004

Reviewers Dr. David CARTER,

Prof. Marc FONTOYNONT, Prof. Koichi IKEDA

# INFLUENȚA LUMINII NATURALE ȘI A ILUMINATULUI ELECTRIC SUPPLEMENTAR ASUPRA NEVOII ENERGETICE DIN CLĂDIRILE DE BIROURI

*Lumina naturală și cea electrică sunt complementare și această asociere trebuie să fie luată în considerare în analiza nevoii energetice globale din clădirile de birouri datorită sarcinilor termice generate de iluminatul electric și a influenței ferestrelor asupra atât a comportamentului luminos, cât și a celui termic al încăperilor. Acest articol tratează bilanțul energetic prevăzut pentru o clădire de birouri cu referire la soluții tehnologice și de arhitectură. O analiză globală este necesară pentru un studiu coerent al Managementului de Economie a Cererii de Energie.*

## 1. Introducere

Se presupune în general că aproape 30% din consumul energetic al clădirilor de birouri este datorat iluminatului electric. În scopul reducerii acestui consum de energie, fabricanții propun o varietate de sisteme de control care adaptează cantitatea de lumină electrică în funcție de aportul de lumină naturală într-o încăpere, menținând un nivel minim de iluminare necesar desfășurării unei activități și a realizării confortului vizual. Aceste sisteme sunt indicate pentru o reducere de 65%, în cele mai bune cazuri, a consumului energetic electric datorat iluminatului. Oricum, interacțiunea de energie dintre iluminat și climatizare trebuie să fie luată în considerare în etapele de management de economie al cerinței de energie. Degajarea de căldură produsă de iluminatul electric constituie un efect benefic în perioadele de iarnă prin reducerea nevoii de încălzire, dar ea crește cererea de climatizare în perioadele de iarnă.

Mai multe soluții tehnologice sau arhitecturale pot fi utilizate în scopul valorizării și controlului luminii naturale [2]. Consumul de energie electrică datorat iluminatului este legat de momentul punerii în funcțiune a acestuia. Reducerea consumului de energie electrică poate fi realizată prin alegerea unei instalații eficiente sau a unui control mai bun al timpului de utilizare. Aceasta poate fi realizată cu ajutorul noilor tehnologii de iluminat. Pentru a atinge acest scop putem utiliza complementaritatea dintre iluminatul natural și cel electric.

În perspectiva protecției mediului înconjurător, nevoia de energie în clădiri trebuie să fie luată în considerare de manieră globală [3]. Interacțiunea dintre iluminat și climatizare modulează evaluarea avantajului de energie consumată de iluminat. Scopul lucrării este de a identifica și a preciza parametrii fenomenelor de interacțiune pentru a ghida utilizatorii spre o alegere a tehnologiilor de control al iluminatului și al design-ului arhitectural.

## 2. Comportament luminos și termic într-o clădire de birouri

Pentru a studia avantajul modulării energiei globale datorate dispozitivelor inteligente de control de iluminat care se bazează pe complementaritatea dintre iluminatul electric și cel natural, au fost considerați mai mulți parametri ca: arhitectura clădirii, mediul înconjurător al clădirii, materialele implicate, tehnologiile implicate, activitățile desfășurate și confortul ocupanților.

S-au selecționat 14 parametri (vezi Tabel 1) care fac referire la analizele precedente de sensibilitate, considerați a fi cei mai caracteristici.

Simulările au fost conduse cu ajutorul unui program de calcul dezvoltat de EDF (Regia Franceză de Energie) numit CA-SIS [5]. Acest program permite o estimare a diferitelor nevoi în energie (iluminat, încălzire, climatizare și global) a clădirilor de birouri. Comportamentul termic al clădirii este simulat cu ajutorul programului de calcul TRNSYS [7], iar comportamentul luminos este evaluat cu



ajutorul unui program de calcul specific dezvoltat de noi numit LIGHT. Acest program ține seama de iluminatul electric care completează, dacă este necesar, pe cel natural.

Iluminarea dată de lumina naturală pe planul util este obținută prin însumarea a trei componente care țin de distribuția de luminanță a cerului (componenta directă, componenta reflectată externă și componenta reflectată internă) și de componenta reflectată internă a emisiei solare directe. Această ultimă restricție corespunde unui bun design al fațadei, permițând realizarea iluminării directe de la soare pe planul util. Studiul comportamentului luminos al clădirilor de birouri cu ajutorul programului LIGHT dă rezultate bune ( $\pm 10\%$ ) pentru o valoare medie a iluminării pe planul util de 1000 lx (vezi paragraf 3.3). Peste această valoare, probabilitatea existenței orbirii este suficient de mare, ceea ce implică utilizarea unei protecții vizuale pentru a reduce luminanța ferestrelor la o valoare adecvată. În acest caz, presupunem că iluminarea dată de lumina naturală este mereu suficientă. Deci, în consecință, diminuarea cantității de lumină naturală datorită înnoirilor este doar o diminuare a comportamentului termic dată de reducerea transmiterii de energie radiantă prin ferestre.

Interacțiunile dintre iluminatul natural și cel electric și procesul HVAC pot fi evaluate prin relațiile existente între nevoile în energie cerute de iluminat și de parametrii cei mai eficienți dați în Tabelul 1.

S-a ales metoda «planului experimental» [8] pentru a reduce numărul simulărilor necesare pentru a obține relațiile descrise mai sus.

Pentru fiecare parametru, se definește un nivel maxim și un nivel minim, alese pentru a reprezenta clădirile de birouri actualizate din Franța.

Cu ajutorul unei «proceduri de ecranare» [9], se selecționează parametrii cei mai eficienți. Mulțumită tratamentului statistic [10] importanța fiecărui parametru poate fi estimată într-un interval de eroare. Ca exemplu, se prezintă rezultatele unei clădiri de birouri de secțiune pătrată și având 7 etaje (caz de referință pentru ce urmează). Suprafața totală a celor 7 etaje este de 2800 m<sup>2</sup>. Toate birourile sunt

plasate la periferia fiecărui etaj, iar zonele comune sunt plasate în centrul clădirii.

Procedura de «ecranare» dă un «plan fracțional» pentru 65 experiențe, comparat cu 2<sup>14</sup> sau 16.384 experiențe dat cu ajutorul «planului complet» corespunzător a 14 parametri și 12 niveluri (min și max).

Diferite relații dintre parametrii cei mai eficienți (vezi Tabelul 1) și interacțiunile de primul rang cu consumul energetic anual al iluminatului sau alte nevoi energetice anuale (încălzire, climatizare, nevoi energetice globale) vor fi realizate aplicând metoda «planului de experiență». Acesta corespunde formulelor următoare pentru care rezultatele sunt în GWh iar parametri extensivi ( $P_i$ ,  $TV$ ,  $TT$ ) corespund la valoarea redusă care variază între 0 și +1, relativă în intervalul de variație – formula (1).

Datele simulării sunt:

- temperatura cerută pentru încălzire: 20 °C în perioadele ocupate și 12 °C în perioadele neocupate;
- temperatura cerută pentru climatizare: 24 °C în perioadele ocupate și 28 °C în perioadele neocupate;
- nivelul de iluminare cerut pe planul de lucru: 500 lx.

Nevoile energetice globale depind în special de tehnologia iluminatului ( $P_i$  și  $Lo_i$ ) și de aperturile solare și în lumină naturală ( $TV$  și  $TT$ ). Acest rezultat și încă trei altele obținute cu ajutorul relațiilor de mai sus ilustrează realitatea interacțiunii dintre iluminat și sistemul HVAC.

Se notează că orientarea nu se află printre parametrii aleși. De altfel, în cazul general, influența orientării este suficient de importantă pentru a fi luată în considerare ca o dată a simulării. Exemplul precedent reprezintă un caz particular deoarece clădirea de birouri este de secțiune pătrată cu birouri periferice pentru care orientarea nu intervine în nevoile energetice anuale.

S-a testat validitatea relațiilor precedente (1) prin compararea rezultatelor obținute cu cele calculate cu ajutorul CA-SIS+LIGHT, pentru o clădire spațioasă de birouri, diferită de cea utilizată în exemplul descris mai sus (= de referință) și pentru

care orientarea nu influențează (birourile periferice din suprafața dreptunghiulară pe un etaj caracterizat de un factor de formă de 0,75). Valorile nevoilor energetice anuale obținute cu formulele precedente trebuie corectate cu un coeficient volumic (0,71) existent între clădirea de birouri testată și cea de referință (= exemplu).

Rezultatele comparării sunt date în Figura 1. Luând în considerare intervalul de eroare aplicat valorilor calculate cu formulele de energie, compararea este foarte bună. Astfel, relațiile (1) sunt foarte utile în cazul evaluării rapide a nevoilor energetice anuale pentru clădirile spațioase de birouri de secțiune apropiată de cea pătrată și pentru care orientarea nu intră în calcul. Conceptorii pot studia precizia acestor rezultate în funcție de valorile parametrilor caracteristici în alegerea unei soluții mai bune.

### **3. Simularea interacțiunii dintre iluminat și sistemul HVAC**

#### **3.1 Principii de bază**

Studiul interacțiunii dintre iluminat și sarcinile termice este necesar atât în asocierea dintre iluminatul electric și cel natural cât și în cea dintre iluminatul electric și interacțiunea sarcinilor termice. Aceasta poate fi realizată cu ajutorul programului de calcul CA-SIS, capabil să construiască simulări termice temporale [11]. Acest program poate fi completat printr-un modul de iluminat numit LIGHT.

Comportamentul termic simulat cu CA-SIS depinde, în parte, de fluxurile radiative și convective ale fiecărui element generator de sarcini termice. Ponderea fiecărui element depinde atât de sursa de lumină (incandescentă sau fluorescentă) cât și de tipul instalației (aparatură de iluminat suspendat sau încastat). Sarcinile termice în mediul interior al încăperilor provocate de iluminatul electric sunt de natură pur convectivă. Între efectele termice radiative instantanee și sarcinile termice există o întârziere mai mare sau mai mică care depinde de inerția termică. Același fenomen există pentru toate tipurile de sarcini termice dintr-o clădire, deoarece efectele termice ale acestora conțin mereu o parte

radiativă (radiații de lungime de undă lungă datorate ocupanților, radiații de proces și de interacțiune cu pereții sau radiații de lungime de undă scurtă ca aporturile solare și cele de iluminat electric). Inerția termică are o mare influență asupra confortului termic, dar ea nu intervine în consumul energetic din perioadele lungi de timp, cum este arătat în paragraful precedent.

Pentru a ține cont de sarcinile termice provocate de iluminat trebuie stabilit un dialog continuu între comportamentul termic și cel luminos, cum este arătat în Figura 2.

Interacțiunea dintre iluminat și climatizare rezultă atât din sarcinile termice generate de iluminatul electric cât și din efectul stocurilor, ca impact asupra disponibilității de lumină naturală și a aporturilor solare.

#### **3.2 Calcul de iluminat**

Pentru a calcula sarcinile termice și iluminatul electric care-l completează pe cel natural este necesară alegerea unui nivel de iluminare [12]. Când iluminarea datorată luminii naturale este sub nivelul ales există două posibilități care sunt în concordanță cu eficiența dispozitivelor de control:

- dispozitiv de control de baza al iluminatului care nu conține decât un ceas și un detector de prezență pus în funcțiune mereu sau intermitent, când echipamentul de iluminat electric are puterea maximă, dacă condițiile de funcționare sunt îndeplinite;
- dispozitiv inteligent de control al iluminatului având în plus un server de control și o gradare în unități de putere, care fixează cantitatea necesară de lumină electrică complementară cu lumina naturală când puterea cerută este produsă (vezi Figura 3).

Puterea echipamentului de iluminat electric cerut realizează câștiguri instantanee radiative și convective. El prezintă o întârziere directă și indirectă care influențează precizia bilanțului energetic al clădirii. Dacă cantitatea de lumină naturală disponibilă este egală sau excede nivelului fixat, atunci nu mai există sarcini termice externe datorate iluminatului electric.

Iluminarea datorată luminii naturale pe planul util poate fi considerată ca o valoare rezultantă din cele trei fluxuri de lungime de undă scurtă: flux difuz de la cer, flux direct de la soare și flux datorat reflexiilor interne și externe.

Iluminarea interioară  $E_{int}$  este calculată în centrul fiecărei zone  $j$  a planului util divizat în nouă zone (Figura 4). Valoarea care este comparată cu cea fixată este dată de media acestor iluminări punctuale, exceptând cea a zonelor din proximitatea ferestrelor (zonele albe din Figura 4).

Calculul realizat cu ajutorul programului de calcul LIGHT în fiecare oră urmăresc patru etape:

- estimarea iluminării orizontale difuze exterioare date de lumina naturală;
- estimarea componentei difuze a iluminării interne;
- reducerea componentei difuze datorate umbririi;
- estimarea componentei directe interne și a celei reflectate difuze;
- estimarea iluminării interne date de lumina naturală.

### 3.2.1 Componenta difuză a luminii naturale provenite de la cer (externă sau internă unei clădiri)

Datele meteorologice actuale despre radiația solară se referă la radiațiile difuze și cele directe (în  $W \cdot m^{-2}$ ). Pentru a converti aceste date energetice în date luminoase, s-a utilizat modelul de eficacitate luminoasă Perez [13] sau Perraudeau [14] și clasificarea care rezultă a cerurilor. Acești autori au definit 7 și respectiv 5 tipuri de cer (de la clar la acoperit) utilizând temperatura aerului, umiditatea aerului și respectiv corelația dintre emitanța difuză și cea globală (date meteorologice măsurate) stabilite de Reindl [15] sau de Orgill și Hollands [16]. Procedura lui Franzetti [1] dă corespondența dintre aceste două clasificări. Fiecare tip de cer este caracterizat de un model specific de luminanță care permite calcularea iluminărilor difuze exterioare pe orice plan.

În interiorul clădirilor, iluminările în orice punct din planul util provocate de cer sunt

calculate utilizând noțiunea de “Factor de lumină naturală excedentă”. S-a dezvoltat acest concept pentru fiecare tip de cer ținând cont de modelul de luminanță a cerului. Această ipoteză este în corelație cu rezultatele obținute de Dumortier [6].

Componenta difuză a cerului ( $E_{intd}$ ) într-un punct (sau dintr-o zonă) din planul util poate fi dată de suma contribuțiilor fiecărei părți de cer văzut prin ochiurile de fereastră rezultat ca o divizare adaptată – relația (2) – unde  $FJD$  este factorul de excedent de lumină naturală;  $a_1, a_2$  sunt parametri care depind de tipul de cer [16] în concordanță cu clasificarea propusă de Rerez sau Perraudeau și de coeficientul de transmisie al luminii difuze ( $\tau_d$ ) al geamului utilizat ca referință în acest calcul;  $\mu$  este o funcție geometrică a transferului luminos între ochiurile de fereastră și zonă;  $E_{extd}$  este iluminarea difuză orizontală exterioară;  $L_s$  este luminanța medie relativă a cerului văzut prin fereastră (valoare rezultată din divizarea luminanței medii prin  $E_{extd}$ ).

### 3.2.2 Reducerea componentei difuze a cerului datorită umbririi

Componenta difuză poate fi redusă prin prezența unor obstacole exterioare care umbresc cerul văzut prin fereastră sau prin ecrane subțiri (balcoane, geamuri solare) sau storuri.

Reducerea componentei difuze prin suprapunerea unor obstacole exterioare este luată în considerare în anularea valorii lui  $FJD$  corespunzătoare a părții umbrite de cer.

Factorul de reducere ( $A_m$ ) al componentei difuze rezultate prin prezența ecranelor subțiri este o funcție de caracteristicile geometrice ale părților care umbresc cerul văzut prin fereastră.

Factorul de reducere ( $A_p$ ) al componentei difuze datorată storurilor este o funcție de procente din suprafața ferestrei obturate.

Factorul de excedent de lumină naturală corectat care înlocuiește  $FJD$  în relația (2) este dat în [19] – relația (3) – unde  $a$  este supraevaluarea obstacolului (aproape 10% din mediul înconjurător liber) care ajută la estimarea dificilă a influenței reflexiei luminii pe obstacolele apropiate de geamul ferestrei.

### 3.2.3 Componenta reflectată difuză internă

Se presupune că partea interioară a pereților încăperii este perfect difuzantă și respectă legea lui Lambert. Coeficientul lor de reflexie mediu este notat  $\rho_m$ . Componenta reflectată internă este funcție de acest coeficient și de componenta difuză a cerului pe o zonă din planul util [1] – relația (4) – unde  $d$  depinde de geometria încăperii.

### 3.2.4 Componenta solară

Lumina naturală generează două surse: prima este spotul luminos, a doua este un flux omogen interior de lumină reflectată.

Scopul programului de calcul LIGHT este de a calcula iluminatul electric necesar pentru a completa lumina naturală. Cum este luată în considerare doar iluminarea medie, spotul solar este exclus deoarece el generează un nivel de iluminare foarte înalt și foarte localizat, nereprezentativ față de ce se găsește efectiv pe planul util.

În consecință, componenta solară poate fi exprimată doar prin iluminarea difuză interioară datorată fluxului solar direct care intră în încăpere pe fereastră și a celui reflectat de partea interioară a pereților [1] – relația (5), unde  $S_w/S_t$  este factorul de suprafață de fereastră în funcție de suprafața tuturor pereților opaci interiori ai încăperii,  $E_{sv}$  este iluminarea verticală directă solară pe fereastră când aceasta există (dacă nu, ea este nulă) și corectată dacă umbrirea provocată de un stor este efectivă în timpul calculului;  $\tau_D$  este coeficientul de transmisie de lumină directă a geamului de referință, care depinde de unghiul de incidență al radiației solare pe fereastră.

### 3.2.5 Valoarea finală a iluminării pe planul util

Pentru o zonă  $j$  a planului util, iluminarea orizontală  $E_{int_j}$  este dată de relația (6), unde  $\beta_d$  și  $\beta_D$  sunt coeficienți de corecție care trebuie să fie luați în seamă în proporții reale de transmisie a luminii ( $d$ : difuzată și  $D$ : directă) a geamului ferestrei în locul proporțiilor de geam utilizate ca referință în calcule.

### 3.3 Validarea experimentală a luminii

Un studiu experimental a fost realizat în laborator (Figura 5) pentru a compara valoarea măsurată a nivelului de iluminare dat de lumina naturală pe planul util cu valoarea estimată cu ajutorul programului de calcul LIGHT [19].

Laboratorul este plasat în Centrul de cercetare al EDF (Les Renardières). El este în concordanță cu principiile lui IEA's Task 21 [20]. Iluminările difuză și globală externă sunt măsurate cu un luxmetru LMT. Emitanțele difuză și globală sunt măsurate cu un pirometru tip KIPP și ZONEN. În laborator luxmetrul controlează nivelul de iluminare pe planul util și în alte puncte caracteristice.

Rezultatele acestui studiu experimental sunt ilustrate în Figurile 6 și 7. În prima figură,  $E_{ext}$  este foarte bună și validează eficacitatea luminoasă a modelului Perez, cu excepția valorilor foarte mici care corespund unei poziții joase a soarelui ( $<15^\circ$ ) pentru care acest model nu este adaptat.

Corelarea dintre iluminările măsurate și cele estimate cu LIGHT pe planul util este bună (coeficient de corelare de 0,9). Aceasta corelare este mai adaptată pentru niveluri de iluminare mai mici de 1000 lx (vezi Figura 7). Aceste niveluri corespund probabil cazurilor când iluminările directe provenite de la soare nu se compară cu cele difuze provenite de la cer.

Cum LIGHT nu este adaptat pentru simularea spotului solar (vezi paragraf 3.2.4), Figura 7 arată limita modelului de simulare a comportamentului luminos. Dar, pentru a obține o iluminare mai mare dată de un spot solar pe planul util, instalația de iluminat electric nu trebuie să fie folosită. De altfel, acest prag de validitate de 1000 lx al programului de calcul LIGHT este important în estimarea consumului energetic al iluminatului.

### 4. Aplicații ale programului de calcul LIGHT

În par. 2 a fost descrisă o aplicație a programului de calcul LIGHT atașat cu CA-SIS pentru a defini parametrii cei mai influenți în diferitele nevoi energetice din clădirile de birouri, pentru care orientarea birourilor nu este importantă (clădiri

spațioase cu birouri periferice și etaje de secțiune pătrată sau birouri închise). Această primă aplicație ilustrează realitatea interacțiunii dintre iluminat și sistemul HVAC și arată că nevoile energetice globale depind de tehnologia de iluminat și de aporturile solare de lumină naturală. Prezentăm acum alte două aplicații ale asocierii dintre CA-SIS și LIGHT.

#### 4.1 Influența aparatelor de iluminat și a ferestrelor

Să considerăm o clădire de birouri de 5000 m<sup>2</sup>. În prima etapă din realizarea unui proiect, arhitecții și inginerii trebuie să facă câteva alegeri tehnologice și arhitecturale cruciale.

De exemplu, noua reglementare termică franceză [21] incită să se ia în considerare nevoile energetice estimate ale clădirii proiectate pentru a limita efectul emisiei de gaze.

Asocierea dintre CA-SIS și LIGHT permite prevederea consecințelor alegerilor arhitecților și inginerilor asupra nevoilor energetice ale clădirii proiectate. Figura 8 arată ce poate fi ales pentru o clădire de birouri care ține seama de influența aparatelor de iluminat și de tipul de fereastră utilizat. Noua reglementare termică impune o limitare a puterii instalate a aparatelor de iluminat la 16 W/m<sup>2</sup> într-o clădire de birouri. În această aplicație, mulțumită unei instalații mai eficiente (doar 9 W/m<sup>2</sup>), consumul energetic al iluminatului este redus, însă nevoile energetice pentru încălzire cresc (Figura 8, soluția 1 și soluția 3).

Alegerea unui dispozitiv eficient de control al iluminatului este favorabilă în consumul energetic al iluminatului și, de altfel, în nevoile energetice globale, dar sub nivelul nevoilor energetice pentru încălzire care scad în acest caz (Figura 8, soluțiile 2 și 3).

O reducere drastică a factorului de mărime relativă  $TV$  de aproape 6 ori (de exemplu, prin reducerea suprafeței ferestrelor și a coeficientului de transmisie al ferestrelor) conduce la o economie de energie pentru încălzire și global de aproape 50%, dar, în schimb, consumul energetic pentru iluminat este cu 25% mai mare (Figura 8, soluțiile 4 și 5).

Alegerea unui aparat de iluminat mai eficient are un impact puternic asupra consumului energetic anual pentru iluminat. Dar alegerea unui coeficient de mărime relativă  $TV$  este mai puțin resimțită în analiza nevoilor energetice globale ale clădirilor de birouri.

Figura 8 ilustrează faptul că alegerile tehnologice trebuie să fie făcute în concordanță cu alegerile arhitecturale pentru un proiect energetic mai bun.

#### 4.2 Valorizarea luminii naturale

Clădirea de referință descrisă în par. 2 a fost testată în două situații: prima corespunde la o situație fictivă când nu există lumină naturală, a doua când există lumină naturală. În ambele cazuri, clădirea de birouri este plasată în Trappes ( $H_i=+1$ ), puterea specifică a instalației de iluminat electric este de 12 W/m<sup>2</sup> (aparat de iluminat eficient), dispozitivul de control al iluminatului este temporizat, nivelul de iluminare este fixat la 425 lx pe planul de lucru și un sistem termodinamic de rezervă asigură aerul condiționat cu un  $COP$  (coeficient de performanță) de 1,5 (valoare medie anuală).

În prima situație iluminatul este doar de tip electric și se consideră că ferestrele au doar o influență termică, comparativ cu situația a doua, când ele au și o influență vizuală și luminoasă. Ferestrele sunt duble cu un coeficient de transmisie a luminii de 0,82.

Nevoile energetice anuale obținute cu CA-SIS și LIGHT în ambele situații sunt date în Figura 9. Se arată că fără valorizarea luminii naturale, nevoile în climatizare sunt mai importante decât cele în încălzire. Climatizarea este utilizată pentru evaluarea sarcinilor interne, care sunt datorate, în principal, iluminatului în perioadele de vară.

Aceasta implică o reducere importantă a tuturor nevoilor energetice (cu excepția celor în încălzire) când lumina naturală este valorizată chiar cu ajutorul unui dispozitiv de control de lumină.

Utilizarea luminii naturale este importantă pentru orientarea birourilor în clădirea de referință, cum este arătat în Figura 10. Punerea în funcțiune a iluminatului electric în tot timpul anului, care este complementar luminii naturale, variază în funcție de

orientarea birourilor și de anotimpuri. În Trappes și în alte locuri, orientarea spre sud este mai interesantă în valorizarea luminii naturale.

## 5. Concluzii

Acest articol ilustrează importanța luării în considerație a interacțiunii dintre iluminat și sistemul HVAC. Această noțiune este utilă pentru a înțelege și prevede nevoile energetice ale clădirilor de birouri. Noua reglementare termică franceză [21] face ca acest subiect să fie mai sensibil. La ora actuală, scopul este de a ameliora performanțele termice ale noilor clădiri de birouri cu 25%. Ideea globală despre proiectarea arhitecturală și tehnologică este importantă în ameliorarea managementului de economie a cererilor de energie. De exemplu, alegerea unor dispozitive scumpe de control de

lumină trebuie să fie justificată printr-o reducere importantă a consumului de energie, nu numai în iluminat, ci și în consumul global care include și încălzirea și climatizarea.

Următoarea etapă a acestui studiu va fi generalizarea formulelor de energie pentru alte clădiri în concordanță cu proprietățile arhitecturale și activitățile desfășurate la interior. Aceasta va fi făcută mai ușor cu ajutorul noului program de calcul LIGHT care permite includerea luminii naturale și celei electrice în bilanțul energetic termic cu ajutorul modulului CA-SIS și al altor module termice. Alte modificări trebuie să țină cont de creșterea încrederii în aceste module și programme, în particular pentru un control mai bun al confortului vizual (controlul orbirii, bilanțul de luminanțe) care trebuie să fie mereu asociat în calculele de economie de energie.

*Traducerea autorului*

# CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA LUMINII MONOCROMATICE DE TIP LED ASUPRA PERFORMANȚELOR PRODUCTIVE, CALITĂȚII CARCASELOR ȘI A STĂRII DE SĂNĂTATE A PUILOR BROILER

**Gheorghe CÂMPEANU \***, **Maria COSTEI \***, **Ion VIȘAN \***, **Stelian MATEI \*\***  
**Nicoleta CIOCĂRLIE \***, **Alina ORȚAN \***, **Emanuela PETRE \***

\* Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București

\*\* Universitatea din Stellenbosch, Cape Town

*Iluminatul electric este important în managementul modern al creșterii puilor. Studiul recent arată că sisteme de iluminat cu lumină monocromatică afectează creșterea puilor broiler. 480 pui broiler masculi (Cobb 500) au fost amplasați în patru compartimente experimentale separate. Hrana și apa au fost administrate ad-libitum. Iluminatul a fost programat pentru 23 ore de lumină și o oră de întuneric pe întreaga perioadă a experimentului. Tratamentele luminoase au fost: lumină albă normală - martor; lumină albastră (472 nm), lumină verde cyan (505 nm), lumină verde închis (526 nm). Pe durata experimentului au fost înregistrate: greutatea corporală, sporul în greutate zilnic mediu, consumul de hrană și eficacitatea hranei. La sacrificarea puilor au fost preluate eșantioane de carne, sânge și ochi. Sporurile în greutate și eficacitatea hranei au fost semnificativ mai mari în grupurile supuse luminii verde. Profilele proteic și metabolic nu au fost afectate de lumina monocromatică. Rezultatele experimentale sugerează că lumina verde cyan și lumina verde închis stimulează creșterea puilor broiler.*

## 1. Introducere

Lumina este unul dintre cei mai importanți factori de microclimat întâlniți în adăposturile destinate creșterii păsărilor, deoarece influențează în mare măsură atât performanțele productive cât și cele de reproducție ale păsărilor. Din acest motiv adăposturile în care sunt întreținute păsările trebuie să realizeze condiții adecvate, care să corespundă cerințelor fiziologice ale organismului.

În adăposturile moderne, iluminatul electric este singura sursă de lumină asigurată păsărilor. Rolul luminii în creșterea păsărilor este bine cunoscut, aceasta influențând prin intensitate, durată (fotoperiodism) și program de aplicare (Andrews și Zimmerman 1990).

Ochiul păsărilor, similar cu cel al omului, este capabil să distingă lumina în spectrul 380 – 760 nm. Vederea cromatică este prezentă și la păsările domestice, dar experiențele privind percepția luminii

monocromatice arată că păsările nu pot recepționa radiațiile cu lungime de undă mică (indigo și violet), din cauza absorbției acestor radiații cu slabă putere de penetrare de către picăturile uleioase din retină.

În tehnologia de creștere industrială a păsărilor, pentru realizarea iluminatului electric s-au utilizat diferite surse cum ar fi: lămpi cu incandescență, lămpi fluorescente. Aceste surse de lumină electrică s-au dovedit a fi neeconomice, din acest motiv o nouă și eficientă lumină monocromatică de tip LED a fost introdusă în industria creșterii păsărilor pentru maximizarea performanțelor. Noile tehnologii de iluminat oferă avantaje crescătorilor de păsări, în sensul economisirii energiei consumate și a îmbunătățirii performanțelor (Vandenberg și Widowski, 2000).

Ca urmare a faptului că la iluminatul artificial al adăposturilor destinate creșterii păsărilor se folosesc încă surse de lumină tradiționale și, deoarece opiniile cercetătorilor care au studiat efectul luminii

monocromatice de tip LED asupra păsărilor sunt diferite, obiectivul acestei lucrări a fost acela de a stabili influența iluminării cu LED-uri cu diferite lungimi de undă asupra performanțelor de creștere, a stării de sănătate și a eficienței economice în creșterea puilor.

LED-urile utilizate în experiment au fost realizate în laboratorul de cercetare al Facultății de Inginerie Electrică din Stellenbosch de către cercetătorul Prof. Stelian Matei. Acestea au avut diferite lungimi de undă, respectiv: albastru 472 nm, verde cyan 505 nm, verde închis 526 nm.

**Tabelul 1** Schema experimentală

Loturi	Tratament	Obiective urmărite în experiment
Martor	<i>Lumină albă</i>	Parametrii productivi urmăriți
Experimental 1	<i>Lumină monocromatică albastră</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evoluția greutatei corporale pe faze de creștere (g)</li> <li>• Sporul mediu zilnic pe perioade de vârstă</li> <li>• Consumul specific (Kg n.c./Kg spor)</li> <li>• Indicele de păstrare al efectivului (%)</li> </ul>
Experimental 2	<i>Lumină monocromatică verde cyan</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compoziția chimică brută a carcaselor</li> </ul>
Experimental 3	<i>Lumină monocromatică verde închis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultrastructura fibrelor musculare</li> <li>• Modificări ale structurii retinei puilor din experiment</li> <li>• Modificări hematologice ale puilor din experiment</li> <li>• Urmărirea comportamentului păsărilor pe perioada experimentală</li> <li>• Eficiența economică (%)</li> </ul>

## 2. Materialul biologic și metoda de lucru

În cadrul experiențelor efectuate pe puii broiler s-a utilizat ca material biologic hibridul comercial Cobb 500. Studiile s-au desfășurat în patru compartimente experimentale distincte, pe un număr de 480 pui, care au fost împărțiți în mod uniform câte 120 pui/lot (6 repetiții). Creșterea s-a făcut pe o perioadă de 42 zile, în cuști metabolice, în regim de neutralitate termică (28 °C în prima săptămână și 24 °C în următoarele săptămâni). Schema experimentală este prezentată în Tabelul 1.

Fiecare compartiment experimental a avut contor de înregistrare a consumului electric propriu. Înregistrarea consumului electric a fost făcută zilnic și săptămânal. Durata iluminării a fost de 23 h/zi la toate loturile, dar a diferit între loturi prin culoarea luminii din compartimentul experimental.

Rețetele de nutreț combinat au fost formulate pe perioade de creștere, în prima perioadă rețeta a asigurat 3078 Kcal/Kg EM, 23,03%PB, și 1,40% lizină; în perioada de creștere și îngrășare rețeta a

avut un conținut de 3168 Kcal/Kg EM, 22,00%PB și 1,30% lizină; iar în perioada de finisare 3226 Kcal/Kg EM, 19,15% PB și 1,14%. Hrana și apa au fost administrate ad libitum.

Pentru stabilirea performanțelor de creștere ale puilor din loturile experimentale s-au efectuat cântăriri de control; pe baza greutăților corporale realizate s-au calculat sporurile în greutate. De asemenea, pentru aprecierea modului în care a fost valorificată hrana, au fost înregistrate cantitățile zilnice de furaje ingerate (pe loturi, variante și repetiții), pe baza cărora au fost calculate consumurile totale și cele specifice de nutrețuri combinate/kg spor.

Aprecierea calității carcaselor s-a realizat prin cântărirea acestora și a porțiunilor lor anatomice, iar pe baza greutății absolute s-au obținut date de randament și proporții ale diferitelor porțiuni rezultate prin tranșare, prin raportare la greutatea vie și la greutatea carcasi după eviscerare. De asemenea, pentru estimarea dezvoltării organelor și glandelor s-au făcut măsurări ale greutății acestora.



Probele de carne au fost supuse unor analize de compoziție chimică brută, conținut în colesterol și de ultrastructură a fibrei musculare. În vederea stabilirii structurii retinei, globul ocular al păsărilor a fost examinat histopatologic la vârsta de 28 și 42 de zile.

La sfârșitul experimentului, puilor sacrificați li s-a analizat și conținutul osului tibia în cenușă brută, calciu și fosfor. Pentru determinarea calciului s-a folosit metoda volumetrică, iar fosforul a fost evidențiat prin metoda colorimetrică.

Prin analiza probelor de sânge recoltate la 28 și 42 zile s-au stabilit valorile hematologice ale păsărilor și profilul metabolic al acestora.

Rezultatele obținute au fost prelucrate statistic folosind programul Microcal Origin calculându-se semnificația diferențelor între loturile experimentale cu ajutorul testului Student T, pe baza lor formulând o serie de concluzii și recomandări.

### 3. Rezultate și discuții

#### 3.1 Evoluția greutateii corporale pe perioada experimentală

Tabelul 2 prezintă dinamica greutateii corporale a puilor pe perioade experimentale.

Se constată că la vârsta de 21 zile greutatea medie corporala a broilerilor înregistrează valori cuprinse

**Tabelul 2** Evoluția greutateii corporale pe perioada experimentală

Loturile experimentale	Perioada 0-21 zile		Perioada 21-35 zile	Perioada 35-42 zile
	Greutate inițială	Greutate finală	Greutate finală	Greutate finală
Martor - Lumină albă	35,43±0,145	794,01±14,297	1792,71±22,506	2217,34±24,371
L1 - Lumină albastră	35,20±0,404	805,48±9,473	1730,65±16,110	2150,50 <sup>m</sup> ±21,191
L2 - Lumină verde cyan	35,36±0,375	812,25 <sup>m</sup> ±20,234	1801±27,521	2222,61 <sup>ma</sup> ±30,116
L3 - Lumină verde închis	35,66±0,409	837,37 <sup>m</sup> ±11,489	1808,64 <sup>ma</sup> ±33,819	2222,40 <sup>ma</sup> ±47,474

m - diferențiat semnificativ ( $p<0,05$ ) față de lotul M; b - diferențiat semnificativ ( $p<0,05$ ) față de lotul L2

a - diferențiat semnificativ ( $p<0,05$ ) față de lotul L1; c - diferențiat semnificativ ( $p<0,05$ ) față de lotul L3

#### 3.2 Dinamica sporului de creștere în greutate a puilor din experiment

Sporul în greutate al puilor pe cele trei perioade experimentale este prezentat în Tabelul 2.

În perioada 0-21 zile, se constată că acesta a avut valori cuprinse între 38,18 g/zi la lotul L3 (lumină verde închis) comparativ cu 36,11 g/zi lotul Martor (lumină albă). În același timp, puii din lotul L2 (lumină verde cyan) au înregistrat sporuri de 37 g/zi, iar cei din lotul L1 (lumină albastră) numai

între 794,01g la lotul Martor și 837,37 la lotul L3 (lumină verde închis), diferențe semnificative pentru probabilitatea de  $p<0,05$ .

În următoarea perioadă de creștere, la vârsta de 35 zile, se observă că greutateile medii corporale se diferențiază tot în favoarea loturilor care au beneficiat de lumina verde, 1808,64 L3 față de 1792,71 LMartor. În același timp, lotul care a beneficiat de lumina verde cyan L2 a obținut greutatea medii apropiate de lotul cu lumină verde închis, respectiv 1801 g comparativ cu 1808,6 g (diferențe nesemnificative pentru  $p<0,05$ ). Rezultatele cele mai slabe au fost înregistrate de lotul care a beneficiat de lumină albastră, respectiv 1730,65 g.

La încheierea experimentului (42 zile), greutateile corporale ale puilor au evoluat în același sens, cele mai bune greutatea evidențiindu-se la loturile L3 și L2 - 2222,61 g față de 2222,40 g (diferențe nesemnificative). Lotul care a beneficiat de lumină albastră a înregistrat greutatea medii de 2150,50 g, cu 3,24% mai mici decât lotul cu lumină verde L3 și cu 3,02% mai mari decât ale lotului Martor.

Analizând rezultatele pe cele trei perioade experimentale se constată că toate loturile care au fost crescute cu lumină monocromatică de tip LED au realizat greutatea medii corporale mai mari decât lotul Martor.

36,68 g/zi. Între 21 și 35 zile, valorile sporului obținut se înscriu între 71,69 g/zi la lotul L2 (lumină verde cyan), față de 66,08 g/zi la lotul L1 cu lumină albastră.

În perioada de finisare a puilor, aceștia au realizat sporuri cuprinse între 61,01 g/zi la lotul L2 (lumină verde cyan), față de 59,11 g/zi la lotul L1 cu lumină albastră.

### 3.3 Evoluția consumului specific pentru a obține 1 kg spor în greutate

În ceea ce privește consumul de nutreț combinat între 0-21 zile, se constată că acesta a avut valori cuprinse între 38,18 g/zi la lotul L3 (lumină verde) comparativ cu 36,11 g/zi lotul Martor (lumină albă). În același timp, puii din lotul L2 (lumină verde cyan) au înregistrat sporuri de 37 g/zi, iar cei din lotul L1 (lumină albastră) numai 36,68 g/zi. Între 21 și 35 zile, valorile sporului obținut se înscriu între 71,69 g/zi la lotul L2 (lumină verde cyan), față de 66,08 g/zi la lotul L1 cu lumină albastră.

În perioada de finisare (35-42 zile) se remarcă o îmbunătățire a consumului specific la toate loturile experimentale: 2,600 kg/kg spor la lotul L2; 2,606 kg/kg spor la lotul L3; 2,730 kg/kg spor la lotul L1; față de 2,613 kg/kg spor lotul Martor .ecedentă de puii lotului L2 (lumină verde cyan) 1,879 kg/kg

### 3.4 Evaluarea caracteristicilor calitative și a profilului metabolic și hematologic al puilor expuși la acțiunea luminii monocromatice

Experimentul care stă la baza prezentului raport urmărește efectul luminii monocromatice (albastră, verde deschis și verde închis) asupra performanțelor de creștere a puilor broiler și asupra

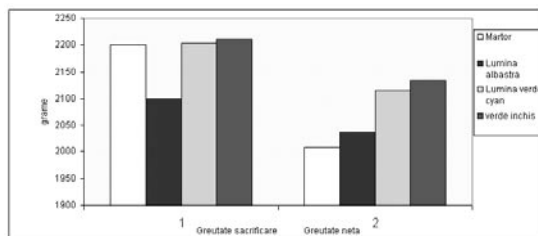
**Tabelul 3** Compararea greutateii organelor la puii broiler crescuți cu lumină monocromatică diferită

	Pui broiler din lotul martor (M)	Pui broiler din lotul (L <sub>1</sub> )	Pui broiler din lotul (L <sub>2</sub> )	Pui broiler din lotul (L <sub>3</sub> )
Greutatea inimii, g	8,560±0,792	9,138±0,428	8,002±0,749	8,560±0,600
% din Greutatea netă	0,405±0,034	0,448±0,013	0,381±0,035	0,401±0,023
Greutatea ficatului, g	42,110±3,777	39,163±1,183	42,197±5,155	40,780±1,194
% din Greutatea netă	1,988±0,154	1,923±0,029	2,013±0,280	1,911±0,055
Greutatea pulmonului, g	8,983±1,115	8,992±0,333	13,532±1,310	9,578±0,516
% din Greutatea netă	0,423±0,044	0,441±0,025	0,645±0,046	0,448±0,021

Din analiza rezultatelor obținute se constată că nu s-au înregistrat diferențe semnificative din punct de vedere al greutateii inimii și ficatului, în cazul pulmonului însă, rezultă diferențe semnificative ale greutateii acestui organ atât între lotul Martor (valoarea minimă) și lotul cu lumină verde cyan L2 (valoarea maximă obținută), respectiv 4,549 g, cât și între lotul cu lumină albastră L1 și cele cu lumină verde L2 și L3 (verde cyan și verde închis): 4,54 g și respectiv 0,586 g.

caracteristicilor trofico-biologice ale cărnii păsărilor crescute în aceste condiții. În urma sacrificărilor, puii din loturile experimentale au fost supuși unei serii de măsurări privind dezvoltarea carcaselor și a tractusului digestiv.

Greutatea la sacrificare și greutatea netă a carcaselor este prezentată în Figura 3.4.1.

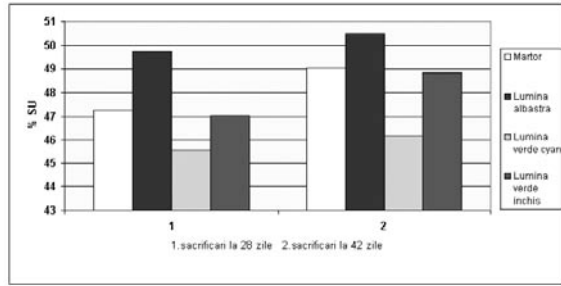


**Figura 3.4.1** Prezentarea greutateii la sacrificare și a greutateii nete la puii broiler crescuți în loturi cu lumină monocromatică diferită

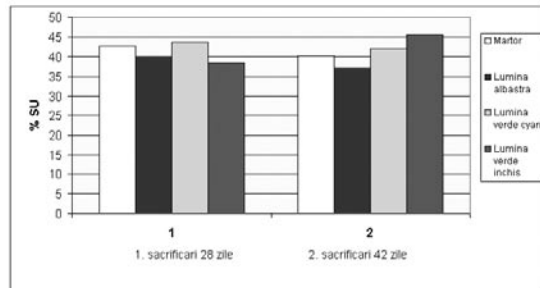
De asemenea, în urma sacrificărilor a fost analizată și greutatea organelor puilor pe loturi experimentale. În Tabelul 3 este redată compararea acestor valori și procentul din greutatea netă.

### Aprecierea comparativă a compoziției chimice a carcaselor puilor din loturile experimentale

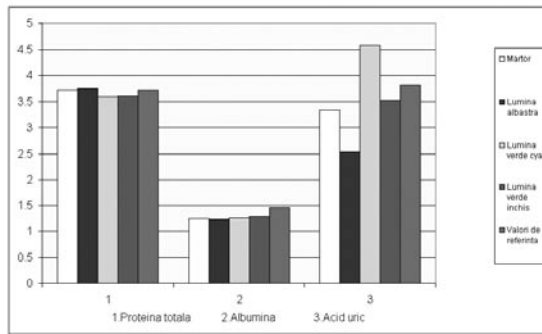
Compoziția chimică brută a carcaselor analizată cu scopul depistării potențialelor diferențe ale calității nutritive a cărnii obținute de la puii din cele 4 loturi experimentale (sacrificați la 28 de zile și la 42 de zile) evidențiază performanțe superioare la puii crescuți în loturile cu lumină verde, în special verde cyan. Figura 3.4.2 prezintă proteina brută din carcasele puilor, iar Figura 3.4.3 - grăsimea brută, ambele raportate la substanța uscată.



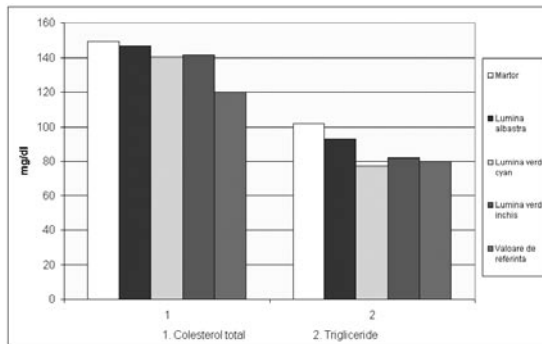
**Figura 3.4.2** Proteină brută (% SU) determinată din carcasele puilor broiler sacrificați la 28 și 42 de zile și crescuți în patru loturi experimentale cu lumină monocromatică diferită



**Figura 3.4.3** Grăsime brută (% SU) determinată din carcasele puilor broiler sacrificați la 28 și 42 de zile și crescuți în patru loturi experimentale cu lumină monocromatică diferită



**Figura 3.4.4** Profilul proteic la puii de 42 de zile din loturile experimentale expuse la acțiunea luminii monocromatice



**Figura 3.4.5** Profilul energetic (colesterol total și trigliceride) la puii de 42 de zile din loturile experimentale cu lumină monocromatică

Din rezultatele determinărilor se constată că cele mai mari valori la conținutul în proteină brută au fost obținute la lotul cu lumină albastră, iar cea mai mică valoare a grăsimii brute a fost prezentă în carcasele puilor din lotul cu lumină verde închis.

#### **Analiza profilului metabolic al puilor din loturile experimentale expuși la acțiunea luminii monocromatice**

Pentru puii de carne din loturile experimentale, s-a aplicat profilul metabolic la vârsta de 4 și 6 săptămâni, respectiv la 28 și la 42 de zile (Figurile 3.4.4 și 3.4.5)

Comparând valorile determinate pentru fiecare parametru luat în calcul la stabilirea profilului proteic și energetic se observă că puii analizați în acest experiment nu sugerează existența unor probleme metabolice.

#### **Examenul histopatologic al probelor prelevate de la puii broiler din loturile experimentale cu lumină monocromatică**

Examenul histopatologic al probelor de analizat s-au efectuat pe patru pui în vârstă de 28 de zile și pe 16 pui de 42 de zile din cele patru loturi experimentale.

S-au prelevat fragmente de mușchi scheletic din zona pectorală și femurală și glob ocular (retină), fixarea s-a făcut în formol Baker, incluzia la parafină, secționarea la 5 μm, iar colorarea secțiunilor prin metoda tricromică Masson (HEA).

Examenul histopatologic efectuat la puii de 28 de zile și la cei de 42 de zile a evidențiat slabe modificări distrofice în probele din musculatură și discrete leziuni la nivelul retinei, în special la puii din loturile cu lumină albastră și verde închis. Puii din loturile cu lumină verde cyan și cu lumină albă au prezentat rezultate corespunzătoare.

#### **4. Concluzii**

Din analiza datelor prezentate se desprind următoarele concluzii generale:

1. Privitor la influența luminii monocromatice de tip LED asupra performanțelor de creștere ale puilor broiler se constată că:

1.1 Spectrul luminii monocromatice influențează rata de creștere a puilor broiler

astfel încât puii din loturile L2 (lumină verde cyan) și L3 (lumină verde închis) au realizat rata de creștere și sporul în greutate semnificativ mai mari decât cei crescuți sub lumină albastră sau albă.

1.2 În ceea ce privește eficiența utilizării hranei se remarcă aceleași loturi care au beneficiat de lumină verde, respectiv L2 și L3, care au realizat un consum de nutreț combinat cu 5,46% și cu 1,14% mai mic decât puii lotului Martor (lumină albă).

2. Privitor la influența luminii monocromatice de tip LED asupra calității carcaselor și a stării de sănătate a puilor broiler se constată că:

2.1. Greutatea la sacrificare a puilor, greutatea semicarcaselor și cea a organelor interne au fost influențate semnificativ la loturile cu lumină verde (verde cyan și verde închis) cu 5,2 și 6,2% mai mari decât la lotul Martor.

2.2. Profilul metabolic nu a fost influențat și se încadrează în valorile de referință corespunzătoare speciei și categoriei pentru toate loturile experimentale.

2.3. Starea de sănătate a puilor nu a fost afectată, la examenul histopatologic s-au evidențiat slabe modificări distrofice în probele din musculatură și discrete leziuni la nivelul retinei, în special la puii din loturile cu lumină albastră și verde închis. Puii din loturile cu lumină verde cyan și cu lumină albă au prezentat rezultate corespunzătoare în urma examenului histopatologic.

#### **Bibliografie**

1. Vandenberg, C., Widowski, T., 2000, Investigating the effects of alternative light sources on behaviour, welfare and performance of poultry. *Animal and Poultry Science* (Guelph 1998-2000)
2. Rozenboim, I., Zilberman, E., Gvaryahu, G., 1998, New monochromatic light source for Laying hens, *Poultry Science* 77
3. Andrews, D.K. and N.G. Zimmerman, 1990, A comparison of energy efficient house lighting source and photoperiods", *Poultry Science* 69
4. Woodward, A.E., J.A. Moore and W.O. Wilson, 1969, Effect of wavelenght of light on growth and reproduction in Japanese quail, *Poultry Science* 48



**Gheorghe CÂMPEANU**  
 Profesor universitar, doctor în chimie  
 Șef al Catedrei de Chimie, Facultatea  
 de Biotehnologii  
 e-mail: campeanu0136@yahoo.com

**Alina Ruxandra Eugenia ORTAN**  
 Asistent drd.  
 e-mail: alina\_ortan@hotmail.com

**Emanuela Irina PETRE**  
 Asistent drd.  
 e-mail: irina\_12\_99@yahoo.com



**Maria Virginia COSTEI**  
 Lector dr.

Universitatea de Științe Agronomice și Medicină  
 Veterinară București  
 Facultatea de Biotehnologii  
 Bd. Mărăști Nr. 59, 71331 București, România  
 Tel.: +40.21.2242576  
 Fax: +40.21.2241825

Lucrare prezentată la A 2-a Conferința Internațională  
 ILUMINAT 2003, 8-9 Mai, Cluj-Napoca, România

## **RESEARCHES CONCERNING THE INFLUENCE OF MONOCHROMATIC LED-TYPE LIGHT ON THE PRODUCTIVITY PERFORMANCES, QUALITY OF THE CARCASSES, HEALTH AND METHABOLIC PROFILE OF THE BROILER CHICKENS**

*Electric illumination is crucial in modern broiler management. The latest studies show that a new and highly efficient monochromatic light system affects the growth of broiler chicks. Four hundred and eighty male broiler chicks (Cobb 500) were raised in cages in four experimental rooms separately. Feed and water were provided for an ad-libitum consumption. The light was scheduled for 23h of light and 1h of dark during the entire experimental period. Light treatments were: control-normal white; blue (472 nm), cyan green (505 nm), dark green (526 nm). During the experimental period were recorded: body weight, the average daily gain, feed consumption and feed efficiency. At the slaughtering meat samples, blood samples, eye samples were taken. The weight gain were significantly higher in the group reared under green light, and the feed efficiency were enhancement in the same groups. The proteic and metabolic profile were not affected, by the monochromatic light. The experimental results suggest that the cyan green light and the dark green light stimulate the growth of the broilers.*

Light is one of the most important microclimate factors found in places for growing birds, as it is greatly influencing both bird development and reproduction. Therefore, these places where birds are kept and grown must have adequate conditions, correlated to the physiological needs of the organisms. In modern systems, electric light is the only source of light available for birds. The growth of broiler chicken - largely used in bird meat production industries - is significantly influenced by

the type of light. Industrial bird growth technology is using different light sources such as: incandescent or fluorescent lights. These electric light sources were found to be uneconomical, therefore a new, efficient monochromatic light source of the type LED has been introduced in poultry farms. The technology used to produce LEDs involves growing crystalline structures of semiconductor material layer after layer (layer on top of layer), making possible to use semiconductor materials that could not be used

before, and also insures the production of structures of high precision and purity. Recent technologies made possible the production of LEDs with a combination of colours. Because classical artificial lighting systems in chicken farms are still used and because scientists express different opinions on the effects of LED monochromatic light (with various wavelengths) in birds, we found the study of the influence of LEDs on chicken growth parameters, health and economic efficiency interesting to explore in the present project. The LEDs used in the present work have been produced by Prof. Stelian Matei at the research laboratory of the Faculty of Electrical Engineering in Stellenbosch. These had various wavelengths: blue (480 nm), cyan green (535 nm), dark green (560 nm).

**Materials and methods.** The experiments used the hybrid COBB 500 chicken, available commercially. These hybrids have fast growth, feed efficiency, high slaughtering yield and good livability. Four hundred and eighty broilers (male) COBB 500 were used in four different rooms during experiments (Table 1). The birds were raised in cages, in uniform growth conditions, at thermic neutrality (28 °C in the first week and 24 °C all others). Electrical consumption was measured separately in each experimental room weekly. A 23 h light - 1 h dark was used in all rooms, but light colour varied as follows: - Control: normal bulb - white light - Treatment 1 (L1) - LED - blue light - Treatment 2 (L2) - LED - cyan green light - Treatment 3 (L3) - LED - dark green light. The compound feed network structure was similar in all treatments. The content of the compound feed structure included: maize, soybean meal, fish meal, calcium salts and phosphates and premixes. The broilers were fed with compound feed made of raw materials chemically and microbiologically controlled in IBNA production unit. Feed and water were provided ad libitum.

The compound feed used during the experiment was prepared differently depending on the growth

period as follows: Starter, Grower and Finisher. The structure and nutritive value were analysed with standard methods.

### **Results and discussion weight measurement.**

Measurement of weight was carried out at 21, 35 and 42 days in all chickens and all experimental groups. It can be seen that 21-day old broilers have mean body weights of 794.01 g in the control lot and 837.37 g in group L3 (dark green light) (differences are significant at  $p < 0.05$ ). Then it can be seen that 35-day old broilers show the same trend, namely the groups grown at green light have bigger weights (1808.64 g for L3, compared to 1792.71 g in control). At the same time the group given cyan green light (L2) shows similar weights to the group given dark green light - 1801 g compared to 1808.6 g (differences are not significant at  $p < 0.05$ ). Poorest results were found in the group that was given the blue light treatment (1730.65 g). At the end of the experiment (day 42) chicken body weights show the same trend, best weights were found in groups L3 and L2 - 2222.40 g compared to 2222.11 g (differences not significant). The group that was given blue light shows 3.24% less body weight than the group given green light (L3) and 3.02% more body weight compared to controls. Overall results from all group types and experiments show that all treatments with monochromatic LED light have yielded bigger body weights than the control.

**Pattern of weight increase.** The weight increase of chicken were analysed. During the first 21 days a daily increase of 38.18 g was shown in group L3 (green light) compared to 36.11 g/day in control (white light). Between day 21 and day 35 the daily weight increase was 71.69 in group L2 (cyan green light) compared to 66.08 g/day in group L1 (blue light). During the last growth period the group L2 (cyan green light) had daily increases of 61.01 g compared to 59.11 g/day in lot L1 (blue light).

Overall results showed highest weight increase in group L2 which was given cyan green light (52.96 g/day), while chicken in group L1 (blue light) had lowest weight increase (50.36 g/day).

**Pattern of food consumption.** Data regarding specific food consumption were analysed. To calculate specific compound feed consumption the total consumption for each period was divided to the total increase obtained in each of these cases. During the first 21 days, specific compound food consumption had values of 1.685 kg/kg increase in lot L2 (cyan green light), compared to 1.734 kg/kg increase in control (white light). Similarly, during the next time period (days 21-35) most efficient food consumption was recorded in group L2 (cyan green light) - 1.879 kg/kg increase compared to that of chickens grown in white light, L1, which had highest increase in combined food (2.126). During the last period (days 35-42) a better specific consumption was noted in all experimental groups, as follows: 2.600 kg/kg increase in group L2; 2.606 kg/kg increase in group L3; 2.730 kg/kg increase in group L1; compared to control which had 1.613 kg/kg increase. The analysis of the consumption during the whole experimental period, shows that chickens grown in green cyan light had the best food conversion 1.836 kg/kg increase, while poorest results were noted in the control group given white light (1.942 kg/kg increase).

**Assessment of qualitative characteristics and metabolic and haematologic profile of poultry under the action of monochrome light.** The experiment providing the basis of the present report analyses the effect of monochrome light (blue, light green and dark green) on the growth performances of Broiler poultry as well as on the trophico-biological characteristics of the meat produced by birds bred under such conditions.

**Comparative assessment of chemical composition of poultry carcasses in experimental batches.** The raw chemical content of the carcasses analyzed in order to acknowledge any possible differences of nutritional quality in the meat of samples from the four experimental batches (slaughtered on the 28th and respectively on the 42nd days) highlight superior performances in poultry coming from the green light lots, especially from the cyan green one. It can be thus noticed that the lowest value of the real dry substance analyzed for the poultry slaughtered on the 28th day has been established for the carcasses of those coming from the blue light lot (a value inferior to the one of the witness lot with about 0.38%). The maximum value within this parameter has been determined for poultry carcasses in the cyan green light lot (the difference between this lot and the witness one being of 1.92%).

Another parameter that has been analyzed is raw protein, which related to the dry substance is very well represented in the blue light poultry lot. This time, the poultry in the cyan green light lot have featured the lowest value. Studying the data given in the above mentioned table, it results that the differences in raw protein related to the dry substance is of 4.13% between the poultry bred in the blue light lot and those in the cyan green one. It can be also noticed that the values for this parameter are lower for the green light lots (cyan and dark green) than for the witness one. The hypothesis made by some filed researchers might give us a clue to explain these results (Bates 1987, Capaccio 1987, and Crowley & Matt 1996). According to these scientists, blue light stimulates the secretion of androgynous hormones which, in their turn, help proteic synthesis and diminish proteolysis, determining the growth of the muscular mass and thus a high value of raw protein in the carcasses. Another chemical parameter studied on the carcasses of poultry from the experimental batches is raw fat. We can notice the fact that the value of crude fat (related to dry substance) decreases insignificantly for the poultry slaughtered

on the 28th day by comparison to those slaughtered on the 42nd day for the witness, the 1st and the 2nd lots. The lowest quantity of raw fat has been recorded in the carcasses of poultry from the dark green lot slaughtered on the 28th day and, in those of the samples from the blue light lot slaughtered on the 42nd day. The maximum values within this parameter have been found in the carcasses from the cyan green light lot (on the 28th day) and from the dark green lot (on the 42nd day). The conclusions drawn from the analysis, made to establish the content of the raw chemical substances from the poultry carcasses involved in the experiment, underline the net-superior nutritional quality with respect to micronutrients (mineral salts and vitamins) of the poultry bred in the green light lots, especially in the cyan green one. These conclusions, also stress the high content of raw protein present in the carcasses of the samples from the blue light lot. The poultry studied in this experiment do not suggest any metabolic problems. The results acquired after 28 days as well as after 42 days highlight an adequate proteic, energetic and mineral profile, especially for poultry bred in the green light lots (cyan and dark green). With respect to the other two lots, they both show a slight deviation from the specific

reference values. The poultry hematology profile has been made by determining the total amount of erythrocytes, haematocytes and haemoglobin and, then by comparing the values obtained with the recommended ones. The evaluation of the haematologic profile for the 42 day-old poultry has shown that it corresponds to the reference values for this species and age. The histopathologic analysis of the samples has been made on 4 chickens of 28 days in age and, on 16 chickens of 42 days from the experimental batches. There have been taken samples of skeletal muscle from the breast and femoral area as well as samples from the eyeball (the retina), consolidation was carried out in Baker formol, paraffin inclusion, chopping produced 5 µm slices, while section dyeing has been carried out through the Masson's trichrome method (HEA). The results shows that the changes seen both at the level of striated muscles and the retina have been in light intensity with poultry coming from the white and from the cyan green light lots, and there were not found major changes.

It can be concluded that the type of monochromatic light used in experiments has a significant effect, best results were shown in groups given green light.



# ANALYSIS OF POWER QUALITY PARAMETERS OF THE LIGHTING SYSTEMS WITH FLUORESCENT LAMPS

**Ion MIRCEA, Denisa RUȘINARU**

University of Craiova

*The purpose of this paper is investigation of the electrical characteristics of the low-pressure mercury lamps of LFA 20 type. Their use at a large scale is justified by a number of advantages as low prices, long life time and high luminous efficiency. Nevertheless there should be mentioned that the low-pressure mercury lamps operate with a relatively low power factor, asking for a supplementary reactive power from the supply system. On the other hand, this type of lamp is an important harmonics source. In the paper are mentioned the results of the measurements of some values characteristics to these lamps, the figures being compared with the manufacturing figures. The results of harmonic analysis in the coupling point of lamps are presented as well.*

## 1. Introduction

At present, some of the most important harmonics sources in the distribution networks are the fluorescent lamps. In spite of these lamps advantages, there could be not neglected the serious problems linked by the harmonics they introduce in the supply network. More than that, their supplying by distorted voltages due to other consumers of the network leads to a supplementary deterioration of their electric performances.

The measurements made on LFA 20 type lamps outlined higher values for the power absorbed by the ballasted lamps, and respectively lower values of the power factor compared with the manufacturer figures. More, there was determined a distorting current factor that highly overcomes the limit proposed by the power quality standards [1, 2].

Supplying of the lighting systems with fluorescent lamps is joined by high currents through the neutral conductor, generated by summation of the 3<sup>rd</sup> phase currents harmonics. The zero sequence currents, in the case of an asymmetrical disposal of the lighting sources on the three network phases, magnify these currents. These additional loads mean a serious danger for the network operation, leading to the degradation of the neutral conductor by overheating. This effect is aggravated by the fact

the cross section of the neutral conductor is usually inferior to that of the active conductors.

On this background, the opportunity of fluorescent lamps use is debated in the framework of a great number of serious technical and economic studies, whose purpose is the comparison of their advantages with the costs attached to the devices for harmonic and reactive power compensation, considering even the asymmetry of the load currents.

Once the identification of these lamps as harmonic sources was made, it can be established the measurement types that would allow to extract the necessary information for the study, as well as the identifying that type of lamp model able to describe the best the behavior of the physical element for different operation states. Since a model that would allow the simulation of all aspects linked by the fluorescent lamps' behavior would be too complex, there were developed alternative models adjusted to more restrained purposes: e.g. load flows in steady (nonsinusoidal or/and unsymmetrical) state, determining the lamps' influence on the network operation, analysis of the supply voltage impact on the lamps operation, interactions among the lamps and between them and other types of low voltage consumers.

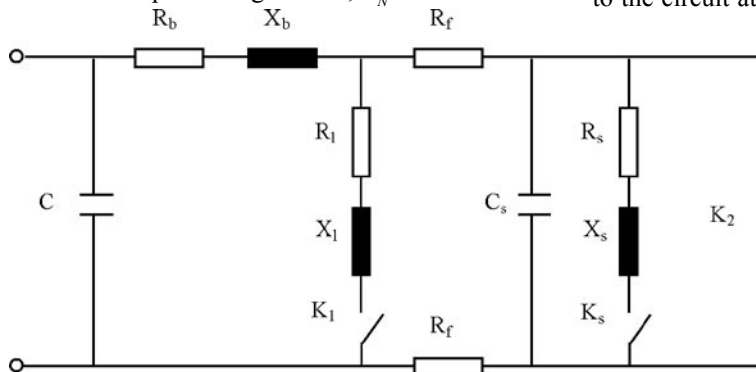
Based on proper simplifications (neglecting of some less important aspects regarding the studied

problems), these models were adjusted to the issues of interest. They used to be developed either in the frequency domain (allowing their connection with the network linear model in steady state), or in time field (case of the transient studies, control of some values, drawing of some time evolutions). Even the energetic model [3] is considered, or the one developed by Grady [4], their definition consists in determining of certain coefficients that should be according to the measured harmonic spectra of the lamp, as well as to the energetic features. For those harmonic analyses that follow the effects of high supply voltage harmonics on the fluorescent lamps, the energetic model could be applied. In spite of its complexity, this model allows (indirectly) a control of the associated non-active powers, while the great simplicity of the Grady model is very adequate for developing of load flow algorithms.

The first objective of this paper is establishing the time evolution of the current through the lamp circuit, the voltage at its terminals, the lamp characteristic, as well as the active power measurements. Furthermore, certain information regarding the power factor of the lamp and reactive power consumption will be supplied. There are also presented the results of the harmonic analysis of the studied lamp circuit.

## 2. Characteristic of a low pressure mercury lamp LFA 20

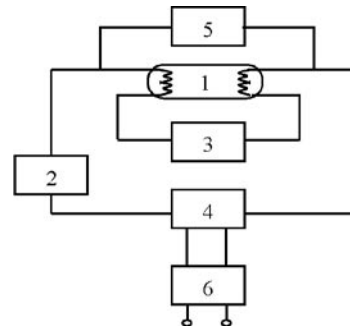
The study was performed for a fluorescent lamp with the following rated values:  $U_N=220$  V (c.a.);  $P_N=20$  W;  $I_N=0.39$  A. The lamp circuit is endowed with an inductive ballast of BIA 20 type, with the following data:  $U_N=220$  V;  $I_N=0.39/0.45$  A – rated operational current/rated preheating current;  $P_N=10.5$  W.



**Figure 2** Equivalent supply circuit of LFA 20 lamp

$R_b, X_b$  – resistance/reactance of ballast;  
 $R_s, X_s$  – starter resistance/reactance;  
 $R_1, X_1$  – resistance/reactance of lamp;  
 $R_f$  – filament resistance;  
 $K_1$  – equivalent contact turning on/off of lamp;  
 $K_2$  – bimetal contact of starter;  
 $C_s$  – capacitance of starter;  
 $C$  – capacitor for Q compensation

The main circuit of the lamp and its auxiliary devices is presented in Figure 1.



**Figure 1** The connection circuit of LFA 20 lamp

1 – lamp; 2 – ballast; 3 – ignition device; 4 – device for power factor compensation; 5, 6 – devices for radio perturbation removing (filters)

For the analyzed circuit of the ballasted lamp, the power factor compensation is achieved with a capacitor (C) parallel connected in the circuit.

In a steady operation, the supplying circuit of the lamp (Figure 2) behaves as one of RL type (uncompensated version), with:

$$R=R_b+R_p; L=L_b+L_l \quad (1)$$

The statement according to with the lamp circuit is of RL type is not only a simplifying hypothesis, but it was confirmed by the measured values of the voltage, current and reactive power.

In the case of the circuit without reactive power compensation, the value of power factor can be determined (neglecting the harmonics produced by the lamp and ballast) according to the rated values as:

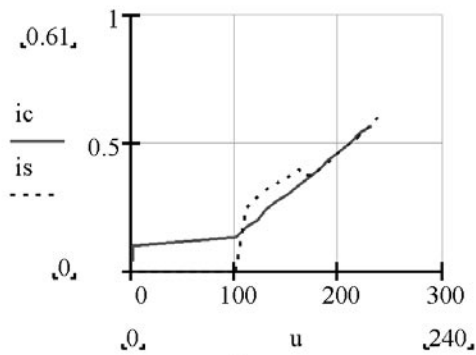
$$\cos \varphi=(P_{Nl}+P_{Nb})/U_N I_{Nl}=0,358. \quad (2)$$

From the experimental data for the case of LFA 20 lamp (Figure 3), the following values associated to the circuit at rated voltage were extracted: 39 W

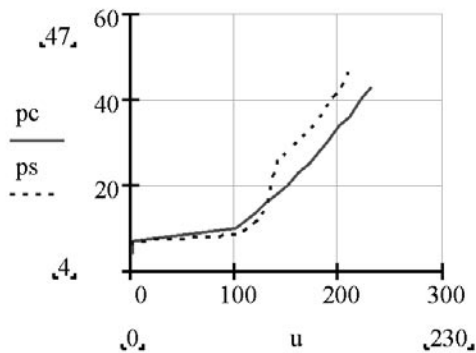
for absorbed power, 0.53 A for the current through the lamp and 0.334 for resultant power factor.

The results of the measurements lead to some preliminary observations:

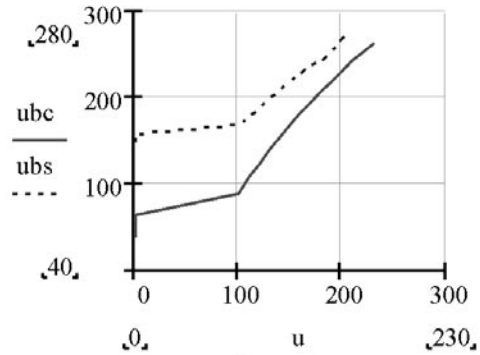
- the power absorbed by lamp and ballast is 1.28 times bigger than that indicated by manufacturer;
- the power factor is smaller than the catalog one;
- the current through the circuit slightly overcomes the rated value (an increase of the circuit current over 15% of  $I_{Nl}$  leads to a diminution of luminous efficiency, being necessary the measures for current decreasing).



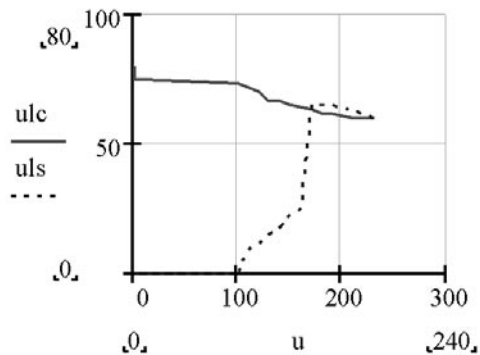
**a**



**b**



**c**



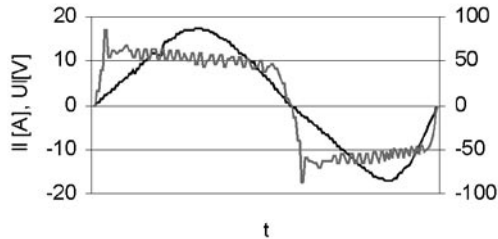
**d**

**Figure 3** Dependence of LFA 20 characteristic values of the supplying voltage in steady state (indices c/s corresponds to the upstream variation, respectively downstream one of the supplying voltage)

Since the characteristic of ballast is of linear type in domain  $I=(0.4...1.15)I_N$ , it can be assumed the nonlinear element of the equivalent circuit is the resistor  $R$ . For the BIA 20 ballast, which is an iron core reactor, the characteristic in permanent regime is non-inertial. Nevertheless, the designing stages estimate it as of inertial type, being usually known and having no sensitive mismatches comparing with the “standard” shape of the core reactor characteristic. In order to obtain analytically the characteristic of the lamp with high precision, there is necessary performing of proper calculus requested by harmonic analysis, as well as a set of minimum errors measurements.

For achieving the  $u-i$  characteristic of LFA 20 lamp, the voltage and current curves were registered

using a data acquisition instrument – TRINET, the results being transferred and computed in a PC, having implemented software for data performing TRIFAZ. The measurement results were implemented afterwards by original software, giving a graphical representation for lamp voltage and current (Figure 4), as well as for the voltage and current harmonic spectra.



**Figure 4** Time variation of the lamp voltage and current

Based on the analysis of time evolution and harmonic spectra of lamp voltage and current, there could be observed an important distortion of the current faced to the lamp supplying voltage. Also, the real shape of the voltage at the lamp terminals is slightly different of the approximated one from [5].

### 3. Harmonic analysis

The shape of voltage and current curves can demonstrate the inductive character of the lamp, which is initially considered hypothesis. This is based on the observation that the  $u_l$  registered curve (voltage on the lamp) is strongly distorted, while the current curves contain mainly the 3, 5, 7 and 9 harmonics (9.8%, 3.99%, 3.87%, 8.78%). The harmonic analysis of the nonlinear circuit is based on the  $u_l-i_l$  characteristic of the nonlinear element LFA 20. In the most of the designing cases, the nonlinear element characteristic is unknown, this being achieved according to the harmonic analysis.

The harmonic analysis of the considered circuit assumes the decomposing of  $u_l(t)$  and  $i_l(t)$  functions into Fourier series (500 terms), using the mentioned software. This one allows determining the Fourier series coefficients both for voltage and current, as well as the coefficients of the restrained representation. The graphical subroutine of the

program can give the graphical representation of the first 27 harmonics, based on the computed harmonic amplitudes. In the case of a high distorted  $u_l$  signal, the harmonics higher than the 10 can be neglected (it can be observed the even order harmonics' presence), while for  $i_l$  all harmonics different of the 1, 3, 5, 7, 9 are neglected.

Two essential indicators should complete the harmonic analysis:

i) The amplitude factor of the k-th harmonic of voltage and current, respectively:

$$k_{v,U_k} = \frac{U_{lmax,k}}{U_l} \quad (3)$$

$$k_{v,I_k} = \frac{I_{lmax,k}}{I_l} \quad (3')$$

where:  $U_{lmax,k}$  – the maximum value of the k-th harmonic of voltage  $u_l(t)$ ;  $I_{lmax,k}$  – the maximum value of the k-th harmonic of current  $i_l(t)$ ;  $U_l$  – RMS value of the lamp voltage;  $I_l$  – RMS value of the lamp current.

ii) The distortion voltage/current factor:

$$k_{dU} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{512} (U_k)^2}}{U} \quad (4)$$

$$k_{dI} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{512} (I_k)^2}}{I} \quad (4')$$

The mentioned software is computing both for  $u_l(t)$  and  $i_l(t)$  the values of total distortion factor, beside the Fourier series coefficients. For the studied element the determined distortion factor values are:  $k_{dU}=33.31\%$  și  $k_{dI}=9.08\%$  (%). The quality standards generally point out as perturbation limits the 5% value. So that, it is obvious in the case of LFA 20 lamp both the current and the voltage are distorted. In figure 5 are indicated the first nine odd voltage harmonics.

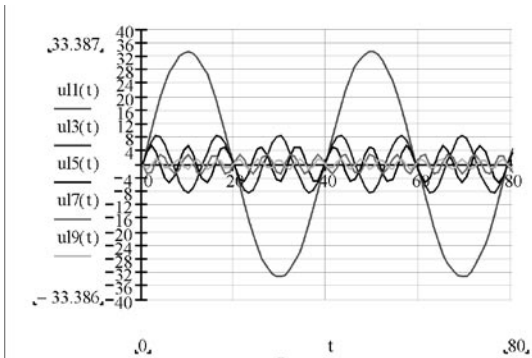


Figure 5 Prevalent voltage harmonics of the lamp

Considering the obtained value of the current distortion factor, the capacitance of power factor compensation capacitor can be recalculated.

In equation(5):

$$I = 1.2 \cdot \frac{\sqrt{P^2 + [Q - Q_c]^2}}{U} \quad (5)$$

for calculus of the current absorbed by the compensated circuit from the network, the 1.2 coefficient is introduced by designer for considering (approximation) of the effect of high harmonics introduced by the ballasted lamp. The value of the current distortion factor (0.0908) allows the correction of the mentioned coefficient, being possible to consider for it a value higher than 1.0908 (e.g. 1.1).

Equation (5) is becoming:

$$I = 1.1 \cdot \frac{\sqrt{P^2 + [P \cdot \operatorname{tg} \varphi - \omega C U^2]^2}}{U} \quad (6)$$

The new  $C$  value is given by the solution of the following equation:

$$C^2 (\omega^2 U^4) - C (2\omega P U^2 \operatorname{tg} \varphi) + \left[ P^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) - \left( \frac{UI}{1.1} \right)^2 \right] = 0 \quad (7)$$

For the same desired power factor it could be observed that the new calculated capacitance (207 nF) is smaller than to the initial case correspondent (836 nF).

#### 4. Conclusions

The study of LFA 20 lamp behavior outlined some aspects linked by the harmonics introduced in the supply network, as well as their influence on the sizing of some elements included in the supplying connection (capacitor for reactive power

compensation). According to the harmonic analysis, the voltage harmonics level is quite high, greater than power quality standards' limits. The experimental data allow also observing that the power absorbed by the ballast-lamp circuit is superior to the manufacturing value. On the other hand, the power factor value is lower than the catalog value and the current through the circuit is slightly higher than the rated current. The consequence is an inferior lighting efficiency. Therefore, a decrease of the current through the lamp circuit is recommended, by majoring the value of the ballast inductance  $L_b$ .

#### 5. References

- \*\*\* PE143/1994. *Normativ privind limitarea regimului deformant și nesimetric în rețelele electrice*. ICEMENERG, București 1994
- IEC Std.100-2-2, 1990, *Part 2 Environment. Section 2: Compatibility Levels for Low Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Low-Voltage Power Supply Systems*
- Laskowski, E. L., Donoghue, J. F., 1981, *A Model of a Mercury Arc Lamp's Terminal V-I Behaviour*, IEEE Transaction on Industry Applications, vol. IA-37, no. 4, July/Aug
- Grady, W. M., Heydt, G. T., 1985, *Prediction of Power System Harmonics Due to Gaseous Discharge Lighting*. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-104, no. 3, March
- Heydt, G.T., 1994, *Electric Power Quality*. Stars in a Circle Publ., Chelsea Michigan



**Ion MIRCEA**

University of Craiova  
Electrotechnics Faculty, Energy  
Department  
107, Decebal Bd., 200585 Craiova,  
ROMANIA  
Phone: +40.251.436447,  
Fax: +40.251.436447  
e-mail: imircea@elth.ucv.ro

Ph.D. at the University of Petrosani. Professor with the Electrotechnics Faculty of Craiova and head of Energy Department. His field of interest is in nonconventional energy sources, transmission and distribution networks, energy markets structures.



## Denisa RUȘINARU

Graduated Electromechanical Engineering at University of Craiova, 1993, Ph.D. in Power Engineering from Politehnica University of Bucharest, 2002. Lecturer professor with the Electrotehnics Faculty of Craiova.

Her field of interest is in energy quality and automation of distribution networks.

e-mail: drusinaru@elth.ucv.ro

Paper presented at The 2nd International Conference ILUMINAT 2003, 8-9 May, Cluj-Napoca, Romania

## ANALIZA PARAMETRILOR CALITATIVI AI SISTEMELOR DE ILUMINAT CU LĂMPI FLUORESCENTE

*Scopul prezentei lucrări constă în investigarea caracteristicilor electrice ale lămpilor cu vapori de mercur de joasă presiune LFA 20. Folosirea acestora pe scară largă este justificată de o serie de avantaje cum ar fi prețul de cost redus, durata de viață mare și eficacitate luminoasă ridicată. Cu toate acestea trebuie menționat că funcționează la un factor de putere relativ scăzut, necesitând o putere reactivă suplimentară absorbită din sistemul de alimentare. Pe de altă parte, introduc distorsiuni serioase în rețeaua de distribuție, constituind o sursă importantă de poluare armonică. În lucrare sunt prezentate rezultatele măsurărilor caracteristicilor acestui tip de lampă, fiind comparate cu valorile indicate de constructor și însoțite de rezultatele analizei de regim armonic în punctul de conectare.*

### 1. Introducere

În prezent, una din sursele importante de poluare armonică a rețelelor electrice de distribuție este reprezentată de lămpile fluorescente. În ciuda avantajelor pe care acestea le prezintă, ele ridică deseori probleme serioase privind nivelul armonicilor de curent introduse în rețeaua de alimentare. Mai mult, alimentarea lor cu tensiuni nesinusoidale, așa cum se întâmplă frecvent din cauza altor consumatori deformanți amplasați în nodurile vecine, poate determina alterarea suplimentară a performanțelor lor electrice.

Măsurările efectuate pe lămpile LFA 20 au pus în evidență valori superioare ale puterii absorbite de ansamblul lampă-balast și inferioare ale factorului de putere față de cele indicate de constructor. În plus a fost determinat un factor de distorsiune de curent care depășește cu mult limita propusă de standardele de calitate în vigoare [1, 2].

Alimentarea sistemelor de iluminat cu lămpi fluorescente conduce la apariția unor curenți de valori mari prin conductorul de nul, determinați prin

însurarea armonicilor de ordinul 3 ale curenților de fază. Acești curenți sunt amplificați de componenta de secvență zero, în condițiile în care aceste surse de iluminat sunt dispuse inegal pe fazele rețelei de alimentare. Aceste sarcini suplimentare constituie un pericol serios de degradarea a conductorului de nul prin supraîncălzire, cu atât mai mare cu cât secțiunea sa transversală este (cu rare excepții) inferioară celei a conductoarelor de fază.

În aceste condiții, oportunitatea utilizării intensive a lămpilor fluorescente constituie obiectul unor studii tehnico-economice serioase, care au ca scop compararea avantajelor oferite de introducerea lor cu costurile instalațiilor de compensare a armonicilor și a puterii reactive, cu considerarea chiar a nesimetriei curenților de sarcină.

Odată identificate aceste lămpi ca surse de armonici, se poate trece la stabilirea tipului de măsurări care să permită extragerea informațiilor necesare studiului și a tipului de model care să descrie cel mai bine comportamentul elementului fizic în diferite regimuri de funcționare (cele urmărite). Întrucât un model care să permită simularea

tuturor aspectelor legate de comportarea lămpilor fluorescente ar fi prea complex, s-au dezvoltat modele alternative adoptate scopului urmărit: calculul circulației de sarcină în regim stabilizat (nesinusoidal sau/și nesimetric), determinarea influenței prezenței lor asupra ansamblului rețelei, analiza impactului pe care îl are calitatea tensiunii de alimentare asupra funcționării lor, interacțiunea dintre ele și alte tipuri de consumatori de joasă tensiune. Bazate pe simplificări adecvate (neglijarea aspectelor care nu prezintă interes), aceste modele au fost adaptate scopului, fiind realizate în domeniul frecvenței (asamblarea lor cu modelul liniar al rețelei în regim cvasistaționar) sau în domeniul timpului (studii de regim tranzitoriu, controlul unor mărimi fizice, evidențierea unor evoluții temporale). Fie că este vorba de modelul energetic [3] sau de cel elaborat de Grady [4], definirea acestora constă în determinarea coeficienților, care trebuie să respecte spectrul de amplitudini determinat al curentului prin lampă, ca și caracteristicile energetice. Pentru analize armonice care vizează efectele armonicilor superioare ale tensiunii aplicate asupra lămpilor fluorescente poate fi utilizat, în ciuda complexității sale, modelul energetic, care permite totuși un control (indirect) al puterilor reactive asociate, în timp ce marea simplitate a modelului Grady îl recomandă pentru aplicarea în cadrul programelor de calcul de circulație de sarcină.

Primul obiectiv al lucrării constă în determinarea evoluției în timp a curentului prin circuitul lămpii, a tensiunii la bornele acesteia și a caracteristicii sale, precum și măsurarea puterii active a lămpii. În plus, vor fi furnizate informații referitoare la factorul de putere al lămpii și la consumul de putere reactivă. Nu în ultimul rând sunt prezentate rezultatele analizei armonice a circuitului lămpii studiate.

## 2. Caracteristica lămpii cu vapori de mercur de joasă presiune LFA 20

Studiul a fost efectuat pentru o lampă fluorescentă cu următoarele date nominale:  $U_N=220$  V (c.a.),  $P_N=20$  W,  $I_N=0,39$  A. Circuitul lămpii este echipat cu un balast inductiv de tip BIA 20 cu datele nominale:  $U_N=220$  V,  $I_N=0,39/0,45$  A – curent nominal de funcționare/curent nominal de preîncălzire,  $P_N=10,5$  W

Schema principală de conectare a lămpii și a dispozitivelor auxiliare este prezentată în

Figura 1. Pentru schema cu balast inductiv analizată, compensarea factorului de putere se face cu ajutorul unui condensator montat în paralel pe ansamblul balast-lampă (C). În regim permanent circuitul de conectare al lămpii (Figura 2) este un circuit de tip R-L (variante necompensată) (rel. 1). Afirmția privind caracterul rezistiv-inductiv al lămpii nu este o simplă ipoteză simplificatoare, ea fiind confirmată de valorile măsurate ale armonicilor de tensiune și curent și ale puterilor reactive. În varianta de schemă fără compensarea puterii reactive, valoarea factorului de putere se poate determina conform mărimilor nominale ca fiind (în ipoteza neglijării regimului deformant determinat de lampă și balast) (rel. 2).

Datele ridicate experimental pentru studiul lămpii LFA 20 (Figura 3) au pus în evidență, la tensiunea nominală, valori ale puterii absorbite de circuit și curentului prin lampă de 39 W, respectiv 0,53 A, factorul de putere rezultat având valoarea de 0,334.

Rezultatele măsurărilor au permis extragerea unor observații preliminare:

- puterea absorbită de lampă și balast este de 1,28 ori mai mare decât cea indicată de constructor;
- factorul de putere este mai mic decât cel precizat;
- curentul prin circuit depășește sensibil valoarea nominală (o depășire a curentului prin circuit peste  $1,15I_{Nl}$  duce la scăderea eficacității luminoase, fiind necesară scăderea lui).

În condițiile în care pentru balast se impune existența unei caracteristici liniare în intervalul  $I=(0,4...1,15)I_{Ns}$ , se poate presupune că elementul neliniar al circuitului echivalent este R.

Cum balastul BIA 20 este o bobină cu miez de fier, caracteristica sa în regim permanent este neinertială, în calculele de proiectare fiind însă frecvent echivalată cu una inertială, fiind în principiu cunoscută, neputându-se abate sensibil de la forma „tip” a caracteristicii unei bobine cu miez feromagnetic.

Pentru obținerea unei caracteristici a lămpii pe cale analitică cu precizie mare este necesară aplicarea unor calcule corespunzătoare cerute de analiza armonică, precum și un set de măsurări cu erori minime.

Pentru obținerea caracteristicii  $u-i$  a lămpii LFA 20 au fost înregistrate curbele de tensiune și curent cu ajutorul unui echipament de achiziție

TRINET, rezultatele fiind transferate unui PC pe care a fost implementat programul dedicat de prelucrare a datelor TRIFAZ. Rezultatele măsurării au fost prelucrate ulterior cu ajutorul unui soft original, obținându-se o reprezentare grafică atât a tensiunii și curentului lămpii (Figura 4), cât și a spectrului armonicilor de curent și tensiune. Pe baza analizei curbelor de tensiune și curent și a spectrului amplitudinilor acestora se poate observa o distorsiune importantă a curentului în raport cu tensiunea de alimentare a lămpii. De asemenea, forma reală a tensiunii la bornele lămpii diferă sensibil de cea aproximată oferită de literatura de specialitate [5].

### 3. Analiza armonică

Formele curbelor de tensiune și curent pot demonstra caracterul inductiv al lămpii, ipoteză considerată încă de la începutul analizei. Aceasta se bazează pe observația că semnalul  $u_l$  al tensiunii pe lampă este puternic deformat, în condițiile în care curentul este caracterizat în principal doar de armonicile 3, 5, 7, 9 (9,8%, 3,99%, 3,87%, 8,78%).

Analiza armonică a circuitului neliniar are la bază caracteristica  $u_l-i_l$  a elementului neliniar LFA 20. În majoritatea cazurilor de proiectare nu este cunoscută caracteristica elementului neliniar sub formă polinomială, aceasta fiind obținută cu ajutorul analizei armonice.

Analiza armonică a circuitului considerat presupune dezvoltarea funcțiilor  $u_l(t)$  și  $i_l(t)$  în serie Fourier (500 termeni), cu ajutorul soft-ului dezvoltat. Programul oferă valorile coeficienților seriei Fourier dezvoltate pentru tensiune și curent, precum și pe cei ai formei restrânse. Subrutina grafică a programului poate reda pe baza valorilor calculate ale amplitudinilor armonicilor forma grafică a primelor 27 de armonici.

În cazul semnalului  $u_l$  puternic distorsionat, armonicile de ordin mai mare decât 10 sunt neglijabile (se remarcă și prezența armonicilor de ordin par), în timp ce pentru  $i_l$  toate armonicile de ordin diferit de 1, 3, 5, 7, 9 sunt neglijabile.

Analiza armonică se completează cu ajutorul a doi indicatori esențiali:

i) factorul de amplitudine al armonice de ordin  $k$  de tensiune, respectiv de curent (rel. 3, 3');)

ii) factorul de distorsiune de tensiune, respectiv de curent (rel. 4, 4').

Soft-ul elaborat calculează atât pentru  $u_l(t)$ , cât

și pentru  $i_l(t)$  valorile factorului de distorsiune total, alături de valorile coeficienților seriei Fourier. Pentru elementul studiat valorile factorilor de distorsiune determinate sunt:  $k_{du}=33,31\%$  și  $k_{dl}=9,08\%$ .

Standardele de calitate precizează ca nivel limită de perturbații în general valoarea 5%, fiind evident că în cazul lămpii fluorescente LFA 20 atât curentul, cât și tensiunea sunt mărimi nesinusoidale. În Figura 5 sunt indicate primele 9 armonici (impare) de tensiune.

Pe baza valorii obținute pentru factorul de distorsiune de curent se poate recalcula capacitatea condensatorului de compensare a factorului de putere.

În expresia (5), pentru calculul curentului absorbit de la rețea de schema compensată, coeficientul 1,2 este introdus de proiectant în vederea acoperirii efectului distorsiunii determinate de armonicile superioare introduse de balast și lampă. Valoarea factorului de distorsiune de curent (0,0908) permite corectarea coeficientului amintit, putând fi adoptată pentru acesta o valoare mai mare decât 1,0908 (ex. 1,1).

Relația (5) devine astfel (6).

Noua valoare a lui  $C$  este dată de soluția ecuației de forma (7).

Pentru același factor de putere dorit se poate observa că valoarea capacității nou calculate (207 nF) este inferioară cazului inițial ( 836 nF).

### 4. Concluzii

Studiul comportamentului unei lămpi fluorescente LFA 20 a pus în evidență unele aspecte legate de regimul deformant introdus de acest element în rețeaua de alimentare, precum și influența acestuia asupra dimensionării unor elemente din schema de conectare (condensatorul de compensare a puterii reactive). Din analiza armonică s-a putut observa nivelul mare al armonicilor de tensiune, care depășește limita prescrisă de standardele de calitate. În plus, datele ridicate experimental au permis observarea unei valori pentru puterea absorbită de lampă și balast superioară celei indicate de constructor, a unei valori inferioare a factorului de putere față de cea indicată și o depășire sensibilă a valorii nominale de către curentul prin circuit, care duce la scăderea eficacității luminoase. În acest sens este recomandată scăderea lui, prin majorarea valorii inductanței utile a bobinei balastului.



## **CHROMATIC INTEGRATION OF ARCHITECTURAL AND ORNAMENTAL LIGHTING IN THE URBAN ENVIRONMENT**

**Sandor ORBAN**

Greif Hungary Ltd

Architectural and ornamental lighting systems in public lighting constitute a special category, with the dominance of esthetic characteristics as opposed to the functional ones. The light and the space allow an integrated and complete approach of the urban ambient design, since they represent all we see around ourselves. The composition of the light reflected by the surrounding surfaces provides knowledge on the architectural world, creates the limits and directions for our movements in this environment, and thus, brings light over the space. The Ph.D. thesis analyses the modality to integrate the architectural lighting systems in the urban ambient, seen from a chromatic perspective.

The chapter **Current aspects concerning the architectural and ornamental public lighting** describes theoretical elements on View and colour, Luminotechnical equipment, Light comfort in urban environment, and Architectural and ornamental public lighting systems, with examples of some of the most well-known achievements.

The chapter **Architectural and ornamental public lighting systems design** completes the currently available information with aspects specific to lighting systems calculus. There are highlighted aspects to be studied in the theoretical and experimental research of the author, with respect to evaluation of chromaticity of lighted architectural surfaces, to characterisation of the reflexive properties of surfaces, and to the luminotechnical calculus of lighting systems.

The chapter **Experimental research concerning**

**the study of some characteristics of building materials for lighted surfaces** is dedicated to the reflectant properties of exterior surfaces of the buildings, with measurements on spectral behaviour of reflexivity and spatial variation of luminance factors:

- Photometrical and colorimetric characterisation of buildings materials used in the development of lighted surfaces – describes the reflexive spectral characteristics of the most important materials for buildings and natural surfaces from the vicinity of buildings and the general study model of the materials reflexivity.
- Experimental study concerning the reflexive properties of some buildings materials, realised based on measurements from the Romanian National Metrology Institute laboratory on a set of four pieces of limestone and marble. The spatial variation of the luminance factor is determined through comparison, by measuring the luminances of the analysed piece and of a standard of luminance factor. The measured variable has been the luminance factor for lighting angles of 0°, 15°, 30° and 45° and measurements angles in the interval -70°...70°.
- Experimental study concerning the determination of colorimetric properties of some construction materials – measurements of the spectral reflectance on eight pieces of granite with different colors and having well finished surfaces (Figure 1), realised at the

Technical University of Berlin, Department of Luminotechnics, by the kindness of Dr. Sirri AYDINLI. A component of the database has thus been created, necessary for developing of computations for corect dimensioning of architectural lighting systems on chromatic aspect.

- Experimental study concerning the evaluation of visibility of façade details of buildings lit with projectors – brings a human, subjective component, of the perception by different observers of different details on a lighted building, by following the model described by Masuyama, 2003.

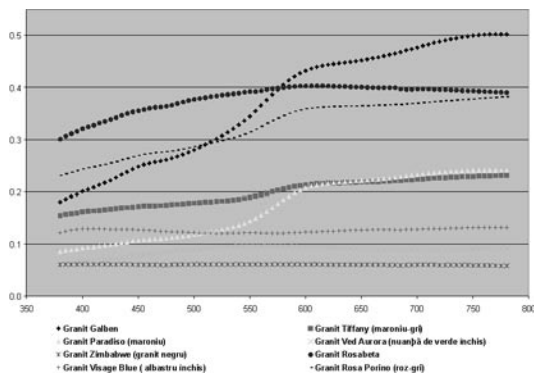


Figure 1 Spectral reflexivity of different samples of granite used as buildings surfaces

The chapter **Theoretical research concerning the design of lighting systems** presents: • The mathematical model for the design of architectural public lighting systems, based on the calculation of illumination and luminance on the surface of the architectural objective and of chromaticity of the lighted surface of the architectural building; • The study of the behaviour of surfaces of lighted architectural buildings on the effect of different light sources, facilitated by a specific module of the computer program, that allows a user to analyse the changes of colorimetric characteristics

– chromatic coordinates and correlated colour temperature – for different surfaces and light sources; • The BUILDLIGHT computer program with specific modules necessary for this work, that allows the user to optimise the design of architectural lighting systems.

The **Appendices** present a database with relevant information on • Spectral characteristics of radiation of the light sources– illuminants and usual electric lamps – Philips, Luxten; • Distributions of light intensity for projectors used in architectural lighting – Energobit Schröder Lighting; • Spectral characteristics of reflexivity and spatial distributions of luminance factors for some construction materials, part of the data being kindly provided by Professor J.J. EMBRECTHS, University of Liège; • Behaviour of surfaces of architectural buildings lit by different light sources.

Finally, overall conclusions are presented.

Thanks are due to Professor Florin POP for the permanent and competent support for the research activity developed during the preparation and finalisation of the doctoral thesis and Professor Horia F. POP, from the Universitatea Babeș-Bolyai for the cooperation in the development of the computer program and the analysis of the behaviour of some construction materials under the action of different light sources.

**Sandor ORBAN**

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

**CIE**

**COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE  
ROMANIAN NATIONAL COMMITTEE ON ILLUMINATION**

**CNRI**

**ORGANIZERS**



**TECHNICAL UNIVERSITY OF CLUJ-NAPOCA  
Lighting Engineering Center**



**S.C. TRANSILVANIA NORD ELECTRIC ENERGY  
DISTRIBUTION AND SUPPLY BRANCH S.A.**



**ENERGOBIT SCHRÉDER LIGHTING S.R.L.**

**3rd International Conference  
ILUMINAT 2005**



**Conferinta  
internatională  
ILUMINAT  
2 0 0 5  
2-3 iunie, Cluj Napoca**



**3rd Balkan Conference on Lighting  
BALKAN LIGHT 2005**

**Romania, Cluj-Napoca, June 2-3, 2005**

**TOPICS**

The main topics of the conference are  
**Energy Efficiency & New Trends in Lighting**  
on subjects encompassing:  
Vision and Colour, Lighting Design and Interior  
Environment, Outdoor Lighting, Day-Lighting and  
Integrated Systems, Lighting Supply Installations,  
Architectural Lighting Design, Other Applications

**DATES**

15 January 2005	Submission of abstracts
1 February 2005	Notification of acceptance and instructions to prepare the papers
15 March 2005	Submission of final papers and payment of the registration fee – € 100

**CONFERENCE SECRETARIAT**

Dr. Dorin BEU, Reader, Lighting Engineering Center  
E-mail: dorin\_beu@cluj.astral.ro  
Dipl. eng. Marilena MĂIEREAN  
E-mail: marilena.maierean@energobit.com

**CONFERENCE CHAIRMAN**

Dr. Florin POP, Professor  
Technical University of Cluj-Napoca  
Vice-president of CNRI  
E-mail: florin.pop@insta.utcluj.ro

## *Conferences and symposiums*

The 3rd international conference ILUMINAT & BALKANLIGHT 2005, Cluj-Napoca, Romania will provide a unique regional forum to discuss and debate the latest developments in energy and environmental impact of lighting systems, the policies and programmes adopted and planned, the strategies to be implemented to further progress, as well as the technical and commercial advances in the dissemination and penetration of energy efficiency in lighting.

The target audience represents the community of lighting professionals from Romania, Balkan countries, European Member and Associated states and outside from EU area, including lighting and building science researchers, engineers, system designers and project managers, academia and experts, architects and urban planners, local community and government representatives, policy makers, national and international organizations and agencies, manufacturers and retailers organizations, students. The participation of young researchers will contribute to the success of the conference and to the

improvement of their knowledge.

The two-day conference will include plenary sessions where key representatives and high specialists will present their views, programmes and research to advance energy efficiency in lighting. Parallel sessions on specific themes and topics will allow in-depth discussions among participants. Round tables organized by the official sponsors will present the latest economic and technology achievements of national manufacturers and retailers in electric and lighting fields. The conference will allow the best knowledge of new policies and strategies to increase energy and economic efficiency, to mitigate climate change and to foster sustainable development, to build international partnerships among lighting professionals, to emphasize the regional Balkan cooperation.

The ILUMINAT 2001 and 2003 conferences have established themselves as influential national and recognized international events in the light and lighting field, with a large audience.

### **HONORARY BOARD**

Ir. Wout van BOMMEL, President of CIE

Cornel BIANCHI, President of CNRI

Radu MUNTEANU, Rector of Technical University of Cluj-Napoca

Nicolae COROIU, General Manager of ELECTRICA S.A.

Ir. Michel De BRUYN, General Manager of Comelec, Schröder Group GIE

### **SCIENTIFIC BOARD**

Wout van BOMMEL,  
The Netherlands, President of CIE  
Cornel BIANCHI,  
Romania, President of CNRI  
Florin POP,  
Romania Acting Director of  
BalkanLight Society  
Sokol ALIKO, Albania  
Paolo BERTOLDI, Italy  
Dorin BEU, Romania  
Nils BORG, Sweden  
David CARTER, UK  
Marc FONTOYNT, France  
Luciano DI FRAIA, Italy

Karl GERTIS, Germany  
Fumin GUAN, China  
Liisa HALONEN, Finland  
Jozsef HORVATH, Hungary  
Boudewijn HUENGES WAJER,  
The Netherlands  
Koichi IKEDA, Japan  
James JEWELL, USA  
Jeong Tai KIM, Korea  
Miomir KOSTIC, Serbia and  
Montenegro  
Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU,  
Turkey  
J Owen LEWIS, Ireland

Evan MILLS, USA  
Sermin ONAYGIL, Turkey  
Andrej ORGULAN, Slovenia  
Stoyo PLATIKANOV, Bulgaria  
Ramon SAN MARTIN, Spain  
János SCHANDA, Hungary  
Axel STOCKMAR, Germany  
Rubin TALESKI, Macedonia  
Frangiskos V. TOPALIS, Greece  
Bosnia-Herzegovina  
Croatia

### **ORGANIZING COMMITTEE**

Florin POP

Gabriel RUGA

Dorin COSTEA

Pal PÉTER

Dorin BEU

Marilena MĂIEREAN

## **THE XII NATIONAL CONFERENCE “LIGHT’2004”, VARNA, BULGARIA**

The twelfth annual Bulgarian National Conference with Foreign Participation “Light’2004” was held on June 15 through 17, 2004 at the F. J. Curie International House of Scientists in the St. St. Constantine and Elena resort near Varna, Bulgaria. The conference was organized by the Bulgarian National Committee on Illumination (BNCI) and was attended by approximately 150 professionals from universities, scientific institutes, architectural and lighting companies in Bulgaria, Holland, Germany, Austria, Russia, the Czech Republic, Romania, Serbia and Montenegro, Turkey, Argentine, Japan and the USA. The conference was also attended by Wout van BOMMEL, the President of the International Commission on Illumination (CIE).

The organizing committee of the conference was chaired by Dr. Stoyo PLATIKANOV, Associate Professor of Electrical Engineering at the Technical University of Gabrovo and Chairman of the BNCI. The conference was made possible with the financial support of 23 Bulgarian and foreign lighting companies.

Fifty-six papers were presented at the conference in the areas of exterior lighting, interior lighting, lighting sources, control gear, natural lighting and other specific topics. Issues of calculation, design and realization of modern street lighting were widely discussed in the papers. Efficient, architectural and art lighting were also broadly discussed. Attention was given to technologies and application of light emitting diodes (LED) as promising light source. Results from research on electronic control gear and automated lighting management were

also presented. Modern computer methods for mathematic analysis, design and visualization of lighting were commonly used in the presented papers. In addition to the scientific papers, lighting companies also gave presentations. All papers were presented in both English and Bulgarian through the use of multimedia computer software.

A booklet and a CD-ROM of the conference papers, the newly published book “History of the Lighting in Bulgaria” and advertising material from the sponsoring companies was made available to the conference participants.

Further information, conference papers and photos can be found at <[light2004.tugab.bg](http://light2004.tugab.bg)>.

Plamen TSANKOV, M. Eng.

Assistant Professor at the Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Secretary of the conference “Light’2004”

*Conferences and symposiums*



## WHITE COLOUR WITH LED'S CONCEPTS AND METHODS FOR EFFICIENT SOLID-STATE LIGHTING

**Stelian MATEI**

Peninsula Technikon, Cape Town, South Africa

*The conventional lighting has nearly reached maximum in efficiency but is not the case with solid-state lighting. LED's works on entirely different principle using crystalline layers that converts electrical input into optical output at a colour determined by exact composition of the material. The coloured LED's are the main elements of white-light sources and already made a dramatic impact. White itself is not actually a colour and producing what the eye perceives as a white light requires the generation of many hues together. The easiest way to make white is by using either blue or ultra violet LED's and add phosphorous. Mixing LED's to produce white light is a difficult task. This paper looks into aspects regarding solutions and methods in generating white colour with LED's for lighting.*

### 1. Introduction

Semiconductor Lighting technology has gained momentum at an unprecedented rate. Recent advances in the basic technology now makes possible that these super-efficient, long life lights will soon competing for the white light market. These lighting systems are a huge area covering a wide variety of disciplines, and encompassing everything beyond the photon creation device, including photon placement, integration into the environment, and interaction with humans. Therefore, our thinking about lighting systems is relatively immature. Basic concepts often taken for granted, such as the Color Rendering Index (CRI) or even the definition of the lumen may need to be rethought with respect to Solid-State Lighting. Natural sunlight is the most acceptable "white" light to the human eye and thus has a baseline CRI of 100. Therefore, a LEDs with a CRI metric of minimum 85, is closer to 100, so the higher the CRI the better. Early white LEDs were closer to the other side of the scale, where ultraviolet light, for example, has a CRI between 0 and 10. Another metric that LEDs strongly competing is the colour temperature."Cool" white LEDs, which are more bluish than red, have a Kelvin temperature of 5000 and above. The LED industry is quickly moving toward semiconductor replacement of

true, natural, warm light sources, where "warm" is referred to a metric colour rendering. Currently, white solid-state light source with high CRI, a colour temperature in the 3200 ranges and light output of 22 lumens are available on a volume basis. This first semiconductor light engine ready to replicate the glow of an incandescent bulb will dramatically increase the appeal of LED illumination for indoor lighting applications.

### 2. Technology

At the heart of a solid state light is a sandwich of semiconductor layers, built on a substrate. When the electrons and holes recombine, light is emitted in a narrow spectrum around the energy band gap of the material. Because the light is narrowband, and can be concentrated in the visible portion of the spectrum, it has, like Fluorescence, a much higher light-emission efficiency than Incandescence. Therefore, Solid-State Lighting technology are overcoming similar challenges associated with converting the narrowband emission into semi-broadband emission that fills the visible spectrum to give the appearance of white light. Unlike in Fluorescence technology, the wavelength of the narrowband emission can be adapted relatively easily, by either maximizing the quantum efficiency, or to minimize the quantum

energy inefficiency associated with its conversion. Consequently, this technology is potentially more efficient than Fluorescence.

Light trapped in the semiconductor chip is one of the problems encountered by this lighting technology. The problem is due to the high refractive index (over 3) of most semiconductors, which causes most of the light (>95%) to be internally trapped due to total internal reflection. The best external quantum efficiency reported to date for a visible LED is only around 55% while the theoretical maximum is 100%.

Currently, three *approaches exist for generating white light using solid-state devices.*

- UV LED with several phosphors; UVLED+red, green and blue phosphors
- Three or more LEDs of different colours; multichip LEDs.
- Blue LED with phosphor(s); blueLED+yellow phosphor; blue LEDs+green and red phosphors.

### 2.1 Wavelength Conversion Approach

The approach converts narrowband emission into broadband white light involves using UV LEDs to excite phosphors that emit light at down-converted wavelengths. This approach is likely to be the lowest cost, because of its low system complexity (only a single LED chip, and since the colours are created already blended, lamp-level optical and colour engineering is minimized). It is also the least efficient, because of the power-conversion loss associated with the wavelength down-conversion; and the least flexible, since the colours are “preset” at the factory.

The wavelength for the UV LED in this approach is possible to be determined by balancing: the efficiency of the LED (the shorter the wavelength the less efficient); the quantum efficiency of the phosphors (the shorter the wavelength the more efficient); and the phosphor conversion efficiency (the shorter the wavelength the less efficient).

Therefore, the challenge will be the development of UV (370-410 nm) LEDs with high (>70%) external power- conversion efficiency and input power density, and multicolour phosphor blends with high (>85%) quantum efficiency. The phosphor

quantum efficiency is likely better for this approach, since there is a wider range of available phosphors that absorb in the UV. The phosphor conversion efficiency, in contrast, will be low, since there is a larger energy difference between the UV and red/green/blue light than between blue and red/green light.

### 2.2 Colour Mixing Approach.

The approach transforms narrowband emission into broadband white light by combining light from multiple LEDs of different colours (Figure1). This approach is expected to be the most efficient, as there are no power-conversion losses associated with wavelength down-conversion. It is also likely to be the most flexible, since the hue of the light can be controlled by varying the mix of primary colours, either in the lamp, or in the luminaire. For this approach, of course, there is no phosphor and therefore no phosphor-related losses.

However, it is also expected to be the most expensive, because of its high system complexity (multiple LED chips, mixing of light from separate sources, and drive electronics that must accommodate differences in voltage, luminous output, life and thermal characteristics among the individual LEDs). Therefore, the challenge will be the development of red, green and blue LEDs with high (>50%) external power-conversion efficiencies and input power density, low-cost optics and control strategies for spatially uniform, and programmable colour-mixing either in the lamp or in the luminaire. Efficiency of this approach, consist in difficulties in combining those separate sources of light.

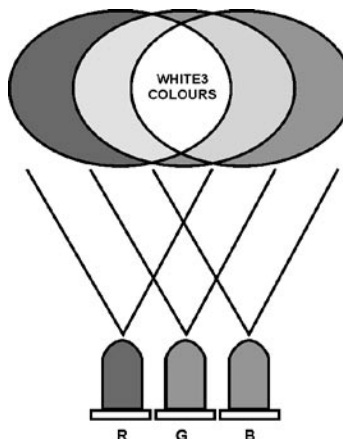


Figure 1 Colour mixing approach



### 2.3 Hybrid Approach

This approach converts narrowband emission into broadband white light involves Blue LEDs to excite a yellow or green and red phosphors (Figure 2). The present generation of white LEDs, with luminous efficacies of 25 lm/W, is based on this approach. Primary light from a blue (460 nm) InGaN-based LED is mixed with blue-LED-excited secondary light from a pale-yellow YAG:Ce<sub>3</sub> based inorganic phosphor. The secondary light is centred at about 580 nm with a full-width-at-half-maximum line width of 160 nm. The combination of partially transmitted blue and re-emitted yellow light gives the appearance of white light at a colour temperature of 8000 K and a luminous efficacy of about 25 lm/W. This combination of colours is similar to that used in black-and-white television screens – for which a low-quality white intended for “direct” rather than “indirect” viewing – is acceptable. There are possible other variations of this approach. The simplest extension would be to mix blue LED light with light from a blue-LED excited green and red duo-colour phosphor blend – this variation is likely to be give the best balance between efficiency, colour quality, cost and system complexity. A more complex but perhaps more efficient extension of this approach would be to mix blue and red LED light with light from a blue-LED excited green phosphor.

For this approach, colour non-uniformity occurs because the light from the blue LED is directional while the light from the phosphor radiates over a 2 $\delta$  solid angle. Also, since chip and phosphor efficiency may change with temperature, the ratio of the colours that are being blended will also change with temperature.

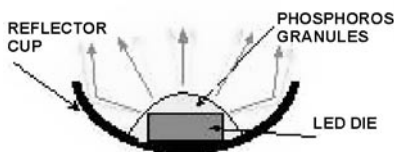


Figure 2 Blue LED chip + yellow phosphors

### 3. Delivering light to the viewer

The final step for a semiconductor light source is to delivery the white light, first to that part of the

environment that is to be illuminated, and then to the viewer.

Obviously the intent is that these targets would be met simultaneously, in a single SSL-LED lamp. SSL-LEDs have many advantages in this regard simply because they are point sources, they can deliver directed light more efficiently to small areas. Their compactness enables more flexibility in the design of unobtrusive and architecturally blended luminaires. Their ruggedness enables them to be mounted in high-stress positions. And, it may be possible to program their colour and direction for optimal interaction with the human visual system. Practical optimisation of a white LED involves two issues: firstly attaining the highest radiant efficiency and secondly the spectral power distribution optimisation for the highest CRI and efficacy.

### 3.1 Colour Rendering

This attributes of a Solid-State Lighting source is its ability to closely deliver the colours of non-white objects that it illuminates. One quantitative measure of the accuracy of colour rendering is the colour-rendering index (CRI). This measure is based on comparing the colours rendered by a LEDs light source to the colours rendered by a “perfect” reference light source with the same CCT – daylight illumination for CCTs > 5000 K and Planckian blackbody radiation for CCTs < 5000 K.



Figure 3 White LED beam

The comparison is made for a set of sample colours; the weighted average of the colour rendering for each of these sample colours gives the General Colour Rendering Index  $R_a$  for the light source. For SSL-LEDs  $R_a$  is not a perfect measure of colour rendering quality but is the best-accepted

metric. The trade off between efficacy and *CRI* can be analysed easily for a spectral power distribution system containing  $n$  primary sources. The results of simulations in which, for a fixed colour temperature and fixed line widths, the wavelengths and power densities of 2-, 3-, 4- and 5-color white light sources were varied to deduce the envelope of maximum *CRI* and luminous efficacy indicates that a dichromatic system is incapable of offering high quality light.

As the maximum luminous efficacy decreases, the maximum *CRI* increases, as the wavelengths “fill” and move farther to the extremes of the visible spectrum. The maximum *CRI* begins to saturate at 3 for a 2-colour source, at 85 for a 3-color source, at 95 for a 4-color source, and at 98 for a 5-color source. Of course, the more colours, the more complex the lamp must be. Therefore, it is likely that a tri-colour source, which can achieve the target *CRIs* of 80 or greater, will provide the best balance between *CRI*, luminous efficacy, and lamp complexity. Indeed, the situation for tri-colour white light sources composed of broadband phosphors, or of a combination of narrowband LEDs and broadband phosphors, is even more favourable, and *CRIs* greater than 85 should be possible. In Figure 3 is illustrated the beam from a 5mm white LED (hybrid approach) with chromaticity coordinates  $x=0.32$ ,  $y=0.31$  and a  $23^\circ$  view angle. The brownish/yellowish emphasize some deficiency in the white phosphors conversion. The intensity of the white inner beam is approx 4000 mcd at 20 mA with a colour temperature of 5500 K. Therefore, SSL-LED technology has advantages and disadvantages relative to fluorescence technology. On the one hand, their initial narrowband light is available in a much greater range of wavelengths, including the visible and the near UV, rather than limited to the available emissions from a gas. On the other hand, phosphors that can simultaneously be excited by these wavelengths while emitting at wavelengths optimal for good *CRI* have thus far been limited.

### 3.2 Colour Temperature

One of another attribute of a SSL lighting source is its apparent colour when viewed directly, or when illuminating a perfectly white object. This attribute can be quantified through use of chromaticity coordinates  $(x, y)$  on the CIE 1931 chromaticity

diagram. These chromaticity coordinates apply both to monochromatic as well as white light. The chromaticity coordinates of monochromatic light are represented by the boundary of the horseshoe (the “spectrum locus”). The chromaticity coordinates of mixtures of monochromatic light are intensity-weighted linear combinations of the chromaticity coordinates of the individual monochromatic lights. In other words, a mixture of two colours will produce a chromaticity coordinate falling on the line between their respective chromaticity coordinates.

The chromaticity coordinates of white light lie along the curved Planckian locus in the center of the diagram. The type of white on the Planckian locus is specified by the blackbody temperature in Kelvin and is called the colour temperature. For example, mixing two equal-intensity LEDs with wavelengths at 485 nm (blue) and 583 nm (orange) will produce white colour with a colour temperature of about 4000 K.

Strictly speaking, colour temperature cannot be used for colour coordinates  $(x, y)$  of the Planckian locus. In these cases, the correlated colour temperature (*CCT*) is used. *CCT* is the temperature of the blackbody whose perceived colour most resembles that of the light source in question. In principle, the *CCT* can be deduced by constructing “iso-*CCT*” lines, which intersect the Planckian locus. In practice, white light sources must lie very close to the Planckian locus, as the human eye is extremely sensitive to even small deviations.

However, as with the *CRI*, there is a strong trade-off between *CCT* and luminous efficacy. This trade off is illustrated in for a tri-colour white light source. As *CCT* decreases, the proportion of red to blue light increases. At a colour temperature of about 3900 K, in between those for typical incandescent lamps and daylight, the maximum luminous efficacy is 400 lm/W. This is the number used to represent the luminous efficacy of a 100%-efficient tricolour solid-state lighting source.

In Table 1 are the wavelengths of the tri-colour white light source that maximizes luminous efficacy at fixed *CRI*=80 as a function of *CCT*.

In order to specify the colour of an LED, three different wavelength specifications are generally used:

**Table 1** Wavelength versus luminous efficiency

CCT	CRI	Maximum luminous efficacy (lm/W)	Wavelength (nm)		
			Blue	Green	Red
2500	80	419	463	547	610
3000	80	416	462	544	608
3500	80	408	462	543	607
4000	80	397	461	542	606
4500	80	387	460	540	605
5000	80	378	459	539	604
5500	80	368	459	539	604
6000	80	361	459	539	604

- Peak wavelength –the maximum point of the spectral curve:  $\lambda_p$
- Main wavelength- the main point of the spectral curve:  $\lambda_s$
- Dominant wavelength - a measure of the hue perceived by the human eye:  $\lambda_d$

The chromaticity  $x$  (red) and  $y$  (green) are determined using the 3-colour method. The dominant wavelength can then be graphically determined from the chromaticity diagram. For this purpose, a straight line is drawn from the white point (achromatic) W through the colour locus S ( $x, y$ ) until this line intersects with the spectral colour curve. Since the light emitted by LED's (exception blue) has a colour saturation of almost 100%, the colour locus S is very close to the spectral curve. In Table 2 are illustrated characteristics for a typical red, blue and green LED's.

With a three-colour LEDs combination, highest overall luminous efficacy is achieved by using the most with more luminous efficacy (green and secondarily red) and less of what has the lowest luminous efficacy (blue). The characteristics of the mixed LEDs are illustrated in Table 3.

**4. Intensity and hue of a mixed colour approach**

The principle of colour mixing follows from the makeup of the 1931 CIE chromaticity diagram. A set of  $n$  primary sources with the chromaticity coordinates  $x_i, y_i$  and radiant fluxes  $\Phi_{ei}$  will produce a colour with the following chromaticity coordinates:

$$x_m = \frac{\sum x_i \Phi_{ei}}{\sum \Phi_{ei}}; y_m = \frac{\sum y_i \Phi_{ei}}{\sum \Phi_{ei}}$$

For  $n$  LEDs specified by its luminous intensities  $I_{vi}$  and by its dominant wavelength and with that by its chromaticity coordinates  $x_i, y_i$ , the following equations one can calculate hue and dominant wavelength of the mixed colour:  $x_m = \frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i}; y_m = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}; I_{vm} = \sum I_{vi}$ , where  $m_i = I_{vi}/y_i$ .

For example for two LED's with the same viewing angle where LED<sub>1</sub> has a light intensity  $I_{v1}=1000$  mcd, with chromaticity coordinates  $x_1=0.13, y_1=0.075$  (blue 470 nm) and LED<sub>2</sub> with  $I_{v2}=2000$  mcd and chromaticity coordinates  $x_2=0.7, y_2=0.3$  (red 625 nm), the characteristics of the mixed colour are as follows:  $I_{vmix}=3000$  mcd,  $x=0.32, y=0.15$ .

Basically for two LEDs any colour can be obtained alongside the line connecting them on the CIE chromaticity diagram by varying the saturation level. For three LEDs, the colour coordinates are situated within the triangle of those components coordinates.

**5. Lighting Systems**

The light-engine chip, the lamp, and the luminaire, are clearly the technology enablers of the lighting system. However, the other pieces of the lighting system are also critically important, with their own unique challenges:

- Delivering low-voltage high-current electricity in a world dominated by high-voltage low-current sockets.
- Integrating solid-state lighting into building

**Table 2** Typical characteristics for high intensity AlInGaP/InGaN LEDs

5mm LEDs	X	Y	Z	Luminous output at 20 mA (lm)	Luminous efficacy (lm/W)	Viewing angle degrees	Package optics
Blue	0.13	0.075	0.795	0.55	75	15	T-1 ¾ clear vert
Green	0.17	0.7	0.13	2.6	520	15	T-1 ¾ clear vert
Red	0.708	0.292	0.001	0.85	155	15	T-1 ¾ clear vert

**Table 3** Colour temperature for three mixed colour

Colour temperature (K)	B 472 nm (%)	G 525 nm (%)	R 626 nm (%)	Overall efficiency (lm/W)
2700	4.9	31.6	63.5	26.9
3000	6.8	32.8	60.4	26.7
3500	9.9	33.9	56.2	26.3
4100	13.4	34.4	52.2	25.7
5000	17.8	34.4	47.8	24.8
5500	20.0	34.1	45.9	24.4
6500	23.4	33.5	43.1	23.65
9300	29.8	31.7	38.5	22.25
13,000	33.3	33.3	33.3	20.8

architectures, and the complex and delicate interplay between function and form.

- Understanding the ways in which solid-state lighting interacts with the human visual system to increase comfort and human productivity.

Perhaps the most critical aspect of the luminaire is how it distributes light from the lamp into the workspace, according to the application. It is this aspect that will most distinguish luminaires for solid-state lighting from those used in traditional lighting. Because solid-state lighting lamps are essentially point sources of light, the optics required to collimate, focus and direct are relatively straightforward, and are ideally suited to directed “task-lighting” applications. Indeed, for such applications, solid-state lighting is expected to have a roughly 2x advantage over traditional lighting in the efficiency with which the task area is selectively illuminated. It is also necessary to use optics to create the uniform and homogeneous light output necessary for indirect large-area lighting applications.

In the early stages of solid-state lighting, luminaire optics will be even more complex, as much of the colour-mixing may be done at the luminaire level, and the lack of single lamps with the necessary lumens out will require working with multiple lamps. In the later stages, however, the optics is expected to simplify, as colour mixing and white light production moves to the lamp level, and as single lamps achieve the lumens necessary for single luminaires.

## 6. Conclusions

The connection between lighting, the human visual system and, ultimately, human comfort and productivity, has long been complex and controversial. As it was mentioned, even the most basic concept of colour rendering quality is not yet well defined. The connection is all the more critical for solid-state lighting, with its ability to selectively and perhaps programmably fill the visible spectrum through primary light from chips and secondary light from phosphors.

One of the most fascinating aspects of solid-state lighting technology is sure to be the development of building and lighting architectures that, at a system level, exploit the unique characteristics of solid state lighting while still appealing at a consumer level to human ergonomics. Some of these unique features are related to the physical form factors (compactness) and environmental compatibility (rugged and vibration resistant) of SSL-LEDs. These physical characteristics will enable SSL-LEDs to be integrated more readily with building architectures and architectural materials. Some of these unique features are related to the programmability of SSL-LEDs – including dimmability while maintaining high luminous efficacy, and colour tailoring. Especially in buildings in which lighting is a mix between electric and natural (daylight) sources, programmable (dimmable) lighting can save significant amounts of energy. The Solid-State Lighting adds a new dimension to programmability – modifying lights according to the use of a room, switching between programmability and energy efficiency. For solid-state lighting, these compromises may not need to be made – human

## Information

comfort and productivity through programmable lighting can be optimised more independently of energy efficiency. The common theme is to make use of both the hardware and software aspects of SSL-LEDs to create a new generation of more aesthetic and more energy-efficient buildings and homes.

### 7. References

- 1 Zukauskas, A., Vaicekauskas, R., Ivanauskas, F., Gaska, R., Shur, M.S., 2002, *Introduction in Solid-State Lighting*, John Wiley and Sons, Inc., New York
- 2 Chipalkatti, Ch., LED Systems for Lighting: Where the rubber hits the road, *OIDA Solid-State Lighting workshop*
- 3 Agilent Technologies - *Data sheet for trough hole LED's*
- 4 Lumileds Lighting - *Application Notes*
- 5 Tsao, J., 2002, Light emitting diodes for general illumination - *An OIDA Technology road map update 2002*", published by OIDA
- 6 Hewlett Packard, 1999, *FAE Peak Seminar 1999 - ESS Training*
- 7 Lumileds Lighting LC, 2003, New Luxeon White binning structure, *Memorandum June 20*
- 8 Rea, M.S., *The IESNA Lighting Handbook*, 9<sup>th</sup> edition

- 9 Schubert, E.F., 2000, *Light Emitting Diodes*, Viewgraph tutorial put together in 2000
- 10 Haitz, R., Kish, F., Tsao, J.Y., Nelson, J., *The case of a National Research Program on Semiconductor Lighting*, OIDA



### Stelian MATEI

Department of Electrical Engineering, Peninsula Technikon, P.O.Box 1906, Bellville 7536, South Africa  
Office Ph.: 021-959 6012,  
Fax: 021-959 6117 (Reception)  
E-mail: mateis@pentech.ac.za

Dipl. Eng. Bucharest – Polytechnic Institute. PhD dissertation at UCT- Faculty of Electrical Engineering. Lecturer - Digital Systems, Optoelectronics, Design Projects. Research and area of interest - Energy efficient solution: Solid-State illumination (LED's lighting), Process Controllers, Solid-State Technology application in Biotechnology and Medicine (Phototherapy)

Received 29 February 2004

## CULOAREA ALBĂ CU LED-URI: CONCEPTE ȘI METODE ÎN ILUMINAREA EFICIENTĂ CU COMPONENTE SOLID-STATE

*Iluminarea. convențională aproape că a atins eficiența maximă, nu însă și în cazul iluminării cu surse solid-state. LED-ul funcționează pe un principiu complet diferit, prin conversia semnalului electric în semnal optic, a cărui culoare este determinată de compoziția materialului straturilor cristaline din care este alcătuit. LED-urile colorate au produs deja un impact dramatic, ele fiind principalele elemente din sursele de lumină albă cu solid-state. De fapt, albul în sine nu este o culoare, iar generarea a ceea ce ochiul percepe ca lumină albă necesită producerea unui spectru larg de nuanțe. Cea mai simplă cale de a obține culoarea albă este prin utilizarea LED-urilor albastre sau UV la care se adaugă un strat de fosfor. Mixarea LED-urilor pentru a produce lumină albă este o misiune dificilă. Acest articol se referă la metode și soluții utilizate pentru obținerea culorii albe cu LED-uri.*

### 1. Introducere

Dezvoltarea tehnologiei luminii bazate pe semiconductori a atins un ritm fără precedent. Ultimele descoperiri din tehnologiile de bază vor face posibil ca, în curând, aceste surse de lumină,

super-eficiente și de viață lungă să concureze pe piața tradițională de surse luminoase. Sistemele de lumină cu semiconductori acoperă o arie largă de discipline, începând cu crearea fotonului, incluzând plasarea și integrarea în mediul înconjurător și terminând cu interacțiunea cu omul. Ca urmare a

acestui fapt, gândirea noastră legată de sistemele de lumină a rămas relativ imatură. Concepte de bază, cum sunt indicii de redare a culorii (*CRI*) și chiar definiția lumen-ului, sunt adesea luate ca atare și, în consecință, necesită reconsiderație ca răspuns la apariția acestor noi surse de lumină.

Lumina naturală, a cărei valoare *CRI* de bază este 100, este cea mai acceptabilă lumină «albă» pentru ochi. Astfel că un LED cu un *CRI* de minimum 85 este apropiat de valoarea de 100 și, deci, cu cât mai ridicat cu atât mai acceptat. La început, LED-urile albe se apropiau de cealaltă parte a scalei, dinspre lumina ultravioletă, ce au, spre exemplu, un indice *CRI* între 0 și 10. O altă măsură cu care LED-urile concurează puternic, este temperatura de culoare. LED-urile albe «reci» au o tentă mai mult albastră decât roșie și au o temperatură de culoare de 5000 K și chiar mai mare. Industria de LED-uri se dezvoltă cu viteză și se îndreaptă către înlocuirea surselor de lumină naturale «calde». În prezent, sursele de lumină cu solid-state cu un indice *CRI* ridicat, ce au o temperatură de culoare de circa 3200 K și flux luminos de 22 lm, sunt produse pe scară largă. Apariția primului semiconductor generator de lumină, gata să reproducă strălucirea unui bec cu incandescență, va face deosebit de atractivă implementarea LED-urilor în aplicații de iluminat interior și exterior.

## 2. Tehnologie

La baza surselor de lumină cu componente solid-state stă un sandwich de straturi semiconductoare, crescute pe un substrat. Când electronii și golurile se recombina, emit o lumină într-un spectru îngust în jurul benzii energetice a materialului. Fiindcă lumina este emisă într-o bandă îngustă de-a lungul spectrului vizibil, eficiența emisiei luminoase este mult mai ridicată decât Incandescența. Tehnologia luminii cu solid-state se confruntă cu aceleași dificultăți legate de conversia emisiei de bandă îngustă în cea de bandă semi-largă, din cadrul spectrului vizibil, în vederea creării senzației de lumină albă. Spre deosebire de tehnologia fluorescentă, lungimea de undă a emisiei de bandă îngustă poate fi controlată relativ ușor, fie prin creșterea eficienței quantice, fie prin micșorarea ineficienței acestei energii asociate conversiei. Ca urmare, această tehnologie prezintă

un potențial de eficiență mult mai ridicat decât fluorescența.

Una dintre problemele cu care se confruntă această tehnologie este eliberarea luminii reținute în chip-ul semiconductor. Reținerea acestei lumini se datorează, în principal, indicelui de refracție ridicat al majorității semiconductorilor (peste 3), care determină ca cea mai mare parte a luminii (95%) să fie reținută ca urmare a reflexiilor interioare. Cea mai ridicată eficiență quantică externă pentru LED-urile din spectrul vizibil este de numai 55%. Astăzi există trei moduri de abordare pentru generarea luminii albe folosind componente cu solid-state:

- LED-uri UV cu straturi multiple de fosfor; LED-uri UV+fosfor roșu, verde și albastru.
- Trei sau mai mult LED-uri de diferite culori; LED-uri multichip.
- LED-uri albastre cu fosfor; LED-uri albastre+fosfor galben, LED-uri albastre+fosfor verde și roșu.

### 2.1 Abordarea prin schimbarea lungimii de undă.

Acest mod de abordare transformă emisia de lumină de bandă îngustă în lumină albă de bandă largă prin folosirea de LED-uri ultraviolete ce excită un fosfor care emite la rândul lui o lumină convertită – în domeniul de jos al spectrului. Acest mod de conversie este de așteptat a fi cel mai eficient din punct de vedere al costului, datorită complexității scăzute (este utilizat un singur chip LED, iar sistemul optic și de prelucrare a culorii este minimdat fiind faptul că culorile sunt amestecate deja). Această metodă este însă cea mai puțin eficientă, datorită pierderilor de energie din procesul de conversie, în domeniul de jos al spectrului și mai puțin flexibilă, deoarece culoarea este “presetată” la fabrică.

În cazul acestei abordări, lungimea de undă pentru LED-urile UV poate fi determinată prin echilibrarea eficienței LED-ului (lungimi de undă mici, eficiență redusă) cu eficiența quantică a fosforului (lungimi de undă mici, eficiență crescută) și eficiența conversiei fosforului (lungimi de undă mici, eficiență redusă).

În consecință, problema constă în dezvoltarea de LED-uri UV (370 – 410 nm) cu un grad ridicat de eficiență de conversie externă (>70%) și un amestec de culori de fosfor cu un grad ridicat de

eficiență quantică (>85%). Eficiența de conversie a fosforului va fi, în contrast, scăzută atâta timp cât diferența energetică între lumina UV și cea roșie/verde/albastră este mai mare decât cea dintre lumina albastră și cea roșie/verde/albastră.

### 2.2 Abordarea prin mixarea culorilor

Acest mod de abordare transformă emisia de bandă îngustă în lumină albă de bandă largă prin combinarea LED-urilor de diferite culori (Figura 1). Acest mod de conversie este de așteptat să fie cel mai eficient pentru că nu există pierderi de putere asociate cu conversia lungimii de undă în domeniul de jos al spectrului. Este de așteptat, de asemenea, să fie cel mai flexibil, deoarece nuanța culorii de lumină poate fi controlată prin varierea amestecului de culori primare, fie în aparatul de iluminat, fie în lampă. Bineînțeles că, la acest mod de abordare, nu există fosfor și, deci, nu sunt pierderi asociate cu acest lucru.

Este însă de așteptat ca această abordare să fie cea mai scumpă, datorită complexității sistemului (numeroase chip-uri LED, amestecul luminii de la surse separate, sistem electronic de control ce trebuie să facă față diferențelor de tensiune, intensitate luminoasă, durată de viață și caracteristici termice dintre LED-uri). Ca urmare, provocarea va consta din obținerea de LED-uri roșii, verzi și albastre cu valori ridicate ale eficienței conversiei de putere de la ieșire (>50%), preț scăzut al sistemului optic, precum și un mod de abordare strategic în vederea mixării spațial uniforme și programabile a culorilor, fie în lampă, fie în aparatul de iluminat. Dificultățile legate de eficiența acestui mod de abordare constau din combinarea surselor de lumină separate.

### 2.3 Abordarea hibridă

Acest mod de abordare transformă emisia de bandă îngustă în lumină albă de bandă largă, prin excitarea unui fosfor galben, verde sau roșu de la un LED albastru (Figura 2). Generația actuală de LED-uri albe cu eficacitate luminoasă de 25 lm/W se bazează pe acest mod de abordare. Lumina primară albastră (460 nm), produsă de un LED bazat pe tehnologia InGaN, este mixat cu lumina secundară emisă prin excitarea stratului de fosfor anorganic YAG:Ce<sub>3</sub> de culoare galben pal. Această lumină secundară are maximul în jurul valorii de 580 nm cu

o lățime la jumătatea intensității maxime (FWHM) de 160 nm. Combinația de lumină albastră, parțial transmisă și re-emisă, dă aparența de lumină albă cu o temperatură de culoare de 8000 K și o eficacitate luminoasă de aproape 25 lm/W. Această combinație de culori este similară cu cea utilizată la ecranele de televiziune alb negru, pentru care este acceptabilă o calitate scăzută a albului, destinată mai mult privitorului "direct" decât celui "indirect". Modul acesta de abordare creează posibilitatea și unor variațiuni. Prima și cea mai simplă ar fi mixarea luminii de la un LED albastru cu lumina produsă de un LED albastru ce excită un amestec de fosfor bicolor; aceasta variație este de așteptat să producă cel mai bun echilibru între eficiență, calitate a culorii, cost și complexitate a sistemului. O altă variație, mult mai complexă și, probabil, mult mai eficientă, ar fi mixarea luminilor de la un LED albastru și roșu cu cea produsă de un fosfor verde de la un LED albastru.

Pentru acest mod de abordare hibrid, neuniformitățile culorii pot apare datorită faptului că lumina de la LED-ul albastru este unidirecțională, în timp ce lumina de la fosfor este radiată cu un unghi solid de  $2\delta$ . De asemenea, eficiențele chip-ului și fosforului se schimbă cu temperatura și, deci, raportul amestecului de culori se va schimba deasemeni cu temperatura.

## 3. Furnizarea luminii la observator

Ultimul pas pentru o sursă de lumină cu semiconductor este furnizarea luminii albe, mai întâi către zona de iluminat și apoi către observator. Bineînțeles că scopul este ca aceste obiective să fie satisfăcute simultan de lampa SSL cu LED-uri. În această privință, SSL-LED sunt mai avantajoase pentru simplul fapt că sunt surse de lumină punctiforme și, deci, pot furniza lumină directă mult mai eficient pe suprafețe mici. Pentru că sunt așa de compacte, asigură flexibilitate în proiectarea de combinații arhitecturale de aparate de iluminat neobstructive. Durabilitatea lor permite instalarea în locuri cu solicitare ridicată. De asemenea, este posibilă programarea culorilor și direcționarea pentru o interacțiune optimă cu sistemul vizual uman. Optimizarea practică a unui LED alb presupune două aspecte: primul - atingerea celei

mai mari eficiențe radiative și al doilea - optimizarea distribuției spectrului de putere pentru cel mai ridicat indice *CRI* și eficacitate.

### 3.1 Indicele de redare a culorii

Această caracteristică a surselor de lumină cu solid-state reprezintă abilitatea lor de a reda cât mai apropiat culorile obiectelor iluminate. O măsură cantitativă a acestei precizii de redare este indicele de redare a culorii (*CRI*). Acesta se determină prin compararea luminii redată de o sursă cu LED-uri cu o sursă de referință etalon cu aceeași temperatură de culoare corelată (*CCT*) – *CCT*>5000 K pentru iluminatul natural și *CCT*<5000 K pentru radiația Planckiană a corpului negru. Compararea a fost făcută pentru un set de eșantioane de culori; media redării culorii, pentru fiecare din aceste eșantioane, produce indicele general de redare a culorii  $R_a$  al sursei de lumină respective. Pentru SSL cu LED-uri,  $R_a$  nu este o măsură perfectă a calității redării culorii dar este în prezent cel mai acceptat. Relația dintre eficacitate și indicele *CRI* poate fi analizată ușor pentru un sistem spectral de distribuție a puterii ce conține  $n$  surse primare de culoare. Rezultatele obținute în urma simulărilor, în care pentru o temperatură de culoare fixă și lățimi fixe, au fost variate lungimile de undă și densitățile de putere pentru 2, 3, 4 și 5 culori componente dintr-o sursă albă de lumină au fost variate pentru a deduce anvelopa indicelui maxim *CRI* și eficacitatea luminoasă, demonstrează că un sistem bi-cromatic este incapabil să ofere o lumină de calitate ridicată.

Cu cât maximul eficacității luminoase descrește, cu atât maximul *CRI* descrește și el, iar lungimile de undă tind să “umple”, deplasându-se către extremele spectrului vizibil. Maximul indicelui *CRI* începe să se satureze la 3, pentru o sursă compusă din două culori, la 85 pentru o sursă compusă din 3 culori, la 95 pentru o sursă compusă din 4 culori și la 98 pentru o sursă cu 5 culori. Bineînțeles că, cu cât sunt mai multe culori, cu atât lampa este mai complexă. Ca urmare, este posibil ca o sursă compusă din trei culori care ar putea atinge un indice *CRI* de 80 sau mai mare, să producă cel mai bun echilibru între eficacitatea luminoasă și complexitatea lămpii. Într-adevăr, situația este avantajoasă pentru sursele de lumină albă compuse din trei culori cu fosfor de bandă largă sau combinațiile de LED-uri de bandă

îngustă și fosfor de bandă largă, al căror posibil indice *CRI* este mai mare de 85. În Figura 3 este ilustrat fascicolul unui LED alb (mod de abordare hibrid) cu coordonatele cromatice  $x=0,32, y=0,31$  și un unghi de 23°. Maroniu/gălbuiul indică deficiența de conversie în alb a fosforului. Intensitatea luminoasă în centrul fascicolului este de aproximativ 4000 mcd, la 20 mA cu o temperatură de culoare de 5500 K. Prin urmare, tehnologia SSL cu LED-uri are avantaje dar și dezavantaje în comparație cu tehnologia Fluorescentă. Pe de altă parte, lumina de bandă îngustă inițial este accesibilă într-un domeniu larg de lungimi de unde, incluzând spectrul vizibil și cel apropiat de UV, nefiind limitat ca în cazul emisiei cu gaze. De asemenea, fosforul, excitat simultan de aceste lungimi de unde, va emite lungimile de unde optime nefiind limitate în ceea ce privește indicele *CRI*.

### 3.2 Temperatura de culoare

Un alt atribut al unei surse de lumină cu SSL este aparența culorii când este privită direct sau când luminează un obiect perfect alb. Acest atribut poate fi cuantificat utilizând coordonatele cromatice ( $x, y$ ) din diagrama cromatică CIE 1931. Aceste coordonate cromatice se aplică atât în cazul luminii monocromatice, cât și al luminii albe. Coordonatele cromatice ale luminii monocromatice sunt reprezentate prin linia în formă de potcoavă («spectrum locus»). Coordonatele cromatice ale amestecurilor de lumini monocromatice reprezintă estimarea intensităților combinațiilor liniare ale coordonatelor cromatice ale componentelor individuale de lumină monocromatică. Cu alte cuvinte, o combinație de două culori va produce coordonate cromatice ce se află pe linia dintre cele două coordonate. Coordonatele cromatice ale luminii albe se află pe curba Planckiană în centrul acesteia. Acest tip de alb, de pe locusul Planckian, este specificat de temperatura corpului negru în grade Kelvin și este denumit temperatura de culoare. Spre exemplu, mixând lumina de la două LED-uri cu lungimi de unde de 485 nm (albastru) și, respectiv, 583 nm (portocaliu), se va produce culoarea albă cu o temperatură a culorii de aproape 4000 K.

De fapt, temperatura de culoare nu poate fi folosită pentru coordonatele culorii ( $x, y$ ) care nu se află pe locus-ul Planckian. În aceste cazuri se



folosește temperatura de culoare corelată (*CCT*). *CCT* este temperatura corpului negru a cărei culoare este percepută ca fiind cea mai apropiată de sursa de lumină analizată. În principiu, *CCT* poate fi dedus prin construirea liniilor «iso-*CCT*» care intersectează locusul Planckian. În practică, sursele de lumină albă se întâlnesc foarte aproape de locusul Planckian, deoarece ochiul uman este foarte sensibil la deviații mici. Există o dependență puternică între *CCT* și eficacitatea luminoasă. Cu cât *CCT* descreește, proporția de lumină roșie și albastră descreește. La o temperatură de culoare de 3900 K situată între lumina de zi și cea tipică produsă de lămpile incandescente, eficacitatea luminoasă maximă este de 400 lm/W. Aceasta este valoarea folosită în reprezentarea eficacității luminoase a unei surse de lumină cu solid-state cu eficiență 100%.

În Tabelul 1 este arătat maximul eficacității luminoase a unei surse de lumină albă compusă din trei culori în funcție de *CCT* pentru un indice *CRI*=80. În specificarea culorii unui LED sunt folosite, în general, trei moduri diferite: - lungimea de undă de vârf - punctul de maxim al curbei spectrale  $\lambda_p$ ; - lungimea de undă principală - punctul principal de pe curba spectrală  $\lambda_s$ ; - lungimea de undă dominantă - măsura nuanței percepute de ochiul uman  $\lambda_D$ .

Cromaticitățile  $x$  (roșu) și  $y$  (verde) sunt determinate folosind metoda celor trei culori. Lungimea de undă dominantă este apoi determinată grafic din diagrama cromatică. În acest scop, se poate trasa o linie dreaptă pornind de la punctul de alb (acromatic) W, trecând prin locusul de culoare S ( $x, y$ ), până când linia intersectează curba spectrală de culoare. Deoarece lumina emisă de LED-uri (exceptând albastru) are saturația culorii de aproape 100%, locusul S este foarte apropiat de curba spectrală. În Tabelul 2 sunt ilustrate caracteristicile unui LED roșu/albastru/verde obișnuit.

Cu o combinație de LED-uri de trei culori diferite, cea mai ridicată eficacitate luminoasă totală este obținută prin folosirea celor cu eficacitate luminoasă ridicată (verde și secundar roșie) și cea mai mică eficacitate - folosind pe cele având eficacitatea luminoasă redusă (albastru). Caracteristicile unui asemenea amestec de LED-uri este ilustrat în Tabelul 3.

#### 4. Intensitatea și nuanța culorii în cazul modului de abordare prin mixare

Principiul mixării culorii a rezultat din modul în care a fost construită diagrama CIE 1931. Un set de  $n$  surse primare cu coordonatele cromatice  $x_i, y_i$  și un flux radiant  $\Phi_{ei}$  va produce o culoare cu următoarele coordonate cromatice:  $x_m = \sum x_i \Phi_{ei} / \sum \Phi_{ei}$ ;  $y_m = \sum y_i \Phi_{ei} / \sum \Phi_{ei}$ .

În vederea calculării lungimii de undă dominante a culorii rezultate pentru  $n$  LED-uri caracterizate prin intensitățile lor luminoase, lungimile de undă dominante, deci coordonatele cromatice  $x_i, y_i$  pot fi folosite următoarele ecuații:  $x_m = \sum x_i m_i / \sum m_i$ ;  $y_m = \sum y_i m_i / \sum m_i$ , unde  $m_i = I_{vi} / y_i$ .

Spre exemplu, pentru două LED-uri cu același unghi de privire, unde LED<sub>1</sub> are intensitatea luminoasă  $I_{v1}=1000$  mcd și coordonatele cromatice  $x_1=0,13, y_1=0,075$  (albastru 470 nm), iar LED<sub>2</sub> are  $I_{v2}=2000$  mcd și coordonatele cromatice  $x_2=0,7, y_2=0,3$  (roșu 625 nm), caracteristicile culorii rezultate sunt următoarele:  $I_{vmix} = 3000$  mcd,  $x=0,32, y=0,15$ .

În principiu, pentru două LED-uri se poate obține orice culoare de-a lungul liniei ce unește aceste coordonate din diagrama cromatică CIE, prin varierea nivelului de saturație. Pentru trei LED-uri, coordonatele cromatice sunt situate în interiorul triunghiului determinat de coordonatele acestor componente.

#### 5. Sisteme de iluminat

Chip-ul generator de lumină, lampa și aparatul de iluminat sunt tehnologiile ce stau la baza unui sistem de iluminat. Sunt, însă, și alte componente deosebit de importante din acest sistem, cum ar fi:

- furnizarea de tensiuni reduse și intensități ridicate într-o lume dominată de prize cu tensiuni mari și curenți mici;
- integrarea iluminatului cu solid-state în arhitectura clădirilor, precum și misiunea delicată și complexă de adaptarea între funcțiune și formă.
- înțelegerea modului în care sursele de lumină cu solid-state interacționează cu sistemul vizual uman în vederea creșterii confortului și a productivității.

## *Information*

Probabil că cel mai important aspect al aparatului de iluminat este distribuția luminii de la lampă în spațiul de lucru, în conformitate cu cerințele. Acest aspect va produce distincția dintre aparatele de iluminat pentru surse solid-state față de cele tradiționale. Deoarece un aparat de iluminat pentru surse cu solid-state conține lămpi emițătoare punctiforme, sistemul optic necesar de colimare, direct sau concentrat, este relativ simplu și de aceea sunt recomandate pentru iluminatul de lucru. Pentru acest gen de aplicații, sursele cu solid-state vor fi de două ori mai avantajoase decât sistemele de iluminat tradiționale, datorită eficienței cu care este iluminată zona de lucru. Este necesar, de asemenea, folosirea de sisteme optice, pentru producerea luminii uniforme și omogene, necesară zonelor indirecte largi.

Pentru început, aparatele de iluminat cu solid-state vor conține sisteme optice foarte complexe, atâta timp cât mixarea culorilor va fi făcută la nivelul aparatului de iluminat, iar lumina necesară este obținută de la o multitudine de lămpi în locul lămpii singulare. În etapele următoare, este de așteptat ca sistemele optice să se simplifice, deoarece mixarea culorilor și producerea luminii albe se va muta la nivelul lămpii, iar lumina necesară va fi produsă doar de o singură lampă.

### **6. Concluzii**

Legătura dintre lumină, sistemul vizual uman și, în final, confort și productivitate a rămas pentru mult timp complexă și controversată. Așa cum a mai fost menționat, chiar și cele mai de bază concepte legate de calitatea redării culorii nu sunt îndeajuns de bine definite. Această legatură devine și mai critică

în cazul iluminatului cu surse solid-state, pentru că ele au abilitatea să completeze spectrul vizibil selectiv și, probabil, programabil, prin folosirea componentelor primare, plecând de la chip și sursa secundară de lumină a fosforului. Este de așteptat ca unul dintre cele mai fascinante aspecte ale tehnologiei acestor surse de lumină cu solid-state să fie dezvoltarea arhitecturii clădirii și a luminii, care la nivel de sistem exploatează caracteristicile unice ale acestor surse, reușind însă să rămână atrăgătoare din punct de vedere ergonomic la nivelul consumatorului. Câteva din aceste caracteristici unice ale SSL cu LED-uri se referă la aspectul fizic (compacte), la compatibilitatea lor cu mediul înconjurător (rezistența la vibrații și intemperii) și la programabilitate, ce constă din reglarea intensității luminii, menținând însă un grad înalt de eficacitate și calitate a culorii. În acest fel, se pot aduce economii substanțiale de energie, în special în clădirile unde lumina este un amestec de surse de lumină naturală și electrică. Iluminarea cu SSL adaugă, de asemenea, o nouă dimensiune programabilității prin modificarea intensității luminii în funcție de nivelul de utilizare a camerei, făcând distincția între programabilitate și eficiență energetică. Prin programabilitatea iluminatului, confortul uman precum și productivitatea pot fi optimizate mult mai independent față de eficiența energetică pentru iluminarea cu SSL, nefiind necesar să se facă compromisuri. Ambele aspecte hardware și software ale SSL cu LED-uri vor fi folosite în ideea de a crea o generație nouă de clădiri și construcții mult mai estetice și eficiente energetic.

*Traducerea autorului*

**CENTRUL DE INGINERIA ILUMINATULUI – UTC-N  
LIGHTING ENGINEERING CENTER – LEC**

**Florin POP**

Technical University of Cluj-Napoca

**Lighting Engineering Center - LEC** – was created following the Tempus-Phare programme CME-03551-97 [15 December 1998 – 14 March 2000] – see the web site <http://bavaria.utcluj.ro/~lec>.

The LEC activity was presented in the previous issues of the journal (1 – 12), beginning with **25 April 2000** when its establishment was approved by the University Senate Council until **March 2004**, the printing date of the issue no. 12 (Winter) 2003

Dr. **Florin POP** and Dr. **Dorin BEU** contributed to the International Symposium on Lighting – Quality Solutions for an Efficient Lighting, Bucharest, September 2004, the XII National Conference on Lighting **Light '2004** 15–17 June 2004, Varna, and the IEECB '04 Conference, Frankfurt am Main, 21-22 April 2004.

**INGINERIA ILUMINATULUI – Lighting Engineering** journal, with a half-yearly appearance, is edited by the consortium of the Technical University, ELECTRICA Local Distribution Branch – Transilvania Nord, and MEDIAMIRA Printing House. Its scientific presentation and content is targeted to the continuing education in the lighting field, without any insertion of the commercial advertisings inside of its pages.

LEC members are involved in working-out of different **lighting systems optimization studies** and **lighting design projects** for local owners. An interesting study was initiated by the City Council in May 2004 for **the rehabilitation of pedestrian lighting in residential areas of Cluj-Napoca city** and conducted by the Lighting Engineering Center of the Technical University of Cluj-Napoca in two areas. The aims of this study are: a) to survey the existing situation; b) to present the new European and national regulations concerning this matter; c) to propose a modern energy efficient system, and d) to generate specific GIS maps of the whole lighting

system and electric network. The public lighting for pedestrian alleyways or for mixed traffic pedestrians/vehicles between blocks of flats was made in the same time with the urban structure. For this reason the lighting system was designed and installed between 1960-1990. The existing system presents many deficiencies and cases of destruction determined by vandalisms, physical and technical use, inadequate protection, and low quality of lighting equipment. Proposals for a modern lighting system are targeted to obtain a high quality photometric environment and energy efficiency. The design is based on the quality requirements stipulated on the Romanian norms NP 062-02 and SR EN 60598 and European or CIE guidance. The presumed costs for the rehabilitation of pedestrian lighting in two residential districts of Cluj-Napoca – Grigorescu and Gheorghieni - are at about € 146,000, with respect to the rehabilitation of old or broken dawn equipment (electric cables and boxes, columns, lamps, luminaires and accessories) and to the extension of the lighting systems/network. The proposed systems will use an installed power  $P_{inst. rehabilitated} = 75.492$  kW for 613 rehabilitated points and 319 new ones with HSE (Sodium) 70 W lamps instead of the used power  $P_{real} = 126.828$  kW of old lamps.

On the university cooperation field, there is continuity under the frame of the UE institutional university programmes SOCRATES – ERASMUS with the Helsinki University of Technology (Professor Liisa HALONEN, Lighting Laboratory), Universitat Politecnica de Catalunya (Professor Ramon SAN MARTIN, Estudios Luminotecnicos), and University of Liverpool (Dr. David CARTER, Reader, Lighting Research Unit).

Professor dr. Jeong Tai KIM, director of the LAEL, Kyung Hee University, Seoul, Korea initiated the development of a university cooperation under the frame of The Memorandum of Understanding

## Information

between Light & Architectural Environment Laboratory, Kyung Hee University and Lighting Engineering Center, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

The Lighting Engineering Center LEC is developing its activity on the Lighting and Electrical Installations Laboratory of the Building Services Department of the Technical University of Cluj-Napoca. The rehabilitation and technical modernization of its space was partially financed by the Tempus-Phare programme, the university

resources, the funds received on the research grants, and postgraduate courses and sponsorships of lighting/electric installations companies and former students:

PHILIPS Romania/FLASH Transilvania  
OSRAM Romania  
TOTAL Quality/ACI Constructions and Installations  
LEGRAND Romania/Electro Daniella  
PRAGMATIC Comprest  
ABB Romania  
ELBA



In connection with a prospective collaboration in research and development, the following Memorandum of Understanding has been concluded between

Lighting Engineering Center  
Technical University of Cluj-Napoca  
Hereafter designated as "LEC-TUCN"  
Address: #15, C. Daicoviciu St., RO-400020 Cluj-Napoca, Romania  
Represented by: Professor Florin POP, Director of Center

And

Light & Architectural Environment Laboratory  
Kyung Hee University  
Hereafter designated as "LAEL-KHU"  
Address: #1, Socheon-ri, Kiheung-eup, Youngin-shi, Kyunggi-do, 449-701  
Represented by: Professor Jeong Tai KIM, Director of Laboratory

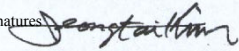
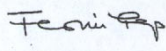
1. LEC-TUCN and LAEL-KHU, enter into this memorandum of understanding to promote and extend the exchange of technical, scientific, and professional knowledge in the areas of mutual interest between the two institutions.

2. The purpose of this memorandum of understanding is to advance

- 1) Collaborative development of academic projects in the areas of mutual interest
- 2) Dissemination of discoveries and findings arising from collaborative work
- 3) Exchange of research staff

3. This memorandum of understanding shall become a valid agreement after it has been approved and signed by the Director of both institutions. The initial agreement is concluded for a period of two years from the date the latest amendment. The agreement may be terminated at any time prior to the expiry date by giving six months written notice by either party. Amendments to the agreement may be made any time, but should be mutually confirmed in writing by both institutions.

Date of Initial Memorandum of Understanding: 15th October, 2003

Signatures    
Professor Jeong Tai KIM  
Director of Laboratory  
Professor Florin POP  
Director of Center

## LIGHTING IN THE NEW WORLD

**Cristian SUVAGAU**

BC Hydro, Vancouver

THE IESNA ANNUAL CONFERENCE, TAMPA, 2004

Temperatures of above 35 °C, plus a humidity index of 70%, plus daily torrential showers and thunderstorms: Florida in summer (hurricane season). However, these are all the ingredients necessary to motivate you to stay indoors, in controlled climate and attend an interesting and well organised lighting conference.

Traditionally the Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) annual conferences are held during the months of summer, to allow their members to participate accompanied by the family. This year the city host was Tampa, a vibrant town of 2 millions of people, on the West Coast of Florida, at the Gulf of Mexico.

From July 23 to 28, the IESNA conference hosted committee meetings, a trade/exhibits show, few educational and speciality workshops, 15 seminars and 25 paper presentations, plus numerous special events and functions.

2004 was a special year for the IESNA conferences on at least two plans:

- It was the last of the summer venues. The next conferences will be shorter and held in the winter/spring to meet the demands of a faster pace Society, which has (unfortunately) little time for enjoyment and relaxation.
- It has become evident and rightfully acknowledged that research is shifting towards the new paradigm of "Lighting and Human Health" (as was the title of one of the best seminars and research panels). At least 6 seminars and 8 papers (about a third of the presented topics) were contributing to this topic that also includes Daylighting and its beneficial effects.

This year the IESNA Annual Conference was attended by 500 lighting practitioners: manufacturers, market agents, engineers, designers, architects, educators, students, government and utilities specialists from Canada, Germany, Mexico, Japan, and United States.

Here are the highlights of the conference.

### ***Special events***

- *The opening session and the key note address:* Dr. George Brainard, a professor of neurology delivered a very interesting speech based on his late research on lighting, vision and human health that set the high standards for the next conference speakers.
- *The International Illumination Design Awards (IIDA) 2004 ceremony* showcased the most ingenious and spectacular lighting designs of the year. The lighting design projects entered in the contest are judged at more sequential levels: IESNA section/ chapter, regional and then finally international. You can see selected pictures at [www.iesna.org](http://www.iesna.org).
- *The IESNA Annual Progress Report* is a dynamic and humorous presentation of the best new North American lighting equipment, software and speciality books. This year the report featured about 140 new entries. Products are submitted annually by manufacturers and are professionally reviewed by a panel of specialists from the industry. You can see it at [www.iesna.org/programs/progress\\_report.cfm](http://www.iesna.org/programs/progress_report.cfm).
- *The IESNA Honours Luncheon* is a long-time tradition presentation of Society's awards to individuals for their service and contribution to the art and science of illumination and furthering the goals of the Society.
- *The tabletop exhibits show* saw the participation of more than 50 lighting manufacturers of indoor and outdoor luminaires, lamps and ballasts, control and measurement equipment. Practitioners could thus see most of the exhibits featured in the Annual Progress Report.

### ***Workshops and seminars***

The organisers set some daylong speciality and

## Information

motivational workshops before the formal start of the conference, for those who wanted to upgrade their lighting education or get more involved with the IESNA organisation.

To accommodate a busy program, the seminars were presented in two to three more concurrent sessions, unfortunately many times in competition with the paper presentations as well.

In my opinion, the most interesting topics were:

- *The Evaluation of Task Adaptation Luminance (ETAL)* - where renowned Prof. Dr. Alan Lewis from the New England College of Optometry explained how image analysis techniques can be combined with the contrast sensitivity properties of the visual system to predict the visibility of real world complex scenes under outdoor illumination. The ETAL approach recognises that many outdoor tasks do not rely on high visual acuity and can thus be performed at lower levels of luminance.
- *MH vs. Fluorescent: 10 Rounds in the Highbay Arena* – Stan Walerczyk's fair-play and sporty approach to the conceptual and practical dispute of HID and high efficient fluorescent systems for Highbay applications.
- *Daylight and Human Performance* – a “tour de force” of outspoken researcher Lisa Hescong in concluding the health and efficiency benefits after analysing hundreds of daylighting examples in retail, office and educational buildings. For example, efficient daylighting (skylights) can increase sales by 25% while saving between 25% to 60% energy; larger windows in classrooms may account for a 25% increase of marks and saving up to 70% energy; combined toplit and sidelit daylighting in offices may increase workers' performance/productivity by up to 15% while saving up to 70% in energy.
- *Hot Topic-Lighting and Human Health* – was a very interesting presentation of a top panel of researchers from Lighting Research Centre-New York, National Research Centre Canada, US Army Research Centre and other independent laboratories and companies. Very recent research has identified non-vision receptors in the eye that are responsible for the circadian rhythm and metabolism functions of the human body. Obviously the new paradigm in lighting design has to consider these new findings in a holistic approach to visual comfort and non-visual wellbeing. Hence, new opportunities but also new responsibilities are arising for lighting practitioners. Also, there seems to be more evident

research towards quantifying the non-visual benefits of quality lighting and translating it in valuable inputs for economic analysis. For example, an increase of 1% only for the efficiency of a worker in a call centre, could lead to savings of \$1600 for the worker's area, bringing down the payback for a complete DALI personal control system to less than 6 months. Now, that is a convincing value proposition for any office manager to save money by improving lighting quality!

### **Papers Presentation**

IESNA holds a high degree of scrutiny for the submitted papers, allowing only good written, top and innovative research and lighting topics to be presented at the Conference.

This year the invited papers were encompassing a broad spectrum of research and applications:

- Lighting Controls
- Lighting Calculations
- Daylight Modelling
- LED
- Daylighting and Human Factors
- Lamp Performance
- Vision
- Daylight Photometry

One can notice that daylighting is getting a special attention these days due to evident energy efficiency benefits but also because of human health related issues.

### **Next Conference**

The next Annual Conference will be held in New York, in January 8-11, 2006 to celebrate one hundred year since the birth of IESNA. To honour this impressive anniversary (a very, very long time frame for North American standards) the Society and its multiple chapters are planning various festive lighting events across the continent.

You can learn and see more information about the 2004 Annual Conference and the 100 anniversary events by visiting the IESNA site at [www.iesna.org](http://www.iesna.org).

***Next lighting topic from the New World: "Lighting and Health".***

## Information



**Cristian ȘUVĂGĂU**  
PhD, P.Eng, Lighting Engineer  
LC, MIES, MCIE

BC Hydro, Power Smart  
Suite 900, 4555 Kingsway  
Burnaby, BC, V5H 4T8, Canada

Tel.: + 604 - 453-6478

Fax: + 604 - 453-6286

e-Mail: cristian.suvagau@bchydro.bc.ca

Lighting engineer at BC Hydro, in Vancouver, Canada. Member of CIE and IESNA Board of Directors for BC. Lighting research, technical articles and project designs for institutional, commercial and industrial indoor and outdoor facilities in North America. PhD from the Technical University of Construction, Bucharest in 1995. Assistant Professor at the Lighting and Electrical Installations Chair, Faculty of Installations until 1995.

Received 3 September 2004

## CONFERINȚA ANUALĂ IESNA, TAMPA, 2004

În mod tradițional, conferințele anuale ale Societății de Ingineria Iluminatului din America de Nord (IESNA) au loc în lunile de vară, pentru a permite membrilor săi să participe împreună cu familiile. În zcest an orașul gazdă a fost Tampa, un vibrant oraș cu 2 milioane de locuitori, situat pe Coasta de Vest a Floridei, în Golful Mexic. Între 23 – 28 iulie, conferința IESNA a găzduit întâlniri ale comitetelor, o expoziție și un târg de produse, câteva ateliere educaționale și de specialitate, 15 seminarii și 25 lucrări prezentate, la care se adaugă numeroase manifestări speciale.

2004 a fost un an special pentru conferințele IESNA cel puțin pe două planuri: ● A fost cea din urmă conferință de vară. Viitoarele conferințe vor fi mai scurte și se vor ține iarna/primăvara pentru a răspunde cerințelor unei Societăți mai grăbite, care are (din nefericire) mai puțin timp pentru bucurie și relaxare. ● A devenit evident și pe deplin recunoscut că cercetarea alunecă spre noua paradigmă “Lumina și Sănătatea Umană” (acesta a fost și titlul unuia dintre cele mai reușite Seminarii și Secțiuni de cercetare). Cel puțin 6 seminarii și 8 lucrări (aproape o treime din subiectele prezentate) au fost dedicate acestei teme care include și Iluminatul Natural și efectele sale benefice.

În acest an, conferința anuală IESNA a fost urmărită de 500 specialiști în iluminat: producători, agenți de piață, ingineri, proiectanți, arhitecți, educatori, studenți, specialiști guvernamentali și de utilități din Canada, Germania, Mexic, Japonia și Statele Unite.

Iată care au fost temele principale ale conferinței.

### **Manifestări speciale**

- *Sesiunea de deschidere și tematica de referință:* Dr.

George BRAINARD, profesor de neurologie a avut o prezentare foarte interesată bazată pe ultimele sale cercetări în iluminat, vedere și sănătatea umană care a stabilit un standard înalt pentru ceilalți vorbitori.

- *Ceremonia de conferire a premiilor internaționale în proiecte de iluminat (International Illumination Design Awards - IIDA) pe anul 2004* a evidențiat cele mai ingenioase și spectaculoase proiecte de iluminat ale anului. Proiectele intrate în concurs au fost analizate și jurizate pe mai multe niveluri: secțiuni/capitole IESNA, regional și apoi, în final, internațional. Vezi imagini selectate în pagina [www.iesna.org](http://www.iesna.org).
- *Raportul Progresul Anual IESNA* este o prezentare dinamică și plină de umor a noutăților celor mai bune din America de Nord în domeniul echipamentului de iluminat, software și cărți de specialitate. În acest an, Raportul a prezentat 140 intrări noi. Produsele sunt oferite anual de către producători și sunt analizate profesional de către un grup de specialiști din industrie. Vezi pagina [www.iesna.org/programs/progress\\_report.cfm](http://www.iesna.org/programs/progress_report.cfm).
- *IESNA Honours Luncheon* este o prezentare tradițională a premiilor Societății conferite unor persoane individuale pentru serviciul și contribuția la arta și știința iluminatului și a dezvoltării viitoare a Societății.
- *Expoziția* prezintă mai mult de 50 producători în iluminat pentru aparate de iluminat interior și exterior, lămpi și balasturi, echipament de control și măsură. Utilizatorii pot astfel să vadă pe viu lucrările prezentate în Raportul Progresul Anual.

### **Ateliere și seminarii**

Organizatorii au pregătit câteva ateliere specializate și motivate cu durată de o zi înainte de startul formal al conferinței, pentru cei ce au dorit

## Information

să-și îmbunătățească educația în iluminat ori să fie implicați mai puternic în activitatea organizației IESNA.

Pentru a se adapta unui program încărcat, seminariile au fost prezentate în două – trei sesiuni concurente, din nefericire aflându-se uneori în competiție chiar cu prezentarea lucrărilor.

După opinia mea, cele mai interesante subiecte au fost:

- *Evaluarea Luminanței de Adaptare a Sarcinii (ETAL)* – unde renumitul Prof. Dr. Alan LEWIS de la New England College of Optometry a explicat modalitatea în care pot fi combinate tehnicile de analiză a imaginii cu proprietățile de sensibilitate la contrast ale sistemului vizual pentru a prezice vizibilitatea scenelor complexe ale lumii reale sub influența iluminării exterioare. ETAL recunoaște că multe sarcini vizuale exterioare nu sunt corelate cu o acuitate vizuală înaltă și, astfel, pot fi îndeplinite la niveluri de iluminare mai scăzute.
- *Lămpi cu Halogenuri Metalice versus Lămpi Fluorescente: 10 reprize în arena iluminatului spațiilor înalte* – o abordare corectă și sportivă a lui Stan WALERCZYK a disputei conceptuale și practice între sistemele de iluminat cu lămpi de înaltă presiune cu descărcări și lămpi fluorescente de înaltă eficacitate pentru aplicații în spații înalte.
- *Lumina naturală și Performanța umană* – un tur de forță al cercetătoarei Lisa HESCHONG în evidențierea beneficiilor de sănătate și eficiență după analizarea a sute de exemple de utilizare a luminii naturale în clădiri de vânzări, birouri sau educaționale. De exemplu, iluminatul natural eficient cu luminoare poate să crească vânzările cu 25 % în același timp cu economisirea energiei în procent de 25-60%; ferestre mai largi în sălile de clasă pot conduce la o creștere cu 25% a notelor și la o economie de energie de până la 70%; sisteme combinate de iluminat natural de sus și lateral în birouri pot îmbunătăți performanța/productivitatea lucrătorilor cu până la 15%, cu o economisire a energie de până la 70%.

- *Subiect fierbinte – Iluminatul și Sănătatea umană* – a fost o foarte interesantă prezentare a unui grup de cercetători de înaltă calitate de la Lighting Research Centre - New York, National Research Centre Canada, US Army Research Centre și alte laboratoare și companii independente. O cercetare foarte recentă a identificat receptori non-vizuali în ochiul uman care sunt responsabili de ritmul circadian și funcțiile metabolice ale corpului uman. În mod evident, noua paradigmă în proiectarea iluminatului trebuie să considere aceste rezultate noi în abordarea holistică a confortului vizual și stării de bine non-vizuale. Astfel, oportunități noi dar, de asemenea, responsabilități noi se deschid lucrătorilor în iluminat. De asemenea, se pare că este tot mai evident că cercetarea se îndreaptă spre cuantificarea beneficiilor non-vizuale ale iluminatului de calitate și transformarea acestora în date de intrare valabile pentru o analiză economică. De exemplu, o creștere cu 1% doar pentru eficiența unui lucrător într-un centru de convorbiri ar putea să conducă la economisirea a \$1600 pentru aria de lucru, după amortizarea investiției în sistemul de control personal DALI în mai puțin de 6 luni. Acum, aceasta este o foarte convingătoare afirmație pentru orice director de birou pentru a economisi banii prin îmbunătățirea calității iluminatului!

### **Prezentarea lucrărilor.**

IESNA a asigurat un grad înalt de analiză pentru lucrările propuse, permițând prezentarea la Conferință doar celor bine scrise, cu subiecte de cercetare de nivel înalt sau inovative.

În acest an, lucrările invitate au acoperit un spectru larg de cercetare și aplicații: Controlul iluminatului, Calcule de iluminat, Modelarea luminii naturale, LED, Iluminatul natural și Factorii umani, Performanța lămpii, Vederea, Fotometria luminii naturale.

Cineva ar putea reține că iluminatul natural a primit o atenție specială în aceste zile datorită beneficiilor evidente în eficiență energetică dar, de asemenea, datorită aspectelor asociate sănătății umane.