

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	
Climate area H_i	$H1$ (=+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	high	
Radiant energy transmission rate TT	efficient (=0,8)	not efficient (=0,3)	
Narrow screen	without	with	Element of the architecture which can shades a part of the windows
External shading ML	without (= +1)	with (=−1)	It is an element of the environment (nearby or far-away)
relative aperture rate TV (= $\tau_l \cdot S_{\text{windows}} / S_{\text{floor}}$)	big (=0,675)	little (=0,037)	It takes into account the light transmission rate (τ_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	
Lighting control system Loi	clock (=+1)	intelligent lighting devices (=−1)	The system of lighting control can vary from the basic one (“clock”) to the most effective
Electric lighting power P_i	18 W/m ² (not efficient)	8 W/m ² (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
Shading of the windows S_i	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 ^{−2} [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 m². 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 2¹⁴ 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 (P_i , TV , TT) correspond to reduced value varying between 0 and +1, relatively to the interval of variation:

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

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 (P_i and L_{oi}) 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.

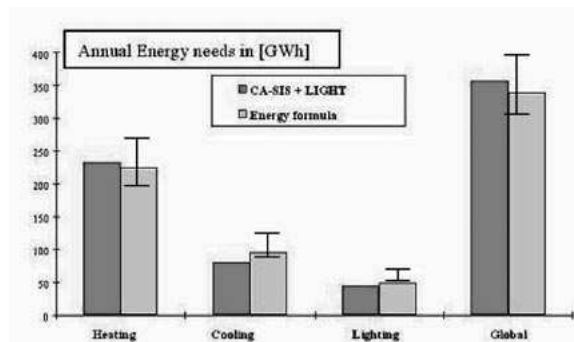


Figure 1 Comparison between simulated annual energy needs with CA-SIS + LIGHT and those calculated by energy formulas (with confidence interval)

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.

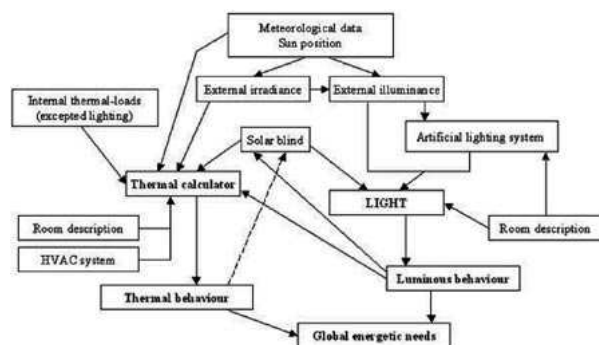


Figure 2 Diagram of interaction between thermal and luminous behavior

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).

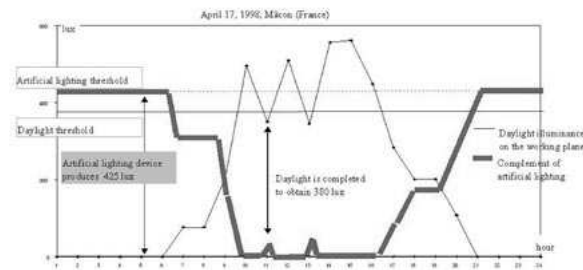


Figure 3 Complementarity between daylight and electric lighting

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_{intj} 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

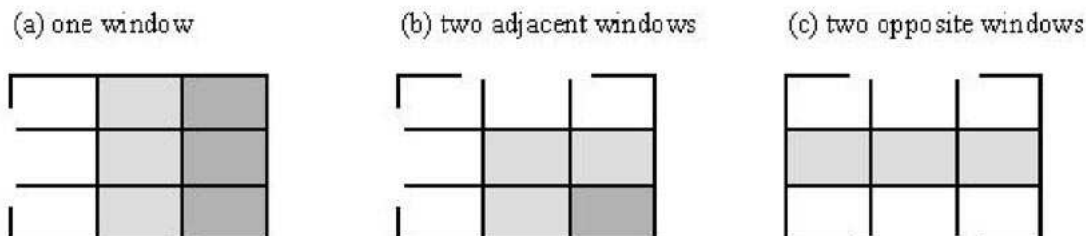


Figure 4 Description of the working plane partition

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_{intd}) 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:

$$E_{intd} = \left(\sum_i FJD_i \right) \cdot E_{extd} \quad (2)$$

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

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 (τ_d) of the glass used as reference in the calculations; μ is a function of the geometry of the luminous exchange between the window mesh and the zone; E_{extd} 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_{extd}).

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 (Δ_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 (Δ_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 α 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 ρ_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]:

$$E_{refd} = f(d, \rho_m) \cdot E_{intd} \quad (4)$$

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; τ_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_{intj} is given by the following expression:

$$E_{intj} = [(E_{intd})_j + (E_{refd})_j] \cdot \beta_d + E_{sun} \cdot \beta_D \quad (6)$$

where β_d and β_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

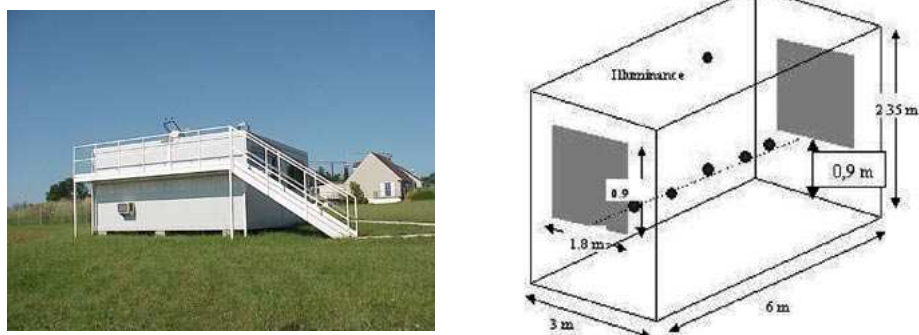


Figure 5 Laboratory and inside points of illuminance measures

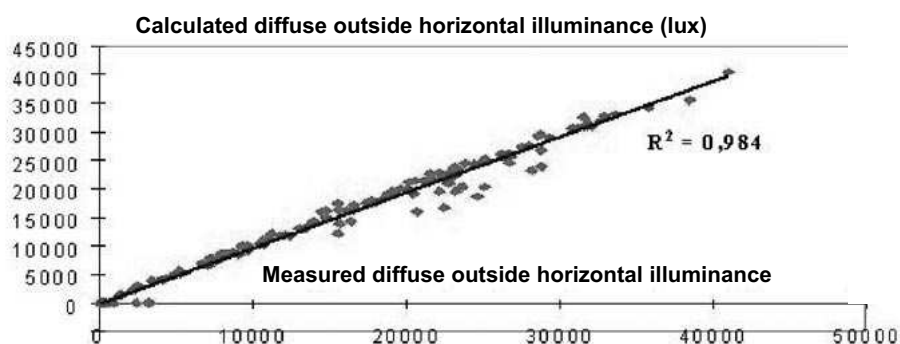


Figure 6 Comparison between calculated and measured values for diffuse outside horizontal illuminance

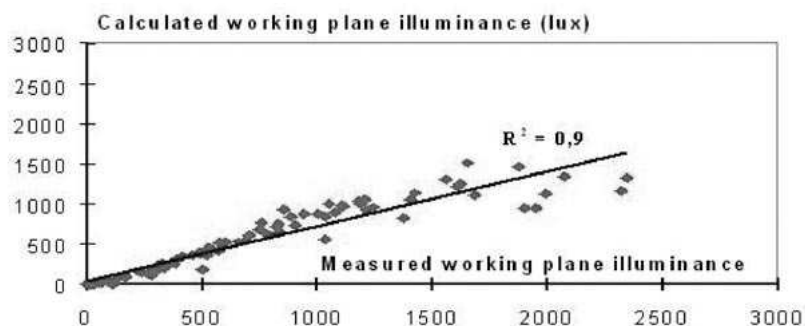


Figure 7 Comparison between calculated and measured values for diffuse working plane illuminance

measured values of the diffuse outside horizontal illuminance E_{ext} 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 m² 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
<i>Hi</i>	-1 (Carpentras)	(-1) Carpentras	(-1) Carpentras	(+1) Trappes	(+1) Trappes
<i>TV</i>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
<i>TT</i>	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
<i>ML</i>	without	without	without	without	without
<i>St</i>	with	with	with	with	with
<i>Loi</i>	efficient lighting control device	no lighting control device	efficient lighting control device	efficient lighting control device	efficient lighting control device
<i>Pi</i>	9 W.m ⁻²	16 W.m ⁻²	16 W.m ⁻²	16 W.m ⁻²	16 W.m ⁻²

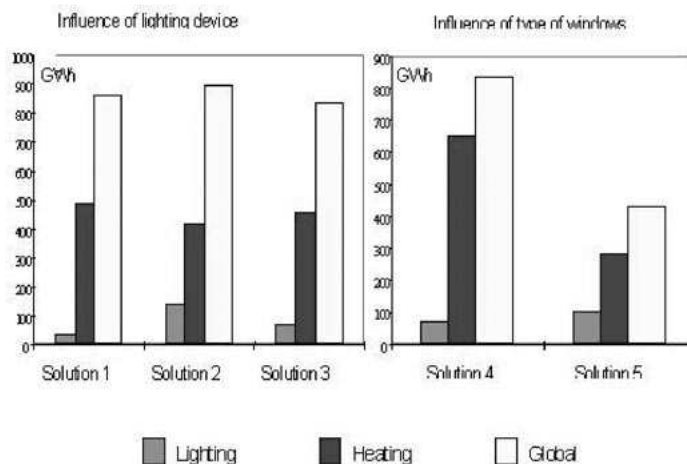


Figure 8 Estimation of energy needs of an office building vs its lighting installation and its windows

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/m² in an office building. In this application, thanks to a more efficient installation (only 9 W/m²) 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⁻² (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

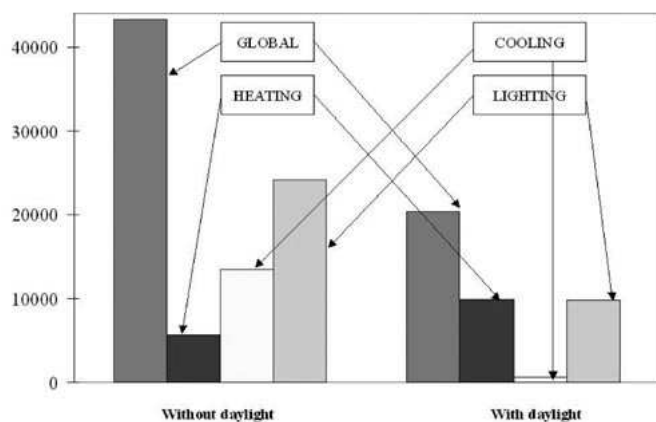


Figure 9 Annual energy needs [kWh]

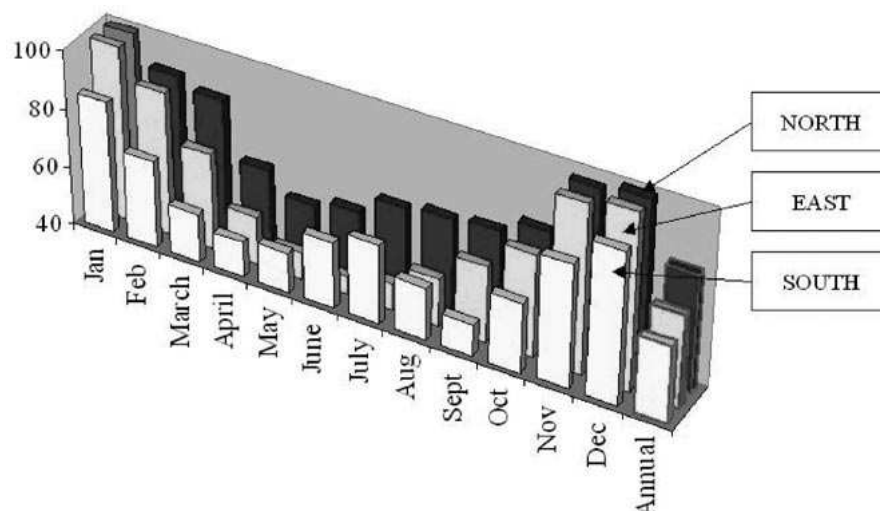


Figure 10 Switch on periods of the electric lighting devices

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

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. Perraudeau, 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. Perraudeau, M., 1990, *Daylight availability from energetic data*, CIE Moscou, vol. 1/A17
17. Perraudeau, 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^{ème} 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 SUPLIMENTAR 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 vară.

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 modularii 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 selectează 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 m². 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^{14} 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 aporturile 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 necesară 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 (aparat de iluminat suspendat sau încadrat). 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).

Calcululele realizate 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 $W.m^{-2}$). 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_{ind}) 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 (τ_d) al geamului utilizat ca referință în acest calcul; μ 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 umbrate de cer.

Factorul de reducere (Δ_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 (Δ_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 ρ_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, nerepresentativ 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 Sw/St 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; τ_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 β_d și β_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_{extd} 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 m². În prima etapă din realizarea unui proiect, arhitectii 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/m² într-o clădire de birouri. În această aplicație, mulțumită unei instalații mai eficiente (doar 9 W/m²), 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 ($H_f=+1$), puterea specifică a instalației de iluminat electric este de 12 W/m² (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