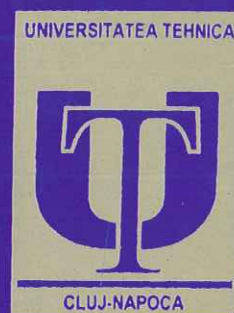




Tempus-Phare  
Compact Measurea Grant  
CME-03551+97



# INGINERIA ILUMINATULUI

4

Editura MEDIAMIRA  
Cluj-Napoca 2000

## INGINERIA ILUMINATULUI

Program Tempus-Phare CME-03551-97

- |            |   |   |
|------------|---|---|
| <b>3</b>   | <b>NETWORKING WITH EUROPEAN</b><br>green light promoters  | <i>Vincent BERRUTTO, Flavio CONTI, Paolo BERTOLDI</i> |
| <b>19</b>  | <b>REDUCEREA NIVELULUI DE ILUMINARE NATURALĂ</b><br>din birouri datorită obstrucțiilor – factori de influență | <i>Dorin BEU, Florin POP</i>                          |
| <b>25</b>  | <b>HISTORY OF ROAD LIGHTING RESEARCH</b><br>as a guide for future research                                    | <i>Wout van BOMMEL</i>                                |
| <b>35</b>  | <b>METODĂ DE ANALIZĂ ȘI ALEGERE A VARIANTEI</b><br>optime de proiect  | <i>Viorel COSTEA, Augustin MUNTEANU</i>               |
| <b>41</b>  | <b>CONSIDERAȚII ASUPRA CALCULULUI</b><br>factorilor de formă  | <i>Cătălin – Daniel GĂLĂȚANU</i>                      |
| <b>47</b>  | <b>MAVILE – AN EUROPEAN AND AMERICAN NETWORK</b><br>on visual environment and efficient lighting              | <i>Carlos KIRSCHBAUM</i>                              |
| <b>54</b>  | <b>ENERGY SAVINGS THROUGH DAYLIGHT</b>  | <i>Jorma LEHTOVAARA, Eino TETRI</i>                   |
| <b>59</b>  | <b>VISIBILITY MEASUREMENTS WITH CCD</b><br>in road lighting   | <i>Eduardo R. MANZANO, Alberto J. CABELLO</i>         |
| <b>70</b>  | <b>ILUMINATUL SENSURILOR GIRATORII</b>  | <i>Marilena MĂIEREAN</i>                              |
| <b>74</b>  | <b>LSD – LIGHTING SYSTEMS DESIGN</b><br>- un program pentru proiectarea sistemelor de iluminat                | <i>Horia F. POP, Florin POP</i>                       |
| <b>80</b>  | <b>THE STUDENTS FORUM AT THE UPC</b>  | <i>Mireia DE LA RUBIA Garrido</i>                     |
| <b>83</b>  | <b>LA ILUMINACIÓN COMO FACTOR DEL CAMBIO SOCIAL</b>   | <i>Ramón SAN MARTIN PÁRAMO</i>                        |
| <b>87</b>  | <b>FOTOMETRIA – TRECUT ȘI PREZENT</b>   | <i>János SCHANDA</i>                                  |
| <b>94</b>  | <b>THE USE OF DAYLIGHT AS A SUBSTITUTE</b><br>for electric lighting in desert regions                         | <i>Faisal M. AL-SHAREEF, David CARTER</i>             |
| <b>110</b> | <b>AUDITORIA ENERGÉTICA A L'ENLLUMENAT PÚBLIC</b>   | <i>Carles URETA</i>                                   |



**Tempus-Phare Compact Measures Grant CME-03551-97**  
**LIGHTING ENGINEERING CENTER – LEC** - an excellence center for consultancy and continuing education in the lighting field in direct link with the needs of the labour market

**CENTRUL DE INGINERIA ILUMINATULUI – LEC** – un centru de excelență pentru consultanță și formare continuă în iluminat pentru necesități ale pieței de muncă



**Universitatea Tehnică  
din Cluj-Napoca**

Str. C. Daicoviciu Nr. 15  
3400 Cluj-Napoca

Coordonator Dr. **Florin POP**, Profesor, UTCN, Cluj-Napoca, România  
Contractor **Ramon SAN MARTIN**, Professor Titular, Dr., UPC, Barcelona, Spain

www: <http://bavaria.utcluj.ro/~lec>

E-mail: [lec@colective.utcluj.ro](mailto:lec@colective.utcluj.ro)

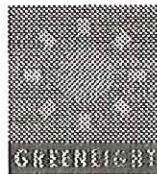
Tehnoredactare și traducere: **Mihaela POP**  
**Viorel GLIGOR**



**EDITURA MEDIAMIRA**  
ISSN 1454-5837



# LAUNCH OF THE GREENLIGHT PROGRAMME IN EUROPE



Vincent BERRUTTO <sup>(a)</sup>, Flavio CONTI <sup>(a)</sup>, Paolo BERTOLDI <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> European Commission - Joint Research Centre  
Environment Institute, T.P. 450, 21020 Ispra, Italy  
Tel. +39.0332.78.9688 Fax +39.0332.78.9992  
E-mail: vincent.berrutto@jrc.it

<sup>(b)</sup> European Commission - DG Energy & Transport  
Rue de la Loi 200, 1049 Brussels, Belgium  
Tel. +32.2.295.2204 Fax +32.2.296.4254  
E-mail: paolo.bertoldi@cec.be

## Abstract

Lighting accounts for a substantial part of electricity use in non-residential buildings and despite a number of significant energy-efficient lighting initiatives from certain Member States and DG TREN<sup>1</sup>, the most recent estimations tend to show that the potential for energy savings remains high in Europe. DG TREN decided to react by launching on 7 February 2000 a EU GreenLight Programme encouraging non-residential electricity consumers (public or private) to commit themselves to install energy-efficient lighting technologies in their facilities wherever (1) it is profitable, and (2) lighting quality is maintained or improved. Such a programme benefits from promising prospects and the active support from the European Energy Agencies.

## Introduction

Lighting accounts for a significant part of the electricity consumption of commercial buildings. In offices and retail shops for instance, a SAVE<sup>2</sup> study estimated in 1994 that lighting represented more than 30% of the total electricity consumption (BRE 1994). This percentage,

<sup>1</sup> DG TREN is the European Commission Directorate General for Energy and Transport. This new DG has been created, with effect from 1st January 2000, by merging the old directorates-general "Energy" and "Transport"

([http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_en.htm)).

<sup>2</sup> SAVE is the non-technology energy efficiency programme of the European Union.

which is generally considered to be still valid nowadays, is consistent with other numbers found in industrialised countries (EPRI 1992) (EDF 1996). In absolute value, for the whole service sector, E. Mills and N. Borg pre-estimated in a recent draft report for the International Energy Agency that lighting represented about 250 TWh<sup>3</sup> in the Union. Though these authors recognise that this first estimate should be treated with a degree of caution due to the lack of previous work on the subject, it shows that lighting consumption in European non-residential buildings is considerable.

The present paper reviews the latest information about the potential for energy savings in the non-residential lighting sector. Then, it shows how the European Commission plans to complement and reinforce the ongoing energy-efficient lighting activities through a European pledge programme: GreenLight.

## A high energy saving potential

Assessing the potential for energy savings in the field of non-domestic lighting is a difficult task. To start with, there is very little information on the characteristics of the

<sup>3</sup> For the European Union including Norway. The estimate is based on existing national assessments. The service sector includes: offices, shops, education, hospitals, leisure and other buildings. Source: (Mills 1999)



lighting systems currently used in Europe. A recent SAVE study, led by the Netherlands Agency for Energy and the Environment, made an attempt at collecting such data for offices and educational buildings (NOVEM 1999). Information was gathered through the members of the European luminaire manufacturers association (CELMA) and complemented with interviews among knowledgeable persons in Europe, such as lighting designers, facility managers and large electrical contractors. The main data collected consisted of quantitative and qualitative descriptions of two types of existing installations and four types of new installations (two typical, and two representing the best practice). The survey also included data on commercial building stock (floor size), typical turnover rate for lighting installations, and cost data for each new type of installation.

Another SAVE project, scheduled to report in Spring 2000 and led by the Association of Danish Electric Utilities (DEFU), is complementing these data using lighting audits in approximately 100 buildings per country (DEFU 1999).

These SAVE projects provide sound evidence of a large energy-saving potential. For instance, they indicate that about a third of the lighting energy use could be saved if all existing lighting in offices in the EU was upgraded to typical current practice for new installations and over half if the upgrade was to best practice standards. Substantial savings could also be made in educational buildings, although they would be lower than for offices (NOVEM 1999).

Although these are theoretical estimates, they are consistent with current market data which show that the penetration of efficient lighting products is low despite the fact that they have been commercialised for several years now. Ballasts for instance, have been available since more than 10 years in the so-called electronic or high-frequency version (CADDET 1991). Compared to others, this version not only increases the lamp-ballast system efficacy up to 20% but also eliminates the risk to perceive flicker, can operate four lamps together, and be substantially lighter. The technology is considered mature and the experience has shown that it could be paid

back in less than 3 years (BRE 1998a) (BRE 1998b). However despite these advantages, electronic ballasts made up only about 5% of market sales in Europe in 1994 (BRE 1996) and approximately 15% nowadays<sup>4</sup>. The same observation has been made for other energy-efficient technologies, e.g. automatic lighting control systems (PROPLAN 1996).

These market data, together with the potential estimates reported above, are converging indicators that much saving can be achieved. Added to the other benefits of energy-efficient lighting upgrades, such as the improvement of user visual conditions and environmental consciousness, the economic benefits, the market opportunities, the stimulation of other DSM projects etc, they constitute robust arguments for deploying intensive energy conservation measures in the field of non-residential lighting.

#### **The need to deploy new conservation efforts**

The energy saving potential represented by lighting in the non-residential sector has been recognised and given high priority worldwide. In Europe, it has impulsed a number of conservation activities under the initiative of the European Commission and some Member States.

In 1993-94, the European Commission DG XVII (Energy)<sup>5</sup> commissioned the UK Building Research Establishment (BRE) to conduct a comprehensive study on "Measures to Promote Energy Efficiency Lighting in the Commercial Sector in Europe" (BRE 1994). This study concluded that "mandatory minimum efficiency standards are likely to produce the largest energy savings" and that "the production of performance standards, particularly for fluorescent lamp ballasts, appears from this study to be one of the most effective actions which the EC could take to reduce energy consumption for lighting in commercial buildings and is thus worth further consideration and development". Consequently, DG XVII elaborated a proposal for a Directive on Energy Efficiency

<sup>4</sup> R. Borsani. CELMA. Personal communication.

<sup>5</sup> Now merged with DG Transport into the new Energy & Transport DG (DG TREN).



Requirements for Ballasts for Fluorescent Lighting (DGXVII 1999). Based on a comprehensive cost/benefit analysis (BRE 1996) and discussions with industry, DG XVII adopted three progressive levels of minimum efficiency requirements. A phased approach was foreseen, associated with long transition periods before the entry into force of each level. Assuming the Directive is adopted by 1.1.2001, it will come into force on 1.1.2002. It will then concern all newly produced ballasts placed on the Community market. In terms of electricity reduction, the Directive alone is estimated to reduce by about 10 % the electricity consumption of fluorescent lighting by the year 2020.

A recent survey commissioned by DG XVII has highlighted the fact that some Member States have also carried out outstanding energy-efficient lighting activities in commercial buildings (NOVEM 1999). Especially noteworthy in this respect are for instance the market transformation programme initiated in Sweden (including procurement, benchmarks, demonstration, etc.), the various programmes at both the government and utility level in the Netherlands (voluntary agreements, tax incentives, rebates, etc.), the light-switch programme initiated in 1998 and run by the UK Energy Saving Trust (including information, training and rebates), and other examples elsewhere.

However, as the survey concludes, "certain Member States have not yet undertaken significant initiatives", and, as said earlier, the saving potential in Europe remains high. Along the lines of Kyoto commitments<sup>6</sup>, there is a need to gather new efforts while complementing the ongoing national initiatives and increasing the impact of the ballast Directive.

To reach that goal, the Commission considered the suggestion made in the earlier SAVE study (BRE 1994) to establish a European pledge programme. The Commission has developed that idea in the form of a EU GreenLight

programme<sup>7</sup>, inspired from the US Green Lights programme<sup>8</sup>.

### The GreenLight Programme

The GreenLight programme was officially launched on 7 February 2000. It is a voluntary pollution prevention programme that helps non-residential electricity consumers (public or private), referred to as Partners, save money and reduce pollution by increasing the energy efficiency of their lighting. The core of the programme is a Registration Form, signed by the Partner and the Commission, in which the Partner commits to:

For existing spaces: upgrade at least 50% of the spaces owned or on long term leases where the returns on investment exceed corporate return on capital (or 20% Internal Rate of Return) or alternatively reduce the total aggregate lighting electricity consumption by at least 30%.

For new spaces: choose new installations so that no alternative installation exists that would:

1. Maintain or improve the lighting quality provided by the chosen installation and
2. Consume less electricity and
3. Represent such a supplementary cost that the return on investment exceed the corporate return on capital.

In addition, the Partner shall<sup>9</sup>:

- Complete the upgrades within 5 years of joining the programme.
- Send a progress report every year.
- Appoint a Corporate Manager responsible for assuring the Programme execution.

<sup>7</sup> <http://www.eu-greenlight.org>

<sup>8</sup> Green Lights programme has run since 1991. In 1999, Green Lights marketing was incorporated into the Energy Star Buildings Programme.

<sup>9</sup> For more details, see the Registration Form on the GreenLight web site.

<sup>6</sup> Reduction of 8% of EU greenhouse gases emissions by 2008-2012 compared to 1990 levels.



While the Commission does not provide actual funds for the lighting upgrades (by definition, the savings pay the upgrades), it provides support to the Partners in the form of information resources and public recognition.

### **Encouraging prospects for GreenLight**

In USA, the Green Lights Programme is often considered as the flagship of EPA's voluntary pollution-prevention initiatives. According to EPA, it has transformed the way organisations make decisions about efficient lighting investments. These decisions have traditionally been low priority, have not benefited from information and analysis, and have had low visibility within an organisation. A critical element of Green Lights success was to elevate decision-making about efficiency in buildings to senior corporate officials. Partners in Green Lights have learned to make profitable lighting upgrades a priority, have been able to make decisions based on up-to-date information and proper analysis, and have advertised their accomplishment both within and outside their organisation.

In terms of results, EPA claims that Green Lights in US had generated 7 TWh electricity savings by 1997 (EPA 1998). According to Hoffman et al (1998) more than 158 million square meters were upgraded and reported by Green Lights partners in 1996. DeCanio (1998) conducted a statistical analysis on the database of all lighting upgrades performed within the framework of Green Lights between January 1991 and January 1995. He found that "excluding outliers and internally inconsistent observations, the average payback of 3673 Green Lights projects reported to EPA as of the beginning of 1995 was 3.3 yr (...) The IRR of 3394 projects (excluding outliers) during the same period had a mean of 44.7% with a standard deviation of 33.9%, and a median of 36.0%".

In Europe, the Green Lights type of concept (i.e. top management commitment) was applied within the framework of energy-efficiency programmes dealing with more than only lighting. This was the case in Sweden with the industry-directed EKO-Energie programme and in the UK with the "Making a Corporate

Commitment" campaign (IAEEL 1999). Both have had a significant impact according to their organisers.

To get an idea of the energy savings that such a concept could generate in Europe as a whole, the European Commission has funded the two SAVE studies mentioned earlier which aims at categorising and quantifying commercial lighting use (NOVEM 1999) (DEFU 1999). Though one of these studies is still in progress, the current impression is that EU GreenLight has a high probability of success.

A recent market survey commissioned by the Joint Research Centre<sup>10</sup> showed that attitudes towards joining the programme were generally favourable. In this market survey, a total of 43 public and private organisations were contacted: 6 in Denmark, 12 in France, 15 in Italy and 10 in Spain. They were big companies with a median number of employees of 3000. In each country, the sample covered different sectors: office, retail, education, healthcare, hotel, industry, transport, leisure/sport. The results were reported in an earlier publication (Berrutto et al. 1999a). In summary, they showed first that all companies without exception agreed that an energy-saving investment could be profitable and that 3/4 of the respondents, no matter the sector to which they belonged (public or private), answered positively when asked if the "Green Image" was part of their communication strategy.

Although most interviewees said they preferred to use payback time as an investment parameter (average criterion: 3 years), more than 80% of the people agreed with the definition of profitability mentioned in GreenLight. Moreover, a large majority of

<sup>10</sup> The mission of the Joint Research Centre (JRC) is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of EU policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Union. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of special interests, private or national. Web site: [www.jrc.it](http://www.jrc.it)



respondents in each country, representing overall 3/4 of the interviewees, said that it would be possible to appoint a GreenLight Implementation Director, as well as a Communication Director, and to allocate approximately one person-year for every 500,000 m<sup>2</sup> of facility space. The same large majority of the people found also no problem in reporting their results to the Commission. As for the 5-year period to carry out the profitable upgrade, it was judged sufficient by at least half of the interviewees in each country.

The situation was more contrasted when talking about financial commitment. A slight majority of respondents in France and Spain said that the initial investment of about 5-20 Euros per m<sup>2</sup> would be achievable. However, the trend was reversed for Denmark and clearly negative in Italy where 3/4 of the respondents refused such a commitment. This is no surprise since the lack of capital and the inability to get financing for projects are well-known barriers to energy efficiency investments. It shows the need to describe how these barriers can be overcome using various financing strategies. In particular, the role of Energy Service Companies (ESCO) must be explained. Except for Spain, there was a majority of respondents in each country who didn't know what an ESCO was and the kind of service he/she could offer. In fact, information, training, and software tools appeared to be the most important supports needed by the interviewees in all countries (except Denmark). In addition, they also asked for guarantees and demonstration.

Finally, when the interviewed companies were asked what kind of GreenLight Promoter they would be the most receptive to, the first choice whatever the country went always to the energy agencies. This has been heard by the national energy agencies which have manifested much interest in the programme and decided to form a network of European GreenLight Promoters as described hereafter.

### **A strong network of European GreenLight Promoters**

The GreenLight Promoters are meant to relay the execution of the programme in the European Member States, in particular to:

- Tailor the programme according to the market situation and consumers' preferences in each country. They take into account national lighting programmes already underway, carried out by national organisations or local utilities. They avoid conflict or competition with similar programmes. In the case a lighting programme is underway, an agreement is being reached with the programme promoter.
- Market aggressively the programme to enrol the largest number of companies.
- Fund the programme together with the European Commission. The amount of resources must be enough to set up and provide financial support for maintaining a structure of a few people.
- Monitor the progress of GreenLight in their country.
- Deploy an extensive communication plan that helps market GreenLight.
- Tailor and disseminate the technical support for GreenLight Partners.

Up to now, organisations from 14 countries<sup>11</sup> embarked in February 2000 in a timely SAVE kick-off pilot project aimed at helping them start their GreenLight activities. This pilot project is meant to:

- Demonstrate and showcase the benefits of GreenLight upgrades and concept.
- Demonstrate the ability of the energy agencies to promote GreenLight.
- Foster a network of national information centres on energy-efficient lighting.

This pilot project has a total duration of 23 months and is divided into 6 tasks:

---

<sup>11</sup> Austria (EVA); Belgium (Wallonne Region Ministry); Denmark (ENS); Finland (MOTIVA); France (ADEME); Germany (Saarländische Energieagentur in collaboration with BEO); Greece (CRES); Italy (FIRE – Ass. of Energy Managers); The Netherlands (NOVEM); Norway (NVE); Portugal (CCE); Spain (IDAE); Sweden (STEM); UK (BRECSU). With the collaboration of the European Commission Joint Research Centre.



- Customisation and dissemination of the GreenLight information support through the Internet.
- Enrolment and briefing of strategic pilot companies in various business fields (public/private, offices/schools/hospitals/hotels/etc.).
- Audit, recommendations, pre-monitoring on 3 to 5 case study buildings per country.
- Lighting retrofit and commissioning of these buildings.
- Post-monitoring to provide a sound demonstration of the benefits.
- Intensive communication toward potential GreenLight Partners.

Besides strengthening and catalysing GreenLight (in a sense by "priming the pump"), this preliminary project offers a unique opportunity to set up a powerful network of information centres on energy-efficient lighting. This network will merge in the first of the above-mentioned tasks, scheduled February 2000 – July 2000. During this period, The energy agencies will translate into their own language the GreenLight information given by the Commission. In addition, they will provide, both in their own language and in English, the country-specific information necessary for GreenLight Partners (e.g. contact directories, legislation).

These materials will be concentrated on JRC databases and made accessible through dynamic multi-language web pages. The result will be a comprehensive information site on the subject of energy-efficient lighting.

### **A network of information**

The set of information provided within GreenLight has been defined keeping in mind the future Partners. Indeed, it constitutes an essential feature of the GreenLight deal and comes in addition to the public recognition provided by the EC to the Partners for their contribution in protecting the environment. This support was outlined figuring out the kind of questions European GreenLight Partners would ask themselves.

The terms GreenLight Partner hide a number of different actors inside the company, each of them having a specific background and specific needs. Basically, a distinction can be made on whether these actors are more involved in financial and planning tasks or in technical tasks. In this respect, two types of information were distinguished: the information for 'planning people' and that for 'technical people'. These two types of information are outlined hereafter. They have been cross-checked with the results of the GreenLight market survey and with what is offered by EPA to US Green Lights Partners. Although transpositions from US to Europe are not straightforward, the support from EPA is interesting to look at because the US project has been constantly refined since its inception in 1991 to take into account remarks and suggestions that have come up from more than 1600 participants. In this sense, it provides good insights on Partners' demand.

### **Information for planning people:**

This information is targeted to all the people in the company who will manage the financial, organisational and communicative aspects of the project, e.g.: decision-makers, financial and communication directors, etc. Their task is essential to make the project develop at the scale of the whole company. Often, they have limited knowledge in the field of lighting. Sometimes, they may not even be familiar with energy management projects in general. They may ask what the programme is and how they can implement it within their company. This is why the web site will contain explanations on this topic, including updated figures of the results, success stories, and implementation guidelines.

Most probably, the companies will wonder also how to finance such a programme. They may not always think about all the financing options they can choose from to fund lighting upgrades. Also, they may not always be aware of all the financial incentives they can benefit from. A guide will resume all these aspects. Financing options will be described on a general basis. However, the list of incentives



will be drawn for each country by National Promoters.

Companies may also wonder why and how they should optimise lighting maintenance and waste disposal. These actions can bring significant money and energy savings if they are carefully planned at the scale of the whole company. This will be resumed in a guide derived from existing ones and, as far as waste disposal is concerned, be complemented at country level by an up-to-date description of the relevant legislation.

To the companies who further wonder who they can contact for third party investments, lamp recycling, lighting upgrades, etc. when they don't have the expertise in-house, each country will maintain a list of relevant contacts.

Information for technical people:

This information will be targeted to the people inside (or outside) the company who will tell which and how installations must be upgraded. Their knowledge in lighting is very variable. Some of these people may be considered as actual lighting designers while some others are mostly active in other fields, e.g. HVAC, and know very little about lighting. For this reason, they will be provided with some reference information on lighting. This reference information will accommodate for the fact that technical people have different background. It will also take into account the fact that they may either look for some information on specific technologies or proceed with a specific application in mind, searching for example lighting recommendations for offices, sport halls, retail spaces, etc. Therefore, it will be both technology-oriented and application-oriented. Properly edited, it will serve as a reference to the information provided in direct support to the main questions of the technical staff namely: how do I see whether a given installation can be upgraded? What kind of upgrade shall I do?

A common specific answer will be provided to these two questions. This will be done with a guide that tells technical people (1) how to carry out a comprehensive lighting assessment within their facilities before and after the retrofit, considering energy and human aspects; and (2)

how to choose upgrade options. Such guide will be complemented by a software that calculates the profitability of upgrade options. Such software will be kept simple. Experience from EPA has shown that the main challenge is to get partner organisations to execute basic steps in a timely manner. Focusing on simple procedures to get all key-steps taken was found to be much more important than elaborating decision support systems.

Such a guide will also be complemented by a product database. It is still open however whether an independent laboratory will check it. The financial resources required for this might not be too high if an independent performance-testing programme was already planned or under way somewhere in Europe. In this case, the financial effort from the EC to check the GreenLight database could be limited to a co-sponsoring of this programme.

In order to avoid incorrect and inhomogeneous ways of collecting and reporting energy saving results, it is highly advisable to define few standard procedures for measuring them. The importance of this requirement is not only for gathering correct data at country and EU level, but also for ensuring contractual specifications and guarantees for all parties involved in the lighting retrofit actions. This is why, reference will be made to the International Performance Measurements and Verification (IPMVP) Protocol (DOE 1997), where four measurement and verification options are defined for various energy efficiency retrofit measures, lighting retrofit included. Since the retrofit actions may vary considerably in size, cost and importance, also the accuracy of M&V vary accordingly and hence the need of defining different options. The involved parties will be free to choose the option that best suit to the types of performance contract, values and risks. The JRC and the national agencies will check these options for general viability.

### **Collaboration with Accession Countries**

As developed in an earlier article (Berrutto et al. 1999b), the GreenLight Programme



colectare a datelor pentru birouri și clădiri educaționale (NOVEM 1999). Informațiile au fost adunate prin intermediul membrilor asociației europene a producătorilor de corpuri de iluminat (CELMA) și completate cu interviuri printre persoanele cu cunoștințe în domeniu din Europa, cum ar fi proiectanți în iluminat, manageri cu aptitudini și contractori mari electrici. Datele principale colectate au cuprins descrieri calitative și cantitative a două tipuri de instalații existente și patru tipuri de noi instalații (două tipice, și două reprezentând cea mai bună practică). Studiul include, de asemenea, date despre capitalul clădirilor comerciale (mărimea suprafeței), cifra de afaceri tipică a instalațiilor de iluminat și costurile pentru fiecare tip nou de instalație.

Un alt proiect SAVE, programat pentru a raporta în Primavara anului 2000 și condus de către Asociația Utilităților Electrice Daneze (DEFU) completează aceste date utilizând bilanșurile de iluminat în aproximativ 100 de clădiri în fiecare țară (DEFU 1999).

Aceste proiecte SAVE arată o evidență clară a unui potențial mare de economisire a energiei. De exemplu, acestea indică că aproximativ o treime din practicile curente pentru noile instalații și peste jumătate pentru cele îmbunătățite sunt la cele mai înalte standarde. Economii substanțiale pot fi realizate în instituțiile educaționale, deși acestea vor fi mai mici decât cele din birouri (NOVEM 1999).

Deși acestea sunt estimate teoretic, sunt compatibile cu datele existente pe piață care arată că penetrarea produselor de iluminat eficiente este mică în pofida faptului că acestea au fost comercializate de câțiva ani. De exemplu, balasturile au fost disponibile de mai mult de 10 ani în așa numita versiune electronice sau de înaltă frecvență (CADDET 1991). Comparată cu altele, această versiune nu numai că mărește eficacitatea sistemului lampă-balast până la 20%, dar de asemenea elimină riscul de percepere a pâlpâirii, poate opera patru lămpi deodată și poate fi substanțial mai ușor. Tehnologia este considerată matură și experiența a arătat ca pot fi recuperate costurile în mai puțin de 3 ani (BRE 1998a, (BRE 1998b). Totuși, în pofida acestor avantaje, balasturile electronice reprezintă numai

5% din vânzările pe piața Europeană în 1994 (BRE 1996) și aproximativ 15% în prezent<sup>4</sup> (4 – R. Borsani. *Comunicare personală*). Aceeași observație a fost făcută pentru alte tehnologii eficiente-energetice, de exemplu sistemele de iluminat cu control automat (PROPLAN 1996).

Aceste date de piață, împreună cu estimările de potențial prezentate mai sus, sunt indicatori convergenți ce arată coate fi realizată o economisire mare. În plus la alte beneficii de îmbunătățire a sistemelor de iluminat eficiente energetice, cum ar fi îmbunătățirea condițiilor vizuale ale utilizatorului și condițiilor de mediu, beneficiilor economice, oportunitățile pieței, stimularea altor proiecte DSM etc., acestea constituie argumente solide pentru desfășurarea măsurilor intense de conservare a energiei în domeniul iluminatului nerezidențial.

#### **Necesitatea desfășurării de noi eforturi de conservare**

Potențialul de economisire a energiei reprezentat de iluminatul în sectorul nerezidențial a fost recunoscut și a primit o prioritate înaltă în întreaga lume. În Europa, acesta a impulsionat un număr de activități de conservare la inițiativa Comisiei Europene și altor State Membre.

În 1993-1994, Comisia Europeană DG XVII (Energy)<sup>5</sup> (5 – În prezent alăturat cu DG Transport în noul DG Transport&Energie DG TREN) a împuternicit Centrul de Cercetare în Construcții din Marea Britanie (BRE) pentru a conduce un studiu de înțelegere a "Măsurilor de Promovare a Iluminatului Eficient Energetic în sectorul comercial din Europa" (BRE 1994). Acest studiu a concluzionat că "standardele obligatorii de eficiență maximă produc cele mai mari economisiri de energie" și că "producția standardelor de performanță, în special pentru lămpile fluorescente cu balast este una dintre cele mai eficace acțiuni pe care CE poate să le întreprindă pentru a reduce consumul de energie pentru iluminatul spațiilor comerciale și aceasta merită considerație și dezvoltare ulterioară". În



consecință, DG XVII a elaborat o propunere pentru o Directivă asupra Cerințelor de Eficiență Energetică pentru balasturile utilizate în iluminatul fluorescent (DGXVII 1999). Bazat pe o analiză cost-eficiență cuprinzătoare, (BRE 1996) și pe discuțiile din mediul industrial, DGXVII a adoptat trei niveluri progresive de cerințe minimale de eficiență. O abordare a fost prevăzută, asociată cu perioada de lungă tranziție, înainte de intrarea în forță a fiecărui nivel. Presupunând că Directiva este adoptată până la 1.1.2001, va intra în forță în 1.1.2002. Se va ocupa cu toate noile balasturi produse aflate pe piața Comunității. În termeni de reducere a electricității, Directiva este estimată să reducă până la 10% din consumul de electricitate al iluminatului fluorescent în anul 2000.

Un studiu recent autorizat prin DG XVII a evidențiat faptul că câteva State Membre au realizat activități de iluminat eficient energetice în spații comerciale (NOVEM 1999). Demn de atenție, în acest sens, sunt, de exemplu, programe de transformare a pieței inițiate în Suedia (include achiziționarea, cotele de nivel, demonstrația, etc), programe diferite la nivel de guvern și utilitate în Olanda (acorduri voluntare, reduceri de taxe, rabaturi, etc), programe de întrerupere a iluminatului inițiat în 1998 și ce se derulează prin Încrederea de Economisire a Energiei (include informații, pregătire și rabaturi), și alte exemple.

Totuși, așa cum concluzionează studiul, "Statele Membre nu au întreprins încă inițiative semnificative", și, așa cum s-a menționat mai devreme, potențialul de economisire în Europa rămâne ridicat. De-a lungul liniilor de angajamente Kyoto<sup>6</sup> (6 – reducerea cu 8% emisiilor de gaze pentru "casele verzi" EU în 2008-2012 față de nivelurile din 1990), apare necesitatea de a uni noile eforturi de completare și creștere a impactului Directivei referitoare la balasturi.

Pentru a atinge acel scop, Comisia a considerat sugestia făcută în studiul anterior SAVE (BRE 1994) pentru a stabili programul European. Comisia a dezvoltat că ideea în formarea Programului GreenLight din EU<sup>7</sup> (7 – adresa de pagina WEB) a fost inspirată din Programul Green Light din US<sup>8</sup> (8 – programul Green

Lights a început din 1991. În 1999, administrarea Green Lights a fost încorporată în Programul Clădiri Energie Stea – Energy Star Buildings)

### Programul Green Light

Programul GreenLight a fost oficial lansat în 7 februarie 2000. Este un program voluntar ce previne poluarea, ce vine în sprijinul consumatorilor de electricitate nerezidențiali (publici sau privați), ca Parteneri, economisește banii și reduce poluarea prin creșterea eficacității energetice a iluminatului. Baza programului este un Formular de Înregistrare, semnat de Partener și Comisie, în care Partenerul se angajează la:

Pentru spațiile existente: îmbunătățirea a cel puțin 50% din spațiile deținute sau închiriate pe termen lung unde dobânda adusă de investiție depășește dobânda adusă de capital (sau 20% din dobânda internă – IIR – Internal Rate of Return) sau să reducă consumul total de energie datorat iluminatului cu cel puțin 30%.

Pentru noile spații: alegerea noilor instalații astfel încât să nu existe nici o altă instalație care să:

1. Mențină sau îmbunătățească calitatea iluminatului realizat de instalația aleasă;
2. Consume mai puțină electricitate
3. Reprezinte un cost suplimentar astfel ca dobânda pe investiției să depășească dobânda adusă de capital.

În plus, Partenerul va<sup>9</sup> (9 – pentru mai multe detalii, vezi Formele de Înregistrare în situl web Green Light):

- Completa îmbunătățirea aderării la program în decurs de 5 ani
- Trimite un raport de progresare în fiecare an
- Stabili un Manager al Societății responsabil cu asigurarea execuției programului.



Comisia nu asigură fonduri actuale pentru îmbunătățirea iluminatului (prin definiție, economiile plătesc îmbunătățirile), dar aceasta asigură suport Partenerilor sub forma resurselor de informații și recunoaștere publică.

### Prospecte de încurajare pentru GreenLight

În USA, Programul GreenLight este deseori considerat ca un standard al inițiativelor voluntare de prevenire a poluării. În conformitate cu EPA, acesta a transformat modul de luare a deciziilor de către organizații privind investițiile iluminatului eficient. Aceste decizii au avut prioritate scăzută, nu au beneficiat de informații și analize și nu sunt remarcate într-o organizație. Un element important al succesului GreenLights a fost ca nivelul deciziei asupra eficienței în clădiri să aparțină structurii de conducere a întreprinderii. Partenerii în GreenLights au învățat să considere o prioritate îmbunătățirea profitabilă a iluminatului, să ia deciziile pe baza informațiilor la zi și analizelor corespunzătoare și să-și facă cunoscute realizările atât în interior cât și în afara organizației.

În ceea ce privește rezultatele, EPA afirmă că în USA Green Light a generat reduceri de energie de 7 TWh până în 1997 (EPA 1998). După Hoffman (1998), în 1996 au fost îmbunătățiți de către partenerii Green Light mai mult de 158 de milioane de metri pătrați. DeCanio (1998) a realizat o analiză statistică utilizând baza de date a tuturor îmbunătățirilor iluminatului realizate în cadrul GreenLights între ianuarie 1991 și ianuarie 1995. Acesta a observat că "excluzând extremitățile și observațiile inconsistente, valoarea medie a amortizării a 3673 de proiecte raportate la EPA la începutul lui 1995 a fost de trei ani. IRR (Internal Rate of Return) a 3394 de proiecte în aceeași perioadă a avut o medie de 44,7% cu o deviație standard de 33,9 % și o mediană de 36%.

În Europa, tipul de concept Green Lights (de exemplu, aranjamente manageriale de vârf) a fost aplicat în cadrul programelor de eficiență energetică ce tratează mai mult decât iluminatul. Acesta s-a întâmplat în Suedia cu programul direcționat spre industrie EKO-Energy și în Marea Britanie cu campania "Making a Corporate Commitment" (IAEFL 1999). Ambele au avut un impact semnificativ în conformitate

cu organizatorii acestora.

Pentru a vedea ce reduceri de energie poate genera acest concept în Europa, Comisia Europeană a investit în două studii SAVE menționate anterior care au clasificat și cuantificat utilizarea iluminatului comercial (NOVEM 1999) (DEFU 1999). Cu toate că unul dintre studii este încă în derulare, impresia curentă este că Green Light EU are o probabilitate ridicată de succes.

Un studiu recent de piață întreprins de Centrul de Cercetare<sup>10</sup> (*10 – misiunea Centrului de Cercetare – JRC – este de a asigura consumatorului un suport de îndrumare științifică și tehnică pentru conceperea, dezvoltarea, implementarea și monitorizarea politicilor Uniunii Europene. Ca un serviciu al Comisiei Europene, JRC funcționează ca un centru de știință și tehnologie pentru Uniune. Apropiat de procesul de elaborare al politicilor, el servește interesului comun al Statelor Membre, fiind independent de interese speciale, private sau naționale*) a arătat că atitudinile către aderarea la program au fost în general favorabile. În acest studiu de piață, un total de 43 de organizații publice și private au fost contactate: 6 în Danemarca, 12 în Franța, 15 în Italia și 10 în Spania. Acestea au fost companii mari cu un număr mediu de angajați de 3000. În fiecare țară, s-au luat în considerare următoarele sectoare: birouri, vânzare cu amănuntul, educație, spitale, hoteluri, industrie, transport, recreere/sport. Rezultatele au fost prezentate într-o publicație anterioară (Berrutto și alții 1999a). Pe scurt, ei au prezentat mai întâi că toate companiile fără excepție au fost de acord că o investiție de economisire a energiei poate fi profitabilă și că 3/4 dintre intervievați, indiferent de sectorul de care aparțin (public sau privat), au răspuns pozitiv când au fost întrebați dacă Green Light a făcut parte din strategia lor de comunicare.

Deși cei mai mulți dintre intervievați au spus că ei preferă să utilizeze tipul de amortizare ca parametru de investiție (criteriu mediu: 3 ani), mai mulți de 80% dintre ei au fost de acord cu definirea profitabilității menționate în Green Light. Mai mult, o mare majoritate din fiecare



țară, reprezentând 3/4 din cei intervievați, au spus că va fi posibilă stabilirea unui Director de Implementare a Green Light precum și a unui Director de Comunicare și alocarea unei persoane pe an pentru fiecare 500.000 m<sup>2</sup> de facilități de spațiu. Aceeași mare majoritate de persoane nu au observat nici o problemă în raportarea rezultatelor Comisiei. Cel puțin jumătate din persoanele interviuate în fiecare țară au considerat suficientă perioada de 5 ani pentru realizarea îmbunătățirii profitabile.

Situația a fost mai controversată când s-au analizat problemele financiare. O majoritate restrânsă a intervievaților din Franța și Spania au considerat că investiția inițială de 5-20 Euro/m<sup>2</sup> poate fi realizabilă. Totuși, tendința a fost inversă pentru Danemarca și în mod clar negativă în Italia, unde 3/4 au refuzat o astfel de angajare financiară. Aceasta nu este o surpriză având în vedere că lipsa capitalului și inabilitatea obținerii finanțării pentru proiecte sunt bariere bine cunoscute în fața investițiilor de eficiență energetică. Aceasta arată necesitatea descrierii posibilității depășirii acestor bariere utilizând diferite strategii de finanțare. În particular, trebuie explicat rolul companiilor de service energetice (ESCO). Cu excepția Spaniei, în fiecare țară majoritatea nu cunoștea ce înseamnă ESCO și ce tip de servicii poate oferi. De fapt, informarea, pregătirea și programele software par a fi cele mai importante suporturi necesare în toate țările, cu excepția Danemarcei. De asemenea e nevoie de garanție și demonstrație.

În final, când companiile interviuate au fost întrebate asupra tipului de Promotor al Green Light-ului la care ar fi cei mai receptivi, prima alegere s-a îndreptat către agențiile energetice. Acest lucru a fost aflat de către Agențiile naționale de energie care au manifestat un interes mai mare pentru program și au decis formarea unei rețele de promotori europeni ai Green Light-ului descrisă în continuare.

### **Rețeaua puternică a promotorilor europeni Green Light**

Promotorii Green Light au scopul de a urmări executarea programului în Statele Membre UE, în special în:

- Adaptarea programului la situația pieței și la

preferințele consumatorilor în fiecare țară. Se iau în considerare programele naționale de iluminat care se află în derulare, realizate de organizații naționale sau locale. Se va evita conflictul sau competiția cu programe similare. Dacă există un program în derulare se va semna un acord cu promotorul aceluși program.

- Promovarea agresivă a programului cu scopul de a înrola un număr mare de companii.
- Finanțarea programului împreună cu Comisia Europeană. Resursele trebuie să fie suficiente pentru realizarea și suportul financiar al unei structuri de câteva persoane.
- Monitorizarea progresului Green Light în țara lor.
- Realizarea unui program extensiv care să ajute la promovarea Green Light.
- Adaptarea și răspândirea suportului tehnic pentru partenerii Green Light.

Până acum, organizații din 14 țări<sup>11</sup> (*11 – enumerarea țărilor și agențiilor*) s-au implicat în februarie 2000 într-un proiect pilot de demarare având scopul să-i ajute în începerea activității Green Light. Acest proiect are rolul de a:

- Demonstra beneficiile îmbunătățirii și conceptul de Green Light
- Demonstra abilitatea agențiilor energetice de a promova Green Light
- Realiza o rețea de centre naționale de informare privind iluminatul eficient energetic.

Acest proiect pilot are o durată totală de 23 de luni și este împărțit în 6 sarcini:

- Particularizarea și răspândirea suportului de informații Green Light prin internet
- Implicarea companiilor strategice pilot în diferite domenii de afaceri (public/privat, birouri, școli, spitale, hoteluri etc)
- Audit, recomandări, pre-monitorizare în 3-5 studii de caz în fiecare țară
- Reproiectarea iluminatului și concesionarea acestor clădiri
- Post-monitorizarea pentru a asigura o



demonstrație relevantă a beneficiilor

- Comunicarea intensivă cu partenerii potențiali ai Green Light.

În afara consolidării Green Light, aceste proiecte preliminare oferă oportunitate unică de a realiza o rețea puternică de centre de informare în iluminat eficient energetic. Această rețea va funcționa la început în scopul realizării celor 6 sarcini, programată pentru februarie 2000 – iulie 2000. În această perioadă, agențiile energetice vor traduce în limba lor informațiile Green Light primite din partea Comisiei. În plus, ei vor pune la dispoziție informații specifice țării respective necesare partenerilor Green Light (de exemplu, cataloage de adrese, legislație).

Aceste materiale vor fi concentrate în baze de date JRC accesibile prin pagini web în multe limbi. Rezultatul va fi un site cuprinzător de informare asupra iluminatului eficient energetic.

### **O rețea de informare**

Informațiile furnizate în cadrul proiectului Green Light au fost definite având în vedere Partenerii viitori. Acestea constituie o caracteristică esențială a proiectului Green Light și se adaugă recunoașterii publice a partenerilor pentru contribuția în protecția mediului. Acest suport a fost subliniat în funcție de tipul întrebărilor pe care Partenerii Green Light și l-ar adresa lor înșiși.

Termenul de Partener Green Light definește persoane diferite din cadrul companiei, fiecare având o pregătire și necesități specifice. Se poate face o distincție dacă aceste persoane sunt mai implicate în sarcinile financiare și de planificare sau în cele tehnice. Se disting două tipuri de informații: pentru "personalul de planificare" și pentru "personalul tehnic". Aceste două tipuri de informații sunt prezentate ulterior. Acestea au fost controlate încrucișat cu rezultatele studiului de piață Green Light și cu ceea ce oferă EPA pentru Partenerii Green Lights din US. Deși transpunerea din SUA în Europa nu este deschisă, este interesant ca suportul EPA să fie studiat deoarece proiectul SUA a fost în mod continuu remaniat de la începerea lui din 1991 pentru a lua în considerare remarcile și sugestiile ce au provenit de la 1600 de participanți. În acest

sens, se realizează o estimare corectă a cererilor partenerilor.

Informarea pentru personalul de planificare:

Această informare este îndreptată către personalul din companie care vor conduce aspectele financiare, organizaționale și comunicative ale proiectului, ex: cei ce iau deciziile, directorii financiar și de comunicare etc. Sarcina acestora este esențială pentru a realiza dezvoltarea proiectului la scara întregii companii. Deseori, aceștia au cunoștințe limitate în domeniul iluminatului. Câteodată, nu pot fi familiari cu proiectele de management energetic, în general. Ei pot întreba care program este și cum îl pot ei implementa în compania lor. Acesta este motivul pentru care site-ul web conține explicații în această topică, incluzând prezentări actualizate cu rezultate, povestiri de succes și ghiduri de implementare.

Foarte probabil, companiile se vor întreba cum să finanțeze un astfel de program. Ele nu se gândesc întotdeauna la toate opțiunile de finanțare din care să aleagă pe cea pentru îmbunătățirea iluminatului. De asemenea, ele nu pot fi întotdeauna informate de toate resursele financiare de care beneficiază. Un ghid va rezuma toate acestea. Opțiunile financiare vor fi descrise într-o bază generală. Totuși, lista resurselor va fi realizată pentru fiecare țară de către Promotorii Naționali.

Companiile se întreabă, de asemenea, de ce și cum pot optimiza întreținerea iluminatului și pierderea deșeurilor. Aceste acțiuni pot aduce reduceri semnificative de bani și energie dacă sunt planificate cu grijă la scara întregii companii. Aceasta va fi rezumată într-un ghid derivat dintr-unul existent și, în măsura în care recuperarea deșeurilor este dorită (prevăzută), poate fi coompletat la nivelul țării printr-o descriere adusă la zi a legislației relevante.

La companiile care se întreabă pe cine trebuie să contacteze pentru a treia investiție, înlocuirea lămpilor, îmbunătățirea iluminatului etc., când ele nu dețin expertiză, fiecare companie va păstra o listă a contractelor relevante.



Informare pentru personalul tehnic:

Această informare se va îndrepta către personalul din interiorul (sau exteriorul) companiei care ne va spune care și cum pot fi îmbunătățite instalațiile. Cunoștințele sale în iluminat sunt foarte variabile. Câteva din aceste persoane pot fi considerate ca proiectanți de iluminat în timp ce alții sunt mult mai activi în alte domenii, de ex. HVAC (încălzire, ventilare, climatizare și automatizare) și cunosc foarte puține despre iluminat. Această informare de referință se va adapta faptului că personalul tehnic deține pregătiri de bază diferite. Se ia în considerare și faptul că ei caută informații despre tehnologii specifice sau continuă o aplicație, căutând de ex. recomandări în iluminatul pentru birouri, săli de sport, spații comerciale etc. De aceea, vor exista tehnologie orientată și aplicație orientată. Va servi ca referință de informare ce asigură suportul principalelor întrebări al personalului tehnic: cum pot să văd dacă o instalație dată poate fi îmbunătățită? Ce fel de îmbunătățire pot aplica?

Un răspuns specific obișnuit va fi dat la aceste două întrebări. Acesta va fi dat cu ajutorul unui ghid care prezintă personalului tehnic (1) cum să îndeplinească un iluminat în conformitate cu facilitățile acestuia înainte și după reproiectare, considerând aspectele energetice și umane; și (2) cum să aleagă opțiunile de îmbunătățire. Acest ghid va fi completat de un software ce calculează profitabilitatea opțiunilor de îmbunătățire. Software-ul va fi simplu de păstrat. Experiența de la EPA a arătat că principala provocare este de a obține organizații de parteneriat pentru a executa pașii de bază programați în timp. Focalizarea pe procedurile simple pentru a obține toți pașii cheie a fost găsită ca fiind mult mai importantă decât elaborarea sistemelor de suport a deciziei.

Un astfel de ghid va fi completat de o bază de date. Va fi încă deschis dacă vreun laborator independent dorește să-l verifice. Resursele financiare necesare pentru aceasta nu trebuie să fie prea mari dacă s-a planificat deja în Europa un program de testare a performanței. În acest caz, efortul financiar de la CE pentru a verifica baza de date Green Light va fi limitat cu o sponsorizare a acestui program.

Pentru a evita căile incorecte și neomogene de colectare și raportare a rezultatelor de economisire a energiei, este indicat să se definească câteva proceduri standard pentru măsurarea acestora. Importanța acestei cerințe nu este numai pentru colectarea corectă a datelor la nivel de țară și UE, dar și pentru asigurarea specificațiilor contractuale și garanțiilor pentru toate părțile implicate în acțiunile de reproiectare a iluminatului. Acesta este motivul pentru care se va face referire Protocolul Internațional de Evaluare și Verificare a Performanței (IPMVP) - (DOE 1997), unde sunt definite patru opțiuni de evaluare și verificare pentru diferite măsuri de reproiectarea eficienței energetice, incluzând și reproiectarea iluminatului. Atâta timp cât acțiunile de îmbunătățire pot varia considerabil în mărime, cost și importanță, și acuratețea M&V (Evaluare&Verificare) poate varia corespunzător și, ca urmare, necesitatea de definire a diferitelor opțiuni. Părțile implicate vor fi libere să aleagă soluția ce se potrivește cel mai bine tipului de contract de performanță, valorilor și riscurilor. JRC și agențiile naționale vor verifica aceste soluții pentru viabilitate generală.

### Colaborarea cu țările aderente

Așa cum a fost prezentat într-un articol anterior (Berrutto și alții 1999b), programul Green Light reprezintă cadrul optim pentru o rețea fructuoasă între UE și organizațiile din țările aderente, asigură ca aceste organizații, la fel ca și partenerii lor europeni, să aibă experiență, independență, posibilitatea spre eficiență energetică și un posibil rol instituțional în țările lor.

Aceste țări s-ar putea să nu dorească să dezvolte o schemă Green Light în termen scurt, dar totuși pot fi interesate în răspândirea informațiilor generale despre iluminatul eficient energetic. În acest caz, ele sunt bine venite să utilizeze și să completeze baza de date Green Light împreună cu 14 organizații europene deja cooptate. O astfel de inițiativă cu cost scăzut ar rezulta într-o colaborare de durată și reciproc avantajoasă, facilitând transferul de cunoștințe și experiență.



## Concluzii

În pofida activităților de iluminat eficient energetic impulsionate de către Comisie și anumite Statele Membre în sectorul ne-rezidențial, potențialul de economisire a energiei este încă ridicat. Pentru a reacționa, Comisia a lansat în 7 februarie 2000 un program promișător european Green Light cu scopul de realizarea a economiilor și de

consolidare a activităților în derulare, transformând modul de luare a deciziilor de către organizații cu privire la eficiența în clădiri.

Un studiu pilot SAVE este în derulare pentru a forma o rețea activă de Promotori Green Light în 14 țări europene. Această rețea puternică stabilește programul de atragere a unor importanți Parteneri Green Light.



# REDUCEREA NIVELULUI DE ILUMINARE NATURALĂ DIN BIROURI DATORITĂ OBSTRUCȚIILOR – FACTORI DE INFLUENȚĂ

Dorin BEU, Florin POP

UTCN - Universitatea Tehnică din Cluj Napoca

## Rezumat

La fel ca și în cazul iluminatului electric [3] s-a confirmat că dimensiunile și densitatea obstrucțiilor sunt unii din factorii majori care influențează pierderile datorate obstrucțiilor în încăperile iluminate natural. În plus apar ca factori majori și reflectanța obstrucțiilor. În cazul cerului acoperit, reducerea iluminării este identică cu reducerea factorului de lumină naturală.

Din rezultatele campaniei de simulări, domeniul în care se situează pierderile datorate obstrucțiilor este următorul:

- birouri cu echipament uzual de birotică (ex. monitoare, etajere hârtii, dulapuri joase): între 10 și 25%.
- birouri cu multe suprafețe verticale înalte (ex. pereți despărțitori - partiții, dulapuri înalte): până la 40%.

Factorii minori de influență sunt: a) dimensiunile ferestrelor (influențe importante doar în cazul în care aria raportată a ferestrelor scade sub 0,2); b) amplasarea ferestrelor pe laturi adiacente; c) utilizarea iluminatului electric are influențe doar în cazul în care nivelul de iluminare naturală este scăzut; d) orientarea obstrucțiilor - orientarea partițiilor de la paralel la perpendicular pe planul ferestrelor reduce pierderile datorate obstrucțiilor.

## 1 Introducere

Parametrii avuți în vedere la realizarea simulărilor cu ajutorul programului Lumen-Micro [6] au fost: tipul obstrucțiilor standard ușoare, medii și mari; tipul cerului: senin, parțial acoperit și acoperit; orientarea ferestrelor: nord, sud, est și vest; ora: 8, 10, 12, 14 și 16 pe data de 15 a lunilor ianuarie, aprilie, iulie, octombrie; prezența sau absența iluminatului electric; orientarea obstrucțiilor în

raport cu fereastra; densitatea și reflectanța obstrucțiilor; transmitanța ferestrelor; dimensiunile ferestrelor; amplasarea ferestrelor pe o latură sau pe două laturi adiacente.

## 2 Interpretarea rezultatelor

*Influența perioadei din an și a tipului obstrucțiilor.* Din compararea rezultatelor rezultă că reducerea nivelului de iluminare pentru cer acoperit este independentă de perioada anului, având valori medii de 32,81% în cazul obstrucțiilor mari, 27,37% pentru obstrucții medii și 12,3% pentru obstrucții mici. Dimineața, în cazul cerului parțial acoperit sau senin, reducerea nivelului de iluminare nu este influențată semnificativ de perioada anului pentru orientări nordice sau vestice ale ferestrei (o posibilă explicație este lipsa iluminării solare directe dimineața, pentru ferestrele cu această orientare). Fluctuațiile cele mai mari ale reducerii nivelului de iluminare la ora 10 apar în cazul ferestrelor cu orientare sudică și estică, cu un maxim iarna.

Un aspect important constă în evidențierea faptului că în multe încăperi nivelul de iluminare scade datorită obstrucțiilor sub pragul minim de acceptare indicat de Begemann [1] și care este situat în jur de 900 lx, fiind astfel un mijloc de a explica motivul pentru care sistemele de iluminat electric rămân în funcțiune. Spre exemplificare, pe data de 15 ianuarie ora 10, cu excepția orientării sudice sau estice a ferestrei, nivelul de iluminare scade sub valoarea de 900 lx în cazul obstrucțiilor mari, de unde se poate concluziona că iluminatul electric rămâne în funcțiune.

Valorile mai mici ale *Pierderile Datorate Obstrucțiilor* - PDO, în cazul utilizării și iluminatului electric, apar în cazul în care nivelul iluminării naturale este scăzut. Oricum rezultă o



scădere a acestor pierderi în cazul utilizării iluminatului electric.

În figurile 1, 2, 3 și 4 este prezentată evoluția pierderilor datorate obstrucțiilor standard mari de-a lungul zilei (între orele 8 și 16) pentru 15 ianuarie, aprilie, iulie și octombrie. Din aceste grafice se observă că pentru cer acoperit pierderile sunt constante, dar în cazul cerului senin avem fluctuațiile cele mai mari. Se poate observa de asemenea că indiferent de tipul cerului, PDO sunt minime în jurul orei 10 sau 12, când înălțimea aparentă a soarelui este aproape maxim. De aici rezultă o relație de dependență între înălțimea aparentă și PDO în cazul ferestrelor sudice și vestice. Pentru ferestrele nordice, fluctuațiile diurne în cazul cerului senin și parțial acoperit sunt minore. Forma graficelor diferă mult în funcție de perioada din an. În unele perioade, pentru ferestre sudice la ora 8 avem cele mai mari PDO iar în alte perioade avem cele mai mici PDO. De exemplu, cele mai mari pierderi pentru cer senin apar pe 15 ianuarie ora 8 pentru orientări sudice și estice ale ferestrelor, iar în restul lunilor avem cele mai mici PDO la ora 8 pentru aceleași orientări.

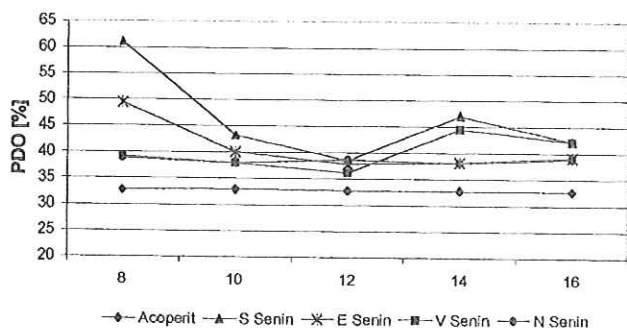


Fig. 1 Pierderilor datorate obstrucțiilor de la ora 8 la 16 pe data de 15 ianuarie

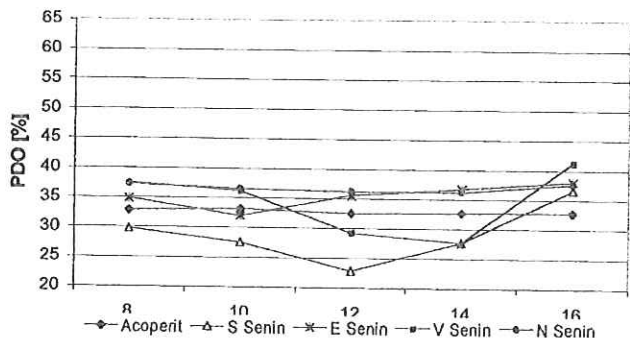


Fig. 2 Pierderilor datorate obstrucțiilor de la ora 8 la 16 pe data de 15 aprilie

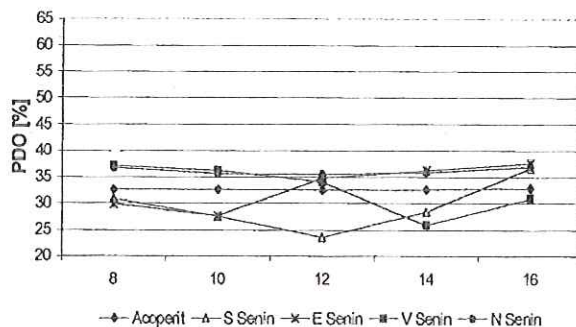


Fig. 3 Pierderilor datorate obstrucțiilor de la ora 8 la 16 pe data de 15 iulie

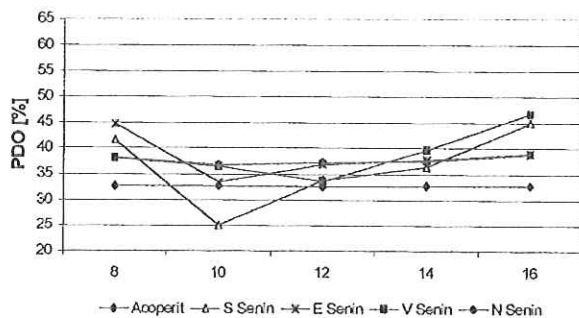


Fig. 4 Pierderilor datorate obstrucțiilor de la ora 8 la 16 pe data de 15 octombrie

Cele patru grafice anterioare au forme destul de diferite, ceea ce face dificilă găsirea unor concluzii general valabile. Singurele aspecte comune sunt forma constantă a PDO pentru cer acoperit și pentru fereastră nordică. Fluctuațiile cele mai mari apar pentru ferestrele sudice în cazul cerului senin. De asemenea, rezultă că primăvara și vara avem cele mai mici PDO, iar iarna și toamna PDO cele mai mari, vârful fiind atins în cazul ferestrelor sudice. În cazul cerului acoperit, PDO sunt întotdeauna sub valorile corespunzătoare unei ferestre nordice, cu cer senin sau parțial acoperit. În ciuda volumului mare de date obținut prin simulări, pentru determinarea unor relații cu bază statistică ar fi necesară continuarea simulărilor pentru fiecare lună a anului.

*Influență orientării obstrucțiilor în raport cu fereastra.* Conform simulărilor, rezultă că în cazul rotirii obstrucțiilor cu  $90^\circ$  apar variații ale PDO, determinate de poziția obstrucțiilor în raport cu fereastra. În cazul iluminatului electric s-a introdus conceptul de Raport al Suprafețelor Verticale – RSV [3]. Acesta exprimă densitatea obstrucțiilor situate deasupra planului de lucru prin raportul dintre aria suprafețelor verticale situate deasupra planului de lucru și aria pardoselii. În acest sens s-a propus descompunerea RSV în raportul suprafețelor

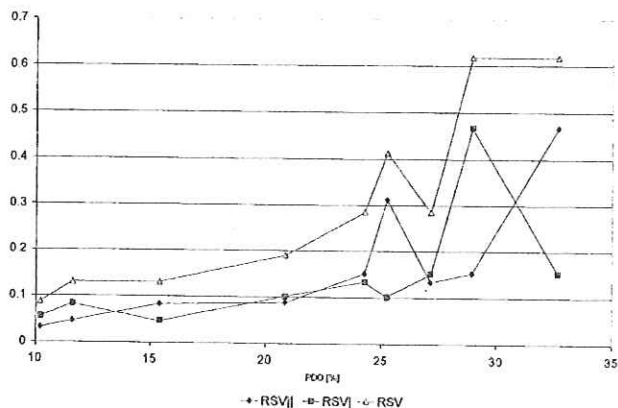


verticale paralele  $RSV_{\parallel}$  și perpendiculare  $RSV_{\perp}$  pentru a determina relațiile de proporționalitate (Notă :  $RSV_{\parallel} + RSV_{\perp} = RSV$ ). În tabelul 1 este prezentată descom-punerea ariei suprafețelor perpendiculare pentru fiecare element al obstrucțiilor.

**Tabelul 1** Aria suprafețelor verticale a elementele obstrucțiilor standard situate deasupra planului de lucru ( $\parallel$  - obstrucții standard cu partiții paralele cu peretele ferestrelor,  $\perp$  - obstrucții standard cu partiții perpendiculare pe peretele ferestrelor)

Element	Lungime [m]	Lățime [m]	Înălțime [m]	Aria supraf. verticale $\parallel$ [m <sup>2</sup> ]	Aria supraf. verticale $\perp$ [m <sup>2</sup> ]	Aria totală [m <sup>2</sup> ]
Fișet	0,64	0,48	1,35	0,768	0,576	1,344
Partiție	1,5	0,025	1,75	3,000	0,050	3,050
Terminal	0,4	0,4	0,4	0,32	0,32	0,64
Persoană						
- cap	0,1	0,2	0,21	0,042	0,084	0,126
- corp	0,1	0,5	0,34	0,068	0,340	0,408

Conform tabelului precedent rezultă că pentru o obstrucție standard mare, aria suprafețelor verticale paralele situate deasupra planului de lucru este  $A_{\parallel} = 4,198\text{m}^2$ , iar a celor perpendiculare  $A_{\perp} = 1,370\text{m}^2$ . Pentru cei  $54\text{m}^2$  și pentru 6 obstrucții standard rezultă că  $RSV_{\parallel} = 0,466$  și  $RSV_{\perp} = 0,152$ , iar  $RSV = 0,618$ . La rotirea obstrucțiilor cu  $90^{\circ}$  valorile  $RSV_{\parallel}$  și  $RSV_{\perp}$  se inversează, iar  $RSV$  rămâne constant, iar PDO scade în medie cu 3,6% pentru cer acoperit și obstrucții mari și cu 4% pentru cer parțial acoperit și obstrucții mari. În această parte s-au utilizat și datele obținute prin modificare densității obstrucțiilor (densitate care poate fi exprimată și prin  $RSV$ ). În aceste condiții tabelele cu rezultate pentru cer acoperit pot fi interpretate în funcție de  $RSV_{\parallel}$ ,  $RSV_{\perp}$  și  $RSV$



**Fig. 5** Variația pierderilor datorate obstrucțiilor funcție de  $RSV_{\parallel}$ ,  $RSV_{\perp}$  și  $RSV$  (pentru cer acoperit)

Din figura 5 se observă că suntem departe de variația liniară a graficului PDO/RSV întâlnită în cazul iluminatului electric. Totuși există o relație de proporționalitate între  $RSV$  și PDO, în special în cazul obstrucțiilor mici și medii, dar care nu se aplică cu ușurință în cazul obstrucțiilor mari (prezența pereților despărțitori). Din aceste motive, teoria valabilă în iluminatul electric [5] se poate aplica iluminatului natural doar cu anumite precauții. În ciuda acestor probleme, simulările au dovedit că o reducere a densității obstrucțiilor conduce la scăderea PDO, iar orientarea partițiilor de la paralel la perpendicular pe planul ferestrelor reduce PDO. Pierderile datorate obstrucțiilor – PDO – reprezintă procentual reducerea iluminării medii pe planul de lucru datorită obstrucțiilor:

$$PDO = \frac{E_{med} - E_{med\ obst}}{E_{med}} \quad (1)$$

unde  $E_{med}$  reprezintă iluminarea medie pe planul de lucru în cazul încăperii goale, iar  $E_{med\ obst}$  - iluminarea medie pe planul de lucru în cazul încăperii cu obstrucții. În același timp, factorul de lumină naturală în cazul cerului acoperit este raportul dintre iluminarea medie de pe planul de lucru din încăpere și luminarea medie exterioară:

$$df = \frac{E_{med}}{E_{ext}} \quad (2)$$

unde  $E_{ext}$  este iluminarea exterioară.

Combinând relațiile (1) și (2):

$$PDO = \frac{E_{med} - E_{med\ obst}}{E_{med}} = \frac{\frac{E_{med}}{E_{ext}} - \frac{E_{med\ obst}}{E_{ext}}}{\frac{E_{med}}{E_{ext}}} = \frac{df - df_{obst}}{df}$$

rezultă că PDO exprimă procentual reducerea factorului de lumină naturală pentru cer acoperit ( $df_{obst}$  factorul de lumină naturală pentru încăpere cu obstrucții).

**Influența poziționării ferestrelor pe laturi adiacente.** S-a observat o reducere nesemnificativă a PDO pentru cer acoperit (reducere cu 2,5% în cazul obstrucțiilor mari și o mărire cu 1% în cazul obstrucțiilor mici). Bineînțeles că valorile iluminărilor medii au crescut (pe data de 15 aprilie ora 10, iluminarea a crescut de la 1570 lx la 2510 lx), ceea ce e în conformitate cu relația factorului de lumină naturală (mărirea suprafeței vitrate  $W$ ), dar pierderile datorate obstrucțiilor au rămas apropiate.

**Influența transmitanței.** În urma modificării transmitanței în intervalul  $0,2 \div 0,9$  a rezultat că



PDO rămân constante indiferent de valoarea transmitanței. Din nou, valoarea iluminării medii este direct proporțională cu transmitanța, în conformitate cu relația factorului de lumină naturală. Iluminarea medie pentru 15 iulie ora 14, crește de la 423 lx, pentru o transmitanță de 0,2, la 1900 lx pentru o transmitanță de 0,9.

*Influența modificării dimensiunilor ferestrelor* (transmitanța rămâne constantă). Din figura 6 rezultă că dimensiunile ferestrei nu au nici un efect asupra PDO în cazul obstrucțiilor mici, dar în cazul obstrucțiilor medii și mari se observă o creștere a PDO cu scăderea ariei ferestrelor sub jumătatea din aria peretelui; această creștere poate să ajungă până la 45% în cazul obstrucțiilor mari. Pentru o mai bună înțelegere a graficului din figura 6, s-a înlocuit aria ferestrelor cu aria raportată a ferestrelor, care reprezintă raportul dintre aria ferestrelor și aria peretelui. Se observă un punct de inflexiune în jurul valorii de 0,5. De aici rezultă o concluzie importantă în ceea ce privește proiectarea ferestrelor și anume că dimensiunile ferestrei nu influențează doar factorul de lumină naturală ci și pierderile datorate obstrucțiilor. De exemplu, în cazul ferestrelor mici a căror arie raportată este în jur de 10%, pierderile datorate obstrucțiilor pot să crească cu 50% față de cazul ferestrelor mari, iar valoarea PDO în cazul obstrucțiilor mari ajung până la 45%. Aceasta înseamnă că factorul de lumină naturală real, în cazul obstrucțiilor mari, poate să scadă cu 45% față de o încăpere goală, fără obstrucții.

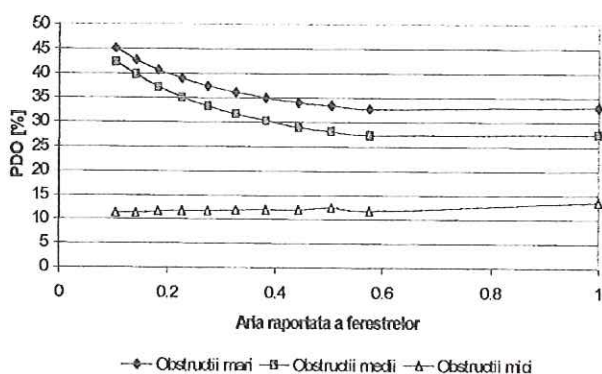


Fig. 6 Variația pierderilor datorate obstrucțiilor, funcție de aria raportată a ferestrelor (pentru cer acoperit)

*Influența reflectanței obstrucțiilor.* A fost simulat efectul măririi reflectanței de la 0,1 până la 0,9, pentru cazul obstrucțiilor standard mari, medii și mici.

Conform simulărilor rezultă clar o relație de proporționalitate între reflectanța obstrucțiilor și reducerea nivelului de iluminare datorită obstrucțiilor - figura 7. În cazul unei valori a reflectanței de 0,1 (mobilier negru mat) avem nivelul cel mai ridicat al pierderilor, de 38,34% iar în cazul reflectanței de 0,9 (mobilier alb) avem nivelul cel mai scăzut de 19,34 (50% din valoarea pentru  $\rho = 0,1$ ). De aici rezultă că reflectanța este un parametru important care influențează PDO. Pentru obstrucții standard mici, în cazul reflectanței de 0,9, reducerea nivelului de iluminare este neînsemnată.

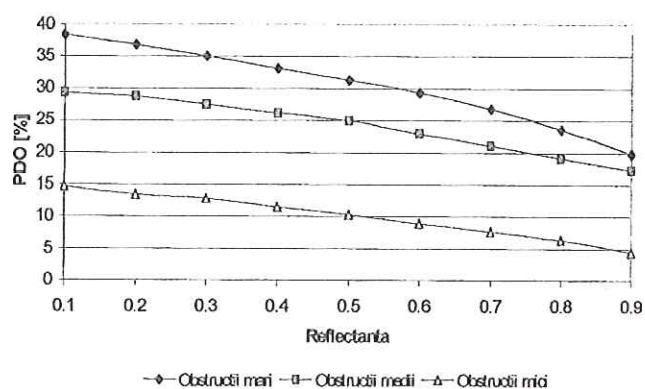


Fig. 7 Variația pierderilor datorate obstrucțiilor, funcție de reflectanță (pentru cer acoperit)

### 3 Controlul iluminatului

În mod normal, prima persoană care intră dimineața într-o încăpere va decide dacă va conecta sau nu iluminatul artificial, în funcție de nivelul iluminatului natural. În cazul în care 'se conectează', este foarte probabil că se conectează toate corpurile de iluminat și așa vor rămâne până când ultima persoană va pleca acasă. Aceste observații sunt baza unui model de conectare manuală realizat de Building Research Establishment, prezentat în figura 8 - [4]. De exemplu, pentru o încăpere cu un factor mediu de lumină naturală de 2,5%, probabilitatea ca sistemul de iluminat artificial să fie conectat la 8 dimineața este de 67% (linie continuă în figura 8). Aceasta înseamnă că în 67% din zilele lucrătoare iluminatul artificial va fi conectat și sunt mari șanse să rămână așa până la sfârșitul programului. Interesul cercetătorilor a fost de a descoperi căi de economisirea energiei electrice prin combaterea efectelor inerției umane.



O posibilă explicație pentru continuarea utilizării iluminatului electric este reducerea factorului mediu de iluminare naturală, determinat de reducerea nivelului mediu de iluminare din încăperea datorită obstrucțiilor (în cazul cerului acoperit). De exemplu, în cazul încăperii studiate factorul mediu de iluminare naturală scade de la 9,2% pentru încăperea goală, la 6,2% (linie întreruptă în figura 8) pentru încăperea cu obstrucții mari, ceea ce înseamnă creșterea probabilității de conectare a sistemului de iluminat artificial.

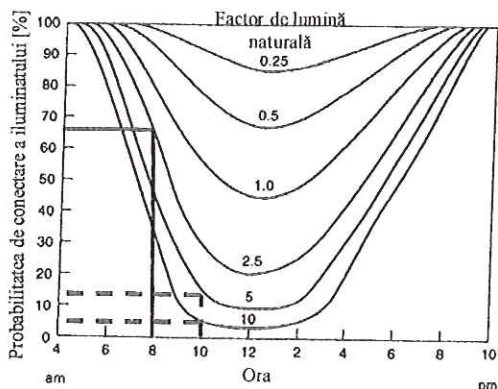


Fig. 8 Probabilitatea de conectare manuală a iluminatului la un anumit moment al zilei, funcție de factorul de lumină naturală mediu – [4]

#### 4 Concluzii

La fel ca și în cazul iluminatului electric, s-a confirmat că unii din factorii majori care influențează PDO în cazul sistemelor de iluminat natural sunt dimensiunile și densitatea obstrucțiilor. Dacă în cazul cerului acoperit, valorile PDO sunt independente de oră, lună și orientarea ferestrelor, pentru cer senin și parțial acoperit avem fluctuații mari de-a lungul zilei și în funcție de acești parametri. De data aceasta, reflectanța obstrucțiilor apare și ea ca un factor major.

În cazul iluminatului natural, PDO exprimă și reducerea factorului de lumină naturală, în cazul cerului acoperit. Spre deosebire de iluminatul electric, nu s-a putut determina o formă general valabilă a graficului PDO/RSV și, în ciuda numărului mare de rezultate care formează o bază de date mare, nu s-a putut propune o formulă modificată a factorului de lumină naturală, *df*. La iluminatul natural suntem departe de variația liniară a graficului PDO/RSV întâlnită în cazul iluminatului electric. Totuși există o relație de proporționalitate între RSV și

PDO, în special în cazul obstrucțiilor mici și medii, dar care nu se mai aplică în cazul obstrucțiilor mari (prezența pereților despărțitori. În ciuda acestor probleme, simulările au dovedit că o reducere a densității obstrucțiilor conduce la scăderea PDO, iar orientarea partițiilor de la paralel la perpendicular pe planul ferestrelor reduce PDO.

Cercetările au găsit o posibilă explicație pentru continuarea utilizării iluminatului electric și anume reducerea factorului mediu de iluminare naturală, determinat de reducerea nivelului mediu de iluminare din încăperea datorită obstrucțiilor (în cazul cerului acoperit).

Cercetările în domeniul obstrucțiilor trebuie incluse în codurile sau recomandările de iluminat interior, datorită implicațiilor comerciale. O primă problemă o reprezintă cazul în care se verifică nivelul de iluminare într-o încăpere mobilată și când, datorită prezenței unor obstrucții mari, nivelul de iluminare măsurat poate să ajungă sub nivelul de iluminare minim recomandat, ceea ce creează o situație conflictuală între proiectant și beneficiar. Un alt caz îl reprezintă proiectanții avizați asupra problemei obstrucțiilor, dar care au nevoie de recomandări cuprinse în Codul de iluminat interior, pentru ca să-și justifice soluțiile alese și costurile legate de mărirea numărului de corpuri de iluminat.

O problemă avută în vedere este cea legată de mobilitatea mobilierului și echipamentului în interiorul birourilor. Poziția acestor obstrucții se schimbă des, ceea ce face ca proiectarea sistemelor de iluminat pornind de la mobilarea propusă inițial de arhitect să nu aibă relevanță în timp. În acest caz, utilizarea obstrucțiilor standard se dovedește a fi singura soluție pentru estimarea pierderilor datorate obstrucțiilor, fie prin metoda manuală propusă, fie prin utilizarea unor programe de calcul al sistemelor de iluminat (care pot lua în considerare și obstrucții).

#### BIBLIOGRAFIE

- [1]: Begemann, S.H., van den Beld, G.J., Tenner, A., Acceptance and preference of illuminance in offices, Proc. LuxEuropa 1997, p. 130-143, 1997.



- [2]: Beu, D., Pop, F., Studiu privind efectul obstrucțiilor asupra iluminatului natural din birouri, Revista Ingineria Iluminatului, nr. 1, p. 40-45, 1999.
- [3]: Carter, D.J., Leung, A.S.M., Lupton, M., A lighting design method for non-empty interior, 23<sup>rd</sup> Session of the CIE, p168-172, 1995
- [4]: Coaton, J.R., Marsden, A.M., Lamps and Lighting, Arnold and Contributors, London, 1997.
- [5]: Pop, F., Beu, D., Energy Efficient Office Lighting, International Illuminating Engineering Conference BALKAN LIGHT'99, Varna, p. 93-98, 1999
- [6]: \*\*\*, Lumen-Micro 7.5, URL: [www.lighting-technologies.com/Lumen\\_Micro.htm](http://www.lighting-technologies.com/Lumen_Micro.htm)

## REDUCTION OF DAYLIGHT ILLUMINANCE DUE TO OBSTRUCTIONS – INFLUENCE FACTORS

### Abstract

As in the case of electric lighting [3] it is confirmed that one of the major factors that influence the obstruction light losses for daylight interior are the dimensions and density of obstructions. Also the obstructions reflectance is one of the major factors. Illuminance reduction is identically, in the case of overcast sky, with daylight factor reduction.

From the simulation results, the range of obstruction light losses is the following:

- offices with usual equipment (VDTs, paper rack, small cabinets etc.) : between 10 and 25%.
- offices with many high vertical surfaces (partitions, high cabinets etc.): till 40%.

Minor factors of influence are: a) windows dimensions (just in the case when the ratio between window area and wall area is under 0.2 there are important influences); b) windows on both sides; c) use of electric lighting; influence only when daylight level is low; d) obstructions orientation – partition orientation from parallel to perpendicular to the windows area lead to small improvement of illuminance.



Dorin BEU, șef lucrări

E-mail: [dorin\\_beu@mail.dntej.ro](mailto:dorin_beu@mail.dntej.ro)

Absolvent al secției Instalații pentru Construcții a UTCN. Stagii de perfecționare și cercetare în domeniul iluminatului la Universitatea din Liverpool, CSTB-Grenoble, Universitatea Tehnologică din Helsinki și Universitatea Politehnică din Catalonia. A realizat și coordonat numeroase proiecte de iluminat interior și architectural.



Florin POP, Profesor Dr.

E-mail: [Florin.Pop@insta.utcluj.ro](mailto:Florin.Pop@insta.utcluj.ro)

Absolvent al Facultății de Electrotehnică Cluj. Vicepreședinte CNRI – Comitetul Național Român de Iluminat. Membru al ILE - Institution of Lighting Engineers, Rugby, Anglia. A participat la programe de cercetare și documentare la universități din Liverpool, Lyon, Berlin, Barcelona, Berkeley, Helsinki și Napoli. Conducător de doctorat în specialitatea Instalații pentru Construcții. Își desfășoară activitatea didactică și științifică în Instalații Electrice & Iluminat. Autor a numeroase lucrări la conferințe internaționale și cărți.

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca  
Str. C. Daicoviciu nr. 15, RO-3400 Cluj-Napoca



# HISTORY OF ROAD LIGHTING RESEARCH AS A GUIDE FOR FUTURE RESEARCH

Wout van BOMMEL  
Philips Lighting

## Introduction

In this paper we describe the more original research approaches of the past 80 years. We think that this "tour" through the past can learn us a lot, also as a tool for guidance of future road lighting research.

In chronological order, road-lighting research was aimed at:

- Visibility (1920 -)
- Visual comfort (1950 -)
- Analysis of accidents (1960 -)
- Analysis of driving task (1970 -)
- Personal security of residents and pedestrians (1980 -)
- Facilitating traffic flow (1990 -)

### 1. Visibility (1920 -)

In the early nineteen-twenties, Waldram, active so far in gas lighting, started research on the visibility of objects on lighted roads [1]. In those days, motorised traffic was still in its infancy and road lighting was usually provided by gas lanterns. On the basis of his research Waldram defined the "silhouette principle" of road lighting: most obstacles on lighted roads (fixed lighting) are seen as dark silhouettes against the bright road surface. This, in turn, has been the key to the development of the luminance concept of road lighting as still used today.

This type of visibility research led in 1965 to the first CIE Recommendations for Road Lighting [2]. It is interesting to note that by that time motorised traffic had changed tremendously, as had road lighting installations (speeds of more than 120 km/h and the first traffic jams were "in place", while gas discharge lighting was used instead of gaslights).

In 1979 [4,5], the author of this paper used Waldram's original concept of "revealing

power" to demonstrate the influence that the lighting parameters, luminance level ( $L_{av}$ ), uniformity ( $U_o=L_{min}/L_{av}$ ) and glare (threshold increment TI), have on the visibility of small objects. We calculated the visibility of a typical set of objects defined by the probability of the occurrence of a reflection factor of pedestrian clothing.

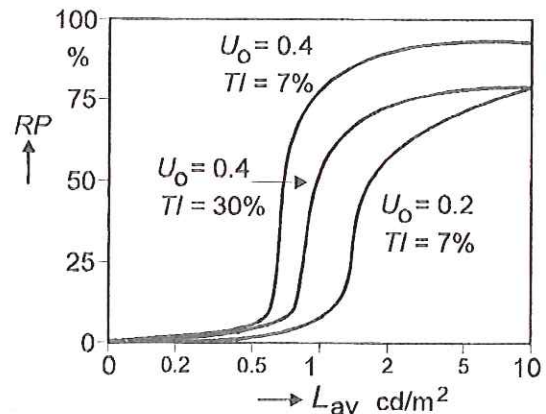


Fig. 1 Revealing power (RP) at the darkest location on the road as a function of the average road-surface luminance ( $L_{av}$ ) for three different combinations of overall uniformity ( $U_o$ ) and threshold increment (TI).

Fig. 1 gives the results. It can be seen that luminance levels between 1 and 2  $cd/m^2$ , uniformities of around  $U_o=0.4$  and TI values not much larger than 10 to 15 per cent should be considered there where visibility of small objects from a larger distance is important. In the sixties and seventies this was a relevant requirement, given the traffic density situation of those days. Today this requirement is not so relevant during periods of peak traffic. It does become relevant, however, immediately after the traffic peak when the roads surface is no longer "hidden" by all the vehicles, and when traffic speed again increases, making visibility at longer distances again important for safety.



Here we have a clear indication that today, flexible, adaptable road lighting is important.

## 2. Visual comfort (1950 -)

In the fifties and sixties, de Boer was one of the first researchers to add visual comfort to the pure visibility aspect of road lighting [3]. This was felt to be important in view of the fact that high-speed road users were making use of relatively comfortable motorways for relatively long drives. Much of this kind of research was carried out on real roads with real drivers in normal cars. Fig. 2 gives appraisal results of drivers driving on different lighted main roads along with results of drivers driving on secondary roads [6,8].

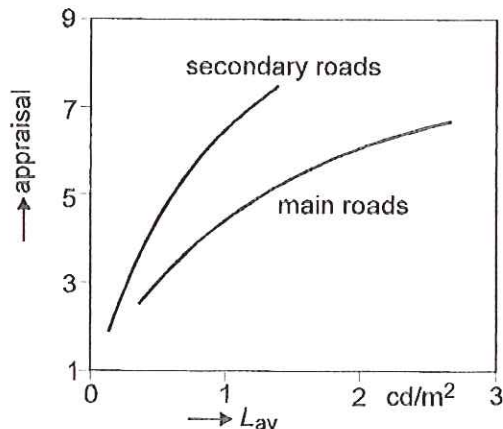


Fig.2 Appraisal of lighting level as a function of the average road-surface luminance ( $L_{av}$ ). The appraisal scale corresponds to: 1 bad, 3 inadequate, 5 fair, 7 good, and 9 excellent. De Grijs, de Boer [6,8].

In 1977 this type of research, together with newer investigations on visibility, resulted in a second edition of the CIE Recommendations for Road Lighting [7].

Sometimes scale models were used to investigate visual comfort, often so that the dynamic aspects could again be studied. In the early-seventies Walthert [9] used a dynamic road-lighting simulator (scale 1:50) to investigate the influence of the luminaire spacing on the appraisal of uniformity. His results are not taken into account in any road-lighting recommendations. This is probably because in those days there was in practice little variation in luminaire mast heights and spacing. Today, however, mast heights for the

lighting of roads for motorised traffic may vary between 10 and 20 meters, and corresponding luminaire spacings may vary from some 30 metres to as much as 80 metres. This means that the type of research carried out by Walthert becomes more relevant today than it was at the time. Fig. 3 shows the results of Walthert. It can be seen that as the spacing is increased (the average road-surface luminance being kept constant), the longitudinal uniformity can be decreased without it receiving a lower appraisal.

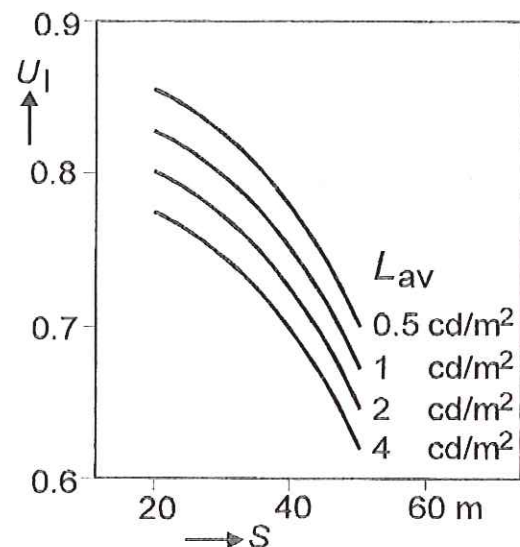


Fig.3 Just-acceptable longitudinal uniformity ( $U_l$ ) as a function of luminaire spacing ( $s$ ) for four values of the average road-surface luminance ( $L_{av}$ ). Driving speed 50 km/h. Walthert [9].

This finding can be attributed to the positive influence that a decrease in luminance gradient (viz. the rate of change of luminance with distance traveled) has on the appraisal of uniformity. For the same reason, in 1963 de Boer and Knudsen [10] proposed including the so-called "relative maximum luminance slope ( $S_{max}$ )" in road-lighting recommendations.  $S_{max}$  is defined as the maximum luminance variation found over any 1 meter distance measured transversely or 3 meters measured longitudinally, expressed as a percentage of the average road-surface luminance. In fact, their proposal was based on appraisals also carried out using a dynamic road-lighting simulator. In the context of today's much larger spacing, this proposal and research should receive renewed interest.



### 3. Analysis of accidents (1960 -)

In the sixties, the many accident statistics with lighting as a parameter became available: usually statistics involving comparisons of lighted and unlighted, or poorly-lighted roads. Probably the most comprehensive study of the effect of lighting on traffic accidents, where all the then-known lighting parameters were taken into account, has been carried out in the UK in the late seventies (Green and Hargroves [11]). The lighting parameter showing the strongest relationship with the night-time/daytime accident ratio was the average road-surface luminance. Fig. 4 shows this relationship.

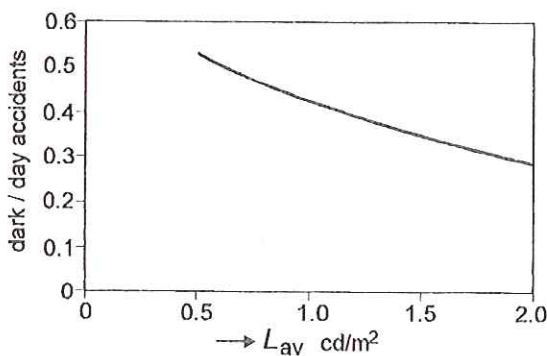


Fig.4 The relationship between dark/day accident ratio (vertical scale) and the average road-surface luminance ( $L_{av}$ ). Hargroves [11].

Accident studies never played a deciding role in describing the quality parameters of road lighting. They have played a role, however, in decisions on whether or not to light particular roads. In this context a comprehensive analysis of 62 studies from 15 countries published by CIE in 1992 [13] has much relevance for decisions on lighting roads today. A general conclusion given in this publication for the purpose of evaluating road lighting as an accident countermeasure is that road lighting may indeed reduce night accidents, under the condition that it is well designed, installed and maintained. The same publication states that the most reliable studies show accident reductions of between 13 and 75 per cent.

### 4. Analysis of driving task (1970 -)

In this period, the driving task has become very much more complicated. It is no longer sufficient to study the visibility of objects

placed some 100 to 150 metres in front of the observer in the middle of the straight and more or less empty road. Many of the decisions a motorist makes are based on the interpretation of the visual information available. This includes details of the carriageway, such as road-surface markings, the road's immediate surroundings, the run of the road ahead, the presence or otherwise of other vehicles such as cars and bicycles, pedestrians on or close to the carriageway and, of course, possible obstacles on the road. Good anticipation is important, and supra-threshold visibility is therefore a requirement. In 1975 Gallagher [14] defined a measure for supra-threshold visibility, called the visibility index (VI), that can be calculated from the lighting installation's photometric data. He also investigated driver performance on city streets in the USA in more or less complex surroundings [15]. The driver performance was measured as the "target avoidance manoeuvre" of over 1300 unalerted motorists. The criterion employed was the time separation between vehicle and target at the moment an avoiding manoeuvre was started (time to target). The target used was three dimensional with a total height of 36 cm. The reflectance of the target was 18 per cent. Gallagher showed (Fig.5) that there exists a good relationship between time to target and visibility index.

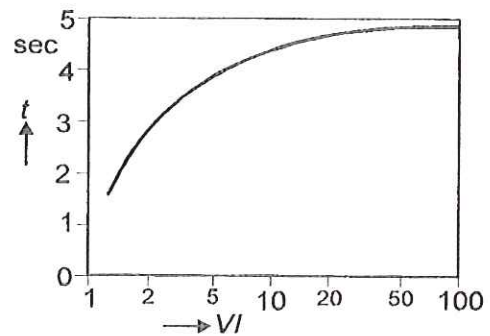


Fig. 5 Motorists' performance represented by time to target ( $t$ ) at the moment of starting an avoiding maneuver, as a function of visibility index (VI). Gallagher [15].

Since Gallagher's introduction of visibility index, many other researchers, especially in North America, have refined the concept. Today, as a result, Small Target Visibility (STV) [16] is being considered for road-lighting specifications in North America. One



should realise that it is always possible for visibility with one specific object or target (and thus one definition of visibility) to be good, while with the same road-lighting installation and a different object it is bad. Using only one visibility measure as basis for road-lighting installations is therefore dangerous.

Of course, visual comfort is not included at all in such a visibility measure. It is possible that a visibility measure shows good values while the longitudinal uniformity is dangerously low for visual comfort. Moreover, as discussed earlier in this paper, the driving task involves rather more than just avoiding objects lying on the road in front of a driver. For example, the author of this paper conducted a series of tests in which the scene was viewed dynamically and the "objects" to be detected were pedestrians [17]. These pedestrians were not on the carriageway, but adjacent to it, 3 metres away from the kerb. Fig.6 shows the results.

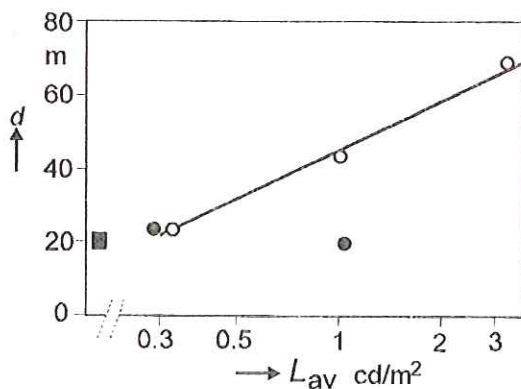


Fig 6 Average detection distance ( $d$ ) of ten drivers driving at 40 km/h for pedestrians on the road side 3 metres away from the kerb, as a function of the average traffic-lane luminance ( $L_{av}$ ). (Open dots with line: bright surrounds, 40 % of the average illuminance on the traffic lane itself; dark dot: dark surrounds; dark square symbol: car lights only.)

The increase in visual performance is considerable up to a lighting level of  $3.4 \text{ cd/m}^2$ . This is provided the immediate surroundings of the traffic lanes are bright enough. Road lighting of poor quality (level around  $0.3 \text{ cd/m}^2$ ) is no better than no road lighting at all for detecting pedestrians 3 m. away from the kerb side.

Another task for a car driver is position keeping in the traffic stream. Detection of change of angular size of the rear of the vehicle being followed is the important visual element of this

task. In the late seventies, in a laboratory simulation, Fisher and Hall [18] studied the time taken to react to a change in this visual angle (viz. the time taken to react to a slowing down of a car in front). The results are given in Fig. 7 for an initial distance between observer and vehicle of 40 metres and for two deceleration rates of the leading vehicle.

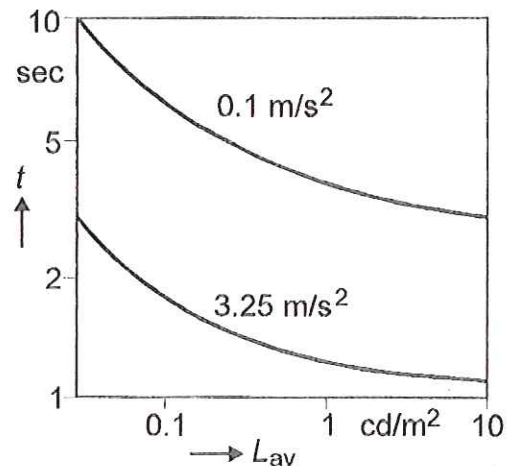


Fig.7 Time ( $t$ ) taken to detect change of visual angle of a leading car as function of the average road-surface luminance ( $L_{av}$ ). Fisher and Hall[18].

It can be seen that for low values of  $L_{av}$  the detection time is relatively large and decreases rapidly as  $L_{av}$  is increased.

This research has seldom been used and quoted in road-lighting recommendations, although it would seem to be especially relevant for today's traffic situation. Traffic congestion on motorways will develop less quickly if car drivers are able to more quickly notice that a car in front is slowing down (before really braking and showing braking lights!).

## 5. Personal security of residents and pedestrians (1980 -)

Since the eighteenth century, systematic approaches to the lighting of streets have been reported [12]. The objective in those days was the reduction of the crime rate in the streets after dark. It is surprising to see that in the present century, up until the late seventies, road lighting is seen mostly in the context of motorised traffic. One of the first systematic studies into the needs of residents and pedestrians in residential streets, with the emphasis on personal security, was carried out



by Caminada and van Bommel and published in 1980 [20]. In this publication we state that lighting in a street should permit of mutual recognition before coming almost face to face, and that it should provide sufficient visual information regarding a person anywhere in the street while he or she is still a reasonable distance away. The most important finding of the field study is that the illuminance best suited for use in achieving a specified recognition distance is the semicylindrical illuminance. Where security in streets could be a problem it is therefore recommended that, in addition to analysing the more conventional lighting parameters, the semicylindrical illuminance should also be examined [19]. Proposals, based on an analysis of consecutive studies by many others have been made to further refine this approach [21]. Taking into account the growing importance of security in streets, further analysis of these proposals is relevant.

## 6. Facilitating traffic flow (1990 -)

Fisher and Hall investigated the relation between road-surface luminance and the possibility of a car driver to more easily keep position in the traffic stream as long ago as 1976. As described in Section 6 of this paper, this type of research is very relevant for today's traffic situation in order to help minimise the development of traffic congestion.

A whole new development is the use of lights to direct traffic to different traffic lanes according to the actual degree of traffic congestion. More lanes with low-speed traffic can be used when there is traffic congestion, while fewer and wider lanes should be used by high-speed traffic as soon as the congestion is over. One of the possibilities is the introduction of dynamic road marking with fibre-optics lighting built into the road surface. This new concept has been described in a paper given at the recent CIE Session in Warsaw in June of this year [22].

## 7. Conclusion

Some of the road-lighting research dealt with in this paper merits renewed attention, as indicated in the relevant descriptions. This has

become quite evident when one views this research in the context of today's situation, which is characterised by a complex driving task, a large variety in traffic density after dark, and a regular occurrence of traffic congestion. It is the approaches adopted in this research that is of interest today, and to a lesser extent their findings.

## 8. References

- [1] Waldram, J.M., "Formation of bright patches", *The Illuminating Engineer* (1934).
- [2] CIE, "International recommendations for the lighting of public thoroughfares", CIE Publ. No. 12 (1965).
- [3] de Boer, J.B., Burghout, F., van Heemskerck Veeckens, J.F.T., "Appraisal of the quality of public lighting based on road-surface luminance and glare", CIE 14<sup>th</sup> Session, Brussels (1959).
- [4] van Bommel, W.J.M., "Interrelation of road-lighting quality criteria", *Lichtforschung* (1979).
- [5] van Bommel, W.J.M., de Boer, J.B., "Road Lighting", Kluwer (ISBN 90 201 1259 7) (1980).
- [6] de Grijs, J.C., "Visuele beoordeling van verlichtingscriteria in den Haag en Amsterdam", *Elektrotechniek* (The Netherlands), (1972).
- [7] CIE, "Recommendations for the lighting of roads for motorised traffic", CIE Publication 12 (sec. ed.), (1977).
- [8] de Boer, J.B., "Quality aspects in public lighting", *Engineering Report 24*, Philips, Eindhoven (1972).
- [9] Walthert, R., "The influence of lantern arrangement and road-surface luminance on subjective appraisal and visual performance in street lighting", CIE 18<sup>th</sup> Session, London (1975).
- [10] de Boer, J.B., Knudsen, B. "The pattern of road luminance in public lighting", CIE 15<sup>th</sup> Session, Vienna (1963).
- [11] Green, J., Hargroves, R.A., "A mobile laboratory for dynamic road-lighting measurement", *Lighting Research and Technology* (1979).



- [12] Hargroves, R.A., "Road lighting", IEE Proceedings (1983).
- [13] CIE, "Road lighting as an accident countermeasure", CIE publication No. 93 (1992).
- [14] Gallagher, V.P., Meguire, P.G., "Contrasts requirements of urban driving", Transportation Research Board Special Report 156, Washington (1975).
- [15] Gallagher, V.P., "A visibility metric for safe lighting of city streets", Journal of IES (1976).
- [16] CIE, "Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic", CIE Publication 115 (1995).
- [17] van Bommel, W.J.M., Tekelenburg, J., "Visibility research for road lighting based on a dynamic situation", Lighting Research and Technology (1986).
- [18] Fisher, A.J., Hall, R.R., "Road luminances based on detection of change of visual angle", Lighting Research and Technology (1976).
- [19] CIE, "Guide to the lighting of urban areas", CIE Publication No. 92 (1992).
- [20] Caminada, J.F., van Bommel, W.J.M., "New considerations for residential areas", International Lighting Review (1980).
- [21] van Bommel, W.J.M., "Public lighting and the residential function", CIE 22<sup>nd</sup> Session, Melbourne (1991).
- [22] Sools, F., de Winter, A., Heerkens, J. van der Poel, L., "Dynamic road marking", CIE 24<sup>th</sup> Session, Warsaw (1999).



Wout van Bommel obtained his degree in physics, with specialisation in lighting engineering, at the University of Technology in Eindhoven, the Netherlands.

On joining Philips Lighting in 1972, he is now responsible for the company's world-wide lighting application activities as manager of Philips' central Lighting Design and Application Centre (LiDAC Central).

He is member of the Lighting Societies of the Netherlands, North America (IES), and the United Kingdom's Chartered Institution of Building Engineers (CIBSE) and Institution of Lighting Engineers (ILE). He has been Chairman of the "Tunnel lighting" and "Glare for Outdoor Areas" Committees of the International Commission on Illumination (CIE). The world-wide accepted glare evaluation system for outdoor sports originates from him (Glare Rating GR). From 1995 he is one of CIE's Vice Presidents.

He regularly lectures on both in- and outdoor lighting subjects and has published in many national and international lighting journals. He is the author of the book "Road Lighting".

Ir. Wout van Bommel  
 Lighting Design and Application Centre  
 (LiDAC Central)  
 Philips Lighting  
 Bld. ED-2  
 P.O. Box 80020  
 5600 JM Eindhoven  
 The Netherlands  
 Email: wout.van.bommel@philips.com

## **Istoria iluminatului stradal ca ghid pentru cercetările viitoare**

### **Introducere**

Acest document descrie cele mai originale aspecte ale cercetării din ultimii 80 de ani. Noi credem că această "trecere" prin trecut ne poate învăța multe și, de asemenea, poate fi un instrument de îndrumare în viitoarea cercetare a iluminatului stradal.

În ordine cronologică, cercetarea în iluminatul stradal a fost orientată către:

- **Vizibilitate (1920 - )**
- **Confort vizual (1950 - )**
- **Analiza accidentelor (1960 - )**
- **Analiza sarcinii de conducere (1970 - )**
- **Securitatea personală a rezidenților și pietonilor (1980 - )**
- **Controlul traficului (1990 - )**



## 1. Vizibilitatea (1920 - )

La începutul anilor 1920, Waldram, care până atunci s-a ocupat de iluminatul cu petrol, a pornit cercetările legate de vizibilitatea obiectelor pe șoselele iluminate [1]. În acele vremuri, traficul motorizat era încă în stadiul incipient iar iluminatul stradal era făcut cu lămpi cu petrol. Pe baza cercetărilor sale, Waldram a definit "principiul siluetei" în iluminatul stradal: cele mai multe obstacole pe drumurile iluminate (iluminat fix) sunt văzute ca siluete întunecate care apar în contrast cu suprafața strălucitoare a drumului. Aceasta a fost cheia dezvoltării conceptului de luminanță în iluminatul stradal care este încă utilizat și în prezent.

Acest tip de cercetare a vizibilității a condus în 1965 la primele Recomandări CIE pentru Iluminatul Stradal [2]. Este interesant de remarcat că din acele vremuri traficul motorizat s-a modificat dramatic, așa cum s-au modificat și instalațiile de iluminat (viteze mai mari de 120 km/h și primele ambuteiaje aveau deja loc pe timpul trecerii de la iluminatului cu petrol la cel cu descărcări în vapori de gaz).

În 1979 [4, 5], autorul acestei lucrări a folosit conceptul original al lui Waldram al "puterii indicate" ( $RP$  - revealing power) pentru a demonstra influența pe care parametrii de iluminat, luminanța ( $L_{med}$ ), uniformitatea ( $U_0 = L_{min}/L_{med}$ ) și orbirea (indicele de creștere a pragului de contrast  $TI$ ), o au asupra vizibilității obiectelor mici. S-a calculat vizibilitatea pentru un set tipic de obiecte definită prin probabilitatea de apariție a factorului de reflexie pentru îmbrăcămintea pietonilor.

Rezultatele obținute sunt prezentate în figura 1. Se observă că nivelurile de luminanță cuprinse între 1 și 2  $cd/m^2$ , uniformitatea în jur de  $U_0 = 0,4$  și valorile lui  $TI$  nu mai mari de 10 - 15 procente ar trebui luate în considerare acolo unde vizibilitatea obiectelor mici de la distanță mai mare este importantă. În anii șaizeci - șaptezeci, aceasta era o cerință importantă, determinată de densitatea traficului din acea vreme. Astăzi, această cerință nu mai este atât de relevantă în momentele de vârf de trafic. Totuși, ea devine relevantă imediat după scăderea traficului, când suprafața șoselei nu mai este "ascunsă" de vehicule și atunci când viteza traficului crește, făcând ca vizibilitatea la

distanțe mari să fie importantă pentru siguranța traficului. Aici avem o indicație clară, care ne arată că în prezent este important un iluminat stradal flexibil și adaptabil.

## 2. Confortul vizual (1950 - )

În anii 50 - 60, de Boer a fost unul dintre primii cercetători care a adăugat confortul vizual la vizibilitatea în iluminatul rutier [3]. Acesta a început să își facă simțită prin faptul că autostrăzile permit un trafic relativ confortabil în călătorii relativ lungi. O mare parte din cercetare a fost efectuată pe drumuri reale, cu șoferi reali în mașini normale. Figura 2 prezintă aprecierile șoferilor conducând pe străzi principale iluminate diferit alături de cele ale șoferilor care au condus pe străzi secundare [6, 8].

În 1977 această cercetare, împreună cu noi investigații legate de vizibilitate, s-a finalizat prin cea de-a II-a ediție a Recomandărilor CIE pentru Iluminatul Rutier [7].

Câteodată au fost folosite modele la scară pentru a cerceta atât confortul vizual, cât și aspectele dinamice. La începutul anilor '70 Walthert [9] a folosit un simulator rutier dinamic (scara 1:50) pentru a vedea influența distanței relative dintre corpurilor de iluminat asupra uniformității. Rezultatele sale nu au fost luate în considerare în nici o recomandare de iluminat stradal. Aceasta poate fi din cauză că în acele vremuri era o gamă redusă de tipuri de stâlpi de iluminat - înălțime și distanță între aceștia. Oricum, în zilele noastre, înălțimea la care sunt amplasate corpurile de iluminat stradal poate fi între 10 și 20 metri, iar distanța de spațiere între aceștia poate fi între 30 și 80 metri. Asta înseamnă că cercetarea făcută de Walthert devine mai relevantă pentru momentul actual decât era atunci. Figura 3 prezintă rezultatele lui Walthert. Se poate vedea că pe măsură ce crește distanța de spațiere (luminanța medie pe suprafața drumului fiind constantă), uniformitatea longitudinală poate fi scăzută fără să se constate o scădere a evaluării (a percepției) acesteia.

Această descoperire poate fi atribuită influenței pozitive pe care o are scăderea gradientului de luminanță (rata de modificare a luminanței în funcție de distanța parcursă)



asupra evaluării uniformității. Din același motiv, în 1963 de Boer și Knudsen [10] propun includerea așa-zisei "panta luminanței maxime relative ( $S_{max}$ )" în recomandările pentru iluminatul rutier.  $S_{max}$  este definită ca variația maximă a luminanței obținută pe orice distanță de 1 metru măsurată transversal sau de 3 metri măsurați longitudinal, exprimată ca un procent al luminanței medii pe suprafața drumului. De fapt, propunerea lor s-a bazat pe evaluări realizate cu ajutorul unui simulator dinamic pentru iluminatul rutier. În contextul actual, în care spațierea este din ce în ce mai mare, acest proiect și cercetările aferente ar putea prezenta din nou interes.

### 3. Analiza accidentelor (1960 - )

În anii '60, au început să apară multe statistici de accidente de circulație având ca parametru iluminatul: în mod uzual, statistici prezentând comparații între drumuri iluminate și neiluminate sau slab iluminate. Probabil, cel mai complet studiu privind efectul iluminatului în accidentele de circulație, în care toți parametrii iluminatului cunoscuți în acea perioadă au fost luați în considerare, a fost realizat în Marea Britanie la sfârșitul anilor '70 (Green și Hargroves [11]). Parametrul de iluminat, arătând cea mai strânsă relație dintre accidentele pe timp de zi/noapte, a fost luminanța medie a suprafeței drumului. Figura 4 arată această relație.

Studiile asupra accidentelor nu au jucat niciodată un rol major în descrierea calității parametrilor iluminatului rutier. Totuși, acestea au jucat un rol în deciziile de a ilumina sau nu anumite drumuri. În acest context, o analiză detaliată a 62 de studii din 15 țări publicată de CIE în 1992 [13] are multă relevanță în iluminatul drumurilor din zilele noastre. O concluzie generală dată în această publicație, referitor la scopul evaluării iluminatului stradal ca o contramăsură a accidentelor, este că s-ar putea reduce accidentele pe timpul nopții, în condițiile unui iluminat bine proiectat, instalat și întreținut. Aceeași publicație arată că se poate face o reducere cu 13 până la 75 % a accidentelor.

### 4. Analiza sarcinii de conducere (1970-)

În această perioadă, sarcina de conducere (șofatul) a devenit mult mai complicată. Nu mai este suficient să se studieze vizibilitatea obiectelor situate la 100-150 de metri în fața observatorului, în mijlocul unui drum drept mai mult sau mai puțin aglomerat. Multe din deciziile luate de către un conducător auto sunt bazate pe interpretarea informațiilor recepționate pe cale vizuală. Acestea ar fi detalii ale drumului, cum ar fi: marcaje de pe șosea, împrejurimile drumului, prezența altor vehicule, mașini, biciclete și pietoni pe sau lângă șosea, și bineînțeles alte obstacole posibile. O bună anticipare este importantă și vizibilitatea de supra-prag este în consecință o necesitate. În 1975 Gallagher [14] a definit un sistem de măsurare a vizibilității de supra-prag, numit index de vizibilitate ( $IV$ ), care poate fi calculat din datele fotometrice obținute de la instalațiile de iluminat. A studiat de asemenea performanțele de conducere pe străzile din SUA, pe drumuri cu împrejurimi mai mult sau mai puțin complexe [15]. Performanța șoferului a fost măsurată, ca "manevră de evitare a țintei", la peste 1300 de conducători auto neavertizați. Criteriul implicat a fost intervalul de timp dintre vehicul și țintă, la momentul în care o manevră de evitare a fost inițiată (timpul până la țintă). Ținta folosită a fost tridimensională, cu o înălțime de 36 cm. Reflectanța țintei a fost de 18%. Gallagher a arătat (fig. 5) că există o relație clară între timpul până la țintă și indexul de vizibilitate.

De la introducerea indexului de vizibilitate a lui Gallagher, mulți alți cercetători, în special din America de Nord, au dezvoltat conceptul. Ca rezultat, în zilele noastre Vizibilitatea Țintelor Mici ( $STV$ ) [16] este luată în considerare ca normă în specificațiile pentru iluminatul stradal din America de Nord. La un moment dat, se poate ca vizibilitatea unui obiect să fie bună la un anumit tip de iluminare stradală, dar în același timp, vizibilitatea pentru un alt obiect același tip de iluminat stradal să conducă la o vizibilitate scăzută. Folosirea unei singure



măsurări de vizibilitate ca bază pentru iluminatul stradal poate fi riscantă.

Desigur, confortul vizual nu este inclus deloc într-o astfel de măsurare a vizibilității. Este posibil ca o măsurare de vizibilitate să prezinte valori bune în timp ce uniformitatea longitudinală este periculos de scăzută pentru confortul vizual. Mai mult, așa cum s-a discutat mai devreme în această lucrare, sarcina de a conduce implică mai mult decât doar evitarea obiectelor care se găsesc pe drum în fața conducătorului auto. De exemplu, autorul acestui studiu a condus o serie de teste în care scena era văzută dinamic și obiectele care trebuiau detectate erau pietonii [17]. Acești pietoni nu erau pe stradă, ci adiacent, la 3 metri de bordură. Figura 6 prezintă rezultatele.

Creșterea performanței vizuale este considerabilă până la un nivel de 3 – 4 cd/m<sup>2</sup>. Acest nivel asigură o strălucire suficientă a împrejurimilor. Iluminatul stradal cu lămpi de proastă calitate (la un nivel în jur de 0,3 cd/m<sup>2</sup>) nu este cu nimic mai bun decât un drum neiluminat deloc pentru a detecta un pieton la o distanță de 3 m față de bordură.

O altă sarcină care este cerută conducătorului auto este menținerea poziției în trafic. Detectarea schimbării dimensiunii unghiulare a spatelui vehiculului urmărit este elementul cheie. La sfârșitul anilor '70, într-o simulare de laborator, Fisher și Hall [18] au studiat timpul necesar pentru a reacționa la o schimbare a acestui unghi vizual (timpul necesar pentru a reacționa la încetinirea mașinii din față). Rezultatele sunt prezentate în figura 7, pentru o distanță inițială de 40 m între observator și vehicul și pentru două trepte de frânare a vehiculului din față. Se poate observa că la valori mici ale lui  $L_{av}$ , timpul de detectare este relativ lung și scade rapid odată cu creșterea  $L_{av}$ .

Acest studiu a fost rar folosit în recomanările pentru iluminatul stradal, dar pare să fie în mod special relevant pentru traficul din zilele noastre. Congestiile de trafic de pe autostrăzi ar avea loc mult mai rar dacă conducătorii auto ar putea să își dea seama mai devreme când mașina din față încetinește (înainte de a se aprinde efectiv luminile de frânare).

## 5. Securitatea personală a rezidenților și pietonilor (1980 -)

Încă din secolul optsprezece au început să apară abordări sistematice ale iluminatului stradal [12]. Obiectivul în acele vremuri era reducerea ratei criminalității stradale după lăsarea întunericului. Este surprinzător de constatat că în secolul XX, până la sfârșitul anilor '70, iluminatul rutier este considerat cel mai mult în contextul traficului motorizat. Unul dintre primele studii sistematice legat de necesitățile rezidenților și pietonilor, cu accent pe securitatea personală, a fost realizat de către Caminada și van Bommel și publicat în 1980 [20]. În această publicație se stabilește că iluminatul rutier ar trebui să permită recunoașterea reciprocă înainte de a ajunge aproape față în față și ar trebui să ofere suficientă informație vizuală cu privire la o persoană, oriunde pe stradă, atâta timp cât se află la o distanță rezonabilă. Cea mai importantă descoperire a studiului este că iluminarea cea mai potrivită pentru a obține o anumită distanță de recunoaștere este iluminarea semicilindrică. Acolo unde securitatea pe stradă reprezintă o problemă, se recomandă ca pe lângă parametrii convenționali să se studieze și iluminarea semi-cilindrică [19]. Propunerile, bazate pe o analiză a unor studii consecutive ale mulor altora, au fost făcute pentru a dezvolta acest mod de aborare [21]. Luând în considerare necesitatea crescută a siguranței pe străzi, analize mai detaliate ale acestui aspect ar fi binevenite.

## 6. Facilitarea traficului (1990-)

Încă din 1976, Fisher și Hall au investigat legătura dintre luminanța suprafeței drumului și posibilitatea unui șofer de a-și păstra mai ușor poziția în trafic. Acest tip de cercetare este foarte relevant pentru condițiile de trafic contemporane, pentru a ajuta la minimizarea aparițiilor blocajelor de trafic. O dezvoltare nouă este utilizarea luminilor pentru a direcționa traficul pe diferite benzi de rulare, în funcție de gradul de ambuteiaj. Mai multe benzi de mică viteză pot fi folosite atunci când apare un ambuteiaj de trafic, iar benzile de mare viteză, mai puține și mai late, pot fi folosite atunci când se termină ambuteiajul.



Una dintre posibilități este introducerea marcajului rutier dinamic, cu fibră optică, introdus în carosabil. Acest nou concept a fost descris într-un document predat recent la Sesiunea CIE din Varșovia - Iunie 1999 [22].

## **7. Concluzii**

Unele dintre cercetările privind iluminatul rutier care au fost tratate în acest document merită atenție reînnoită, așa cum este

arătat în descrierile relevante. Aceste cercetări devin evidente în momentul în care sunt studiate în contextul contemporan, care este caracterizat de o manieră complexă de șofat, de o largă varietate în densitatea traficului nocturn și de o apariție regulată a ambuteiajelor de trafic.



# METODĂ DE ANALIZĂ ȘI ALEGERE A VARIANTEI OPTIME DE PROIECT

Viorel COSTEA

Universitatea Tehnică din Cluj Napoca

Augustin MUNTEANU

S.C. ACI S.A. Cluj Napoca

## 1. Avantajele și limitele analizei multicriteriale (AMC)

Inginerul este un realizator, e pune în practică descoperiri științifice. Realizarea oricărui proiect implică consumuri de resurse: materiale, energetice și umane, deci bani.

Inginerul trebuie să realizeze că sarcina lui este, pe lângă asigurarea unei funcționalități perfecte a produsului proiectat, și fabricarea sau execuția lui la prețul cel mai redus.

Inginerul învață repede, din păcate pe propria lui piele, că ignorarea dimensiunii unui proiect duce la eșec. Această dimensiune economică nu se rezumă numai la preț ci apare sub multe alte aspecte, dintre care putem reține:

- studierea oportunității realizării proiectului funcție de conjunctura economică și de necesitățile pieței;
- aprecierea momentului optim la care proiectul trebuie materializat pentru a produce efecte economice maxime;
- relevarea soluțiilor tehnice posibil de adoptat;
- analizarea efectelor economice și sociale pe care le are fiecare soluție;
- cunoașterea influenței ratei dobânzii, duratei de amortizare și ale inflației asupra raportului cost/beneficiu;
- aplicarea unei metode de analiză multicriterială pentru adoptarea soluției optime.

Orice AMC are grad oarecare de relativism, dat în principal de subiectivismul analistului și de introducerea în discuție a unor imprecizii deterministe.

Subiectivismul rezultă în principal din alternativele luate în discuție de către inginer, din care în mod cert câteva lipsesc. Lipsesc mai întâi datorită unei documentări incomplete și

De asemenea, este indicată eliminarea din analiza comparativă a caracteristicilor pentru care nu pot fi obținute date măcar

superficiale. Dar mai pot lipsi și alternative dictate de rațiuni de natură politică sau socială, ignorate de inginer deoarece acestea, judecate strict prin prisma eficienței tehnico-economice, au fost din start surclasate de cele câteva relevate.

În acest ultim caz inginerul lipsește factorul de decizie care în multe proiecte este o autoritate de stat, iar banii cheltuiți provin de la contribuabili, de alternativa care ar răspunde unor astfel de rațiuni, de multe ori mai importante decât cele câteva procente de cost în plus.

Demersul analizei mai poate fi însă influențat negativ, denaturat, de introducerea în discuție a unor imprecizii deterministe. Este cazul, spre exemplu, a duratei de serviciu care poate fi 15 sau 20 ani, în funcție de modul cum utilajul este întreținut și, despre care inginerul nu poate avea informații. Efectul cumulat al impreciziilor deterministe poate să scadă interesul pentru analiză. Inginerul care efectuează analiza trebuie însă să preîntâmpine impreciziile deterministe prin formularea aceluiași ipoteze de lucru, măcar asupra caracteristicilor care nu pot suferi abateri semnificative datorate unor situații specifice (spre exemplu va admite aceleași costuri cu salariile pentru personalul cu aceeași calificare, chiar dacă ele în realitate diferă la firmele în discuție).

În cazul în care se impune aprecierea valorilor viitoare ale unor caracteristici atitudinea analistului poate fi optimistă sau pesimistă. Dar, optimismul sau pesimismul, trebuie aplicat în egală măsură tuturor alternativelor, astfel va fi acuzat de părtinire și de falsificare a analizei.

apropiate de valoarea reală.

Pe de altă parte AMC este în mare măsură influențată de probabilitatea aprecierii



corecte a tendinței de evoluție a unor factori de risc, pe o piață dinamică, în intervalul cuprins între data efectuării analizei și cea a materializării proiectului.

Mai trebuie de asemenea, menționat că rezultatele analizelor multicriteriale sunt cu atât mai contestate și mai puțin relevate cu cât proiectele: oferă servicii diferite, sunt concepute după tehnici și tehnologii diferite, sunt din țări diferite, sunt administrate și exploatare diferite și au vârste diferite.

Cu toate influențele negative pe care le au factorii mai sus amintiți asupra preciziei rezultatelor analizei multicriteriale, aceasta rămâne până în prezent, singura în măsură să departajeze variantele unui proiect, mai ales când din punct de vedere tehnic ele prezintă avantaje sensibil egale.

De la început trebuie clarificate două noțiuni: compararea variantelor de proiect și analiza multicriterială a variantelor de proiect.

A compara înseamnă a analiza raporturile de asemănare și de diferențiere dintre două sau mai multe proiecte. Pentru aceasta putem proceda în două moduri.

Fie raportăm toate proiectele la unul singur, luat ca bază, caz în care rezultatele comparației se pot exprima valoric - în unitatea de măsură a mărimii comparate - sau calitativ (la fel, mai bun etc.).

Fie stabilim nivelul acceptabil al unui număr de caracteristici, considerate de referință și le stabilim abaterile, în plus sau în minus, pentru fiecare variantă de proiect, în unitatea de măsură specifică.

Indiferent de metoda adoptată, compararea poate fi avută în vedere pentru clasarea variantelor de proiect numai când se are în vedere un singur criteriu (ex: numai beneficiul) sau a cel mult 2-3 criterii, dar care să îndeplinească simultan condițiile:

- să se optimizeze în același sens - toate prin maxim sau prin minim;
- să aibă consecințele exprimate în aceleași unități de măsură și cu valori sensibil egale.

Dar a alege o variantă de proiect pe baza unui singur criteriu, oricât de important pare el analistului, nu poate asigura, numai din întâmplare, soluția optimă. A elimina o variantă cu costuri de investiții mici pe baza unicului criteriu că este mai poluantă decât alta, fără a

cerceta în prealabil sporul de cost pentru încadrarea poluării în limite admise, este ceva nefiresc.

Analiza multicriterială fundamentează complex decizia de alegere a variantei optime, indiferent de natura criteriilor avute în vedere de analist.

În cele ce urmează vom discuta, cu prioritate criteriile de natură economică, socială și politică ce trebuie avute în vedere la AMC la două mari categorii de proiecte: acelea care oferă același serviciu și a celor care oferă servicii diferite. Tehnica AMC se va trata în mod unitar, întrucât ea nu mai este influențată de categoriile de proiecte supuse analizei.

## 2. Criterii pentru AMC a proiectelor care oferă același serviciu

Discutând despre proiectele unor instalații care oferă același serviciu se au în vedere cu prioritate criteriile de natură economică și tehnică:

Dintre criteriile de natură economică amintim:

- a) costul de funcționare al instalației
- b) costul de unitate de produs
- c) rata rentabilității
- d) durata de recuperare

a) *Criteriul costului de funcționare*, cost format din cheltuielile de exploatare și amortisment, se aplică în cazul investițiilor de înlocuire a unor instalații sau utilaje cu menținerea capacității de producție inițiale. Criteriul poate fi, de asemenea, avut în vedere și în cazul analizării unor proiecte ce prevăd capacități de producție apropiate. În acest ultim caz proiectele se raportează la situația existentă, față de care se calculează economiile la costul de funcționare cu relația:

$$E_c = \left( c_{ap0} + \frac{V_c}{D_0} \right) - \left( c_{ap1} + \frac{I_1}{D_1} \right)$$

unde:

$c_{ap0}$ ,  $c_{ap1}$  - costurile anuale de producție (funcționare) ale instalației inițiale (existente) și a celei noi;

$V_c$  - valoarea contabilă a instalației existente;

$I_1$  - valoarea investiției pentru instalația nouă;

$D_0$  - durata cât mai poate funcționa



instalația existentă

$D_1$  - durata de viață a instalației noi.

Investiția va putea fi avută în vedere numai dacă economiile la costurile de funcționare, astfel calculate, vor permite atât recuperarea investiției cât și un spor al randamentului minimal al capitalului investit calculat cu:

$$r = \frac{E_c}{I} 100$$

unde:  $I = I_i - V_c$

Exemplul 1. O firmă de construcții dispune de un utilaj care antrenează costuri de funcționare (exploatare) de 95000 u.m. pe an. Acesta mai poate funcționa 4 ani și poate fi vândut la valoarea sa contabilă de 250000 u.m. Firma intenționează cumpere un alt utilaj, mai performant, care costă 600000 u.m. cu o durată de exploatare de 8 ani și care antrenează costuri de producție de 45000 u.m. pe an.

Calculăm economiile la costurile de producție cu relația (1):

$$E_c = \left( 95000 + \frac{250000}{4} \right) - \left( 45000 + \frac{600000}{8} \right) = 37500 \text{ u.m./an}$$

iar randamentul minimal al capitalului investit este:

$$r = \frac{37500}{600000 - 250000} 100 = 10.71\%$$

care trebuie să fie mai mare decât un prag fixat de firmă.

b) *Criteriul costului pe unitate de produs.* Acest criteriu se aplică pentru variante de proiect cu capacități de producție diferite. Se pune problema determinării costului pe unitate de produs antrenat de fiecare variantă de proiect în parte ( $C_i$ ).

Costul pe unitate de produs se determină cu relația:

$$C_i = \frac{\frac{I_i}{D_i} + r_{mi} I_i + c_{api}}{Q_i}$$

unde:

$I_i$  - valoarea de investiție a proiectului  $i$ ;

$D_i$  - durata de viață a instalației

$r_{mi}$  - rata sperată a randamentului instalației  $i$ ;

$c_{api}$  - costurile anuale de producție (funcționare) al instalației  $i$ ;

$Q_i$  - capacitatea de producție anuală a instalației  $i$

Exemplul 2. Firma de construcții intenționează să-și sporească capacitatea de producție, înlocuind un utilaj cu performanțe slabe cu altul modern, de mare productivitate. Vizează în acest scop un utilaj care asigură: o producție anuală de 6000 u.p. la un cost de funcționare de 250000 u.m. pe an. Utilajul costă 3000000 u.m. și are o durată de viață de 7 ani.

Costul unitar de producție (de funcționare) al vechiului utilaj este de 300 u.m. pe u.p. Firma își propune ca randamentul investiției să fie de cel puțin 10%. Valoarea reziduală a vechiului utilaj este nulă.

$$C_i = \frac{\frac{3000000}{7} + 0.1 \cdot 3000000 + 250000}{6000} = 99 \text{ u.m./u.p.}$$

Investiția poate fi avută în vedere întrucât conduce la scăderea de trei ori a costului de funcționare pe unitate de produs.

c) *Criteriul ratei rentabilității.* Potrivit lui proiectul de investiție poate fi avut în vedere numai dacă rata lui de rentabilitate este superioară unei anumite rate stabilite dinainte.

Rata rentabilității se determină cu relația:

$$r = \frac{CW}{I} 100$$

unde:

$r$  - rata rentabilității;

$CW$  - fluxul de încasări anuale (cash-flow anual);

$I$  - valoarea investiției (sau  $I - I_c$  - unde există valoarea reziduală)/

d) *Criteriul duratei de recuperare.* Durata de recuperare este intervalul de timp la sfârșitul căruia suma de cash-flow degajată de investiție pe întreg intervalul est egală cu investiția, adică:

$$I = \sum CW_i$$

iar durata de recuperare este:

$$D = \frac{I}{CW_i}$$

unde:

$D_r$  - durata de recuperare, în ani;

$I$  - valoarea investiției, în u.m.;

$CW_i$  - cash-flow anual, în u.m.

În cazul în care, pe durata de folosință  $t$  a investiției suma anuală de cash-flow este diferită (cazul de fapt normal), calculul lui  $D_r$  se face în două etape:

- la sfârșitul fiecărui an se calculează investiția nerecuperată;



- în momentul în care suma de recuperat este mai mică decât suma cash-flow-ul din anul următor, se calculează raportul dintre valoarea investiției rămasă de recuperat și cash-flow-ul anului următor, pentru a stabili timpul necesar de recuperare al acesteia.

Pentru aplicarea acestui criteriu decidentul își fixează o anumită durată maximă de recuperare în care trebuie să se încadreze fiecare proiect.

### **3. Criterii pentru AMC a proiectelor care oferă servicii diferite**

Inginerul poate fi pus să compare politici diferite, adică diferite soluții propuse pentru a satisface la niveluri diferite o cerere sau o necesitate, ele însele evaluate în maniere diferite.

Un exemplu din această categorie ar putea fi soluționarea transportării personalului unei importante uzine situată la o distanță de 3-6 Km de centrul localității. În acest caz inginerul trebuie să-și imagineze cât mai multe soluții, să-și pună cât mai multe întrebări și să vadă care din soluții răspunde cel mai bine întrebărilor și restricțiilor sale. Astfel se va face o primă selectare a soluțiilor, pe baza criteriilor cu care el operează - tehnice și economice - și funcție de datele pe care el le posedă. Deci inginerul a reținut 2-3 variante, pe care fie că nu le-a putut departaja, fie că a vrut să lase o libertate mai mare celui care decide.

Decizia însă va aparține politicului: cetățeni și autorități, fiindcă alegerea unei soluții tehnice implică alegerea unui comportament social. Pentru introducerea unui tramvai rapid pe o anumită rută este nevoie ca el să deservească un număr mare de persoane, dintre care unii să renunțe la folosirea mașinii personale. Adăugarea însă a câtorva autobuze în plus nu va implica investiții prea mari.

Dacă examinăm lucrurile mai de aproape opțiunea pentru o anumită soluție este mai mult decât își pot imagina inginerii - care își impun să rămână obiectivi - un demers politic, care de cele mai multe ori angajează viitorul unei comunități pe durata mai multor generații. Greșeala istorică de renunțare la liniile de tramvai în orașele importante ale Elveției este numai un exemplu în acest sens.

Lucrurile sau altfel în cazul studiilor de

fezabilitate, care obligă inginerul să compare soluții tehnice, de cele mai multe ori, foarte diferite, din puncte de vedere politice și sociale diferite. Inginerul nu poate lăsa această responsabilitate altora, din contra el trebuie să și-o asume, pentru că numai el este în măsură să analizeze aspecte tehnice foarte complexe. Calculele economice sunt foarte simple și nu este nevoie de un specialist pentru a le rezolva. În schimb colaborarea cu un sociolog, care îl va ajuta la determinarea preferințelor, opiniilor, percepțiilor și atitudinilor ar fi un lucru bun. Mai mult, inginerul trebuie să fie conștient că această analiză multidisciplinară este strict necesară unui studiu de fezabilitate demn de acest nume.

Din această cauză, programele de formare om-tehnică-mediu sunt atât de importante în universitățile tehnice. Fiecare profesor ar trebui să abordeze, chiar și pe scurt, această dimensiune, dacă vrea să contribuie la pregătirea unor ingineri capabili să-și asume responsabilitățile în această lume.

De obicei pentru AMC a proiectelor care oferă servicii diferite se folosesc două criterii: criteriul beneficiului maxim și criteriul raportului beneficiu/cost.

Un proiect conduce la realizarea unor produse sau servicii care vor aduce firmei un anumit beneficiu, de care ea se folosește. Acesta este beneficiul direct al firmei producătoare.

Dar, mai putem întâlni beneficii în favoarea unui al treilea sau beneficii indirecte, care rezultă din activitatea unei întreprinderi, dar nu ea se bucură de ele. Dacă este vorba de întreprindere de interes public care în mare parte este finanțată din banii contribuabililor, trebuie să ținem seama de toate beneficiile, oricare ar fi beneficiarii de fapt, pentru că în mod sigur printre ei se vor găsi și contribuabilii. Pentru a putea fi însă luate în considerare într-o analiză economică, aceste beneficii trebuie să poată fi exprimate în unități monetare, în bani.

O categorie tot mai importantă de beneficii nu pot fi însă exprimate cantitativ. Avem în vedere acele beneficii rezultate în urma unor proiecte de protecție împotriva unor calamități naturale - inundații, spre exemplu - de protecție a mediului etc. pentru acestea, de obicei, se folosește o exprimare calitativă -



protecție ridicată, medie, scăzută etc. - fără a folosi unități monetare și ale aliniei astfel celorlalte criterii. O analiză multicriterială, prin folosirea noțiunii de utilitate, ca numitor comun al tuturor consecințelor criteriilor, poate să le aibă în vedere fără nici-o dificultate. În aceasta constă de fapt marele avantaj al metodei de analiză multicriterială.

Criteriul beneficiu/cost apare pentru prima dată în legea americană împotriva inundațiilor din 1936. El prevede că susținerea guvernamentală poate fi acordată pentru realizarea unui proiect, cu condiția ca acesta să prezumeze beneficii - pentru oricine - superioare costului estimat și să justifice faptul că fără el viața și securitatea persoanelor vor fi afectate.

Dacă notăm cu B suma tuturor beneficiilor pentru oricine și cu C suma costurilor proiectului, este suficient ca  $(B/C) > 1$  pentru ca proiectul să poată fi avut în vedere. Rămâne ca AMC să decidă, prin luarea în considerare și a celorlalte criterii, care dintre proiectele propuse va fi adoptat.

Dacă se dorește însă o simplă ierarhizare a proiectelor concurente după acest criteriu se va alege varianta care e surclasează pe toate celelalte, făcând raportul  $(B_n - B_{n-1}) \geq 1$  maxim.

#### 4. Principiul metodei analizei multicriteriale

Vom lua în discuție situația cea mai frecvent întâlnită când consecințele criteriilor sunt exprimate în unități de măsură definite și au valori considerabil diferite.

Vom nota cu  $V_1 \div V_m$  - variantele de proiect, cu  $C_1 \div C_n$  criteriile avute în vedere și cu  $a_{ij}$  - consecința variantei  $i$  pentru criteriul  $j$ .

Datele se sistematizează în tabelul 1 numit matricea consecințelor.

Tabelul 1

Criterii Variante	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>j</sub>	...	C <sub>n</sub>
V <sub>1</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	...	a <sub>1j</sub>	...	a <sub>1n</sub>
V <sub>2</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	...	a <sub>2j</sub>	...	a <sub>2n</sub>
.	.	.	.	.	.	.
V <sub>i</sub>	a <sub>i1</sub>	a <sub>i2</sub>	...	a <sub>ij</sub>	...	a <sub>in</sub>
.	.	.	.	.	.	.
V <sub>m</sub>	a <sub>m1</sub>	a <sub>m2</sub>	...	a <sub>mj</sub>	...	a <sub>mn</sub>

Tabelul 1 conține de fapt datele problemei exprimate în unități de măsură diferite. Pentru a opera cu ele este necesară transformarea lor într-o singură mărime cu aceeași unitate de măsură. În teoria deciziei această mărime este utilitatea.

Mulțimii consecințelor, corespunzătoare mulțimii variantelor, le sunt asociate utilități cuprinse între 0 și 1, adică satisfacția maximă are  $U_{\max} = 1$ , iar satisfacția minimă are  $U_{\min} = 0$ .

Pentru celelalte consecințe ale aceluiași criteriu se calculează prin interpolare utilitatea corespunzătoare, funcție de modul în care se optimizează criteriul respectiv. Exemplu: criteriul beneficiu se optimizează prin maxim, iar criteriul costul de producție prin minim.

Relațiile de calcul pentru utilități sunt:

- când criteriul se optimizează prin maxim:

$$U_{kj} = \frac{a_{kj} - a_{ij \min}}{a_{ij \max} - a_{ij \min}}$$

- când criteriul se optimizează prin minim;

$$U_{kj} = \frac{a_{ij \max} - a_{kj}}{a_{ij \max} - a_{ij \min}}$$

Astfel, înlocuim în matricea consecințelor (tabel 1), consecințele cu utilitățile corespunzătoare, vom obține tabelul 2 numit matricea utilităților.

Tabelul 2

Criterii variante	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>j</sub>	...	C <sub>m</sub>
V <sub>1</sub>	u <sub>11</sub>	u <sub>12</sub>	...	u <sub>1j</sub>	...	u <sub>1n</sub>
V <sub>2</sub>	u <sub>21</sub>	u <sub>22</sub>	...	u <sub>2j</sub>	...	u <sub>2n</sub>
.	.	.	.	.	.	.
V <sub>i</sub>	u <sub>i1</sub>	u <sub>i2</sub>	...	u <sub>ij</sub>	...	u <sub>in</sub>
.	.	.	.	.	.	.
V <sub>m</sub>	u <sub>m1</sub>	u <sub>m2</sub>	...	u <sub>mj</sub>	...	u <sub>mn</sub>

Varianta optimă, când criteriile sunt echiiimportante, cazul de mai sus, va fi aceea pentru care suma utilităților, pentru criteriile avute în vedere, va fi maximă:

$$V_{i \text{ opt}} = \max_{i=1+m} \sum_{j=1}^n U_{ij}$$

Există însă situații când decidentul nu consideră la fel de importante toate criteriile pe care le are în vedere. Atunci acordă fiecărui



criteriu un conflict de importanță  $k_j$ ,  $j=1÷n$ , astfel încât  $\sum_{j=1}^n k_j = 1$

Atunci varianta optimă va fi dată de relația

$$V_{iopt} = \max_{i=1+m} \sum_{j=1}^n k_j U_{ij}$$

Cu toate limitele ei, analiza multicriterială rămâne metoda cea mai bună și cea mai ușor de aplicat în acțiunea de alegere a celui mai bun proiect tehnic, din mai multe variante posibil de avut în vedere.

### Bibliografie

1. Costea, V. - Managementul firmei de instalații-montaj, Editura Mesagerul, Cluj-Napoca, 1996
2. Grant, E.I. și Leavemworth R. - Principles of engineering economy, Wiley New York, 1976
3. Maystre, L.Y. - Initiation aux calculs économiques pour les ingénieurs. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne 1985
4. Munteanu A.- Modelarea matematică a soluțiilor constructive de realizare a rețelelor electrice de distribuție din incinta consumatorului - Referat doctorat 1999.
5. Rochat J.CI. - Mathematiques pour la gestion de l'environnement, Birkhäuser, Basel, 1980



Prof.dr.ec.ing. **Viorel COSTEA**. Absolvent al Facultății de Electrotehnică a Universității Tehnice Cluj și al Facultății de Științe Economice a Universității "Babes-Bolyai" Cluj. Doctor în economie din 1993. Titular al disciplinelor Management, Marketing și Tehnologia Instalațiilor în Construcții. Autor a numeroase lucrări și cursuri universitare de specialitate - Instalații industriale, tehnologie și montaj, Managementul firmei de instalații-montaj, Management

*Adresa:* Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca Str. C. Daicoviciu nr. 15, RO-3400 Cluj-Napoca, tel. 064-412587



Ing. **Augustin MUNTEANU**. Absolvent al Facultății de Electrotehnică Cluj. Inginer șef instalații la ACI - Antrepriza Construcții și Instalații. A executat lucrări de instalații de iluminat în sector industrial și civil - construcții bancare. A coordonat șantiere de instalații în străinătate. Cadru didactic asociat la Universitatea Tehnică. Doctorand în specialitatea Instalații pentru construcții. Șeful filialei Cluj a SIEAR.

*Adresa:* S.C. ACI S.A., Calea Dorobantilor nr. 70, RO-3400 Cluj-Napoca, tel. 064.405213



# CONSIDERAȚII ASUPRA CALCULULUI FACTORILOR DE FORMĂ

Cătălin –Daniel GĂLĂȚANU

Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași

## Rezumat

Lucrarea prezintă rezultatele calculului factorilor de formă între două suprafețe utilizând funcții MATLAB originale, care permit abordarea generalizată a configurațiilor lumino tehnice posibile. Pe baza rezultatelor obținute se demonstrează că factorii de formă nu rămân constanți pe parcursul fiecărei reflexii succesive între două suprafețe. Chiar dacă diferențele nu sunt majore, se propune modificarea formalismului care descrie reflexia multiplă, prin renunțarea la calculul factorilor de formă.

## 1. Introducere

Sunt disponibile în prezent [1,2] metode de abordare a fenomenului reflexiilor multiple pe baza calculului punctual al iluminării reflectate, analizând factorii lumino tehnici cantitativi (prin urmărirea nivelului de iluminare în planul util) și calitativi (prin analiza distribuției fluxului luminos și determinarea luminanței pe suprafețele caracteristice).

Metodele de rezolvare se bazează atât pe metoda elementelor finite cât și pe metoda schimbului radiativ, considerând următoarele ipoteze simplificatoare: *incinta este paralelipipedică, fără pereți despartitori sau mobilier, iar suprafețele reflectă perfect difuz lumina.*

Funcțiile MATLAB elaborate de autor [3, cap. 3.4] permit modelarea generalizată a sistemelor de iluminat, cu îndeplinirea condițiilor generale cerute unui model experimental. Ele s-au dovedit un instrument de lucru util în studierea și, apoi, fundamentarea teoretică a fenomenului reflexiei multiple. Modelarea în MATLAB a permis calcularea concretă a fiecărei componente a iluminării reflectate, lucru imposibil de realizat experimental.

Precizăm că funcțiile MATLAB utilizate au fost validate prin măsurători sau prin probleme test, putând fi astfel considerate instrument de lucru pentru susținerea metodei științifice utilizate, pe baza căreia se formulează următoarea propoziție:

Noțiunea de FACTOR DE FORMĂ (sau DE UTILIZARE) a unei suprafețe în raport cu alta nu caracterizează CORECT reflexia multiplă, raportul dintre fluxul reflectat pe suprafața S2 de către suprafața S1 depinzând de componenta iluminării directe (condiții inițiale), precum și de fiecare pas al reflexiei.

## 2. Reflexia multiplă într-o sferă

În literatura de specialitate, fenomenul reflexiei multiple este prezentat prin extrapolarea unor concluzii valabile NUMAI pentru reflexiile multiple într-o sferă. În figura 1 [1, pag 23] se prezintă sfera integratoare, utilizată pentru măsurarea fluxului luminos.

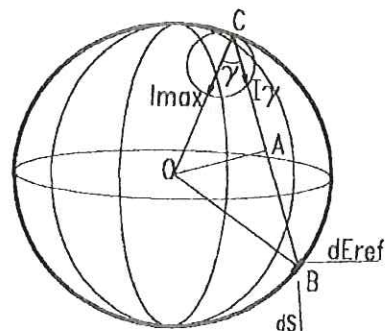


Fig. 1 Reflexia multiplă într-o sferă

Analiza fenomenului reflexiei multiple conduce la următoarele concluzii:

c1. Nivelul de iluminare realizat de prima componentă reflectată este constant pe toată suprafața sferei, indiferent de distribuția inițială și, deci, de poziția sursei.



c2. Componenta reflectată de ordin "n" se obține din componenta reflectată precedentă (de ordinul "n-1"), atenuată cu coeficientul de reflexie.

În viziunea autorului, aceste concluzii, prin claritatea lor, au creat convingerea că pot fi valabile și pentru cavități de forme oarecare [1, vol. 1, pag. 174] sau paralelipipedice [1, pag. 177].

Elementele pe care se bazează concluziile c1 și c2 sunt date de geometria strict particulară a sferei:

- în expresia iluminării - [1, pag.23], valoarea cosinusului unghiului de incidență se simplifică;

- valoarea integralei componentei reflectate pe întreaga suprafață conduce la valoarea fluxului incident (acest lucru nu va mai fi valabil în cazul reflexiei multiple între două planuri finite);

- geometria particulară a sferei determină în relația (1.22) [1] ca la numitor să se dispună de chiar aria sferei, din raportul respectiv rezultând  $E_{med}$ , cu implicații asupra caracterului recursiv al fenomenului.

### 3. Factorii de formă

Raționamentul conturat mai sus este regăsit și preluat în teoria reflexiei multiple la o serie întreagă de autori [1,2] și se manifestă prin fundamentarea noțiunii de **factor de formă** al unei suprafețe în raport cu alta.

Una dintre cele mai elocvente prezentări a noțiunii de **coeficient de utilizare (de formă)** este disponibilă în [1, vol. 1, pag. 176). Se prezintă pe scurt această problemă, cu comentariile autorului.

Se consideră cazul general a două suprafețe oarecare, perfect difuzante, dintre care una este emițătoare  $S_k$  și cealaltă receptoare  $S_i$ . În figura 2 se prezintă mărimile geometrice care intervin, cu notațiile corespunzătoare.

Factorul de utilizare între cele două suprafețe este, conform definiției:

$$U_{ki} = \frac{\Phi_{ki}}{\Phi_k} \quad (1)$$

în care  $\Phi_{ki}$  este fluxul emis de  $S_k$  și care ajunge pe  $S_i$  iar  $\Phi_k$  este fluxul emis de  $S_k$  (fig. 2).

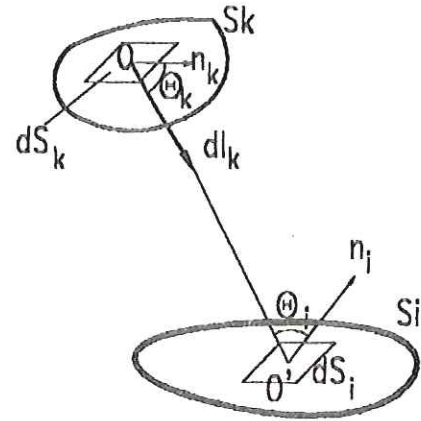


Fig. 2 Factorul de formă între două suprafețe

Expresia fluxului  $\Phi_{ki}$  rezultă din:

$$d^2\Phi_{ki} = dE_i dS_i \quad (2)$$

în care

$$dE_i = \frac{dI_k \cos \theta_i}{l^2} \quad (3)$$

și

$$dI_k = L_k \cos \theta_k dS_k \quad (4)$$

Se integrează pe ambele suprafețe:

$$\phi_{ki} = \iint_{S_k S_i} \frac{L_k}{l^2} \cos \theta_k \cos \theta_i dS_k dS_i \quad (5)$$

Urmează un punct delicat. Se argumentează că suprafețele sunt perfect difuzante, deci este valabilă legea proporționalității între luminanță și iluminare pentru suprafețe perfect difuzante (Legea lui Lambert):

$$\Phi_{ki} = E_k S_k = \pi L_k S_k \quad (6)$$

În mod evident, luminanța  $L_k$  a suprafeței elementare  $S_k$  depinde de nivelul său de iluminare (punctual)  $E_k$ . Se continuă raționamentul, "ținând seama că  $L_k = \text{constant}$ ":

$$U_{ki} = \frac{1}{\pi S_k} \iint_{S_i S_k} \frac{1}{l^2} \cos \theta_k \cos \theta_i dS_k dS_i \quad (7)$$

Remarcăm și la alți autori [2], că afirmația  $L_k = \text{constant}$  nu este o ipoteză, nu este o simplificare: << ...where we assume that the luminances  $L_1$  and  $L_2$  are constant (the



*surfaces A1 and A2 are Lambertian*>>. Însă, reflexia perfect difuză nu conduce la luminanță constantă pe întreaga suprafață decât în cazul în care iluminarea este constantă (*Legea proporționalității dintre iluminare și luminanță*).

Această afirmație ( $L_k = \text{constant}$ ) fiind considerată evidentă, urmează afirmația că relația obținută reprezintă **expresia complexă a factorului de utilizare  $U_{ki}$  dependentă de geometria celor două suprafețe  $S_k$  și  $S_i$  și de poziția lor reciprocă.**

Toate lucrările consultate de autor dezvoltă analiza reflexiei multiple de la acest concept. Indiferent dacă se caută rezolvări pentru incinte paralelipipedice sau se abordează problema numeric, cu element finit, punctul de plecare este același: calculul coeficienților de utilizare (de formă).

Ipoteza că luminanța unei suprafețe este constantă pe toată suprafața este cu totul particulară. Această afirmație se bazează pe dificultățile de realizare practică a unor panouri luminoase [1, vol.1, pag.126] sau tavane luminoase. Aceasta este o consecință a legilor fundamentale ale iluminării, care descriu prin definiție un fenomen neliniar (Legile iluminării se numesc de altfel *legea inversului pătratului distanței* și *legea cosinusului*).

Totuși, în cazul primei reflexii, putem impune ca suprafața luminată (direct) să fie luminată uniform (cazul panourilor luminoase). Mai departe însă, reflexiile a doua, a treia etc. pleacă de la o distribuție a luminanțelor care se modifică la fiecare pas. Dacă mai considerăm că însăși ipoteza ca pasul inițial să plece de la situația  $L_k = \text{constant}$  este un caz particular, rezultă că **factorul de utilizare  $U_{ki}$  nu caracterizează fenomenul reflexiei multiple între două suprafețe.** Așa cum se va arăta, raportul între fluxul incident și fluxul reflectat între două suprafețe date este variabil, el modificându-se la fiecare reflexie.

Argumentele logice prezentate se confirmă și de modelarea fenomenului reflexiei multiple, prin utilizarea unui set de subrutine elaborate de autor. Se urmărește modelarea unui număr variabil de situații, unele dintre ele cu soluții indicate în literatură, pentru a putea valida însăși modelul și apoi pentru a putea desprinde concluzii noi.

În [4] se prezintă, pe fondul metodei elementului finit, calculul **factorului de**

**utilizare dintre un element finit și o suprafață finită** (iar ulterior dintre două suprafețe finite). Factorului de utilizare dintre un element finit și o suprafață finită există și are semnificație fizică, dar este neinteresant pentru calcul, deoarece în metoda elementului finit interesează interacțiunea numai dintre elemente finite. Factorul de utilizare dintre un element finit și o suprafață finită ar avea analitic efectul unei medieri a fluxului emis de elementul finit către suprafața finită.

Singura situație interesantă poate fi acceptată în cazul **factorului de utilizare dintre două elemente finite.** Însă, fizic, nu poate fi utilă această noțiune, suprafețele infinite mici neavând individualitate materială. Din punctul de vedere al calculului, ar însemna ca pentru  $N$  elemente finite, să se calculeze și să se memoreze încă  $N^2$  elemente suplimentare, pe lângă cele oricum obligatorii pentru fiecare element finit:

- cele trei matrici ale coordonatelor carteziene ale nodurilor rețelei elementelor finite;
- matricile normalelor elementelor finite;
- matricile centrelor elementelor finite;
- matricea suprafețelor elementelor finite;
- matricea reflectanțelor fiecărui element finit;
- matricea iluminarilor parțiale și totale.

Pentru a pune în evidență faptul că fluxul emis de o suprafață și receptat de alta diferă la fiecare pas al reflexiei multiple, se calculează respectiva proporție conform relației (5), dar cu notațiile care exprimă faptul că luminanța nu mai este considerată constantă pe suprafața care emite:

$$\phi_{ki} = \iint_{S_k S_i} \frac{L_k(s_k)}{r^2(s_k, s_i)} \cos\theta_k \cos\theta_i dS_k dS_i \quad (8)$$

Integrala se rezolvă numeric. Nu mai există în acest mod limitări geometrice (funcțiile MATLAB elaborate de autor tratând sub același formalism matricial orice suprafață, de la planuri oarecare, la sferă, etc).

Pentru a valida rutinele de analiză numerică și pentru a putea realiza o comparație cu valorile indicate în lucrări de specialitate care abordează *factorii de formă*, se utilizează probleme test, care modelează diverse situații luminotehnice.



#### 4. Determinarea factorilor de formă pentru reflexii succesive

MODEL 1. Se consideră două suprafețe plane, dreptunghiulare, egale și paralele, de dimensiuni LUNGIME și LĂȚIME. Distanța dintre cele două suprafețe este HAS (fig.3).

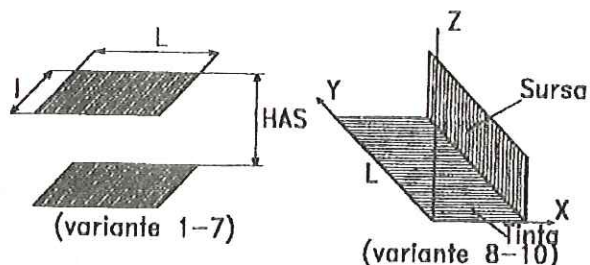


Fig. 3 Geometria problemelor de test pentru calculul factorilor de formă

Una dintre suprafețe (notată S1, poate fi oricare din fig. 3) este luminată cu un nivel constant ( $E=100$  lux) și devine sursă pentru prima reflexie, calculându-se iluminarea (punctuală) produsă pe a doua suprafață (S2). Iluminarea calculată pe S2 devine sursă pentru a doua reflexie, de la S2 la S1. La fiecare pas se calculează raportul dintre fluxul emis către suprafața corespondentă și fluxul total reflectat la pasul respectiv.

MODEL 2. Se consideră două suprafețe dreptunghiulare, egale și perpendiculare (fig. 3)

Rezultatele se prezintă tabelar, pentru diverse variante:

Tabel 1.a

Nr. Var.	1	2	3	4	5
Condiții	$E_i=ct.$ HAS=3	$E_i=ct.$ HAS=10	$E_i=ct.$ HAS=100	[0,5;0,5;8]	[5;5;9,5]
Nr.	[1,2]	0,70095	0,345961	0,012072	0,345961
1.	MATLAB	0,7047	0,34649	0,012074	0,2543
2.	MATLAB	0,72764	0,35649	0,012079	0,3233
3.	MATLAB	0,73577	0,35950	0,012079	0,3455
4.	MATLAB	0,73946	0,36077	0,012079	0,3535

Tabel 1.b

Nr. Var.	6	7	8	9	10
Condiții	[0,2;0,2;9,5] HAS=10	$E_i=ct.$ HAS=10	$E_i=ct.$	[8; 1; 9]	[8; 20; 2]
Nr.	[1,2]	0,345961	0,345961	-	-
1.	MATLAB	0,2114	0,3455	0,2202	0,1390
2.	MATLAB	0,3139	0,3555	0,2466	0,2316
3.	MATLAB	0,3409	0,3585	0,2514	0,2649
4.	MATLAB	0,3521	0,3598	0,2530	0,2782

În tabelul 1.a și 1.b sunt disponibile pe linia a treia rezultatele factorului de formă calculat cu relația indicată în [1, pag. 290], precum și în [2]. Condițiile inițiale de la care se

pleacă sunt iluminări constante ( $E_i=ct.$ ) sau iluminări neuniforme, produse de o sursă punctiformă, cu distribuția intensității luminoase perfect simetrică și plasată în punctul indicat (prin coordonatele  $[x;y;z]$ ) în linia a doua a tabelor (variantele 4, 5, 6, 9 și 10). Pe liniile 4, 5, 6 și 7 ale tabelor sunt rezultatele raportului dintre fluxul luminos receptat de o suprafață, calculat cu (5), față de fluxul total reflectat de cealaltă. Se observă că diferențele cele mai mari se înregistrează pentru iluminările inițiale cele mai neuniforme.

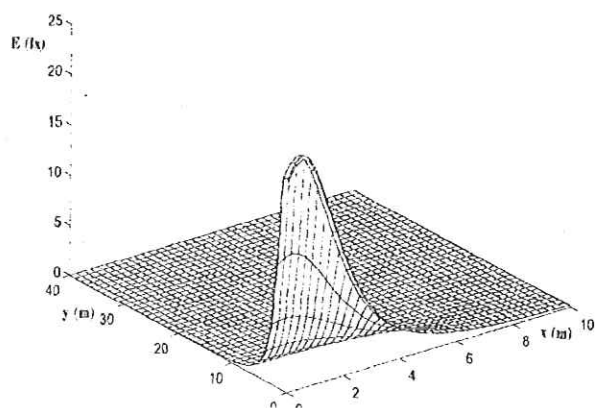


Fig. 4 Distribuția iluminarilor pentru varianta de calcul 4, tabel 1.a - Iluminare inițială neuniformă

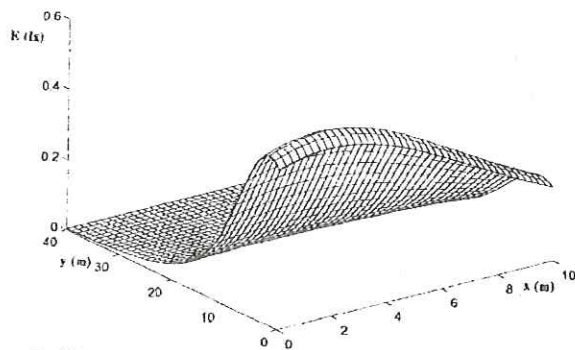


Fig. 5 Distribuția iluminarilor pentru varianta de calcul 4, tabel 1.a - Iluminări produse de reflexia nr. 1

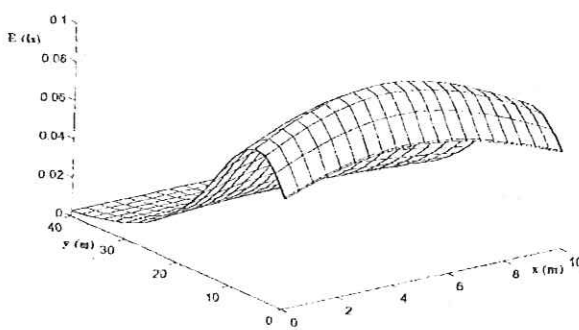


Fig. 6 Distribuția iluminarilor pentru varianta de calcul 4, tabel 1.a - Iluminări produse de reflexia nr. 2



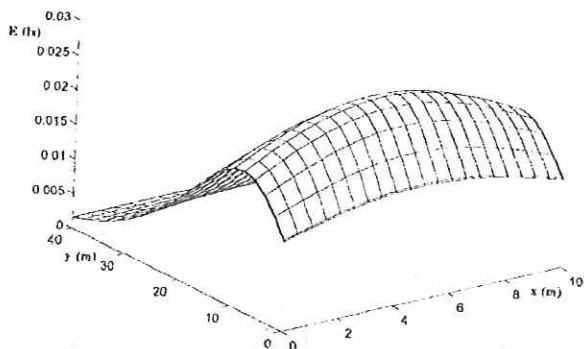


Fig. 7 Distribuția iluminarilor pentru varianta de calcul 4, tabel 1.a – Iluminări produse de reflexia nr. 3 (gradul de uniformitate, relativ la reflexiile anterioare, este mai mare)

Din analiza tabelului și a graficelor (fig. 4 – 7) rezultate în urma modelării în MATLAB, se constată următoarele:

\* *Factorii de formă* nu sunt constanți pentru reflexiile succesive între două suprafețe sau pentru diverse moduri de iluminare inițială;

\* Condiția ca luminanța suprafețelor să fie constantă se poate accepta numai pentru încăperi foarte înalte (varianta 3), dar atunci se obține o neconformitate maximă față de teorie pentru reflexia pe suprafețe perpendiculare (varianta 9, cu sursa aproape de tavan);

\* Diferențele sunt în general mici (de 1-3%), imposibil de pus în evidență practic, mai ales dacă se pleacă de la iluminări inițiale cvasi-uniforme (variantele 2, 3, 8).

## 5. Simplificarea formalismului reflexiei multiple

Aceste observații ne permit reinterpretarea bilanțului radiativ prezentat în [1, vol.1, pag.175-177] pentru reflexia multiplă într-o cavitate  $S_1$  care se sprijină pe o a doua suprafață  $S_2$ .

Astfel în [1, pag.175] se precizează că *singura ipoteză simplificatoare* este că suprafața  $S_2$  este perfect absorbantă sau deschisă. Pe baza afirmației că la fiecare reflexie succesivă raportul  $U_{11}$  dintre fluxul receptat de suprafața  $S_1$  și receptat tot de ea este constant (factorul de utilizare) se determină fluxul total incident pe suprafața  $S_1$  cu o relație de recurență [1, pag. 184]:

$$\Phi_1 = \varphi_1 \frac{1}{1 - \rho_1 U_{11}} \quad (9)$$

Dacă se consideră evoluția reală a reflexiei, și anume că raportul de fluxuri schimbate este diferit la fiecare pas A, B, C, ... al reflexiei, rezultă că prin sumare nu se mai poate găsi o astfel de relație de recurență.

Analiza și posibilitățile de formalizare a calculului se complică dacă se consideră o incintă delimitată de un număr de suprafețe oarecare. Dacă acest număr este de trei [3, cap. 3.3] trebuie să se calculeze la fiecare pas al reflexiilor fluxurile reflectate de fiecare suprafață (fig. 8) pe celelalte, precum și pe ea însăși (cazul suprafețelor  $S_2$  și  $S_3$  care sunt concave). Acest calcul se continuă pînă la atenuarea componentei reflectate. Practic, chiar pentru coeficienți de reflexie mari, după 4 - 5 reflexii, reflexiile multiple se atenuează sub 5%, putând fi apoi neglijate.

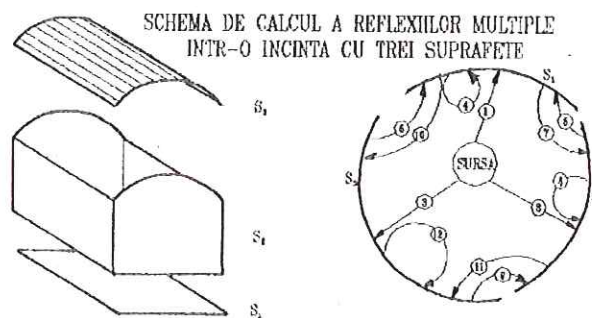


Fig. 8 Reflexia multiplă într-o incintă delimitată prin trei suprafețe - formalizarea calculului pentru evaluarea componentei reflectate

Problema generalizării formalismului prin care să se exprime modul de calcul al componentei reflectate se complică în continuare dacă numărul suprafețelor ce delimitează o încăpere este egal cu șase (paralelipiped) sau mai mare.

Rezolvarea acestei probleme constă în tratarea unitară a suprafețelor. Practic, toate suprafețele se integrează în una singură (fig. 9), fără însă a se compromite identitatea a nici uneia din zonele de interes. Suprafețele sunt tratate numeric, prin discretizare oricât de fină. Discretizarea suprafețelor face ca orice detaliu (fereastră, mobilier, perete) să poată fi identificat, chiar dacă elementele sunt integrate într-o singură matrice a coordonatelor nodurilor elementelor finite.

Chiar dacă se studiază la un moment dat reflexia unei suprafețe oarecare pe altă suprafață oarecare, fără să existe nici o relație de vecinătate între ele, raționamentul rămâne



valabil. Se introduce o suprafață fictivă - cu coeficient de reflexie nul și discretizată grosier - care le va uni pe cele două.

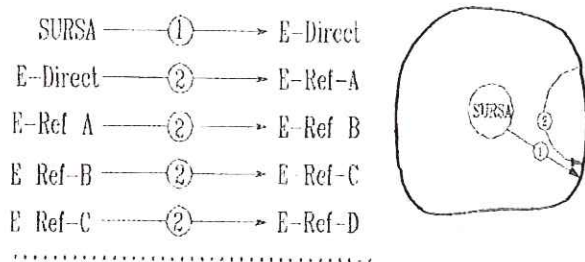


Fig. 9 Reflexia multiplă într-o cavitate

Dacă toate situațiile luminotehnice se rezumă astfel la analiza reflexiilor multiple într-o cavitate (închisă), calculul se reduce formal la două secvențe (fig. 9) :

- calculul componentei iluminării directe, utilizând procedura generală de calcul 1;
- calculul componentei reflectate succesive (pentru pași A,B, C..) utilizând procedura generală de calcul 2.

## 6. Utilizarea mediului de programare MATLAB

Pentru a putea explica simplificarea de fond adusă tratării formale a reflexiei multiple, se prezintă modul de apelare pentru funcțiile MATLAB elaborate de autor, în scopul rezolvării celor două proceduri de calcul din figura 9.

6.1. Calculul componentei iluminării directe se rezolvă cu funcția LAMPA. Apelarea acesteia se realizează astfel:

$$E=lampa(curbe, punct, X,Y,Z)$$

Funcția calculează iluminarea suprafeței indicată matricial prin coordonatele punctelor  $X, Y, Z$ , de către corpul de iluminat aflat în poziția *punct* (vector cu coordonatele carteziene corespunzătoare) și care are curbele distribuției intensității luminoase *curbe* (matrice în coordonate polare complete, pentru a minimiza interpolările).  $E$  este tot o matrice, având dimensiunile impuse de rețeaua pentru care se calculează iluminările.

6.2. Calculul componentei reflectate:

$$E=luminas(X1,Y1,Z1,XT,YT,ZT,RO,ECC)$$

Funcția LUMINAS calculează iluminarea produsă pe suprafața țintă  $XT, YT, ZT$  de către suprafața luminată  $X1, Y1, Z1$  cu un nivel de iluminare  $ECC$  și care este caracterizată de matricea coeficienților de reflexie  $RO$ .

## 7. Concluzii

Factorii de formă, definiți în prezent ca raport între fluxul primit de o suprafață față de fluxul total reflectat de cealaltă suprafață, variază la fiecare reflexie succesivă. Acest raport nu depinde numai de elementele geometrice, deci el nu poate caracteriza fenomenul reflexiei multiple.

Factorii de formă calculați prin metoda numerică elaborată de autor se verifică prin valorile calculate analitic, dar numai pentru cazuri particulare (luminanță constantă pe suprafața care emite, pentru reflexia inițială).

Utilizarea *factorilor de formă* poate fi restrânsă și datorită faptului că descriu (cu aproximațiile și erorile sesizate) fenomenul reflexiei în mod global, fiind în plus și dificil de calculat pentru suprafețe particulare. Aceste dificultăți sunt depășite prin utilizarea modelului experimental (MATLAB) elaborat de autor și care materializează modelele teoretice generalizate pentru corpurile de iluminat și reflexiile multiple.

## Bibliografie

1. Bianchi, C. - *Luminotehnica*, Editura Tehnică, București, 1990
2. Murdoch, Joseph B., - *Illumination Engineering - From Edison's Lamp to the Laser*, Macmillan Publishing Company, New York, 1985
3. Gălățanu, Cătălin-Daniel - *Modelarea sistemelor de iluminat asistată de calculator*, Editura TEHNOPRESS, Iași, 1999
4. Șuvagău C., Bianchi C. - *Metodă de calcul a iluminării reflectate punctuale*, Conferința de Electroenergetică, Timișoara, 1994

## Abstract

A new method based on original MATLAB functions is proposed, which allows a more simple and precise determination of the flux transfer between surfaces. The results obtained solving some test problems are used to demonstrate why the form factors are not relevant for the analytical basis of the flux transfer.

## Adresa de contact:

Dr. Cătălin Daniel GĂLĂȚANU, Conferențiar  
E-mail: [cgalatan@ce.tuiasi.ro](mailto:cgalatan@ce.tuiasi.ro)



# MAVILE AN EUROPEAN AND AMERICAN NETWORK ON VISUAL ENVIRONMENT AND EFFICIENT LIGHTING

Carlos KIRSCHBAUM  
National University of Tucumán

## Introduction

The study and research on lighting at the National University of Tucumán, Argentina, started 40 years ago. At that time Prof. Herbertho Bühler founded the Lighting Laboratory as part of the chair on Electrical Installations at the Institute of Electrical Engineering of the Faculty of Exact Sciences and Technology. Since then the activities have been extended continuously covering teaching, research and consulting to private and government institutions of Argentina and Latin-American countries. For the time being the staff are 25 researchers, fellows, technicians and administrative assistants. The Department is placed in a 2000 m<sup>2</sup> building. The group has strong links with firms, universities and research centres from different countries. The main institutional and academic milestones are:

**1963:** The laboratory is created as part of the chair on Electrical Installations.

**1965:** Electrical and photometry instruments were acquired by a loan of the International Bank of Development.

**1969:** The first luminaries photometric data are obtained by a goniometer, designed and manufactured in Tucumán.

**1978:** Advanced equipment is incorporated through an agreement between the Argentinean World Football Championship Commission and international lighting firms.

**1989:** The Postgraduate School on Light and Vision is created. Offers Master and Doctorate degrees for engineers, architects, psychologists and designers. Experts from

Argentina, Germany, England and USA are invited to deliver lectures.

**1991:** A unit for services and technology transfer to the industry is organised with last generation instruments on optics, spectroradiometry, electricity and vision.

An exchange programme on Training and Research on Lighting is signed with the British Council.

**1992:** The Laboratory is transformed in Institute on Lighting, Light and Vision. The first doctor Thesis on Light and Vision is approved.

**1995:** The European Union approves a network of European and Latin American universities on Visual Environment and Efficient Lighting (MAVILE). The co-ordinator is the Department in Tucumán

**1995-1999:** 10 Magister and Doctor Thesis have been finished.

**1998:** Diploma on Visual Environment and Efficient Lighting. 12 Specialists got the degree.

**1999:** New university short term career, 3 years: Technical Designer on Lighting. The Argentinean National Council for Evaluation and Accreditation of Universities accredits the Diploma, Master and Doctorate degrees. An International Seminar on Teaching and Research on Lighting is organised as jubilee about the 10 years of the Postgraduate School on Light and Vision

## Objectives of MAVILE

MAVILE is a network of European, Latin American and North American teaching and research groups on lighting, environmental architecture and psychology, optics and vision.



This is a programme for training specialists in the field of visual environment and efficient lighting, with the intention to cover the new needs of the modern world. It aims to obtain a source of competent professionals with the ability to manage tools typical of this kind of knowledge at the academic, private and industrial level in Latin America.

MAVILE deals with: (a) visual relations between the human being and its environment; (b) its improvement; (c) the way people use the visual system in the acquisition and processing of information; (d) the effects of light stimulus on productivity and behaviour; (e) the characteristics of the visual environment, in order to optimise the interface with the human being.

The programme comprises three levels: Diploma, Master and Doctorate in the following subject: Visual Environment and Efficient Lighting. The Diploma programme leads to a Diploma certified degree (as a specialist in lighting). It is meant for engineers, architects, designers and physicists.

#### **First Level: Diploma (6 months full-time)**

This level is destined to those who are looking for further training or improvement of their professional profile in this field. They will have to take compulsory courses during 26 weeks, with a minimum load of 25 hours per week, including lectures, laboratory practice and case studies.

#### **Second Level: Master Degree (1 year full-time)**

The Master Programme completes the Diploma programme with advanced courses and a thesis on one of the MAVILE subjects. The aim of the thesis is to introduce the student in the scientific-technological research activity and to allow him/her certain autonomous ability to use the tools, which are learned through the courses, applied to a specific subject.

#### **Third Level: Doctorate (2-3 years full time)**

Other courses will be added to those of the Diploma/Master programme at this level, to complete the candidate's knowledge, according to the chosen themes and personal interests. The

goal of the thesis is to show autonomy, investigation capacity and critical attitude towards an original work in the field of MAVILE.

### **Main courses for the MAVILE graduate Program 2000**

#### **Module I - Formation and Representation of the Image. Optics, Vision and Photometry.**

*Language: Spanish.*

*Duration:* 200 hours (20 credits in 2 months), with a 50% practical and laboratory activities.

*Lecturers:* Dr. E. Colombo<sup>1</sup>, Eng. J. Sandoval<sup>1</sup>, Dr. M. Pesa<sup>2</sup>, Prof. Dr. A. Viollaz<sup>4</sup>, Eng. L. Assaf<sup>1</sup>, MSc. L. Rodríguez Rübke<sup>3</sup>

*Contents:* Optical representation of the reality. Properties and limits of images, Instrumental optics, the eye. Resolution power, contrast, aberrations. The human processing of information. Spectral sensitivity and retinal illumination. Visual pathways. Visual functions: adaptation, visual field, visual acuity, spatial and temporal contrast sensitivity, stereoscopic vision, colour vision. Generation and measurement of light. Measurement instruments, lighting sources and auxiliary equipment, detectors, colorimeters, photometry of surfaces. Statistics for experimenters. Design and statistic analysis of data. Use of statistical programmes

#### **Module II - The Human Activity and Visual Environment**

*Language:* Spanish and English

*Duration:* 100 hours (10 credits in 1 month) with a 50% practical and laboratory activities.

*Lecturers:* Prof. Dr. C. Kirschbaum<sup>1</sup>, Dr. E. Colombo<sup>1</sup>, Lic. B. O'Donnell<sup>1</sup>, Lic. M. Jaén<sup>1</sup>

*Contents:* The language of light. Visual relation with the environment: psychological and physical dimensions. Visual perception and evaluation of urban and local spaces. Visual efficiency. Specific visual tasks. Abnormal and low vision. Visual stress. Seasonal affective disorders.

#### **Module III - Quantification and Prediction of Lighting.**

*Language:* Spanish and English



*Duration:* 300 hours (30 credits in 3 months) with a 60% practical and laboratory activities.

*Lecturers:* Prof. D-ra. L. Mascaró<sup>8</sup>, Dr.-Eng. C. Kirschbaum<sup>1</sup>, MSc. M. Raitelli<sup>1</sup>, Eng. L. Assaf<sup>4</sup>, Prof. Dr.-Ing. H. Hoffmann<sup>5</sup>, Arch. L.Gujarro<sup>6</sup>, Lic. A. Pattini<sup>7</sup>

*Contents:* Illumination calculation. Calculating methods. Lighting design assisted by computers. Lighting system design, outdoors and indoors. Light and Architecture, Integration of natural light with artificial light, Balance between productivity and well-being. Energetic and economic impact. Operation, regulation, control and maintenance.

1. *National University of Tucumán, Department on Lighting, Light and Vision, Argentina*
2. *National University of Tucumán, Institute of Physics, Argentina*
3. *Catholic University of Valparaíso, Faculty of Engineering, Chile*
4. *National University of Tucumán, Dpto. de Matemáticas, Argentina*
5. *Damstadt University, Faculty of Architecture, Germany*
6. *National University of Tucumán, Faculty of Architecture and Urbanism, Argentina*
7. *National Research Council, Laboratory on Human Environment and Buildings, Mendoza, Argentina*
8. *Federal University of Río Grande do Sul, Faculty of Architecture, Brasil.*
9. *Univ. Federal de Río Grande del Sur, Fac. Arquitectura, Brasil.*

#### **Lectures and Seminars on New Technologies on Lighting and control**

During the 6 months of the Diploma programme are also offered lectures with the participation of experts from leading industries and lighting firms as well as research centres. The following firms and Institutions have participated in 1998 and will do in 2000 (noticed with \*): INTELLUX (Italy), LIGHTING TECHNOLOGIES (USA), ERCO (Germany)\*, OSRAM\*, PHILIPS\*, WAMCO\*, STRAND\*, FACALU\*, MEGA\* (Argentina), Applied Laser Laboratory

(Argentina), Light and Radiation Group (France), Lighting Research Centre (USA), Optics Dep. (Valladolid, Spain), Building and Architecture Technology Dep. (Madrid, Spain), Architecture Dep. (Porto Alegre, Brazil)\*.

#### **Themes for thesis**

##### **A) Themes for the Master Programme**

1. **Lighting and preventive conservation of monuments and historical places.** Polytechnic Univ. Madrid; Institute for Conservation and Restoration of Cultural Goods, Spain. Dr. R. Puentes García, Lic. M. A. Rodríguez Lorite (Madrid).
2. **Energetic Management and Economy of Road Lighting Systems.** Polytechnic Univ. Catalunya; Catholic Univ. Valparaiso. M.Sc. E. Piraino Davidson (Chile); Dr. R. San Martín Paramo (Barcelona), Mag. Eng. E. Manzano (Argentina)
3. **Design of Energetically Efficient Luminaries. Optical Treatment.** Univ. Valladolid; Polytechnic Univ. Catalunya, Spain. Dr. J. Vizmanos (Valladolid); Dr. R. San Martín Paramo (Barcelona), Eng. J. Sandoval, (Argentina).
4. **Effects of Lighting in the Appearance of Persons, Objects and Places. Influence in Behaviour.** National Univ. Tucumán, A. Dr. C. Kirschbaum, M.Sc. G. Tonello.
5. **Physiological Optics and Image Processing.** Univ. Murcia; S; Bristol, Nottingham, Newcastle, (UK); Tucumán,(A). Dr. P. Artal (S); or Ph.D. T. Troscianko (UK); MSc A. Párraga (A), Ph.D. M. Bloch (A) or Ph.D. A. Derrington (UK) or Dr. E. Colombo (A)
6. **Energy Efficient Lighting in Buildings.** National Univ. Tucumán, Argentina. Eng. L. Assaf, M.Sc. M. Raitelli

##### **B) Themes for the Doctorate Programme**

1. **Lighting and Perception of Urban Spaces and Buildings and the Impact on its Users and the Environment.** Federal Univ. Rio Grande do Sul, Brazil. National Univ.



- Tucumán. Dr. L. Mascaró, Dr. C. Kirschbaum, Mag. Eng. E. Manzano, Argentina. *Courses*: Daylighting, scaled on building and urban spaces; use of light as an element of architectural composition; integration of daylight and artificial lighting systems in architectural and urban projects; lighting and temperature performance of vegetation. Visual environment
2. **Lighting of Monuments and Historical Sites. Radiation Effects on Art Works.** Polytechnic Univ. Madrid, Institute for Conservation and Restoration of Cultural Goods, Spain. Dr. R. Puentes García, Lic. M. A. Rodríguez Lorite. *Course*: Design and radiation effects on materials.
  3. **Efficient Lighting of Working places.** National Univ. of Tucumán and Department of Civil Engineering and Buildings from the National School for Public Works of Lyon, France. Dr. C. Kirschbaum and Dr. M. Fontoynont. *Courses*: Visual environment (Tucuman); Advanced Lighting (Lyon).
  4. **Daylighting Design.** Univ. Liverpool and National Univ. Tucumán. Dr. D. Carter (UK), MSc), Ph.D. M Fontoynont (France), Lic. A. Pattini(A). *Courses*: Daylighting Design. Effects of Daylighting on humans
  5. **Colorimetry, Spectra and Sensors with Matrix CCD Arrangement.** Univ. Valladolid, S, Dr. J. Vizmanos, MSc Ing. A. Cabello (A). *Courses*: The image in artificial lighting; Spectroradiometry.
  6. **The Influence of the Visual Environment on Comfort.** National University Tucuman. Prof. A.Wilkins (UK), Dr. C. Kirschbaum, Prof. Peter Boyce (USA), M.Sc. G. Tonello (A), *Courses*: Visual Stress. Visual Environment
  7. **Non-Visual Effects of Light and Colour.** Univ. of Lund, Sweden, Univ.Nacional Tucumán. Dr. R. Küller, MSc. G. Tonello (A). *Courses*: Environmental Psychology.
  8. **Colour Appearance.** *Place*: Univ. Newcastle, UK. Dr. A. Hurlbert,. *Course* The vision of colours
  9. **Spatial and Temporal Aspects of Visual Process. Adaptation.** Univ. Nottingham,

National Univ. Tucumán. Ph.D.A. Derrington (UK), Dr. E. Colombo (A). *Course*: Processing of early visual information

10. **Human and Computer Vision.** Univ. of Bristol, UK, Univ. of La Plata, A, Dr. T. Troscianko, Dr. M. Garavaglia. *Course*: Human Visual Information Processing
11. **Physical Limits of Vision.** Univ. of Murcia, S. Dr. P. Artal. *Courses*: Physiological optics and image processing.
12. **Vision: Adaptation and Lighting.** National University of Tucumán, Dr. E. Colombo. *Courses*: Early vision and temporal aspects of vision.

Information:

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión,  
 Universidad Nacional de Tucumán  
 Av. Independencia 800, 4000-Tucumán, Argentina  
 Tel./Fax: +54. 381. 4361936  
 e-mail: ilum@herrera.unt.edu.ar  
 Prof. Dr.-Eng. Carlos Kirschbaum  
 Academic Director of MAVILE  
[Ckirschbaum@arnet.com.ar](mailto:Ckirschbaum@arnet.com.ar)



Born in San Miguel de Tucumán, Argentina, 11/09/1944  
 1973, Licenciado en Física, Universidad Nacional de Tucumán, orientation Lighting. Supervision: Prof. Lic. Oreste Santochi  
 1981, Doktor-Ingenieur, Technische Universität Berlin, Doktor Thesis: Über die Messung der Sichtbarkeit. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krochmann.  
 1973-1976 Research Assistant, Lighting Laboratory, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Prof. Ing. Herberto C. Bühler.  
 March 1976 - January 1978, Researcher, Fellowship from Danish Development Agency, Danish Illumination Laboratory, Lyngby, Denmark. Research work: Measurement of reflection properties of road surfaces. Contrast sensitivity of the human eye. Dipl. Ing. Erik Frederiksen.  
 February 1978 - September 1981. Researcher, Institut für Lichttechnik, Technische Universität Berlin, Subject: Development of a Visibilitymeter. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krochmann.  
 Since June 1982 Senior Researcher. National Research Council, Argentina. Lighting Laboratory, Universidad Nacional de Tucumán.



Since June 1992, Professor on the field Lighting, Since November 1992, Academic Director of the Postgraduate School on Light and Vision, Since April 1997, Academic Director of International Diploma on Visual Environment and Efficient Lighting, Faculty of Exact Sciences and Technology, Department on Lighting, Light and Vision, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

## **MAVILE O REȚEA EUROPEANĂ ȘI AMERICANĂ PENTRU MEDIU AMBIANT VIZUAL ȘI ILUMINAT EFICIENT**

### **Introducere**

Studierea și cercetarea în iluminat la Universitatea Națională din Tucumán, Argentina a început în urmă cu 40 ani. Atunci, Prof. Herberto Bühler a creat Laboratorul de Iluminat ca parte a catedrei de Instalații Electrice la Institutul de Inginerie Electrică din Facultatea de Științe Exacte și Tehnologie. De atunci, activitățile au fost extinse continuu acoperind învățământul, cercetarea și consultarea pentru instituții particulare și private din Argentina și țările Latino-Americane. În prezent, staff-ul cuprinde 25 cercetători, bursieri, tehnicieni și asistenți administrativi. Departamentul este amplasat într-o clădire de 2000 m<sup>2</sup>. Grupul are strânse legături cu firme, universități și centre de cercetare din diferite țări. Principalele jaloane instituționale și academice sunt:

**1963:** Laboratorul este creat ca parte a Catedrei de Instalații Electrice

**1965:** Instrumentație electrică și fotometrică a fost achiziționată printr-un împrumut al Băncii Internaționale de Dezvoltare.

**1969:** Primele date fotometrice pentru corpuri de iluminat au fost obținute cu un goniofotometru proiectat și realizat la Tucumán.

**1978:** Echipament avansat (performant) este încorporat printr-un acord între Comisia Campionatului Mondial de Fotbal și firme internaționale de iluminat.

**1989:** Școala postuniversitară în Lumină și Vedere este creată. Oferă studii de Master și

Doctorat pentru ingineri, arhitecți, psihologi și proiectanți. Experți din Argentina, Germania, Anglia și SUA sunt invitați să susțină prelegeri.

**1991:** O unitate pentru servicii și transfer tehnologic către industrie este organizată cu cea mai nouă generație de instrumente optice, spectroradiometrie, electricitate și vedere.

Un program de schimburi în pregătire și cercetare în iluminat este semnat cu Consiliul Britanic.

**1992:** Laboratorul este transformat în Institut de Iluminat, Lumină și Vedere. Prima Teză de doctorat în Lumină și Vedere este aprobată.

**1995:** Uniunea Europeană aprobă o rețea de universități Europene și Latino-Americane în Mediu Ambient Vizual și Iluminat Eficient (MAVILE). Co-ordonatorul este Departamentul din Tucumán

**1995-1999:** 10 teze de Magister și Doctor au fost finalizate.

**1998:** Diploma în Mediu Ambient Vizual și Iluminat Eficient. 12 specialiști au primit gradul.

**1999:** O nouă formă de pregătire de scurtă durată, 3 ani: Proiectant tehnic în iluminat. Consiliul Național Argentinian pentru Evaluare și Acreditare Universitară acreditează studiile de Diploma, Master și Doctorat. Un Seminar Internațional în Învățământ și Cercetare în Iluminat este organizat ca un jubileu de 10 ani de Școală Postuniversitară în Lumină și Vedere.

### **Obiectivele MAVILE**

MAVILE este o rețea de grupuri de instruire și cercetare în iluminat, arhitectura și psihologie, optică și vedere din Europa, America Latină și America de Nord. Acesta este un program de pregătire a specialiștilor în domeniul mediului ambient vizual și iluminatului eficient, cu intenția de a acoperi noile necesități ale lumii moderne. Scopul acestuia este de a obține o sursă de profesioniști competenți cu abilitate de stăpânire a acestor cunoștințe la nivel academic, pentru sectorul privat și industrial din America Latină. MAVILE tratează: a) relațiile vizuale între om și mediul înconjurător; b) îmbunătățirea acestora; c) modul în care oamenii folosesc sistemul vizual în obținerea și procesarea informațiilor; d) efectele



stimulilor de lumină asupra productivității și comportamentului uman; e) caracteristicile mediului vizual pentru a optimiza interfața cu ființa umană. Programul cuprinde trei niveluri: Diploma (de absolvire), Master și Doctorat, cu următorul subiect: Mediu ambiant vizual și Iluminat Eficient. Programul pentru Diploma conduce la un certificat de specialist. Diploma certifică gradul (ca specialist în iluminat). Este destinat inginerilor, arhitecților, proiectanților și fizicienilor.

#### **Primul nivel: DIPLOMA ( 6 luni full-time)**

Acest nivel este destinat acelor care doresc o pregătire suplimentară sau îmbunătățirea cunoștințelor profesionale în acest domeniu. Aceștia trebuie să participe la cursuri obligatorii. Acest program se desfășoară pe durata a 26 de săptămâni, cu 25 de ore pe săptămână, incluzând cursuri, lucrări de laborator și studii de caz.

#### **Al doilea nivel: Master (1 an full-time)**

Programul Master vine în completarea programului Diploma cu cursuri avansate și o teză cu unele din subiectele MAVILE. Scopul tezei este de a introduce studentul în activitatea de cercetare științifică-tehnologică și pentru a-i oferi autonomie în utilizarea instrumentelor în timpul cursurilor, aplicate pe subiect specific.

#### **Al treilea nivel: Doctorat (2-3 ani full-time)**

La acest nivel, alte cursuri vor fi adăugate celor din cadrul programelor Diploma / Master pentru a completa cunoștințele candidaților în conformitate cu temele alese și interesele personale. Scopul tezei este de a arăta capacitatea de investigare, autonomia și atitudinea critică împreună cu lucrarea originală în domeniul MAVILE.

#### **Cursuri principale (de bază) ale programului MAVILE 2000**

##### **Modulul I – Formarea și Reprezentarea Imaginii. Optică, Vedere și Fotometrie.**

*Conținut:* Reprezentarea optică a realității. Proprietățile și limitele imaginilor, Optica instrumentală, ochiul. Puterea de rezoluție, contrastul, aberațiile, etc. Procesarea informației.

52

Sensibilitatea spectrală și iluminarea retinei. Căile vizuale. Funcțiile vizuale: adaptarea, câmpul vizual, acuitatea vizuală, sensibilitatea de contrast temporal și spațial, vederea stereoscopică, vederea culorii. Generarea și măsurarea luminii. Instrumente de măsurare, surse luminoase și echipamente auxiliare, detectori, colorimetre, fotometrie a suprafețelor. Statistică pentru experimenterii, proiectarea și analiza statistică a datelor. Utilizare programelor statistice.

##### **Modulul II – Activitatea umană și Mediul înconjurător**

*Conținut:* Limbajul luminii. Relația vizuală cu mediul: dimensiuni fizice și psihologice. Percepția vizuală și evaluarea spațiilor locale și urbane. Eficiență vizuală. Sarcini vizuale specifice. Vedere scăzută și neadecvată. Stress vizual. Deranjamente afective caracteristice.

##### **Modulul III – Cuantificarea și Prezicerea Iluminatului**

*Conținut:* Calculul iluminării. Metode de calcul. Proiectarea sistemelor de iluminat, interioare și exterioare. Lumina și Arhitectura. Integrarea luminii naturale cu lumina artificială. Balanța dintre productivitate și starea de bine (confort). Impactul energetic și economic. Funcționarea, reglarea, controlul și întreținerea.

##### **Cursuri și Seminarii de Noi Tehnologii în Iluminat și Control**

Pe durata de 6 luni a programului de Diploma se desfășoară cursuri cu participarea experților de la întreprinderi de vârf și companii de iluminat precum și din centre de cercetare; sunt menționate firmele care au participat în 1998 și care vor participa în 2000 (notate cu \*).

##### **Teme pentru teze**

###### **A) Teme pentru Programul Master**

1. Iluminatul și conservarea preventivă a monumentelor și locurilor istorice.
2. Managementul energetic și Analiza economică a sistemelor de iluminat rutier.



3. Proiectarea corpurilor de iluminat eficient energetic. Tratament optic.
4. Efectele iluminatului la vizualizarea spațială a persoanelor, obiectelor și locurilor. Influența asupra comportamentului.
5. Optica fiziologică și Procesarea Imaginii.
6. Iluminatul eficient energetic în clădiri.

## **B) Teme pentru Programul de Doctorat**

1. Iluminatul și percepția spațiilor urbane și clădirilor și Impactul asupra utilizatorilor și mediului. *Cursuri:* Lumina naturală măsurată în spații urbane și clădiri; utilizarea luminii ca element al compoziției arhitecturale; integrarea sistemelor de iluminat natural și artificial în proiectele arhitecturale și urbane; iluminatul și temperatura cerute de vegetație; mediul vizual.
2. Iluminatul monumentelor și locurilor istorice. Efectele radiației asupra lucrărilor de artă. *Curs:* Proiectarea și efectele radiației asupra materialelor.
3. Iluminatul eficient al locurilor de muncă. *Cursuri:* Mediul Vizual (Tucumán); Iluminatul avansat (Lyon).
4. Proiectarea iluminatului natural. *Cursuri:* Proiectarea iluminatului natural. Efectele luminii naturale asupra ființelor umane.
5. Colorimetrie, Spectru și Senzori cu aranjament matricial CCD. *Cursuri:* Imaginea în iluminatul artificial. Spectroradiometrie.
6. Influența mediului vizual asupra confortului. *Cursuri:* Stressul vizual. Mediul vizual.
7. Efectele non-vizuale ale luminii și culorii. *Cursuri:* Psihologia ambientală.
8. Aspectul colorimetric. *Curs:* Vederea culorilor.
9. Aspectele spațiale și temporale ale procesului vizual. Adaptarea. *Curs:* Procesarea informației vizuale primare.
10. Vederea umană și computerizată. *Curs:* Procesarea informației vizuale umane.
11. Limitele fizice ale vederii. *Cursuri:* Optica fiziologică și procesarea imaginii.
12. Vederea: Adaptare și Iluminat. *Cursuri:* Vederea primară și aspecte temporare ale vederii.



# ENERGY SAVINGS THROUGH DAYLIGHT

Jorma LEHTOVAARA & Eino TETRI  
HUT – Helsinki University of Technology

## Abstract

Fluorescent lamps can be dimmed according to daylight using dimmable ballast and a sensor that measures the daylight. The amount of daylight inside is dependent on, for instance, the size and shape of the windows and the point of the compass. Lighting control systems were tested in an office room. Energy savings through daylight in a test week were 54% and 67% depending on the control system and the weather. When old luminaires with conventional magnetic ballasts are replaced with new ones with electronic ballasts, the total energy savings can be 75%.

## 1 Availability of daylight

The amount of daylight inside is dependent on many variables. These are, for instance, the size and shape of the windows, the point of the compass, the shape and surface reflectances of the room and external barriers shadowing the windows. The daylight coming inside is not directly proportional to the horizontal illuminance outside, but is dependent on the direction of the sun and the brightness of the sky. Even on cloudy days the daylight inside can be high, if the luminance of the clouds facing the windows is high. In contrast, a clear, blue sky can cause quite low daylight levels inside.

## 2 Lighting control units

To achieve the theoretical savings, the lighting control system should be automatic with the possibility of manual control. Fluorescent lamps can be dimmed according to daylight using dimmable ballasts and a sensor that measures the daylight. The sensor can be a photoresistor, which is affixed to the lamp and connected directly to dimmable ballast. The sensitivity of

the resistor can be adjusted by resizing the light aperture. More developed sensors contain electronics that, for instance, generate hysteresis for the sensor. Then momentary daylight changes do not affect the artificial lighting. The dimmable electronic ballast is always needed in addition to the sensor. The dimmable electronic ballast will raise the price of the luminaire considerably.

It is advisable to dim the lamps near the windows more than those that are farther from the windows. Thus, the visual conditions are kept good and balanced throughout the room. The efficiency of a lighting control system is determined not only by the energy savings, but also by how it fulfils the requirements for a good visual environment and users' needs.

## 3 Efficacy of dimming

When a fluorescent lamp is dimmed, both the luminous flux and the power are reduced. When the luminous flux is on the minimum level (1...5%), the power is still about 20%. Thus, the luminous efficacy (lm/W) is reduced especially on low light levels, as Fig. 1 shows.

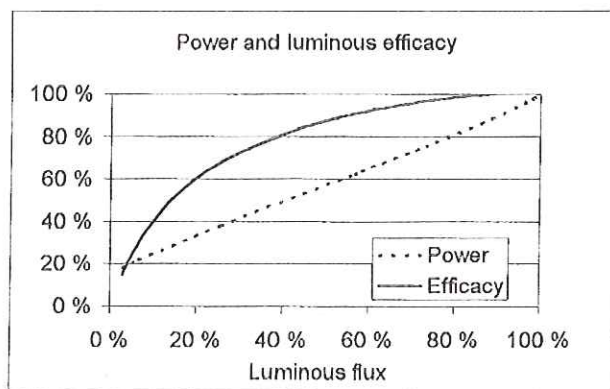


Fig. 1 The relative power and luminous efficacy of the lamp and the electronic ballast when lamp is dimmed.



The illuminance of an installation will decrease due to lamp lumen depreciation and accumulation of dirt on lamps and luminaires. The designed initial illuminance is considerably higher than the illuminance before cleaning and relamping. One advantage of the lighting control system is the possibility to reduce the illuminance of a new installation. The lighting control system keeps the illuminance on the chosen level over the replacement interval.

#### 4 Renovation projects

In old installations luminaires with 2 lamps are common. These luminaires often have very poor efficiency. In Finland old ballasts still exist, which have 220 V rated voltage. The rated supply voltage is now 230 V. These old ballasts have large thermal losses when the voltage is 230 V. The new light sources have greater efficacy and the optical efficiency of the new luminaires can be considerably higher than that of the old ones.

When luminaires are replaced with new ones, 30% of the energy can be saved and the lighting is still improved. If the new luminaires have electronic ballasts, then the savings are about 20% higher. When lighting is dimmed according to daylight and the use of lighting is mostly in the daytime, then the control system can reduce the use of electricity about 50% compared to an undimmable system. Thus, the energy savings in a renovation project can be as high as 75% compared to the original lighting system.

#### 5 Presence sensor

Presence sensors can give some extra savings. They can either switch off the lighting or dim it to a minimum level, when the room has been empty for a while. When a presence sensor is used in addition to a daylight sensor, the extra savings can be quite moderate. For instance, if a person leaves the room only in the middle of the day for lunch, when the artificial lighting and the power are already dimmed on a low level. The biggest advantage of the presence sensor can be achieved in winter in the morning or in the evening.

#### 6 Effect of dimming on lamp life

A recent study in the Lighting Laboratory showed that the effect of dimming on lamp life and lumen reduction is negligible. The lamp or the electronic ballast is thus not an obstacle to wider use of daylight with artificial lighting.

#### 7 Measurements in office room

An example is test results of dimming according to daylight in an office room. Measurements were made during one week in August.

##### 7.1 Lighting control systems

Els, manufactured by Etap

The system controls the power and light output of the fluorescent lamp(s) per luminaire in accordance with the luminance (brightness) of the surface area illuminated by the luminaire. The system controls the light level with no delay. The system is made up of one LDR (Light Depending Resistor) sensor fixed directly on the lamp, facing downwards, and connected to the terminals of the HF ballast. For the calibration of the system there is an adjusting ring in the sensor.

Mimo 2, manufactured by Helvar

The new Helvar MIMO 2 system controls the power and light output of the fluorescent lamp(s) per luminaire in accordance with the luminance (brightness) of the surface area illuminated by the luminaire. The system electronics controls the light level with a delay of a few minutes. The system is made up of one tubular sensor and an electronics package installed in a luminaire, sensor side facing downwards, and connected to the terminals of the HF ballast. For the calibration of the system there is an aperture ring in the sensor.

The calibration of the systems is easy with a luxmeter during the night or on a cloudy day with the blinds down.

##### 7.2 Measurements

In the office room there were two 58 W luminaires. The minimum target values for the illuminances were 500 lx on the desk and 300 lx in the back of the room. Both dimming systems



were measured for a period of one week. The weather during the test weeks was mostly sunny or semi-cloudy. In both test weeks there was, however, one cloudy day. The outdoor illuminance during one working day is shown in Fig. 2.

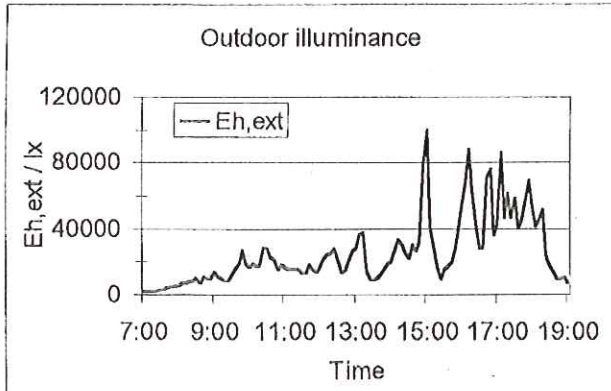


Fig. 2 Outdoor illuminance during a working day (measured 12.8.1999).

### 7.3 Results

When lighting is dimmed according to daylight, the lamps are dimmed continuously as Fig. 3 shows. The lamp in a luminaire near the window is dimmed to the minimum level for long periods. The power consumption on the minimum lighting level is about 20%. The lamp in a luminaire in the back of the room is dimmed quickly from 70% power level to minimum level.

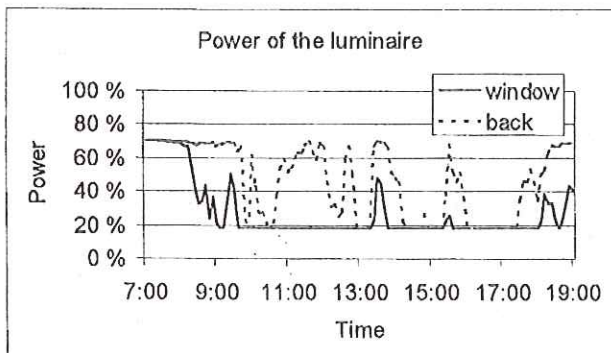


Fig. 3 The luminaires near the window and in the back of the room were dimmed according to daylight (measured 12.8.1999).

The target values without daylight were achieved without 100% artificial lighting level. With 70% power consumption, the light levels without daylight were the required 300 lx or 500 lx.

During the test week, the savings due to daylight varied daily from 54-65% with the luminaire near the window and 37-55% in the back of the room with one system. With the other systems, the savings were 71-75% with the luminaire near the window and 44-68% in the back of the room. Considering both luminaires, the energy savings through daylight during one week were 54% with one system and 67% with the other.

Fig. 4 shows the illuminance of the desk. The minimum target value was 500 lx. The minimum value is exceeded for the whole day. The working day in Fig. 4 is the same as in Fig. 2 and Fig. 3.

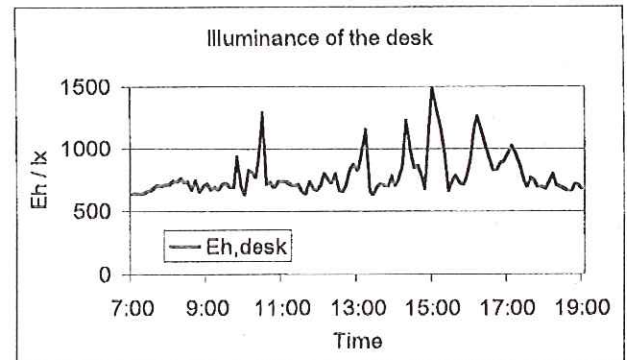


Fig. 4 Illuminance of a desk during a working day (measured 12.8.1999).

## 8 Discussion

Energy savings through daylight can be more than 50%. When old luminaires with conventional magnetic ballasts are replaced with new ones with electronic ballasts, the total energy savings can be 75%. Extra benefits are flicker-free light and longer lamp-life. However, the electronic ballast is much more expensive than conventional ballast. The profitability of the renovation is dependent, among other things, on the price of the electricity and annual burning hours.

**Jorma LEHTOVAARA**

M.Sc., Research Scientist

**Eino TETRI**

Lich. Tech., Research Scientist

Electrical and Communications Engineering

Department / Lighting Laboratory

P.O.Box 3000, FIN-02015 HUT, Finland

[www.hut.fi/Units/Lighting/](http://www.hut.fi/Units/Lighting/)



## ECONOMII DE ENERGIE PRIN LUMINA ZILEI

### Rezumat

Lămpile fluorescente pot fi reglate (*"to dimm"* – a micșora fluxul luminos emis de lampă) în funcție de lumina zilei folosind un balast cu reglabil și un senzor care măsoară lumina naturală. Cantitatea de lumină naturală din interior depinde de exemplu de dimensiunea și forma ferestrelor și de punctul cardinal. Sistemele de control al iluminatului au fost testate într-un birou. Economia de energie realizată într-o săptămână, prin folosirea luminii naturale relevată într-un test este între 54% și 67%, în funcție de sistemul de control și condițiile de vreme. Când vechile corpuri de iluminat cu balast magnetic convențional sunt înlocuite cu unele noi cu balast electronic, economia totală de energie poate fi de 75%.

### 1 Disponibilitatea luminii naturale

Cantitatea de lumina naturală din interior depinde de mai mulți factori. Aceștia pot fi, de exemplu, dimensiunea și forma ferestrelor, punctul cardinal, forma și suprafața reflectorizantă a camerei și barierele exterioare care umbresc fereastra. Lumina naturală care pătrunde în interior nu este direct proporțională cu iluminarea orizontală din exterior, dar este dependentă de direcția soarelui și de strălucirea cerului. Chiar și în zilele înnorate lumina naturală din interior poate fi mare, dacă luminanța norilor văzuți prin ferestre este intensă. În contrast, un cer senin, albastru, poate cauza niveluri slabe de lumină naturală în interior.

### 2 Unitățile de control al iluminatului

Pentru a realiza economii teoretice, sistemul de control al iluminatului ar trebui să fie automat cu posibilitatea de control manual. Lămpile fluorescente pot fi reglate în funcție de lumina naturală folosind balasturi reglabile și un senzor care măsoară lumina naturală. Senzorul poate fi un fotorezistor care este fixat pe lampă și conectat direct la balast. Sensitivitatea rezistorului poate fi ajustată redimensionând deschiderea luminoasă. Senzori mai dezvoltati conțin componente electronice care, de exemplu, generează bruiaje senzorului. Schimbările momentane ale luminii naturale nu afectează iluminatul artificial. Balastul reglabil electronic este întotdeauna necesar. Balastul va crește considerabil prețul instalației de iluminat.

Este de dorit să fie reglate lămpile de lângă fereastră, mai mult decât cele plasate mai departe. Atunci, condițiile vizuale sunt păstrate în limite bune și echilibrate pe suprafața camerei. Eficiența unui sistem de control al iluminatului este determinată nu numai de cantitatea de energie economisită, ci și de modul de îndeplinire a cerințelor pentru un mediu vizual bun și a necesităților utilizatorului.

### 3 Eficiența reglajului

Când o lampă fluorescentă este reglată, atât fluxul luminos cât și puterea sunt reduse. Când fluxul luminos este la nivelul minimum (1...5%), puterea este la aproximativ 20%. Astfel, eficiența luminoasă (lm/W) este redusă, în special la niveluri de lumină reduse – figura 1. Iluminarea unei instalații va scădea datorită deprecierei fluxului luminos și acumulării de praf pe lămpile și corpurile de iluminat. Iluminarea inițială proiectată este considerabil mai mare decât iluminarea de dinaintea curățirii și înlocuirii lămpilor. Un avantaj al sistemului de control al iluminatului este posibilitatea de a reduce iluminarea unei noi instalații. Sistemul de control al iluminatului păstrează iluminarea la nivelul ales în intervalul de înlocuire.

### 4 Proiectele de renovare

În instalațiile vechi corpurile de iluminat cu 2 lămpi sunt uzuale. Aceste corpuri de iluminat au în mod frecvent o eficiență slabă. În Finlanda vechile balasturi încă mai există și au o alimentare la 220V. Tensiunea de alimentare utilizată acum este de 230V. Aceste balasturi vechi prezintă mari pierderi termice când tensiunea este de 230 V. Noile surse luminoase au o eficiență mai mare și eficiența optică a noilor corpuri de iluminat este considerabil mai mare decât a celor vechi.

Când corpurile de iluminat sunt înlocuite cu cele noi, 30% din energie poate fi economisită, și iluminatul este îmbunătățit. Dacă noile corpuri de iluminat au balasturi electronice, atunci economiile de energie cresc cu încă 20%. Când iluminatul este reglat în funcție de lumina naturală și este folosit mai ales pe timpul zilei, sistemul de control poate reduce consumul la 50% față de un sistem necontrolat. Economii de energie realizate ca urmare a unui proiect de renovare pot fi de 75% comparate cu sistemul original de iluminat.



## 5 Senzorul de prezență

Senzorul de prezenta poate produce economii în plus. El poate de asemenea să întrerupă iluminatul sau să-l reducă la un nivel minim, atunci când camera este neocupată. Când este folosit un senzor de prezență pe lângă un senzor pentru lumina naturală, economiile făcute în plus nu sunt prea mari. De exemplu, dacă o persoană părăsește încăperea doar la pauza de masă, când lumina artificială și puterea sunt deja reduse la un nivel minim. Cel mai mare avantaj al senzorului de prezenta poate fi obținut iarna, dimineața sau seara.

## 6 Efectul reglării asupra duratei de viață a lămpii

Un studiu recent realizat în Laboratorul de Iluminat a arătat că efectul de reglare asupra duratei de viață a lămpii este neglijabil. Lampa sau balastul electronic nu sunt niciunul un obstacol în folosirea pe scara largă a luminii naturale în combinație cu lumina artificială.

## 7 Măsurători în birou

Un exemplu este rezultatele testului de reglare în funcție de lumina naturală într-un birou. Măsurătorile au fost făcute în timpul lunii August.

### 7.1 Sisteme de control al iluminatului

*Els, fabricat de Etap.* Acest sistem controlează puterea și fluxul luminos al lămpilor fluorescente pe în funcție de luminanța (strălucirea) suprafeței ariei iluminate de corpul de iluminat. Sistemul controlează nivelul de iluminare fără nici o întârziere. Sistemul este format dintr-un senzor LDR (Rezistor Dependent de Lumină) fixat direct pe lampă, cu fața întoarsă, și conectat la terminalele balastului HF. Există un inel de ajustare pentru calibrarea sistemului.

*Mimo 2, fabricat de Helvar.* Noul sistem MIMO 2 Helvar controlează puterea și fluxul luminos al lămpii (lămpilor) fluorescente în funcție de luminanța (strălucirea) suprafeței ariei iluminate de corpul de iluminat. Sistemul controlează nivelul de iluminare cu o întârziere de câteva minute. Sistemul este compus dintr-un senzor tubular și un montaj electronic introdus în corpul de iluminat, cu senzorul conectat la terminalele balastului HF. Pentru calibrarea sistemului există o deschidere inelară în senzor.

Calibrarea sistemelor este ușor de realizat cu un luxmetru pe timpul nopții sau într-o zi noroasă cu storurile trase.

### 7.2 Măsurătorile

În birou existau două corpuri de iluminat de 58 W. Valorile minime ale iluminării au fost de 500 lx pe birou și 300 lx în spatele camerei. Ambele sisteme de diminuare au fost măsurate pe durata unei săptămâni. Vremea în timpul săptămânii de test a fost în mare parte însorită sau semi-înnorată. În ambele săptămâni de teste a fost oricum, măcar o zi înnorată. Iluminarea exterioară într-o zi de lucru este dată în figura 2.

### 7.3 Rezultatele

Când iluminatul este reglat în funcție de lumina naturală, lămpile sunt reglate continuu după cum se vede în figura 3. Lampa dintr-un corp de iluminat de lângă fereastră a fost reglată la nivelul minim pentru perioade lungi. Consumul de putere la nivelul minim de iluminat este de aproximativ 20%. Lampa dintr-un corp de iluminat plasat în spatele camerei este reglată de la 70% până la un nivel minim de putere.

Valorile țintă fără lumină naturală au fost obținute fără 100% nivel de iluminat artificial. Cu un consum de putere de 70%, nivelurile de iluminare fără lumină naturală au fost de 300 sau 500 lx.

În timpul săptămânii de test, economiile au variat zilnic în funcție de variația luminii naturale, între 54-65% cu corpul de iluminat plasat lângă fereastră și 37 - 55% în cel plasat în spatele camerei cu un sistem. Cu celălalt sistem, economiile au fost de 71 - 75% cu corpul de iluminat plasat lângă fereastră și de 44 - 68% în spatele camerei. Luând în considerare ambele corpuri de iluminat, economia de energie pe timpul zilei în timpul unei săptămâni a fost de 54% cu un sistem și de 67% cu celălalt.

## 8 Concluzii

Economiile de energie pe timpul zilei pot fi mai mari de 50%. Când vechile corpuri de iluminat cu balast magnetic convențional sunt înlocuite cu unele noi cu balast electronic, economia totală de energie poate fi de 75%. Alte beneficii în plus ar fi un iluminat fără pâlpâire a luminii și o viață mai lungă a lămpilor. Totuși, balastul electronic este mult mai scump decât cel convențional. Profitabilitatea renovărilor depinde, printre altele, de prețul electricității și orele totale de funcționare anuale.