

INGINERIA ILUMINATULUI Lighting Engineering

Vol. 6, No. 14 – Winter, 2004

3 Editorial – Trends and costs in lighting

Florin POP

5 Five-year assessment of the European GreenLight programme

Călin CIUGUDEANU, Paolo BERTOLDI

17 The fuzzy, fuzzy-neural and neural control of interior lighting depending on daylight contribution.

Comparative study

Horațiu Ștefan GRIF, Adrian GLIGOR

25 Contrast thresholds of flashing coloured stimuli in peripheral vision at low light levels

Pasi ORREVETELÄINEN, Marjukka ELOHOLMA, Liisa HALONEN

Doctorate thesis

37 Contribution to the calculation and design of the interior lighting systems by light pipes

Oana DOBRE

40 Calculus and conception of the architectural integrated lighting systems

Mihai HUSCH

Conferences and symposiums

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

Information

45 Lighting Engineering Center – LEC – UTC-N

Florin POP

47 Lighting in the New World. Lighting and health

Cristian ȘUVĂGĂU

53 IEA Annex 45. Energy Efficient Electric Lighting for Buildings

Eino TETRI

59 Efficiency of daylighting systems using light-pipes

Cosmin ȚICLEANU

INGINERIA ILUMINATULUI

Anul 6, Numărul 14 - Iarna, 2004

3 Editorial – Tendințe și costuri în iluminat

Florin POP

5 Evoluția programului european GreenLight după cinci ani de existență

Călin CIUGUDEANU, Paolo BERTOLDI

17 Reglarea fuzzy, fuzzy-neuronală și neuronală a iluminatului interior în funcție de contribuția luminii naturale. Studiu comparativ

Horațiu Ștefan GRIF, Adrian GLIGOR

25 Pragul de contrast al stimulilor strălucitori colorați în vederea periferică la niveluri de lumină scăzute

Pasi ORREVETELÄINEN, Marjukka ELOHOLMA, Liisa HALONEN

Teze de doctorat

37 Contribuții la calculul și concepția sistemelor de iluminat interior prin tuburi de lumină

Oana DOBRE

40 Calculul și concepția sistemelor de iluminat integrate cu arhitectura

Mihai HUSCH

Conferințe și simpozioane

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

Informații

45 Centrul de Ingineria Iluminatului – UTC-N

Florin POP

49 Iluminatul în Lumea Nouă. Iluminatul și sănătatea

Cristian ȘUVĂGĂU

53 IEA ANEXA 45. Iluminat electric eficient energetic pentru clădiri

Eino TETRI

59 Eficiența sistemelor de iluminat natural cu tuburi de lumină

Cosmin ȚICLEANU

TRENDS AND COSTS IN LIGHTING



Dr. Florin POP, Professor

The first paper by **Ciugudeanu** and **Bertoldi** refers to the European GreenLight programme, after five years of operation. Lighting electricity use in the European non-residential sector represents more than 160 TWh/year (estimates vary depending on source). Major energy savings can be achieved. Examples from the field have shown that between 30-50% of electricity used for lighting could be saved investing in energy-efficient lighting technologies. In most cases, such investments are not only profitable but they also maintain or improve lighting quality. By the end of 2004, a total of 195 Partners signed the GreenLight partnership, thereby committing to adopting energy-efficient lighting practices in their premises. The lack of capital and the inability to get financing for projects are well-known key barriers to energy efficiency investments. GreenLight investments use proven technology, products and services which can reduce lighting energy use by 30% to 50%, earning Internal Rates of Return (IRR) above 20%. GreenLight upgrades have covered the range of energy-efficiency measures, as replacing general lighting service incandescent bulbs or high pressure mercury lamps, installing occupancy linking control systems or light flux regulators. Energy savings are

specific to each lighting installation, depending on the installed technologies, the operating hours, the occupancy pattern and other factors. GreenLight is one of many new initiatives trying to create effective public private partnership to achieve societal and environmental benefits. GreenLight is changing the way organisations make decisions about energy-efficiency, elevating decision-making to senior corporate officials.

The paper of two young researchers **Grif** and **Gligor** describes the behavior of three automatic lighting control systems of interior lighting depending on daylight contribution, a fuzzy, a fuzzy-neural and a neural controller. The automatic system attempts to maintain constant the illuminance at the desired level on working plane even if the daylight contribution is variable; therefore, the daylight will represent the perturbation signal. The fuzzy controller has a better behavior versus the fuzzy-neural and neural, even if the fuzzy-neural and neural networks has the potential to learn from past interaction with environment. The performance of automatic control systems based on fuzzy-neural and neural controllers will be influenced by the accuracy of inverse model of process.

The HUT Lighting Laboratory is presented by **Orreveteläinen**, **Eloholma** and **Halonen**, with a study concerning the peripheral vision at low light levels. Contrast threshold was examined with the method of limits to determine the visual performance of the human eye in peripheral vision at low photopic and high mesopic light levels. The results revealed that while the blue stimuli caused only moderate changes in the contrast threshold according to target eccentricity and light level, the changes for the red

stimuli were much larger. It was found that the $V(\lambda)$ function did not describe the visual performance sufficiently well in the peripheral vision at low photopic light levels. An attempt was made to determine a new luminous efficiency function for the peripheral vision at low photopic light levels, with best accuracy at 10 cd/m².

Two doctorate thesis are presented by their authors. **Dobre** finalised an interesting study on the calculation and design of the interior lighting systems by light pipes. It is proposed an experimental study of the prismatic light pipes, to determine the flows provided to space surrounding all along light pipes diffusing, according to the type of source of light used, the technology of the light pipe and the type of extractor of light employed. The luminous efficiency is rather modest, approximately 30%, compared with the optics of fluorescent lighting standard. There are proposed models to simulate the optical behaviour of a prismatic light pipe, lit either by HQI and LEDs, and an optic approach based on two softwares. The purpose of the **Husch** thesis is to realize a study concerning technical and qualitative aspects of light and electrical lighting use in interdependence with the architectural space. The main interest is devoted to the modern solutions of indirect systems for interior/exterior lighting with projectors and reflector surfaces, with an original computation method for indirect lighting systems with projectors and secondary surfaces of reflector panels. It is developed an original computer program that allows obtaining the point lighting values on the representative surfaces of an interior space.

Suvagau continues his very interesting and exhaustive column *The Lighting in The New World*, with a present interest theme related to the lighting and circadian rhythm. Researchers have found some of the light factors that determine the adjustment of the circadian cycle in humans: *light intensity and*

duration, timing, wavelength, pattern and contrast, and light history. The CIE committee report on "Ocular Lighting Effects on Human Physiology, Mood, and Behaviour" (TC 6-11) chaired by Jennifer Veitch of the National Research Council Canada set the right principles of healthy lighting design: * light for biological action should be rich in the regions of the spectrum to which the nonvisual system is most sensitive (blue); * the important consideration in determining light dose is the light received at the eye, light both directly from the light source and reflected off surrounding surfaces; * the timing of light exposure influences the effects of the dose. Following these principles of healthy lighting, design practice transformation should also balance all other principles of lighting quality for daytime and nighttime applications.

Tetri underlines a new international research project called Energy Efficient Electric Lighting for Buildings, established by the Executive Committee of the Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) in June 2004. Professor Halonen from Lighting Laboratory of Helsinki University of Technology was elected for the Operating Agent of the Annex 45. The objectives are to identify and accelerate the use of energy efficient high-quality lighting technologies and their integration with other building system, assess and document the technical performance of existing and future lighting technologies and to assess and document barriers preventing the adoption of energy efficient technologies and propose means to resolve these barriers.

Efficiency of daylighting systems using light-pipes is the subject of the **Ticleanu** presentation. A short historical evolution and the main characteristics of the pipe light system are completed with the efficiency of several light-pipe systems, found to be between 0.43 and 0.75.

FIVE-YEAR ASSESSMENT OF THE EUROPEAN GreenLight PROGRAMME

Călin CIUGUDEANU, Paolo BERTOLDI
European Commission DG JRC

The European Commission launched in 2000 the European GreenLight programme to convince end-users to adopt efficient lighting technologies and systems and achieve a long lasting market transformation. It is an on-going voluntary programme whereby private and public organisations (referred to as Partners) commit to adopting energy-efficient lighting measures when (1) the cost of these measures is repaid by the associated savings (GreenLight applies to 50% of the eligible upgrades; eligible upgrades are those yielding an Internal Rate of Return above 20%) and (2) lighting quality is maintained or improved. GreenLight Partners report annually on their achievements within the programme. In return for their commitment, not only do they benefit from large savings, but they also receive broad public recognition for their effort in protecting the environment. So far, GreenLight has gathered more than 195 public and private organisations, including major players.

Introduction

Lighting electricity use in the European non-residential sector represents more than 160 TWh/year (estimates vary depending on source). Major energy savings can be achieved. Examples from the field have shown that between 30-50% of electricity used for lighting could be saved investing in energy-efficient lighting technologies. In most cases, such investments are not only profitable but they also maintain or improve lighting quality.

In 2001, after nearly one year of operation, the EC reported that 18 organisations had joined the programme as Partners and that 28 companies in the lighting business had committed to acting as GreenLight Endorsers. Endorsers support Partners in their efforts to reduce lighting consumption. GreenLight was also said to have gained public support from national energy agencies and similar organisations (referred to as Promoters) in 26 European countries. A number of suggestions were also given to keep GreenLight growing [Berrutto and Bertoldi 2001].

At the time of this writing, at the end of 2004, more than three years have elapsed since the first GreenLight progress report. More Partners and Endorsers have joined GreenLight. First savings estimations have been possible and public recognition has taken shape. These results are detailed in the present paper.

Results

By the end of 2004, a total of 195 Partners signed the GreenLight partnership, thereby committing to adopting energy-efficient lighting practices in their premises.

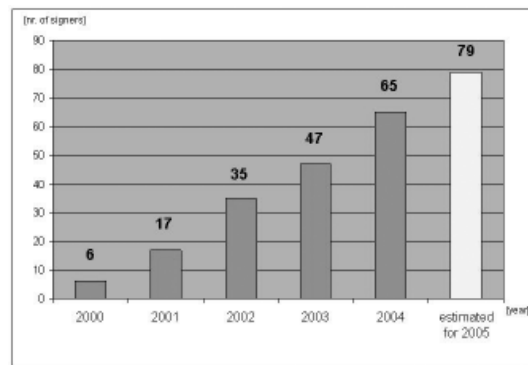


Figure 1 New GreenLight Signers / year

This represents more than a 10-fold increase (Figure 1) compared to the first progress report [Berrutto and Bertoldi 2001]. It confirms the observation made in the last report that the rate of registration was steadily increasing. The objective then mentioned of getting 200 signatures by the end of 2004 is almost reached.

Partners' size varies to a large extent. Some like Johnson & Johnson, McDonald's, IKEA or

Carrefour, are multi-national groups with more than a million square meters. Others represent large cities such as Helsinki, Turin, Lyon, Hamburg. Other like Luvinata or Berchidda are small towns with a few kilometers of illuminated roads and less than 10 communal buildings (e.g. city hall, schools, sport halls). Others like Beerse Metaalwerken (industry) or Terres & Eaux (retail) have one building only, representing less than 5000 m².

McDonald's joined GreenLight for their 5500 restaurants in Europe (average size: 350 m²). Five hundred restaurants were expected to be remodelled in 2002 while the same number should be newly built. On average, in each restaurant, lighting installed power will pass from 9 kW to 8 kW, representing savings of 6667 kWh/year.

The total area covered by all Partners taken together is subject to caution. Despite all the measures taken to lighten GreenLight reporting requirements, not all foreseen Partners' reports have been received yet. The rate of response is currently about 67%, which prompted the EC to send reminders to late Partners.

Considering all received GreenLight reporting forms, the total reported savings are approximately 100 GWh/year (Figure 2), which corresponds to an abatement (CO₂ reduction is given only on an indicative basis and was calculated using common carbon intensity across all countries – 500 g CO₂/kWh) of approximately 50,000 t CO₂. Around 85% of these savings were achieved within buildings. The rest arose from street lighting upgrades (installation of flux dimmers).

Various business fields were covered: commercial, educational, healthcare, hotel, industry, leisure/sport, transport. In the hotel sector, barriers to introduce energy-efficient lighting were found to be particularly severe due to strong habits of using halogen lamps. In general most upgrades concerned office spaces.

In Norway, Statoil joined GreenLight in January 2001. As part of their commitment, they installed occupancy controls in their research centre. These controls turn off the lights once they have failed to detect occupancy for a set time. When occupancy is detected, they switch the lighting on again. Previously, the lights remained on the whole day in all offices and laboratories with a common switching system. This was a waste of energy given that occupancy patterns were intermittent and unpredictable. Lighting electricity savings amount 219,000 kWh/year (Internal Rate of Return of the investment: 40%.)

There are currently more GreenLight Partners in the private sector than in the public or semi-public sector (about 37% in the public sector). While in Sweden, public organisations were said to be more incline to sign up for GreenLight than private companies, Austria, Greece, and Italy reported difficulties with public institutions. This has recently changed in Italy where many small town have signed up for street lighting projects. In Austria, public institutions said they could run into legal uncertainties if they would join a voluntary programme. In Greece, public organisations were said to have scarce funding and almost no possibility for Third Party Financing.

Generally speaking, the lack of capital and the inability to get financing for projects are well-known key barriers to energy efficiency investments. While in GreenLight most upgrades were self-financed by the Partners, seven projects were also funded through Third Party Financing (TPF).

In Italy, the city of Sassari installed a centralised dimming system to reduce its street lighting levels and thus its energy consumption and light pollution during periods of the night where traffic is lower. The city signed a "paid from savings" contract with the power control manufacturer and the installer. These financed up-front capital improvements in exchange for a portion of the savings generated. Besides providing tele-control capabilities, and thus easier maintenance, their system is claimed to have provided 1,855,385 kWh/year lighting electricity savings. The reduction of electricity use in the areas covered is ca. 30%. An estimated 172,551 Euro/year are saved and the investment has a payback time of 3 years and an Internal Rate of Return of 33%.

GreenLight investments use proven technology, products and services which can reduce lighting energy use by 30% to 50%, earning Internal Rates of Return (IRR) above 20%. GreenLight upgrades have covered the range of energy-efficiency measures described on the GreenLight web site (<http://www.eu-greenlight.org/What-to-do/what1.htm>), e.g. replacing general lighting service incandescent bulbs or high pressure mercury lamps; installing occupancy linking control systems or light flux regulators; etc.. In one case, the substitution of magnetic ballasts with electronic ballasts on an existing installation, also proved to be profitable.

In Portugal, GreenLight Partner Sonae Imobiliária upgraded the Centro Colombo covered car park, one of the largest in Europe, by substituting the magnetic ballasts with electronic ones. These operate fluorescent lamps at higher frequencies and offer significant advantages compared to magnetic ballasts, inter alia lower power losses. After measurements, they claimed to have saved 400,838 kWh/year which corresponds to a 11.5% reduction of electricity use in the areas covered. Energy cost savings amount 23,814 Euro/year. The Internal Rate of Return of the investment is 20%.

This example is now followed by many other partners such as multi-storey car parks, airports, football clubs. Several upgrades were also undertaken which implied to change the complete lighting installation, including luminaires, albeit the fact that such a measure often earned rates of return below 20%. Some Partners somehow surpassed their GreenLight commitment.

In their Madrid headquarters, GreenLight Partner Gas Natural replaced the incandescent fixtures with modern luminaires for compact fluorescent lamps. Lighting electricity savings amounted 20,217 kWh/year which corresponded to 1033 Euro/year savings in running costs (payback time of the investment: 3.5 years). But Gas Natural's commitment to energy efficiency surpassed GreenLight requirements. They undertook a major energy-efficient renovation of their office lighting, although the associated payback time would be ca. 8 years. The old egg crate louver luminaires were replaced with modern parabolic troffers, doubling the luminaire efficiency, and improving glare and reflections control. The original halophosphate T8 lamps powered by high-loss magnetic ballasts were replaced with tri-phosphore T8 and electronic ballasts, thus improving colour rendering, suppressing flicker, facilitating the maintenance, and increasing further the lighting system efficiency. As for the general manual switch, it was replaced by localised switches offering better control to users. All together, these upgrades reduced lighting power density (W/m²/100 lx) by a factor of 4, while doubling illuminance levels, up to current recommendations.

A number of partners also installed the newer T5 technology resulting in large energy savings.

In Greece GreenLight partner TIM Refurbishment of 4 administrative buildings. In the building in Kifissias Ave the treated area is 12,760 m² offices + 25,600 m² underground garages. The following actions have been implemented:

Offices

- Change all (1684) 4x18W (T8) conventional ballast fixtures to 4x14W (T5)

- Introduce local light sensors around T5 fixtures and perform dimming in the windows zone.
- Change conventional ballasts of (1612) 2x18W PL fixtures to electronic
Underground Garages
- Change ballasts from conventional to electronic on (358) 2x58W fixtures
- Introduce timers
Estimated cost 195,000 € and savings 492,000 kWh/yr and 83,636 €/yr

At the Operations centre (Athinon Ave) treated area is 9400 m² offices + 8000 m² underground garages. The following actions have been implemented:

Offices

- Change all (1340) 4x18W (T8) conventional ballast fixtures to 4x14W (T5)
- Introduce local light sensors around T5 fixtures and perform dimming in the windows zone.
- Change conventional ballasts of (112) 2x18W PL fixtures to electronic
Underground Garages
- Change ballasts from conventional to electronic on (170) 2x58W fixtures
- Introduce timers

Estimated cost 96,000 € and savings 314,250 kWh/yr and 27,341 €/yr

Results of the Entire project

- Estimated cost 292,000 €
- Treated area 55,760 m²
- Savings 806,250 kWh/yr and 110,977 €/yr
- Energy savings for lighting 40%
- Payback time 2.7 yrs

Energy savings are specific to each lighting installation, depending on the installed technologies, the operating hours, the occupancy pattern and other factors. Sometimes GreenLight upgrades can be very simple, as simple as commissioning one control system.

While joining the GreenLight programme, SAS Norway undertook a survey of their building and exterior spaces. They hired a consultant to propose actions and calculate the energy savings. They realised that, by simply tuning up the existing bus system, they would save 30% of their lighting electricity use. They managed to do it themselves and since the building has separate measurements on each of the electrical distribution systems' main risers, it was easy for them to measure the electricity consumption before and after the bus system was optimised. Savings amounted 813,280 kWh/year. The investment was reimbursed in a few-month time.

By joining GreenLight, the companies have made good business sense. They found opportunities that resulted in environmental improvements and increase profits (by reducing costs) at the same time. GreenLight Partners have had direct benefits by saving money and in most cases improving working conditions. In the Figure 2, can be observed the total GreenLight electricity savings per country.

In Belgium, GreenLight Partner Beerse Metaalwerken nv replaced the standard high pressure mercury lamps of their workshop with 26-mm diameter fluorescent lamps. They also installed a control system to dim the lamps' output in response to daylight availability. In their offices, they replaced the 38-mm diameter fluorescent lamps with 26-mm diameter lamps. All new lamps are geared with electronic ballasts. Not only did they saved 24,919 kWh/year but they also significantly improved visual conditions. They estimated that total running cost savings

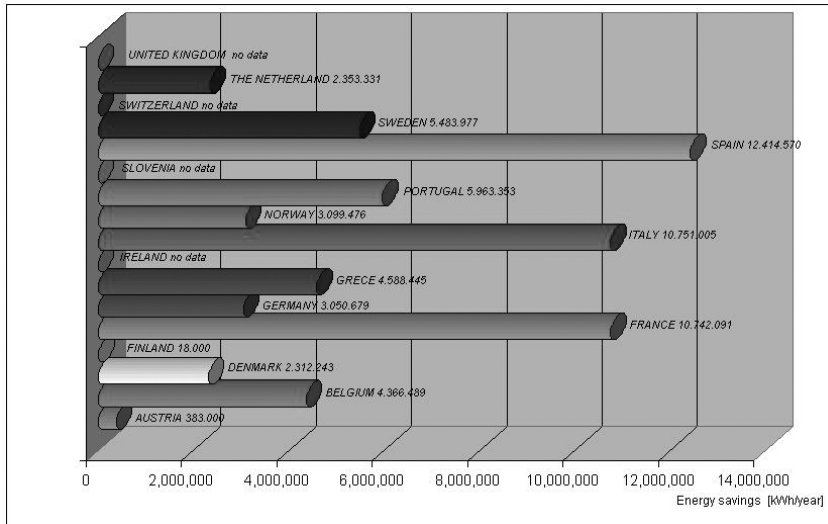


Figure 2 GreenLight in Europe – Electricity savings / country

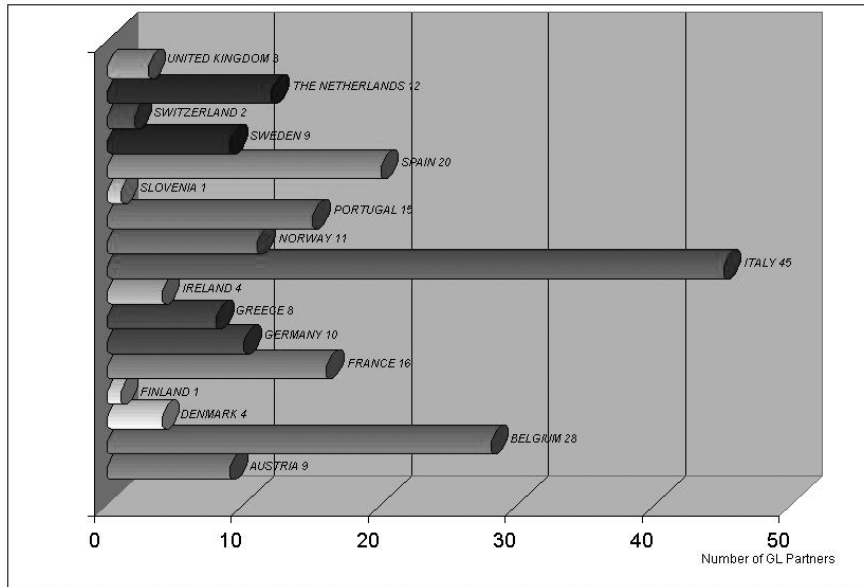


Figure 3 GreenLight in Europe – Number of Partners / country

exceeded 7000 Euro/year, taking into account the gains in productivity, (as estimated by the company itself).

GreenLight Partners have also had indirect benefits resulting from the growing attention of consumers and investors, which will increase their opportunities on the markets. Their ability to deal successfully with environmental issues may be considered as a credible measure of management quality. This supposes however that ad-hoc recognition and advertisement is given to their achievements; a point on which the EC and the national Promoters put emphasis during the second year of the programme

Partners' rewards

During the last year, GreenLight public recognition has taken shape and the programme has gained public image. More and more partners have joined this initiative (Figure 3). National Promoters had several articles published in the business press and technical magazines. The programme was presented in various fairs and conferences across Europe e.g. Pollutec in France, Valo 2001 in Finland, Light+Building in Germany, IEECB'04, etc. Publicity was also carried out through direct mail, local information meetings and the internet.

A plaque was designed to allow Partners to show their responsible entrepreneurship to their clients. A new brochure was distributed to potential Partners with several GreenLight success stories inside, presented in a clear, simple, and vivid way. Indeed case studies have been found to be very useful to convince peer companies to join. The brochure is available in English, French, German and Italian and translations are foreseen in other languages. It was also distributed to various media and to the national Promoters for distribution within their respective country.

The Commission introduced a European award for particularly active and successful Partners and Endorsers. In the first year that the award was established, the GreenLight partner award went to Johnson & Johnson.

The healthcare company, Johnson & Johnson, was the first organisation to join the European GreenLight programme in 2000. In their Janssen Pharmaceutica facility in Belgium they have performed a relighting study for 75% of their 410,000 m² workspace. The actual relighted surface amounts 62,000 m². All

new facilities are equipped with daylight- and occupancy-sensors, 26mm diameter fluorescent tubes with high efficiency ballasts and reflectors. In addition to less cooling needs, lower maintenance costs and better working conditions for employees, they reported 1,240,000 kWh/year savings; a reduction of electricity use in the areas covered of 40%; and energy cost savings of 62,000 Euro/year. Payback times for their investments varied from 1.5 to 6 years depending on the project.

In the 2004 the Winners were:

1. Athens International Airport (Greece), Airport
2. Carrefour Italia (Italy), Retail sector
3. City of Hamburg (Germany), Public administration
4. City of Helsinki Educational Department (Finland), Schools
5. City of Zurich (Switzerland), Public administration and office buildings
6. Dolce & Gabbana (Italy and Germany), Retail sector and office building
7. Futebol Clube do Porto (Portugal), Football stadium
8. Gemeente Sittard-Geleen (The Netherlands), Public administration and office building
9. Groupe Casino (France), Retail sector
10. DnBNOR ASA v/Vital Eiendom AS (Norway), Office building

Technical support to Partners has continued. The GreenLight web site has been continuously updated by the EC Joint Research Centre, with contributions from the Promoters. The number of GreenLight Endorsers has grown to 153. Endorsers are committed to offering technical support to registered Partners.

Lessons learned

Several lessons have been learned at all stages of the GreenLight process. At the marketing stage: often energy savings alone do not constitute a sufficient reason for companies to join GreenLight. Public recognition benefits have proven to be effective additional arguments to convince them, including the fact to be seen as environmental 'champions'. Arguments related to indirect productivity increase would also be decisive if they could be scientifically demonstrated.

In the upgrading process, GreenLight Partners need a user-friendly lighting audit procedure which they can easily follow to quickly identify which spaces can be upgraded and which cost effective measures can be applied. Complex material does not get used. Information gathered within GreenLight show that there is a need to develop further rules of thumb, simple lighting quality assessment procedures, and lighting energy benchmarks for other spaces than offices (including average and best practice figures

in W/m² or kWh/m²). The final decisions are often taken at high levels and the information presented to the senior management is to be simpler and based on economic terms.

Finally, in the GreenLight progress monitoring, the main issue was to provide Partners with an extremely simple form to report on their achievements. This form currently consists of one page per facility. It contains a short description of the baseline and the post-installation lighting conditions.

The Commission has been assisted in the implementation of GreenLight by the energy agencies (or similar organisations) of 26 European Countries, who had a fundamental role in promoting the GreenLight at national and regional level.

Conclusion

GreenLight is one of many new initiatives trying to create effective public private partnership to achieve societal and environmental benefits. GreenLight has proved to help its Partners save money and reduce pollution by increasing the energy efficiency of their lighting. GreenLight is changing the way organisations make decisions about energy-efficiency, elevating decision-making to senior corporate officials.

An increasing number of companies and public entities have experienced GreenLight 'win-win' opportunities and begun to view energy efficiency upgrades not as cost centres, but as profit centres. The number of Partners was multiplied by more than ten fold between 2001 and end of 2004. Major players have joined the GreenLight movement. These positive results prompted most national energy agencies to catalyse and spread further the programme implementation.

The objectives shared by the EC together with the energy agencies for 2005 are to closely follow-up and assist current Partners, to provide Partners with suitable recognition, and to use GreenLight success stories to convince peer companies to join. The main focus will be in the New Member States and Candidate Countries, where there are currently no Partners, except one in Slovenia. In tangible terms, by end of 2005, the objectives are to increase and maintain a reporting rate of at least 80%, to pass the bar of four hundred registered Partners, and to double the current annual energy savings.

Given the success of the GreenLight programme the EC is now using same concept (i.e. cost effective efficiency improvements in buildings) to other building equipment and services (e.g. HVAC, office equipment, appliances) and to introduce the

concept of energy management in the new European GreenBuilding programme [Berruto 2003]. (<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/greenbuilding%20programme.htm>)

References

- 1 Berruto, V., P. Bertoldi. 2003. *The design of a new European programme to promote energy-efficiency in non-residential buildings. Proceedings of the Summer Study of the European Council for an Energy-Efficient Economy* (St Rafael, France, 2-7 June 2003). Ed.: ADEME Editions, Paris.
- 2 Berruto, V., P. Bertoldi. 2001. *First-year assessment of the European GreenLight Programme. Proceedings of the Summer Study of the European Council for an Energy-Efficient Economy* (Mandelieu, France, 11-16 June 2001). Ed.: ADEME Editions, Paris.
- 3 European Commission Joint Research Centre (JRC). March 2002. DemoGL: Demonstration of the European GreenLight Programme. Final report contract SAVE No. XVII/4.1031/Z/99-180. Brussels, Belgium: European Commission Directorate General Energy and Transport.
- 4 Netherlands Agency for Energy and the Environment (NOVEM). 1999. Study on European Green Light: Savings Potential and Best Practices in Lighting Applications and Voluntary Programmes. Final report SAVE II contract EC-DGXVII No. 4.103/D/97-028. Brussels, Belgium: European Commission Directorate General Energy.



Călin Nicolae CIUGUDEANU,
Dipl. Eng.

European Commission
DG Joint Research Centre
TP 450, I-21020 Ispra (VA)
ITALY
Tel. +39 0332 78 5408
Fax. +39 0332 78 9992
e-mail: calin.ciugudeanu@cec.eu.int



Paolo BERTOLDI, Dr.

European Commission
DG Joint Research Centre
TP 450, I-21020 Ispra (VA)
ITALY
Tel. +39 0332 78 9299
Fax. +39 0332 78 9992
e-mail: paolo.bertoldi@cec.eu.int
<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/>

Received 27 December 2004

EVOLUȚIA PROGRAMULUI EUROPEAN GreenLight DUPĂ CINCI ANI DE EXISTENȚĂ

Programul GreenLight a fost lansat de către Comisia Europeană cu scopul de a convinge cât mai mulți consumatori să adopte sisteme de iluminat eficiente din punct de vedere energetic. Este un program voluntar în desfășurare în cadrul căruia companii private și publice se obligă să adopte măsuri de iluminat eficiente atunci când (1) costul acestor investiții este acoperit de economiile de energie asociate acestora (GreenLight se aplică pentru 50% din îmbunătățirile eligibile aduse sistemelor de iluminat; prin îmbunătățiri eligibile se înțeleg acele măsuri care au o rată internă de returnare de peste 20%) și (2) confortul vizual este menținut sau îmbunătățit. Partenerii GreenLight se obligă să raporteze anual detalii cu privire la proiectele de modernizare a iluminatului adoptate. În schimbul acestor obligații partenerii GreenLight nu numai că beneficiază de economiile de energie realizate prin adoptarea acestor măsuri de modernizare, ci și de recunoașterea publică a efortului lor de a proteja mediul înconjurător. Până în momentul de față, programul GreenLight a atras peste 195 de companii publice și private, incluzând totodată câteva organizații deosebit de puternice pe piața mondială.

Introducere

Consumul de electricitate la nivelul Europei pentru sectorul nerezidențial reprezintă 160 TWh/an (estimările variază în funcție de sursa de unde au fost preluate). Economii însemnate de energie pot fi realizate. Exemplele au indicat reducerea consumului de energie electrică, prin investiții în tehnologii eficiente, cu valori cuprinse între 30-50%. În cele mai multe cazuri, astfel de tehnologii nu numai că sunt profitabile dar mențin sau îmbunătățesc de cele mai multe ori confortul vizual.

În anul 2001, după aproape un an de la înființare, Comisia Europeana a raportat un număr de 18 organizații ca parteneri GreenLight și 28 de companii active pe piața iluminatului care și-au asumat obligația de a promova programul. Promotorii acordă suport partenerilor în efortul lor de a reduce consumul de energie electrică în iluminat. GreenLight a câștigat de asemenea participarea a peste 26 de agenții energetice naționale sau a altor organizații de aceeași natură. Au fost elaborate mai multe studii în scopul dezvoltării în continuare a acestui program [Berrutto și Bertoldi, 2001].

În prezent, au trecut peste patru ani de la elaborarea primul raport de dezvoltare al Programului GreenLight. Din ce în ce mai mulți parteneri și promotori au aderat la acest program. În aceste condiții au fost posibile primele estimări și recunoașterea publică a acestui program a început să prindă contur.

Rezultate

Un total de 195 de organizații au semnat parteneriatul GreenLight, până la sfârșitul anului 2004, obligându-se să adopte măsuri de eficiență energetică în iluminat. Acest număr reprezintă o creștere de 10 ori a numărului de parteneri față de anul 2001 [Berrutto și Bertoldi 2001]. ... Dimensiunile și mărimea diverselor companii și organizații care au aderat la acest program variază foarte mult. Unele, cum ar fi Johnson & Johnson, McDonald's, IKEA sau Carrefour, sunt grupuri multinaționale cu peste un milion de metri pătrați construiți. Altele reprezintă mari orașe cum sunt Helsinki, Torino, Lyon, Hamburg. Localități mici, precum Luvinat sau Berchidda, au un număr redus de kilometri de drumuri iluminate și sub 10 clădiri în proprietatea administrației locale (primăriei, școli, săli de sport). Și, în fine, altele cum sunt Beerse Metaalwerken (clădiri cu destinații industriale) sau Terres & Eaux (vânzări), au numai câte un imobil, având o suprafață de peste 5000 m².

McDonald's a semnat parteneriatul GreenLight pentru cele 5500 de restaurante din Europe (cu suprafață medie de 350 m²). Cinci sute de restaurante așteptau să fie renovate în 2002, în timp ce același număr trebuia construit. În medie, în cadrul fiecărui restaurant s-a realizat o trecere de la 9 kW la 8 kW, ceea ce reprezintă economii de 6667 kWh/an.

Este luată în considerare suprafața totală modernizată de către partenerii GreenLight. În ciuda

tuturor măsurilor adoptate cu privire la raportarea de către parteneri a modernizării sistemelor de iluminat, nu toate rapoartele au fost primite până la acest moment. Rata de răspuns, ce este în prezent de 67%, a determinat Comisia Europeană să trimită înștiințări tuturor partenerilor întârziți.

Luând în considerare toate rapoartele GreenLight primite până la acest moment, economiile totale de energie reprezintă 100 GWh/an, ceea ce corespunde unei valori de aproximativ 50.000 t CO₂ (reducerea de CO₂ este dată doar informativ și a fost calculată utilizând media concentrației de carbon la nivel european – 500 g CO₂/kWh). Aproximativ 85% din aceasta valoare a fost realizată prin economii de energie în interiorul clădirilor. Restul provine din modernizarea iluminatului public stradal (instalarea dispozitivelor de diminuare a fluxului luminos). A fost acoperit un vast câmp al pieței: comerț, educație, sănătate, hoteluri, industrie, sport, transport. În sistemul hotelier s-au întâmpinat bariere dificil de înlăturat, datorate obiceiului de a folosi lămpile cu halogen. În general, cele mai multe modernizări au fost făcute în spațiile cu destinație de birouri.

În Norvegia, Statoil a aderat la programul GreenLight, în ianuarie 2001. Ca și o parte a angajamentului lor, aceștia au instalat senzori de prezență pentru întregul lor centru de cercetare. Senzorii întrerup iluminatul în cazul în care nu este detectată nici o prezență pentru o perioadă de timp determinată și îl repornesc atunci când sesizează o nouă prezență. Înainte de instalarea acestor dispozitive, luminile rămăneau aprinse în toate birourile și laboratoarele pe toată durata zilei. Acest fapt constituia o risipă de energie, deoarece prezența personalului în clădiri era intermitentă și imprevedibilă. Economii de electricitate realizate au fost de 219,000 kWh/an (cu o rată internă de returnare a investiției de 40%).

În prezent, numărul partenerilor GreenLight din domeniul privat este mai mare decât al celor din domeniul public și semipublic (37% în sectorul public). În timp ce în Suedia, organizațiile publice s-au arătat deschise aderării la programul GreenLight, Austria, Grecia și Italia au declarat dificultăți în sistemul instituțiilor publice. Recent această situație s-a schimbat în Italia, unde mai multe orșe mici au semnat parteneriatul, în vederea modernizării iluminatului public stradal. În Austria instituțiile publice au declarat că aderând la acest program voluntar pot intra în domeniul unor incertitudini legale. În Grecia, organizațiile publice au declarat lipsa fondurilor și imposibilitatea obținerii unor finanțări externe.

În general se cunoaște faptul că lipsa de capital și inabilitatea de a obține finanțarea proiectelor sunt două bariere cheie împotriva investițiilor în acest domeniu. Cu toate că în cadrul programului GreenLight majoritatea proiectelor au fost finanțate de către parteneri, șapte modernizări au fost totuși realizate cu finanțări externe (Third Party Financing).

Autoritățile orașului Sassari din Italia au instalat un sistem centralizat de diminuare a fluxului luminos pentru iluminatul public stradal, pe timpul nopții când traficul este scăzut, în scopul economisirii energiei electrice și a reducerii poluării. Orașul a semnat un contract cu distribuitorul de energie și executantul proiectului, plătit din economiile de energie realizate. Aceste finanțări de capital au fost acordate în schimbul unui procent din economiile de energie realizate. Noul sistemul economisește 1,855,385 kWh/an, fiind dotat în același timp cu posibilitate de telecomandă ceea ce ușurează cu mult mentenanța iluminatului. Așadar se economisesc 172,551 Euro/an, cu o perioadă de recuperare a investiției de 3 ani și o rată internă de returnare de 33%.

Investițiile partenerilor GreenLight folosesc tehnologii cunoscute pe piață, produse și servicii toate la un loc putând reduce consumul de energie cu până la 50%, având o rată internă de returnare a investiției de peste 20%. Proiectele GreenLight au acoperit în totalitate măsurile de eficiență energetică recomandate prezentate pe site-ul <http://www.eu-greenlight.org/What-to-do/what1.htm>, cum ar fi spre exemplu: înlocuirea generală a lămpilor cu incandescență și a celor cu mercur de înaltă presiune; senzori de prezență și sisteme pentru reglarea fluxului luminos....

În Portugalia, Sonae Imobiliária, partener GreenLight, a modernizat sistemul de iluminat al unuia din cele mai mari parcuri de mașini din Europa, Centro Colombo, doar prin substituirea balastului magnetic cu cel electronic. Acesta din urmă operează cu lămpi fluorescente la înaltă frecvență oferind în același timp numeroase avantaje față de cel magnetic și implicit pierderi reduse de energie. După măsurători, compania afirmă că a economisit 400.838 kWh/an, ceea ce corespunde cu o reducere de 11,5% a consumului de electricitate pentru suprafețele luate în considerare. Astfel, cheltuielile anuale au fost reduse cu 23.814 €, cu o rată internă de returnare a investiției de 20%.

... Au existat însă și o serie de cazuri în care partenerii GreenLight au depășit chiar obligațiile programului, realizând instalații de iluminat cu o rată internă de returnare a investiției de sub 20%, în general când s-au schimbat aparatele de iluminat.

Pentru sediul lor din Madrid, compania Gas Natural – Spania a înlocuit vechile aparate de iluminat cu lămpi cu incandescență,

cu unele noi ce utilizează lămpi fluorescente compacte (CFL). Economia de energie a atins valoarea de 20.217 kWh/an, ce corespunde sumei de 1033 €/an (economii în costul de utilizare) și returnarea investiției într-o perioadă de 3,5 ani. Compania a depășit cerințele de eficiență energetică ale programului GreenLight. Chiar și cu o perioadă de returnare a investiției de 8 ani, au adoptat un proiect de modernizare a iluminatului pentru birouri. Vechile aparate de iluminat (cu oglindă “cofraj de ouă”) au fost înlocuite cu unele noi cu oglinzi parabolice, având o eficiență de două ori mai mare și un control mai bun al reflexiei luminii. Lămpile inițiale T8 cu halofosfați și balast magnetic, cu pierderi mari, au fost înlocuite cu lămpi T8 tri-fosfor și balast electronic, îmbunătățindu-se astfel caracteristicile de redare a culorii și eliminând fenomenul de flicker, facilitând mentenanța și, nu în ultimul rând, crescând caracteristicile de eficiență ale sistemului. În scopul unui mai bun control al utilizatorilor, întreruptoarele generale au fost înlocuite cu întreruptoare locale. Toate aceste măsuri la un loc au redus puterea specifică instalată (W/m²/100l x) cu un factor de 4, dublând în același timp nivelurile de iluminare și aducându-le la valorile recomandate.

Economii semnificative de electricitate s-au realizat deasemenea, prin utilizarea de către unii parteneri a noii tehnologii T5.

TIM, partener GreenLight în Grecia, a renovat patru clădiri administrative. Clădirea de pe Kifissias Ave cu o suprafață de 12.760 m² birouri + 25.600 m² parcare subterană. Au fost implementate următoarele acțiuni:

Birouri

- Schimbarea tuturor lămpilor (1684) 4x18W (T8) cu balast convențional, cu 4x14W (T5)
- Introducerea senzorilor fotosensibili în jurul lămpilor T5 în scopul diminuării fluxului luminos în zona ferestrelor.
- Înlocuirea balastului convențional al aparatelor de iluminat (1612) 2x18W PL cu cel electronic
Parcare subterană
- Înlocuirea balastului convențional cu cel electronic pentru aparatele de iluminat (358) 2x58W
- Introducerea temporizatoarelor
Costuri estimative 195.000 € și economii 492.000 kWh/an și 83.636 €/an

Pentru Centrul Operațional (Athion Ave) cu o suprafață de 9.400 m² birouri + 8.000 m² parcare subterană au fost implementate următoarele acțiuni:

Birouri

- Schimbarea tuturor lămpilor (1340) 4x18W (T8) cu balast convențional, cu 4x14W (T5)
- Introducerea senzorilor fotosensibili în jurul lămpilor T5 în scopul diminuării fluxului luminos în zona ferestrelor
- Înlocuirea balastului convențional al corpurilor de iluminat (112) 2x18W PL cu cel electronic.
Parcare subterană

- Înlocuirea balastului convențional cu cel electronic pentru corpurile de iluminat (170) 2x58W.
- Introducerea temporizatoarelor
Costuri estimative 96,000 € și economii 314,250 kWh/an și 27,341 €/an
Rezultatele întregului proiect:
- Costuri estimative: 292.000 €
- Suprafață: 55.760 m²
- Economii realizate: 806.250 kWh/an și 110.977 €/an
- Economia de energie pentru iluminat: 40%
- Returnarea investiției în 2,7 ani

Economiile de electricitate diferă de la o instalație la alta, în funcție de tehnologiile utilizate, orele de operare, prezența umana și alți mulți factori. Unele proiecte GreenLight pot fi foarte simple, reducându-se doar la schimbarea sistemului de control al iluminatului.

Ca partener al programului GreenLight, SAS Norvegia a inițiat o supraveghere interioară și exterioară a sediului lor. Compania a angajat un consultant pentru a calcula posibilele economii de energie și a propune modalități de realizare a acestora. Astfel au realizat că doar prin simpla modernizare a sistemului de bus, economiile de electricitate ar putea atinge valori de până la 30% din totalul de energie electrică consumată în iluminat. S-a reușit optimizarea sistemului prin mijloace proprii și, datorită dotării instalației electrice cu contoare separate pentru principalele categorii de receptoare în cadrul imobilului, a fost ușor de măsurat consumul de electricitate înainte și după optimizare. Economii de energie s-au ridicat la 813.280 kWh/ an și o perioadă de returnare a investiției de câteva luni.

Aderând la acest program, partenerii GreenLight și-au demonstrat abilitățile manageriale pe piața europeană. Ei au găsit oportunități ce au avut ca finalitate protejarea mediului înconjurător și totodată creșterea profitului (prin reducerea costurilor). Partenerii au avut beneficii directe economisind bani și, în cele mai multe cazuri, îmbunătățind condițiile de muncă din punct de vedere al confortului vizual.

În Belgia, Beerse Metaalwerken nv a înlocuit lămpile standard de înaltă presiune cu mercur din salonul lor de prezentare cu lămpi fluorescente cu diametrul de 26 mm. A fost instalat un sistem de control al iluminatului capabil să diminueze fluxul de lumină ca răspuns la aportul exterior de lumină naturală. În cadrul birourilor, lămpile fluorescente de 38 mm au fost înlocuite cu unele noi de 26 mm. Toate lămpile au fost dotate cu balasturi electronice. În final, nu numai că au obținut o economie de 24.919 kWh/an, dar au reușit totodată și îmbunătățirea semnificativă a condițiilor vizuale.

Compania a estimat economii ale costurilor de utilizare de 7.000 €/an, luând totodată în considerare creșterea productivității muncii desfășurate (estimările aparțin companiei).

Datorită creșterii exigențelor și la nivelul investitorilor și consumatorilor, partenerii GreenLight au avut deasemenea unele beneficii indirecte, ce au dat naștere la o altă serie de oportunități de piață. Abilitatea acestor companii de a adopta măsuri de protecție a mediului înconjurător este o dovadă a managementului de calitate pe care îl practică. Toate acestea presupun desigur recunoașterea și mediatizarea realizărilor lor. Comisia Europeană și promotorii naționali au pus accentul pe acest aspect începând încă din cel de-al doilea an de funcționare a programului GreenLight.

Recompensarea partenerilor

... Comisia Europeană a introdus și o premiere a partenerilor și promotorilor GreenLight care au desfășurat activități deosebite în acest domeniu. Primul premiu de acest fel a fost atribuit companiei Johnson & Johnson.

Compania de asigurări de sănătate Johnson & Johnson, a fost prima organizație care a aderat la programul European GreenLight în anul 2000. În imobilul lor Janssen Pharmaceutica, Belgia, a fost efectuat un studiu de refacere a sistemului de iluminat pentru o suprafață de 75% din totalul de 410.000 m². Suprafața modernizată cuprinde în prezent 62.000 m². Toate clădirile noi au fost echipate cu senzori fotosensibili și de prezență, lămpi fluorescente cu diametrul de 26 mm, balasturi electronice și reflectoare de înaltă eficiență. Adăugând necesarul mai redus de energie pentru climatizare, costul mai redus al mentenanței și îmbunătățirea condițiilor de muncă, compania a raportat economii energetice de 1.240.000 kWh/an, reducerea consumului de electricitate pentru suprafața modernizată cu 40% și costuri micșorate cu 62.000 €/an. Perioada de returnare a investiției variază între 1,5 și 6 ani în funcție de proiect.

În anul 2004 câștigătorii au fost:

1. Athens International Airport (Grecia), aeroport
2. Carrefour Italia (Italia), vânzări
3. City of Hamburg (Germania), administrație publică
4. City of Helsinki Educational Department (Finlanda), școli
5. City of Zurich (Elveția), administrație publică și spații de birouri
6. Dolce & Gabbana (Italia and Germania), vânzări și spații de birouri
7. Futebol Clube do Porto (Portugalia), stadion de fotbal
8. Gemeente Sittard-Geleen (Olanda), administrație publică și spații de birouri

9. Groupe Casino (Franța), vânzări

10. DnBNOR ASA v/Vital Eiendom AS (Norvegia), spații de birouri

...

Concluzii

GreenLight este una din numeroasele inițiative de a crea un parteneriat efectiv, public și privat, în scopul obținerii unor beneficii pe plan social și de protejare a mediului înconjurător. GreenLight ajută partenerii săi să economisească bani și să reducă poluarea, prin implementarea unor măsuri eficiente de iluminat. Programul vrea să modifice modul în care organizațiile iau decizii doar la nivel înalt, cu privire la eficiența energetică.

Un număr în creștere de companii și entități publice ce au experimentat beneficiile și oportunitățile programului GreenLight încep să asocieze modernizarea eficienței sistemelor de iluminat nu cu un cost, ci cu un beneficiu. Numărul partenerilor s-a multiplicat de 10 ori între 2001 și 2004. Companii cu renume mondial s-au alăturat acestui curent numit GreenLight. Toate aceste rezultate pozitive la un loc, au determinat majoritatea agențiilor energetice naționale să concentreze și să raspândească mai departe implementările acestui program.

Obiectivele comune ale Comisiei Europene împreună cu agențiile de energie naționale, pentru anul 2005, sunt acelea de a asista în continuare de aproape partenerii acestui program, de a acorda acestora recunoașterea meritată și mediatizarea exemplelor și realizărilor partenerilor GreenLight în scopul atragerii în cadrul acestei mișcări a noi companii și organizații. Direcția de focalizare trebuie să se îndrepte spre noile state membre și țările candidate, unde nu există în acest moment nici un partener, excepție făcând Slovenia. În termeni realiști, la sfârșitul anului 2005, obiectivele sunt acelea de a menține și ridica o rată a comunicării rezultatelor din partea partenerilor la o valoare de 80%, de a depăși limita de 400 de parteneri și de a dubla economiile anuale de energie.

Folosind succesul programului GreenLight, Comisia Europeană folosește mai departe acest concept (al costului efectiv al eficienței imobilelor) și în cazul altor echipamente și servicii pentru clădiri (HVAC, echipamente de birou și alte aplicații) și încearcă introducerea conceptului de management energetic în cadrul noului program european, GreenBuilding. [Berruto 2003] (<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/greenbuilding/index.htm>)

THE FUZZY, FUZZY-NEURAL AND NEURAL CONTROL OF INTERIOR LIGHTING DEPENDING ON DAYLIGHT CONTRIBUTION. COMPARATIVE STUDY

Horațiu Ștefan GRIF, Adrian GLIGOR
“Petru Maior” University of Tg. Mureș

The paper describes the behavior of three automatic lighting control systems (ALCS), first based on a fuzzy controller; second based on a fuzzy-neural controller and the third based on a neural controller. The ALCSs attempt to maintain constant the illuminance at the desired level on working plane even if the daylight contribution is variable. Therefore, the daylight will represent the perturbation signal for ALCSs. For all systems, we have considered the same process and the same trajectory of daylight contribution. The fuzzy ALCS has a better behavior like the fuzzy-neural and neural ALCSs, even if the fuzzy-neural and neural networks has the potential to learn from past interaction with environment. The last two ALCSs needs the inverse mathematical model of the process. The performance of automatic control systems based on fuzzy-neural and neural controllers will be influenced by the accuracy of inverse model of process.

1. Introduction

1.1 Feedback control system

The purpose of a feedback control system (Figure 1) is to guarantee a desired response of the output y . The process of keeping the output y close to the set point (reference input) y_r , despite the presence disturbances of the system parameters, and noise measurements, is called regulation. The output of the controller is the control action u , (which is the input of the system); e represents the error between the desired set point y_r and the system output y [2, 5].

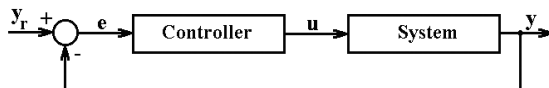


Figure 1 A basic feedback control system [2, 3]

In the next sections we will present shortly three types of controllers: fuzzy, fuzzy-neural and neural.

1.2 Fuzzy Logic Controller

Fuzzy logic is widely used in intelligent control to reason about vague rules describing the relationship between imprecise, qualitative, linguistic assessments of the system's input and output states. [4]

There are two main characteristics of fuzzy systems that give them better performance for specific applications:

- fuzzy systems are suitable for uncertain or approximate reasoning, especially for the system with a mathematical model that is difficult to derive;

- fuzzy logic allows decision making with estimated values under incomplete or uncertain information. [2]

In a fuzzy logic controller (FLC), the dynamic behavior of a fuzzy system is characterized by a set of linguistic description rules based on expert knowledge. The expert knowledge is usually of the form: *IF (a set of conditions are satisfied) THEN (a set of consequences can be inferred)*. Since the antecedents and the consequents of these IF-THEN rules are associated with fuzzy concepts (linguistic terms), they are often called fuzzy conditional statements. In our terminology, a fuzzy control rule is a fuzzy conditional statement in which the antecedent is a condition in its application domain and the consequent is a control action for the system (process) under control. Basically, fuzzy control rules provide a convenient way for expressing control policy and domain knowledge. [2, 5]

A fuzzy logic controller usually consists from four major parts: Fuzzification interface, Fuzzy rules base, Fuzzy inference engine and Defuzzification interface (Figure 2).

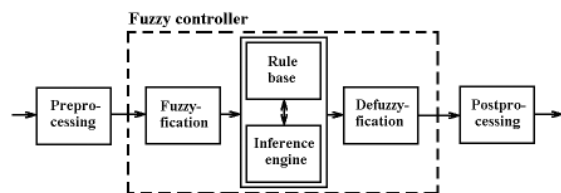


Figure 2 Blocks of a fuzzy controller [2, 5]

The *fuzzification* block converts each piece of input data to degrees of membership by a lookup in one or several membership functions. The fuzzification block thus matches the input data with the conditions of the rules to determine how well the condition of each rule matches that particular input instance. There is a fuzzy membership degree for each linguistic term that applies to that input variable. The *rules base* contains information about the universes (variation domains) of the variables, variables normalization methods and fuzzy sets. Also, the rules base contains the IF-THEN rules. The *inference engine* determines the influence of each rule in the final response of the controller. The *defuzzification* interface converts the output of the inference process, available as a fuzzy set, into a crisp value (control signal applied to the process). [2, 5]

1.3 Fuzzy-Neural Controller

There are two models for fuzzy-neural controller. For an easy understanding we'll start from the blocks of fuzzy controller (see Figure 2). The first model of fuzzy-neural controller is obtained keeping the fuzzification block and replacing the rule base, inference engine and defuzzification blocks with an artificial neural network. The second model is obtained replacing the fuzzification block with an artificial neural network and keeping the others three blocks. [2]

In our study we used the first model for the fuzzy-neural controller which is implemented using an Associative Memory Network (AMN) type like is B-spline network.

A schematic illustration of the B-spline network is shown in Figure 3 where basis functions are defined on an n-dimensional lattice.

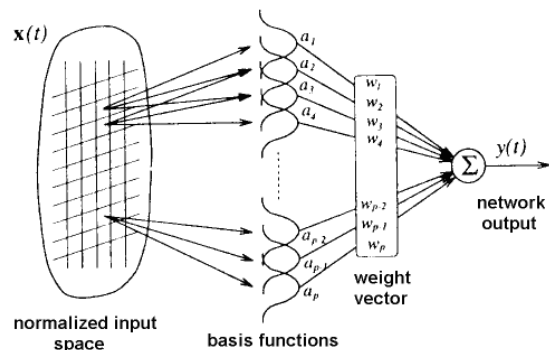


Figure 3 A schematic illustration of the B-spline network [1, 6]

From a fuzzy view point, the univariate B-spline basis function represent fuzzy linguistic statements, such as *the error is positive small*, and multivariate fuzzy sets are formed using the product operator to represent fuzzy conjunction. This link enables the B-spline network to be interpreted as a set of fuzzy rules and allows modelling and convergence results to be derived for the fuzzy network. These networks therefore embody both a qualitative and a quantitative approach, enabling heuristic information to be incorporated and inferred from neural nets, and allowing fuzzy learning rules to be derived, for which convergence results can be proved. [1]

The output of the B-spline network is formed from a linear combination of a set of basis functions, which are defined on the n-dimensional input space. Since the support of the basis functions is bounded, only a small number of weights are involved in the network output calculation and the B-spline network stores and learn information locally.

B-spline AMNs adjust their weight vector, generally using instantaneous Least Mean Squares (LMS) type algorithms, in order to realise a particular mapping, modifying the strength with which a particular basis function contributes to the network output. The network's sparse internal representation simplifies the learning process as only small percentage of the total weights contribute to the output and only these parameters are modified by the LMS rules. [1]

When the B-spline network is initially designed, it is necessary to specify the shape (order) of each of the univariate basis functions, and this implicitly determines the number of basis functions mapped to for a particular network input. [1] Also, is necessary to specify the number of intervals in which is divided each particular network input. If the univariate B-splines are all of width k (the support of a basis function is formed from k intervals), k^n (n - the dimension of the input space of the network) basis functions contribute to the network output. Thus B-spline networks should only be used when the number of relevant inputs is small and the desired function is nonlinear. [1]

1.4 Neural Controller

A neural controller can easy be constructed using an Artificial Neural Network (ANN).

The Artificial Neural Networks consist of a large number of simples processing elements called *nodes* or *artificial neurons* (or simple *neuron*). Signals are passed between nodes along weighted connections,

where the weights are the network's adjustable parameters. The arrangement of the network's nodes and connections defines its architecture and there are many possible variations. One popular arrangement is shown in Figure 4 where the neurons are arranged into layers and each neuron in one layer has connections only with nodes in preceding layer.

The input is presented to the first layer and this information is propagated forwards through the network, such that the output signal of each node never forms part of its own input. The signals at the output of final layer represent the network's output. [1, 3]

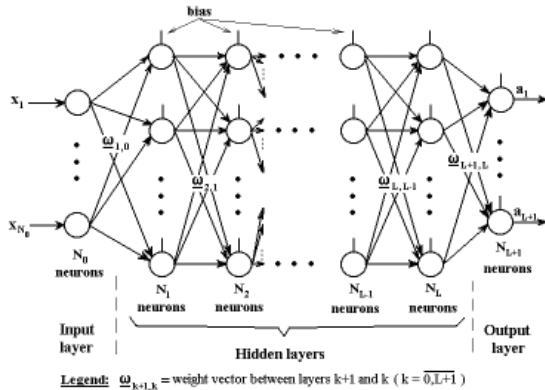


Figure 4 A general neural network representation

2. The automatic lighting control systems (ALCSs)

In figures 5 and 6 are presented the configuration of the automatic lighting control systems. All three controllers have a bidimensional input space and one dimensional out space. The controllers based on the values of ϵ (error – the difference between reference signal y_r - desired illuminance - and the measured output of the ALCS y - measured illuminance) and $\Delta\epsilon$ (error derivate - the difference between current error and anterior error) will generate the change of control action denoted by Δu . The u signal (where $u(k)=u(k-1)+\Delta u(k)$) will be applied to the process, in the purpose to maintain the output signal y (illuminance in working plane) close to the desired values y_r . The p signal (perturbation) represents the daylight contribution

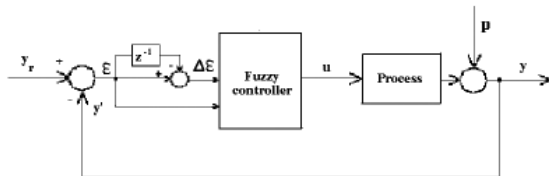


Figure 5 Feedback control system based on fuzzy controller

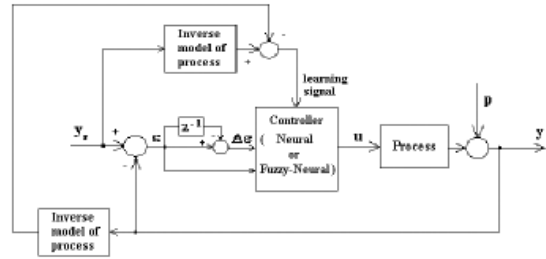


Figure 6 Feedback control system base on fuzzy-neural controller

We considered that the light output of electric light system is controlled by a phase-control device with triac to vary the conducting period of the lamp current. The u signal represent the time delay ($0 \dots 10$ milliseconds) of the moment of starting the conducting period of the triac which drive the lamp current.

3. Experimental results

The study was realized considering the reference illuminance in working plane at the 500 lx and with a sampled time of 20 ms. We used the same trajectory for daylight contribution for all automatic systems. The increase/decrease step for daylight has been set to 1 lx/sample. In practice, for the feedback control system configuration from Figure 6, the inverse mathematical model of the process is obtained using a classical identification method (i.e. Least Mean Square method) or training a neural or fuzzy-neural network. For this study we considered the exactly mathematical inverse model of the process (ideal case) for the fuzzy-neural and neural ALCSs.

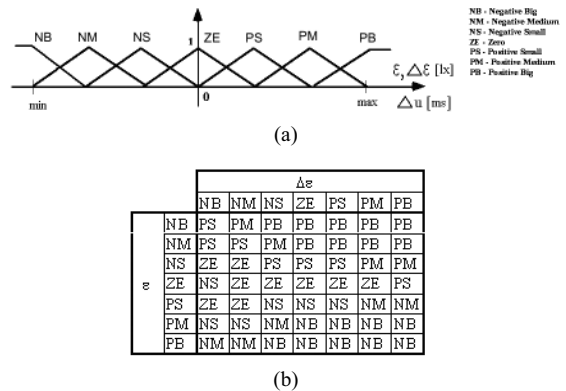


Figure 7 Fuzzy set for ϵ , $\Delta\epsilon$ and Δu (a); rule base (b)

For the inputs and the output of the fuzzy controller, we preferred fuzzy sets like the one

depicted in Figure 7 (a). The rule base for fuzzy controller is presented in Figure 7 (b). From [5] we chose for fuzzy controller the following settings of the width semi-base of membership function: 2 lx for ϵ , 0.5 lx for $\Delta\epsilon$ and 0.02 ms for Δu . The fuzzy controller was designed in Mamdani fashion. [2, 3]

From [7] we chose for the inputs of fuzzy-neural controller fuzzy sets constructed with B-spline basis functions of order 5. Figure 8 shows the shape of the basis B-spline functions of order 5. These basis functions are relative to the $[2, 3]$ interval.

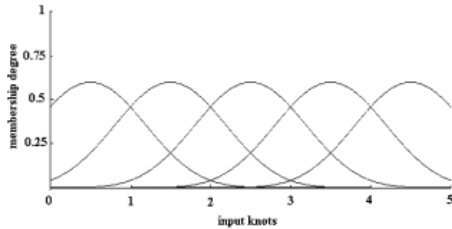


Figure 8 Univariate B-spline basis functions of order 5

The fuzzy-neural controller has the following settings: the B-spline network input space for ϵ is $[-5, 5] \text{ lx}$ and for $\Delta\epsilon$ is $[-2.5, 2.5] \text{ lx}$. For both input spaces we chose five intervals.

For the neural controller we chose an ANN with three layers (input layer, hidden layer, output layer). The input layer has two neurons, the hidden layer has six neurons and the output layer has one neuron. The activation function (denoted by F in Figure 11) for the neurons from hidden layer is the unipolar sigmoid function (Figure 9) and for the neuron from the output layer is the bipolar sigmoid function (Figure 10).

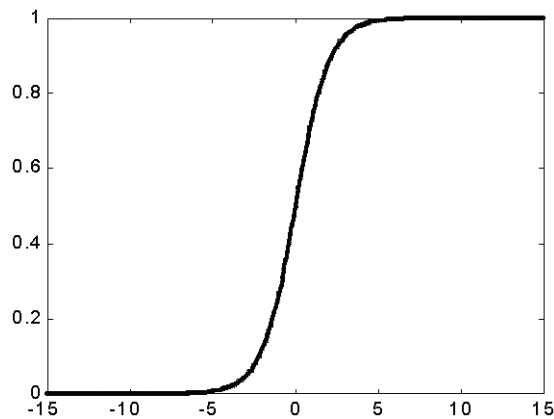


Figure 9 Unipolar sigmoid function

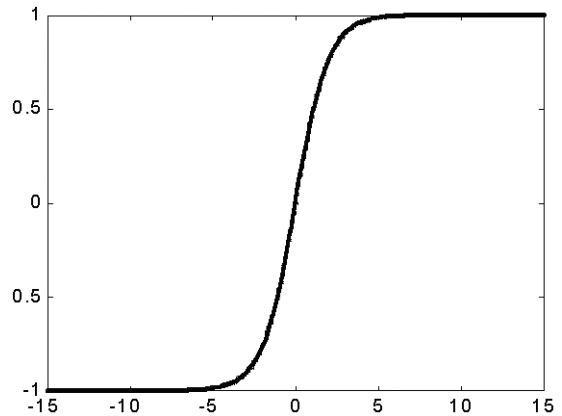


Figure 10 Bipolar sigmoid function

The Σ from Figure 11 represent the sum of two terms. The first term represent the scalar product of input vector ($\underline{x}=(x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n)$) and the weight vector ($\underline{\omega}=(\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_n)^t$). The second term represents the product $1 \cdot \theta$. The last term may be written in the form $x_{n+1} \cdot \omega_{n+1}$ where $x_{n+1}=1$ and $\omega_{n+1}=\theta$. With these notations Σ become the scalar product of $\underline{x}=(x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n \ x_{n+1})$ and $\underline{\omega}=(\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_n \ \omega_{n+1})^t$ vectors. The output of the neuron (denoted by a in Figure 11) called activation of neuron represent the evaluation of $F(\Sigma)$.

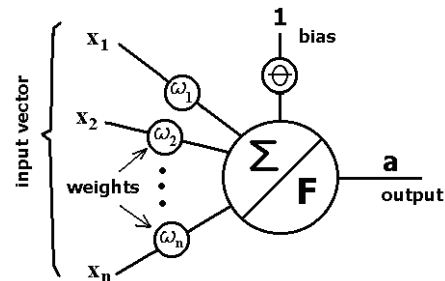


Figure 11 Configuration of used artificial neuron

For training of ANN we used the generalized Delta learning rule.[2, 3, 8] Learning rate has the value 0.95. The inputs values of the ANN are scaled. [9]

The behavior of the illuminance in working plane and the control error (difference between desired illuminance and measured illuminance) are presented in:

- Figures 12, 13, 14 for fuzzy ALCS;
- Figures 15, 16, 17 for fuzzy-neural ALCS;
- Figures 18, 19, 20 for neural ALCS.

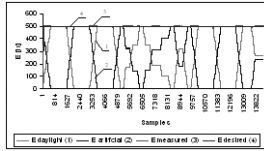


Figure 12 Fuzzy ACS: the behavior of the illuminance in working plane

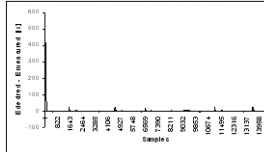


Figure 13 Fuzzy ACS: the control error

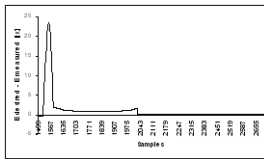


Figure 14 Fuzzy ACS: detail from Figure 13

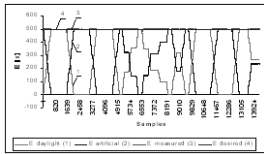


Figure 15 Fuzzy-Neural ACS: the behavior of the illuminance in working plane

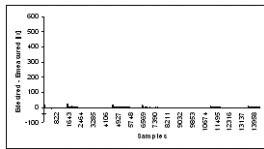


Figure 16 Fuzzy-Neural ACS: the control error

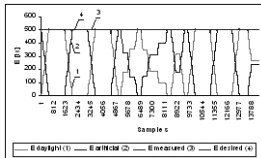


Figure 17 Fuzzy-Neural ACS: detail from Figure 16

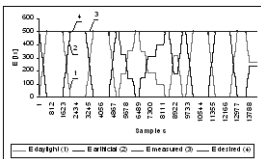


Figure 18 Neural ACS: the behavior of the illuminance in working plane

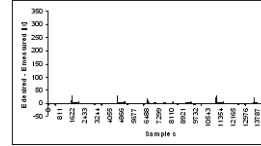


Figure 19 Neural ACS: the control error

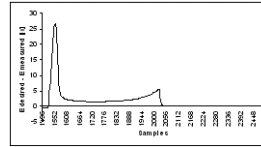


Figure 20 Neural ACS: detail from Figure 17

In Figures 12, 15, 18 we represented four trajectory: trajectory 1 is the level of daylight illuminance in working plane denoted by $E_{daylight}$; trajectory 2 is the level of illuminance in working plane due to electric light system denoted by $E_{artificial}$; trajectory 3 represents the real level of total illuminance in working plane (the sum of trajectories 1 and 2) denoted by $E_{measured}$; and trajectory 4 represents the desired level of illuminance in working plane denoted by $E_{desired}$ (represented by an horizontal line at 500 lx). The trajectory of $E_{daylight}$ has multiple dwells at different levels of illuminance [500 lx, 0 lx, intermediary values into (0, 500) lx] and multiple ascending/ descending fronts. The trajectory of $E_{artificial}$ tries to approximate the complementary trajectory for $E_{daylight}$. The sum of $E_{daylight}$ and $E_{artificial}$ trajectories, which represent the $E_{measured}$, tries to approximate the trajectory of $E_{desired}$.

4. Conclusions

When the daylight contribution will decrease from maximum constant value (500 lx) to minimum values, the control error will increase along a number of samples. After that, the control error will decrease due to the action of controller. So, for this situation we have a maximum of control error. As one can see in Figures 14, 17 and 20, the maximum control error will have bigger value for fuzzy-neural and neural ALCSs like the value for the fuzzy ALCS. As one can see in Figure 17, for the fuzzy-neural ALCS the stationary error have an oscillatory behavior for a number of samples. From the point of view of the automation theory, the fuzzy ALCS have a better behavior like the fuzzy-neural and neural ALCSs because the control error is not oscillatory

and the maximum control error is smaller. But from the human eye perception all ALCSSs have the same behavior because these control error behaviors are not perceived. Thus, these three types of ALCSS with the settings presented in previous section are recommended for those of applications where, from the human eye perception point of view, the illuminance must be constant at the desired level on working plane (i.e. design laboratory). For those application where the users need to feel the changes of daylight contribution even if is necessary to maintain the desired illuminance level on working plane (i.e. offices) you must change the settings for controllers. For fuzzy controller decrease the width semi-base of membership function for Δu , for fuzzy-neural controller increase the order of B-spline basis functions and for neural controller decrease the learning rate.

The performance of fuzzy-neural and neural ALCSSs will be influenced by the exactitude of the mathematical inverse model of process. So, for these configurations of the ALCSSs the fuzzy ALCSS has a better behaviour like the other two ALCSSs.

5. References

- 1 Brown, M., Harris, C., 1994, Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control, Prentice Hall International (UK) Limited
- 2 Fuller, R., 1995, Neural Fuzzy Systems, Abo Akademi University, Abo
- 3 David, L.; Marton, L., 2000, Rețele neuronale și logica fuzzy în automatizări, Editura Universității "Petru Maior", Tg.-Mureș
- 4 Grif, H.Șt., Gligor, A., Dub, V., 2003, Fuzzy Logic Theory in Daylight Control, International Lighting Conference ILUMINAT 2003, Cluj Napoca, pp. 24-1...24-4
- 5 Grif, H.Șt., Gligor, A., Oltean, S., 2003, Fuzzy Daylight Control, Proceedings of the Inter-Ing 2003, Volume II, Tg. Mureș, pp. 85-90
- 6 Grif, H.Șt., Pop, F., Beu, D., 2003, Daylight Control Based On Fuzzy-Neural Controller, Proceedings of the Inter-Ing 2003, Volume II, Tg. Mureș, pp. 91-96
- 7 Grif, H.Șt., Gligor, A., Pop, F., 2004, Fuzzy Daylight Control Vs. Adaptive B-spline Network Daylight

Control, Bucharest 2004 International Lighting Symposium, "Quality Solutions for an Efficient Lighting", Bucharest, pp. 55-62

- 8 Grif, H.Șt., Gyorgy, K., 2004, Generalized Delta Learning Rule For Multi-Hidden Layers Artificial Neural Networks. The Recursive Algorithm, Buletinul Științific al Universității "Petru Maior", Vol. XVII, Tg. Mureș, pp. 167-173
- 9 Grif, H.Șt., Gyorgy, K., Gligor, A., Bucur, D., 2004, Ways To Improve The Behavior Of A Neural Automatic Daylight Control System, Buletinul Științific al Universității "Petru Maior", Vol. XVII, Tg. Mureș, pp. 175-181



Horațiu Ștefan GRIF

"Petru Maior" University from Tg. Mureș
1, N. Iorga Street, Tg. Mureș, Romania
Ph.:+40.766.678773 (mobil),
Fax:+40.265.236213
e-mail:hgrif@upm.ro

Assistant Professor at the Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, "Petru Maior" University of Tg. Mureș. PhD student in Civil Engineering, Technical University of Cluj-Napoca. Interest fields: Automatic Control, Artificial Intelligence, Optimization and Information Technology



Adrian GLIGOR

"Petru Maior" University from Tg. Mureș
1, N. Iorga Street, Tg. Mureș, Romania
Ph.:+40.265.233212,
Fax:+40.265.236213
e-mail:agligor@upm.ro

Assistant Professor at the Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, "Petru Maior" University of Tg. Mureș. PhD student in Civil Engineering, Technical University of Cluj-Napoca Interest fields: Automatic Control, Optimization, Artificial Intelligence, and Information Technology

Received 1 December 2004

Reviewers:

Prof. Mircea CHINDRIȘ, Prof. Florin POP

REGLAREA FUZZY, FUZZY-NEURONALĂ ȘI NEURONALĂ A ILUMINATULUI INTERIOR ÎN FUNCȚIE DE LUMINA NATURALĂ. STUDIU COMPARATIV

Lucrarea descrie comportarea a trei sisteme de reglare automată a iluminatului (SRAI), primul folosind un regulator fuzzy, al doilea folosind un regulator fuzzy-neuronal iar al treilea folosind un regulator neuronal. Nivelul de iluminare naturală va reprezenta semnalul de perturbație pentru SRAI. SRAI fuzzy are o comportare mai bună decât sistemele SRAI fuzzy-neuronal și neuronal chiar dacă rețelele fuzzy-neuronală și neuronală au potențialul de a învăța din interacțiunile din trecut cu mediul înconjurător. Ultimele două SRAI au nevoie de modelul matematic invers al procesului. Performanța sistemelor de reglare automată cu regulator fuzzy-neuronal și regulator neuronal va fi influențată de acuratețea modelului invers al procesului.

1. Introducere

1.1 Sistem de reglare cu reacție negativă

Scopul unui sistem de reglare cu reacție negativă (Figura 1) este de a garanta valoarea dorită pentru ieșirea y . Procesul de păstrare a ieșirii y apropiată de valoarea de referință y_r , ignorând prezența perturbațiilor parametrilor sistemului sau a zgomotului de măsurare, este cunoscut sub numele de reglare. Ieșirea regulatorului este semnalul de comandă u (este totodată și semnalul de intrare al procesului), e reprezintă eroarea dintre valoarea de referință y_r și ieșirea sistemului de reglare. [2, 5]

În următoarele subcapitole vom prezenta pe scurt trei tipuri de regulatoare: fuzzy, fuzzy-neuronal și neuronal.

1.2 Regulator cu logică fuzzy

Logica fuzzy este utilizată pe scară largă în sistemele de reglare inteligente datorită regulilor vagi de descriere a relației dintre evaluările lingvistice imprecise și calitative ale stărilor intrării și ieșirii sistemului.

Există caracteristici principale ale sistemelor fuzzy care le conferă o performanță mai bună pentru aplicații tipice: (a) sistemele fuzzy sunt potrivite pentru un raționament imprecis sau aproximativ, în special pentru sistemul al cărui model matematic poate fi dificil de obținut; (b) logica fuzzy permite realizarea unei decizii cu valori estimate din informații incomplete sau imprecise. [2]

Într-un regulator cu logică fuzzy (RLF), dinamica comportării unui sistem fuzzy este caracterizată de un set de reguli de descriere lingvistice bazate pe cunoștințele unui expert. Cunoștințele expertului

sunt de obicei în forma: *DACĂ* (un set de condiții sunt satisfăcute) *ATUNCI* (un set de consecințe vor fi deduse). Datorită faptului că antecedentele și consecințele regulilor *DACĂ-ATUNCI* sunt asociate cu concepte fuzzy (termeni lingvistici), ele sunt numite deseori declarații condiționale fuzzy. În terminologia noastră, o regulă de reglare fuzzy este o declarație condițională fuzzy în care antecedentul este o condiție în domeniul ei de aplicare iar consecința este mărimea de comandă pentru sistemul (procesul) supus reglării. În general, regulile de reglare fuzzy oferă o cale convenabilă pentru exprimarea procesului de reglare și a cunoștințelor. [2, 5]

Un regulator fuzzy este constituit, de obicei, din patru părți importante: interfața de fuzzificare, baza de reguli fuzzy, motorul de deducție fuzzy și interfața de defuzzificare (Figura 2).

Blocul de fuzzificare convertește datele de intrare în grade de apartenență al uneia sau mai multor funcții de apartenență. Astfel blocul de fuzzificare compară o dată de intrare cu condițiile regulilor pentru a determina în ce măsură condiția fiecărei reguli se potrivește cu acea instanță particulară de intrare. Datei de intrare considerate i se atașează un grad fuzzy de apartenență corespunzător fiecărui termen lingvistic. *Baza de reguli* conține informații despre univerele (domeniile de variație) ale variabilelor, metodele de normalizare a variabilelor și seturile fuzzy. De asemenea, baza de reguli conține și regulile *DACĂ-ATUNCI*. *Motorul de deducție* determină influența fiecărei reguli asupra răspunsului final al regulatorului. Interfața de defuzzificare convertește ieșirea procesului de deducție, accesibilă ca și set fuzzy, într-o valoare crisp (semnalul de comandă aplicat procesului). [2, 5]

1.3 Regulator fuzzy-neuronal

Există două modele pentru regulatorul fuzzy-neuronal. Pentru o înțelegere mai ușoară vom pleca de la blocurile regulatorului fuzzy (a se vedea Figura 2). Primul model de regulator fuzzy-neuronal este obținut păstrând blocul de fuzzificare și înlocuind blocurile bază de reguli, motor de inferență și cel de defuzzificare cu o rețea neuronală artificială. Al doilea model este obținut înlocuind blocul de fuzzificare cu o rețea neuronală artificială și păstrând celelalte trei blocuri. [2]

În studiul nostru am utilizat primul tip de model pentru regulatorul fuzzy-neuronal și a fost implementat utilizând un tip de rețea memorie asociativă (RMA) cum este rețeaua B-spline. O ilustrare schematică a unei rețele B-spline este prezentată în Figura 3 unde funcțiile bază sunt definite pe o grilă n-dimensională.

Din punct de vedere fuzzy funcțiile bază univariabile B-spline reprezintă declarații lingvistice fuzzy, cum ar fi *eroarea este pozitiv mică*, iar seturile fuzzy multivariabile sunt formate utilizând operatorul produs pentru a reprezenta conjuncția fuzzy. Această legătură dă posibilitate rețelei B-spline să fie interpretată ca un set de reguli fuzzy și permite obținerea modelării și convergenței rezultatelor pentru rețeaua fuzzy. Deci aceste rețele încapsulează atât o abordare calitativă cât și una cantitativă, dând posibilitatea informației euristice să fie incorporată și dedusă ca la rețelele neuronale și permițând obținerea regulilor fuzzy prin învățare, reguli pentru care convergența rezultatelor poate fi dovedită. [1]

Ieșirea rețelei B-spline este obținută din combinația liniară a unui set de funcții bază, care sunt definite într-un spațiu n-dimensional. Deoarece suportul fiecărei funcții bază este mărginit, numai un număr mic de ponderi sunt implicate în calcularea ieșirii rețelei, iar rețeaua stochează și învață informația local.

O RMA B-spline își ajustează vectorul de ponderi, în general, utilizând algoritmi instantanei de tipul celor mai mici pătrate (CMMP), în vederea realizării unei mapări particulare, modificând ponderea cu care o funcție bază contribuie la ieșirea rețelei. Reprezentarea internă rară a rețelei simplifică procesul de învățare în sensul că un procentaj mic din totalul de ponderi contribuie la realizarea ieșirii și numai acești parametri sunt modificați de regulile CMMP.

Când rețeaua B-spline este proiectată este necesar a se specifica forma (ordinul) fiecărei funcții

bază univariabilă, ceea ce implicit va determina numărul de funcții bază mapate pentru o intrare a rețelei. De asemenea este necesar a se specifica numărul de intervale în care se divide fiecare intrare a rețelei. Dacă toate funcțiile univariabile B-spline au lățimea k (suportul unei funcții bază este format din k intervale), k^n (n – dimensiunea spațiului de intrare al rețelei) funcții bază contribuie la ieșirea rețelei. Astfel rețeaua B-spline trebuie utilizată numai când numărul de intrări relevante este mic iar funcția dorită este neliniară. [1]

1.4 Regulator neuronal

Un regulator neuronal poate fi ușor construit utilizând o rețea neuronală artificială (RNA).

Rețelele neuronale artificiale sunt constituite dintr-un număr mare de elemente simple de preprocesare numite noduri sau neuroni. Semnalele sunt transmise între noduri de-a lungul conexiunilor ponderate, unde ponderile sunt parametrii ajustabili ai rețelei. Aranjamentul nodurilor și conexiunilor rețelei definesc arhitectura ei, astfel există multe variații posibile ale rețelei. Un aranjament popular este prezentat în Figura 4 unde neuronii sunt aranjați în straturi și fiecare neuron dintr-un strat are conexiuni cu noduri din stratul anterior.

Intrarea este prezentată primului strat și această informație este propagată înainte prin rețea, astfel că semnalul de ieșire a fiecărui nod nu face parte niciodată din propria intrare. Semnalele de la ieșirea ultimului strat reprezintă ieșirea rețelei. [1, 3]

2. Sistemele de reglare automată a iluminatului (SRAI)

În Figurile 5 și 6 sunt prezentate configurațiile sistemelor de reglare automată a iluminatului. Toate cele trei regulatoare au un spațiu de intrare bidimensional și spațiu de ieșire unidimensional. Regulatele pe baza valorilor lui ε (eroarea – diferența dintre semnalul de referință y_r – iluminarea dorită – și ieșirea măsurată a SRAI y – iluminarea măsurată) și a lui $\Delta\varepsilon$ (derivata erorii – diferența dintre eroarea curentă și eroarea anterioară) va genera valoarea cu care se modifică semnalul de comandă notată cu Δu . Semnalul u (unde $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$) va fi aplicat procesului în scopul menținerii semnalului de ieșire y (iluminarea în planul de lucru) apropiat de valoarea dorită y_r . Semnalul p (perturbația) reprezintă contribuția iluminatului natural. Am considerat ca fluxul luminos al sistemului de iluminat electric este modificat cu ajutorul unui dispozitiv cu triac ce

modifică perioada de conducție a curentului prin lampă. Semnalul u reprezintă timpul de întârziere al amorsării triacului.

3. Rezultate experimentale

Studiul a fost realizat considerând iluminarea de referință în planul de lucru de 500 lx iar perioada de eșantionare a semnalelor de 20 ms. Pentru toate sistemele de reglare am utilizat aceeași traiectorie a contribuției iluminatului natural. Pasul de creștere/descrescere a iluminării naturale a fost setat la 1 lx/eșantion. În practică pentru configurația sistemului de reglare din Figura 6, modelul matematic invers al procesului este obținut printr-o metodă clasică de identificare (de ex. metoda CMMP) sau prin antrenarea unei rețele neuronale sau fuzzy-neuronale. Pentru acest studiu s-a considerat modelul matematic invers exact al procesului (cazul ideal) pentru SRAI neuronal și fuzzy-neuronal.

Pentru intrările și ieșirea regulatorului fuzzy, am preferat seturi fuzzy asemenea cu cel prezentat în Figura 7 (a). Baza de reguli pentru regulatorul fuzzy este prezentată în Figura 7 (b). Din [5] am ales pentru regulatorul fuzzy următoarele setări ale lățimii semibazei funcției de apartenență: 2 lx pentru ε , 0,5 lx pentru $\Delta\varepsilon$ și 0,02 ms pentru Δu . Regulatorul fuzzy a fost proiectat utilizând metoda Mamdani. [2, 3]

Din [7] am ales pentru intrările regulatorului fuzzy-neuronal seturi fuzzy construite cu funcții bază B-spline de ordinul 5. Figura 8 prezintă forma funcțiilor bază B-spline de ordinul 5. Aceste funcții bază sunt relative intervalului [2, 3].

Regulatorul fuzzy-neuronal are următoarele setări: spațiul de intrare al rețelei B-spline pentru ε este [-5, 5] lx iar pentru $\Delta\varepsilon$ este [-2,5, 2,5] lx. Pentru ambele spații de intrare am ales 5 intervale.

Pentru regulatorul neuronal am ales o RNA cu trei straturi (strat de intrare, strat ascuns, strat de ieșire). Stratul de intrare are doi neuroni, stratul ascuns are șase neuroni și stratul de ieșire are un neuron. Funcția de activare (notată cu F în Figura 11) pentru neuronii din stratul ascuns este funcția sigmoid unipolară (Figura 9) și pentru neuronii din stratul de ieșire este funcția sigmoid bipolară (Figura 10).

Σ din Figura 11 reprezintă suma a doi termeni. Primul termen reprezintă produsul scalar al vectorului de intrare ($\underline{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n)$) cu vectorul pondere ($\underline{\omega}=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^t$). Al doilea termen reprezintă produsul $I \cdot \theta$. Ultimul termen poate fi

scris în forma $x_{n+1} \cdot \omega_{n+1}$ unde $x_{n+1}=I$ și $\omega_{n+1}=\theta$. Cu aceste notații Σ devine produsul scalar al vectorilor $\underline{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1})$ și $\underline{\omega}=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n, \omega_{n+1})^t$. Ieșirea neuronului (notată cu a în Figura 11) numită activarea neuronului reprezintă evaluarea lui $F(\Sigma)$.

Pentru antrenarea RNA am utilizat regula de învățare Delta generalizată. [2, 3, 8] Rata de învățare are valoarea de 0,95. Valorile de intrare ale RNA sunt scalate. [9]

Comportarea iluminării în spațiul de lucru și eroarea de reglare (diferența dintre iluminarea dorită și iluminarea măsurată) sunt prezentate în:

- Figurile 12, 13, 14 pentru SRAI fuzzy;
- Figurile 15, 16, 17 pentru SRAI fuzzy-neuronal;
- Figurile 18, 19, 20 pentru SRAI neuronal.

În figurile 12, 15, 18 sunt reprezentate patru traiectorii: traiectoria 1 reprezintă iluminarea (E_{daylight}) din planul de lucru datorată luminii naturale, traiectoria 2 reprezintă nivelele iluminării ($E_{\text{artificial}}$) în planul de lucru datorate iluminatului electric, traiectoria 3 reprezintă iluminarea totală (E_{measured}) din planul de lucru (suma iluminării naturale și a iluminării datorate iluminatului electric) și traiectoria 4 care reprezintă nivelul iluminare dorit (E_{desired}) în planul de lucru (o linie orizontală situată la 500lx). Traiectoria lui E_{daylight} prezintă multiple paliere situate la diferite nivele ale iluminării (500lx, 0lx, valori intermediare în intervalul (0,500)lx) și multiple fronturi crescătoare/descrescătoare. Traiectoria lui $E_{\text{artificial}}$ încearcă să aproximeze traiectoria complementară lui E_{daylight} . Suma traiectoriilor lui E_{daylight} și $E_{\text{artificial}}$, care reprezintă E_{measured} încearcă să aproximeze traiectoria lui E_{desired} .

4. Concluzii

Când contribuția iluminării naturale descrește de la valoarea constantă maximă (500 lx) spre valori minime, eroarea de reglare va crește de-a lungul a unui număr de eșantioane. Apoi, eroarea de reglare va scădea datorită acțiunii regulatorului. Astfel vom avea o eroare maximă de reglare (un subreglaj). Așa cum se poate vedea în Figurile 14, 17 și 20, subreglajul va avea valoare mai mare pentru SRAI fuzzy-neuronal și neuronal decât pentru SRAI fuzzy. Așa cum se poate vedea în Figura 17, eroarea staționară pentru SRAI fuzzy-neuronal are o comportare oscilatorie pentru un număr de eșantioane. Din punct de vedere al teoriei automatizării, SRAI fuzzy are o comportare mai bună decât SRAI fuzzy-neuronal și neuronal deoarece eroarea de reglare nu este

oscilatorie subreglajul este mai mic. Dar din punct de vedere al percepției ochiului uman, toate SRAI au aceeași comportare, deoarece aceste comportări ale erorii de reglare nu sunt percepute. Astfel, aceste trei tipuri de SRAI cu setările prezentate în subcapitolul anterior sunt recomandate pentru acele aplicații în care din punct de vedere al percepției ochiului uman iluminarea trebuie să fie constantă la nivelul dorit în planul de lucru (ex. laboratoare de proiectare). Pentru acele aplicații în care utilizatorii doresc să simtă schimbările iluminării naturale chiar dacă este necesară menținerea nivelului dorit al iluminării în planul de lucru (ex. birouri) trebuie să

schimbați setările reguletoarelor. Pentru regulatorul fuzzy descreșteți lățimea semi-bazei funcției de apartenență pentru Δu , pentru regulatorul fuzzy-neural creșteți ordinul funcțiilor bază B-spline și pentru regulatorul neuronal descreșteți rata de învățare.

Performanța SRAI fuzzy-neural și neuronal va fi influențată de exactitatea modelului matematic invers al procesului. Astfel, pentru aceste configurații ale sistemelor de reglare automată a iluminatului SRAI fuzzy are o comportare mai bună decât celelalte două SRAI.

CONTRAST THRESHOLDS OF FLASHING COLOURED STIMULI IN PERIPHERAL VISION AT LOW LIGHT LEVELS

Pasi ORREVETELÄINEN, Marjukka ELOHOLMA, Liisa HALONEN
Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory

Contrast threshold was examined with the method of limits to determine the visual performance of the human eye in peripheral vision at low photopic and high mesopic light levels. Three stimulus colours were used to determine the contrast thresholds of eight subjects. Measurements were conducted at four eccentricities: 0°, 10°, 30°, and 60°. The results revealed that while the blue stimuli caused only moderate changes in the contrast threshold according to target eccentricity and light level, the changes for the red stimuli were much larger. It was found that the $V(\lambda)$ function did not describe the visual performance sufficiently well in the peripheral vision at low photopic light levels. An attempt was made to determine a new luminous efficiency function for the peripheral vision at low photopic light levels. This new function described the measurement results with best accuracy at 10 cd/m².

1. Introduction

This research was inspired by reaction time experiments conducted by the authors at low photopic and high mesopic light levels. In these experiments, the red and amber stimuli of low contrast ($C=0.2$) presented in peripheral vision (10° eccentricity) were perceived very poorly by some subjects, but well by other subjects. Stimuli presented with higher contrast ($C=0.5$ or 3.0) were detected with higher accuracy by all subjects. The reaction time measurements were conducted in Mesopic Optimisation of Visual Efficiency (MOVE) project funded by the European Commission. The objective of MOVE project was to define relevant spectral sensitivity functions for the mesopic luminance range and to establish appropriate working practices [1]. A linear mesopic model was developed during the project [2].

The aim of the work presented in this paper was to find the contrast threshold for three different stimulus colours presented in foveal and peripheral vision at low photopic and high mesopic light levels (between 0.1 and 10 cd/m²). Short, 500-ms rectangular shaped flashes were used as targets in the measurements.

According to Zuidema et al. [3], two temporal parameters affect the threshold energy, namely the duration of the flash and the interval between two flashes. The interval between two flashes should be at least 1 s, otherwise the two flashes affect each other, and eventually they are seen as

continuous light if the interval becomes very short (approximately 100 ms). For flashes shorter than 100 ms, the threshold energy is independent of flash duration. For flash durations between 100 and 500 ms, the relation between the log threshold energy and log flash duration has a constant positive slope. For larger values of flash duration, the threshold energy becomes linearly proportional to the flash duration.

Blackwell [4] conducted very extensive research in 1946 on contrast thresholds, which indicated that very long (over 60 s) presentation times were required to achieve the minimum contrasts under certain circumstances. He also found out, that below a certain luminance level, the subjects started to use the peripheral vision instead of foveal vision to detect the stimuli. This change was noticed at approximately 0.0024 cd/m². At background luminances above 3.4 cd/m², the contrast thresholds were constant with respect to adaptation luminance.

2. Measurement system

The measurement system consisted of a large hemisphere (diameter 1980 mm), which interior was painted white. This surface served as the background for the visual stimuli. The background was uniformly illuminated with fluorescent lamps with dimmable electronic ballasts. In order to achieve the desired light levels, it was necessary to use neutral density filters wrapped around the

lamps. The final adjustments of light levels were made with the dimmable ballasts. The filters affected the spectral power distribution of the lamps. The spectral power distributions of the light at different light levels can be seen in Figure 1. The correlated colour temperature of the light was 4920 ± 100 K.

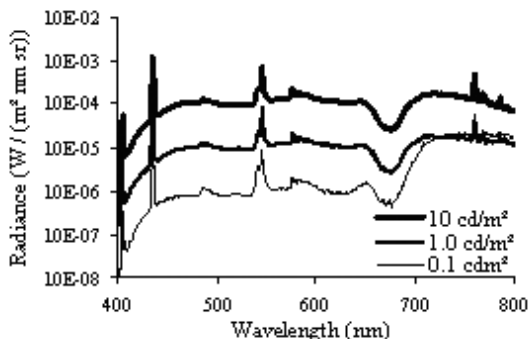


Figure 1 Radiances of the background luminances at three background luminance levels.

The visual stimuli were produced with light emitting diodes (LED). Small holes were drilled through the surface of the hemisphere. The LEDs were attached outside the hemisphere pointing towards the location of the subject. The holes were covered with white diffusers, so the LEDs were not directly visible to the subjects. Filters and diffusers were used to reduce the intensity of the light produced by the LEDs. The light output of the LEDs was controlled with a computer. It was possible to adjust the luminous intensity and the duration of the light flash of each LED individually. The diameter of the circular stimuli was 5 mm, which corresponds to stimuli size of 0.29° at the viewing distance of 990 mm.

Table 1 The peak wavelengths and half-bandwidths of the three coloured stimuli (LEDs) used in the measurements.

Stimulus spectra	Blue	Green	Red
Peak wavelength (nm)	467	525	638
Half-bandwidth (nm)	26	36	18

2.1 Stimulus contrasts

The stimulus contrasts were measured against the immediate surrounding of the stimulus. The luminance of the immediate surrounding was measured with a calibrated LMT L1009 luminance meter. Equation 1 was used for the contrast calculations

$$C = \frac{L_t - L_b}{L_b} \quad (1)$$

where C is the contrast, L_t - the target luminance, and L_b - the background luminance.

The luminance of the stimulus consisted of two parts. The first part was the luminance produced by the LED on the diffuser visible to the subject. This luminance was measured with the luminance meter using a close-up lens. The luminance was measured for the maximum light output of the LEDs at each location after positioning the required filters and diffusers in front of the LEDs. The second part of the stimulus luminance consisted of the luminance produced by the fluorescent lamps. The reflectance of the diffuser was approximately 12% lower than the overall background luminance. Because of this feature, the contrasts could be negative.

2.2 Stimulus and background radiances

In order to apply also other luminous efficiency functions than the $V(\lambda)$, it was necessary to know the radiance produced by the background and the stimulus light. The spectral power distribution of the LEDs and the background light was measured with an Optronics OL 754 Portable High Accuracy UV-Visible Spectroradiometer by Optronic Laboratories, Inc.

The spectral power distribution of the background light was measured at the desired light levels. The measured relative spectral power distribution was converted into radiance using Equation 2 [5] and the measured background luminance. The integral was computed with the measured spectral power distribution without units. The integral was multiplied with K_m (683 lm/W). The gained value was compared with the measured luminance L . As the values did not usually match, a correction coefficient for the radiance was calculated by dividing the measured luminance L with the computed luminance.

$$L = K_m \int L_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

where L is the luminance, K_m - the maximum spectral luminous efficacy, $L_{e,\lambda}$ - the integrated radiance of the source (spectral distribution of the radiance), and $V(\lambda)$ - the photopic luminous efficiency function.

The radiance of the stimuli was calculated in a similar way except that the transmission of the filters and diffusers in front of the LED was taken into account. The transmittances of the filters

and diffusers were measured with the OL 754 spectroradiometer. The reflectance of the visible diffuser was determined by measuring the direct and reflected spectral power distributions using a tungsten-filament lamp.

3. Subjects

Eight voluntary students and employees (2 females and 6 males) of Helsinki University of Technology participated in the tests as subjects. The ages of the subjects ranged between 23 and 31 years, and the mean age of the subjects was 25.5 years.

Except for one subject, their visual acuity, visual field, and colour vision were tested by an ophthalmologist, and found to be normal. The eighth subject had her eyes examined by an optician one year earlier. She reported no anomalies in her vision. None of the subjects wore glasses or contact lenses in their daily life.

4. Method

The method of limits was used to determine the contrast thresholds [6]. The threshold is determined as the mean value of the last seen and first unseen stimuli. Rectangular shaped flashes with duration of 500 ms were presented to the subjects. For large values of interval between two flashes (over 1 s), the threshold is independent of the interval [3]. In our work, we used an interval of 1.5 s, which satisfies this condition.

47 different stimulus luminances were programmed for the LED controllers. These luminances were divided into five groups each consisting of 13 to 15 luminances. The luminances were selected so that the ratio between two consecutive luminances was approximately 0.93, although this was not achieved for the lowest luminance settings. The five luminance ranges partially overlapped each other in order to make it easier to select the proper range.

The intensity of the short flashes was measured with an LMT SF 105 Version B System Flash Meter. The intensities were determined for all LED colours and luminance settings. Only the luminance of the maximum driving current was measured directly for each LED colour with constant driving current. The luminances of the short flashes were calculated by using the intensity measurements done with the flash meter.

4.1 Measurement procedure

The subject positioned himself or herself in the centre of the hemisphere's opening fixating both eyes to the foveal stimulus location. Forehead and chin rests were used to keep the head in correct position. The peripheral stimuli located on the right side of the foveal stimulus at eccentricities 10°, 30°, and 60°. The large size of the hemisphere ensured that the eccentricity was near the intended location even at large eccentricities. Taken distance between the pupils to be 70 mm, the deviation in the viewing angle was less than 0.3° at other eccentricities than 60°, where it was approximately 1°.

The contrast threshold was determined by presenting the light flashes in either descending or ascending order of intensity. The task of the subject was to count the visible flashes when the stimuli were presented in descending order, and to press a response button when the order of intensities was ascending.

The order of presentations was descending, ascending, descending, ascending, yielding four measured contrast thresholds at each measurement point. All measurements at one background luminance level were conducted during one session. A single session lasted for approximately 50 to 75 minutes, depending on the experience of the subject and time spent finding the correct range of luminances. All subjects participated in three sessions, once at each light level.

5. Results

The results show that the contrast threshold was affected by the background luminance level and the eccentricity of the stimulus (Figure 2). While the contrast threshold for the blue stimulus increased moderately when the eccentricity increased, for the red stimuli the differences were much larger. Especially at the lowest luminance level (0.1 cd/m²), the contrast threshold was much higher at 30° and especially at 60° for the red stimuli. With the green stimuli, the effect was in between the red and blue stimuli. With increasing eccentricity, the standard deviations of the results increased strongly for red stimuli. For blue stimuli, the change was much smaller.

At 10 cd/m² luminance level, which is considered to be in the photopic region [4, 7], the blue stimulus had lower contrast threshold in the peripheral visual field than the red and green stimuli. The luminances were calculated using the $V(\lambda)$ function, which is

known to underestimate the short wavelengths of the visible spectrum [4]. Other standard luminous efficiency functions were applied to see whether they would describe the difference. The applied luminous efficiency functions were $V_M(\lambda)$, $V_{10}(\lambda)$, and $V'(\lambda)$. $V_M(\lambda)$ is the $V(\lambda)$ function modified by Judd, $V_{10}(\lambda)$ is the supplementary function for 10° standard observer, and $V'(\lambda)$ is the scotopic luminous efficiency function. New contrast thresholds were computed with these functions using Equation 2 and the calculated radiances. Standard deviation of the contrasts was used to describe the differences between the various calculations. Lower standard deviation indicates better description of the visual performance.

In foveal vision, both $V(\lambda)$ and $V_M(\lambda)$ functions described the situation with best accuracy (Table 2). This result was expected because the central foveal vision is known to follow the $V(\lambda)$ function even at mesopic light levels [8]. There are no rods in the central fovea. Rods become active at low light levels [9], and therefore no Purkinje shift occurs in the foveal vision.

In peripheral vision, the situation was found to be different. $V(\lambda)$ or $V_M(\lambda)$ functions were no longer the best descriptors even at the highest luminance level of 10 cd/m². Instead, $V_{10}(\lambda)$ became the best descriptive function at that luminance level. Again, this was not surprising because the $V_{10}(\lambda)$ includes also a large part of the peripheral vision.

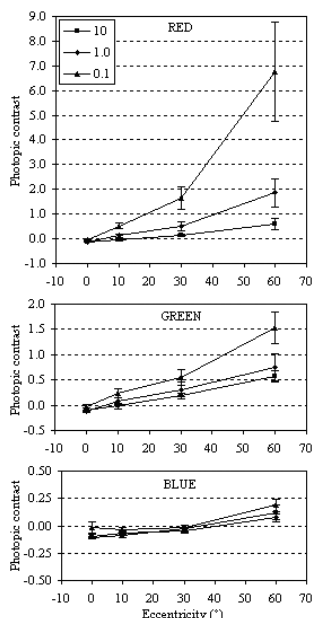


Figure 2 Mean contrast thresholds and standard deviations for the red, green, and blue stimuli. The range of contrasts is different for each colour.

At 1 cd/m² luminance level the situation was similar, $V_{10}(\lambda)$ function being the best descriptive function. At the lowest luminance level (0.1 cd/m²), the $V'(\lambda)$ was the best descriptive function in the peripheral vision with one exception. At 10° eccentricity, the $V_{10}(\lambda)$ function had better match than $V'(\lambda)$. The standard deviations became larger with increasing eccentricity. At 1 cd/m² luminance level and 10° eccentricity, the standard deviation was 0.072 with the best matching function, $V_{10}(\lambda)$, which implies a satisfactory match. Otherwise, the standard deviations at the mesopic light levels were between 0.23 and 1.14 with the best matching functions, $V_{10}(\lambda)$ at 1 cd/m² and $V'(\lambda)$ at 0.1 cd/m². Table 3 includes the results for 1 and 0.1 cd/m² luminance levels.

The difference in descending and ascending order of thresholds was small in foveal vision, except at 0.1 cd/m², where the red and green stimuli had relatively large differences. The contrasts were, however, very low between -0.037 and -0.015. In the peripheral vision, the descending order thresholds were usually higher than the ascending order thresholds, although usually not very much. A possible explanation is that when the luminances descend rapidly from a higher level in discrete, separate steps, the eye is adapted to higher intensities and does not recognise lower intensities. Another explanation could be that some of the flashes were missed when they were counted. The ratio between descending and ascending order thresholds was usually between 0.9 and 1.1, indicating relatively small differences, but the highest ratio of 1.69 was achieved in the foveal vision for the green stimuli at 0.1 cd/m² luminance level.

6. Peripheral $V(\lambda)$

When the standard deviations of the contrast thresholds were calculated with the standard photopic luminous efficiency functions (i.e. $V(\lambda)$, $V_M(\lambda)$, $V_{10}(\lambda)$) at 10 cd/m², it was found that the lowest standard deviation increased with increasing eccentricity, implying that the functions describe the spectral sensitivity of the eye with decreasing accuracy. It was therefore tempting to test, whether another luminous efficiency function would improve the situation.

The contrast thresholds for the red and green stimuli remained similar at all eccentricities, whereas for the blue stimuli, the contrast thresholds were smaller. This implies that the blue region of the visual

spectrum is underestimated by the three photopic luminous efficiency functions. For $V'(\lambda)$ the situation is the opposite, thus, it overestimates the blue region.

A new luminous efficiency function for peripheral vision that is based on the $V_{10}(\lambda)$ function was determined. $V_{10}(\lambda)$ was the best descriptor in the peripheral vision. The blue part of the function was enhanced by adding the difference between the $V_{10}(\lambda)$ and the $V(\lambda)$ functions multiplied with a coefficient (Equation 3). Wavelength 557 nm was selected as the transition point, because it is the peak wavelength of the $V_{10}(\lambda)$ function. The research of Wald [10] supports this selection, as he found that the spectral sensitivity of $\lambda < 550$ nm is more enhanced in the peripheral vision:

$$\begin{aligned} V_{per}(\lambda) &= V_{10}(\lambda) + k \cdot (V_{10}(\lambda) - V(\lambda)), \lambda < 557 \text{ nm} \\ V_{per}(\lambda) &= V_{10}(\lambda), \lambda \geq 557 \text{ nm} \end{aligned} \quad (3)$$

The calculations were conducted with the new function yielding the results presented in Table 2. It turned out that the new function, here designated as peripheral $V(\lambda)$ or $V_{per}(\lambda)$, was the best descriptor in peripheral vision of all the presented luminous efficiency functions. The optimisation of the coefficient k was made with the “Goal seek” routine included in the Microsoft® Excel 2000 program. When the coefficient k was optimised for all eccentricities simultaneously, the standard deviations were smaller for all eccentricities when compared with results gained with the other luminous efficiency functions.

Table 2 Mean contrasts and standard deviations for each stimulus eccentricity calculated with different luminous efficiency functions. Measurements were made at 10 cd/m². Smallest standard deviations are marked with bold. Coefficient k is 1.732.

	Stimulus eccentricity			
	0°	10°	30°	60°
$V(\lambda)$	-0.1138	-0.0495	0.0996	0.4323
st. dev.	0.0149	0.0391	0.1116	0.2681
$V_M(\lambda)$	-0.1140	-0.0499	0.0988	0.4307
st. dev.	0.0149	0.0388	0.1109	0.2660
$V_{10}(\lambda)$	-0.1111	-0.0451	0.1177	0.4713
st. dev.	0.0195	0.0246	0.0617	0.1663
$V'(\lambda)$	-0.0858	-0.0093	0.2520	0.7423
st. dev.	0.0816	0.1293	0.4334	0.9014
$V_{per}(\lambda)$	-0.1069	-0.0392	0.1422	0.5219
st. dev.	0.0290	0.0121	0.0292	0.0072
$V_{mes}(\lambda)$	-0.1133	-0.0487	0.1028	0.4388
st. dev.	0.0158	0.0364	0.1017	0.2453

7. Mesopic contrast thresholds

The results at 1 and 0.1 cd/m² show that the contrast thresholds increase with decreasing luminance level and increasing eccentricity. The shift depends strongly on the colour of the stimulus. This is due to increasing activity of the rods, which spectral sensitivity follows the scotopic $V'(\lambda)$ function, having its peak at approximately 507 nm [7]. With decreasing light levels, the cones become less active and this yields to higher spectral sensitivity at short wavelengths.

The mesopic results were modelled using the previously mentioned luminous efficiency functions, and in addition, the practical system for mesopic photometry developed in the MOVE project. The details of the calculation process of the developed mesopic model can be found from the CIE TC1-58 website [2]. This practical mesopic system (designated as $V_{mes}(\lambda)$) is a linear transition function between the $V(\lambda)$ and $V'(\lambda)$ functions throughout the mesopic region. It has been optimised for visual performance in night-time driving and is based on a large set of experiments. The $V_{mes}(\lambda)$ function was developed using different performance based visual tasks, such as reaction time, contrast threshold, and achromatic detection thresholds [1].

The practical mesopic system takes into account the S/P-ratios of both stimulus and background. This ratio is possible to achieve by measuring the photopic and scotopic luminances. In our case, we made the calculations using the radiance data and weighing it with both $V'(\lambda)$ and $V(\lambda)$ functions. The x-values of the practical mesopic system were computed for mesopic luminance levels using the MATLAB modules included in reference 2. The x-values was used to compute the new $V_{mes}(\lambda)$ functions for each luminance level individually. The new contrasts were calculated using the $V_{mes}(\lambda)$ function and radiance data.

The results presented in Table 3 show that for foveal vision, both $V(\lambda)$ and $V_M(\lambda)$ are the best descriptive functions at mesopic light levels. The $V(\lambda)$ is only slightly better based on these results. In peripheral vision, the newly developed $V_{mes}(\lambda)$ is the best descriptor at all eccentricities at both mesopic luminance levels.

Table 3. Mean contrasts and standard deviations for each stimulus eccentricity calculated with different luminous efficiency functions. Measurements were made at 1.0 and 0.1 cd/m². Smallest standard deviations are marked with bold.

	Stimulus eccentricity			
	0°	10°	30°	60°
1.0 cd/m ²				
$V(\lambda)$	-0.1112	0.0524	0.2575	0.8919
st. dev.	0.0154	0.1016	0.2805	0.8990
$V_M(\lambda)$	-0.1113	0.0519	0.2564	0.8890
st. dev.	0.0156	0.1006	0.2784	0.8939
$V_{10}(\lambda)$	-0.1047	0.0611	0.2687	0.9099
st. dev.	0.0300	0.0724	0.2325	0.8069
$V'(\lambda)$	-0.0443	0.1164	0.2861	0.7443
st. dev.	0.1653	0.2517	0.4046	0.8122
$V_{mes}(\lambda)$	-0.0944	0.0684	0.2647	0.8549
st. dev.	0.0522	0.0214	0.1163	0.4701
0.1 cd/m ²				
$V(\lambda)$	-0.0225	0.2360	0.7237	2.8330
st. dev.	0.0091	0.2736	0.8425	3.4829
$V_M(\lambda)$	-0.0228	0.2347	0.7206	2.8226
st. dev.	0.0094	0.2723	0.8390	3.4693
$V_{10}(\lambda)$	-0.0022	0.2446	0.7301	2.8365
st. dev.	0.0503	0.2406	0.7927	3.3513
$V'(\lambda)$	0.1783	0.2022	0.3984	1.2283
st. dev.	0.4680	0.3258	0.4718	1.1368
$V_{mes}(\lambda)$	0.0806	0.2186	0.5566	2.0087
st. dev.	0.2441	0.0353	0.1674	1.1232

Table 2 shows that $V_{per}(\lambda)$ is more accurate at 10 cd/m² than $V_{mes}(\lambda)$. The practical system for mesopic photometry was optimised for 10° eccentricity, which can be seen as the lowest standard deviations at that eccentricity. The results of this paper indicate that it is the best descriptive function for the peripheral vision at mesopic light levels.

8. Discussion and error analysis

The stimuli were produced by LEDs that had half-bandwidths between 18 and 36 nm. LEDs were used as visual stimuli, since they have become a major light source type in various signalling applications, such as beacons and traffic lights.

The background luminance of the hemisphere was not entirely even. At 10 and 1 cd/m² background luminance, the luminance of the immediate surrounding of the stimulus was approximately 4 to 5% lower at 60° eccentricity than for the other eccentricities. The luminance of the stimuli was

also lower respectively. At 0.1 cd/m², the luminance was approximately 8 to 9% lower at 60° compared to other eccentricities. Otherwise, the background luminances were within 1% range.

The stimuli had rather discrete steps in their luminances due to the use of 500-ms flashes. The use of the mean value of the last seen and first unseen intensity is subject to errors. However, the differences in the results between colours are so large that these inaccuracies cannot describe but a small part of them.

The LMT L1009 luminance meter used in the measurements was calibrated by the manufacturer. According to the calibration certificate, the error in reading was less than -0.9%, which was corrected during the calibration. The error in the luminance measurements and radiance calculations is estimated to be less than 4% for the blue stimuli and less for the other measurements. Main source of error is the imperfect $V(\lambda)$ -correction of the luminance meter, which was approximately -2% for the blue stimuli with the use of the close-up lens. The absolute values of the spectral measurements were not used, only the relative spectral power distributions. The non-linearity in the response of the Optronics OL 754 was estimated to be less than $\pm 1\%$ over the measurement ranges.

9. Conclusions

The results show that the currently used standard luminous efficiency functions do not describe the visual performance well enough in the peripheral vision at low photopic light levels. $V(\lambda)$ function is already known to underestimate the blue part of the visible spectrum. $V_{10}(\lambda)$ function describes better peripheral vision, but the short wavelengths are still underestimated.

The presented new luminous efficiency function for peripheral vision, $V_{per}(\lambda)$, describes the visual performance with best accuracy at 10 cd/m² according to these experiments.

Visual performance at mesopic light levels is often described as a combined function between $V(\lambda)$ or $V_{10}(\lambda)$ and $V'(\lambda)$. According to these measurements, this might be an inaccurate starting point. Instead, a new luminous efficiency function should be established for the peripheral vision before accurate results can be gained.

At mesopic light levels, the $V(\lambda)$ and the $V_M(\lambda)$ functions were the best descriptors for contrast

thresholds in foveal vision. This was true for both 1 and 0.1 cd/m² luminance levels. In peripheral vision, $V_{10}(\lambda)$ and $V'(\lambda)$ functions described best the contrast thresholds among the standard CIE luminous efficiency functions. A better result was found, however, when the new practical model for mesopic photometry developed in the MOVE project was applied.

Acknowledgements

This project was funded by the Academy of Finland (contract no. 78093). The authors acknowledge for the support. The authors also acknowledge Oy Airam Electric Ab for donating their integrating sphere to the Lighting Laboratory and Agilent Technologies for donating the LEDs used in this research.

References

- 1 http://lightinglab.fi/Research/International_Projects/MOVE/ProjectBackground/index.htm
- 2 <http://lightinglab.fi/CIETC1-58/index.htm>
- 3 Zuidema P., Bouman M. A. & Koenderink J. J. 1985. Detection of light and flicker at low luminance levels in the human peripheral visual system. II. A mechanistic model. *Journal of the Optical Society of America A*. 2(3): 408-415.
- 4 Blackwell H. R. 1946. Contrast threshold of the human eye. *Journal of the Optical Society of America*. 36(11): 624-643.
- 5 CIE. 1978. *Light as a true visual quantity: Principles of measurement*. Publ. CIE No 41. CIE Central Bureau.
- 6 Goldstein E. B. 2002. *Sensation and perception*. 6th edition. Wadsworth-Thomson Learning, USA.
- 7 IESNA (ed. Rea M.S.). 2000. *The IESNA Lighting Handbook. Reference & application*. 9th edition. Illuminating Engineering Society of North America.
- 8 Eloholma M., Halonen L. & Setälä K. 1999. *The effects of light spectrum on visual acuity in mesopic lighting levels. EPRI/LRO Fourth International Lighting Research Symposium. Proceedings: Vision at Low Light Levels*. EPRI. 149-161.
- 9 Forrester J., Dick A., McMenamin P. & Lee W. 1996. *The eye. Basic sciences in practice*. London, UK. W.B. Saunders Company Ltd.
- 10 Wald G. 1945. Human vision and the spectrum. *Science*. 101, 653-658.



Pasi ORREVETELÄINEN

Lic.Sc. (Tech.), Research Scientist
Helsinki University of Technology
Lighting Laboratory
P.O.Box 3000; FI-02015 HUT;
Finland
phone +358 9 4512403
fax + 358 9 4514982
e-mail: pasi.orrevetelainen@hut.fi

Graduated from the Department of Electrical and Communications Engineering of Helsinki University of Technology in 1995 and obtained Lic.Sc. in 2003. Research Scientist at the Lighting Laboratory of Helsinki University of Technology. Research areas include vision, measurements, and testing.

Marjukka ELOHOLMA

M.Sc. (Tech.), Research Scientist

Liisa HALONEN

D.Sc. (Tech.), Professor

The authors are members of the Traffic Lighting and Vision research group in the Lighting Laboratory. The research group is currently working in the area of mesopic lighting and vision. The work at Lighting Laboratory in this field started in 1998. A large European research project MOVE funded by the European Commission was conducted in 2002-2004 and was concerning the modelling of mesopic vision. Currently two related projects are ongoing funded by the Academy of Finland. Professor Liisa Halonen is the head of the research group.

Received 30 December 2004

Reviewers: Prof. Luciano DI FRAIA, Prof. Ramon SAN MARTIN, Dipl. eng. Axel STOCKMAR

PRAGUL DE CONTRAST AL STIMULILOR STRĂLUCITORI COLORAȚI ÎN VEDEREA PERIFERICĂ LA NIVELURI DE LUMINĂ SCĂZUTE

Pragul de contrast a fost examinat prin metoda limitelor pentru a determina performanța vizuală a ochiului uman în cazul vederii periferice la niveluri fotopice scăzute și mezopice ridicate. Trei stimuli colorați au fost folosiți pentru a determina valorile pragurilor de contrast pentru opt subiecți. Măsurările au fost realizate la patru excentricități: 0°, 10°, 30° și 60°. Rezultatele au evidențiat că în timp ce stimulul albastru cauzează modificări moderate ale pragului de contrast, conforme cu excentricitatea sarcinii și nivelul de lumină, în cazul stimulului roșu modificările au fost mult mai însemnate. S-a găsit că funcția $V(\lambda)$ nu descrie performanța vizuală suficient de corect în vederea periferică la niveluri de lumină fotopice scăzute. A fost efectuată o încercare de a determina o nouă funcție a eficacității luminoase pentru vederea periferică la niveluri de lumină fotopice scăzute. Această nouă funcție a descris rezultatele măsurărilor cu cea mai bună exactitate la nivelul de 10 cd/m².

1. Introducere

Acest studiu a fost rezultatul experimentelor realizate de autor asupra timpului de reacție la niveluri de lumină fotopic scăzute și mezopic ridicate. În cadrul acestor experimente, stimulii de culoare roșie și chihlimbarie cu contrast scăzut ($C=0,2$), prezenți în vederea periferică (10° excentricitate), au fost foarte slab percepuți de către unii subiecți, dar foarte bine de către alții. Stimuli cu un contrast mai ridicat ($C=0,5$ sau 3,0) au fost percepuți cu o acuratețe ridicată de către toți subiecții. Măsurările timpului de reacție s-au făcut în cadrul proiectului Optimizarea Mesopică a Eficacității Vizuale (MOVE), finanțat de Comisia Europeană. Obiectivul proiectului MOVE a fost acela de definire a funcțiilor relevante ale sensibilității spectrale pentru domeniul luminanței mezopice și de stabilire a unor modalități de lucru corespunzătoare [1]. În acest proiect a fost dezvoltat un model linear mesopic [2].

Scopul lucrării prezentate este de a determina pragul de contrast pentru trei valori diferite ale stimulilor de culoare prezenți în vederea periferică și foveală, la un nivel fotopic scăzut și mezopic ridicat (între 0,1 și 10 cd/m²). Străfulgerări rectangulare scurte, de 500 ms, au fost folosite ca ținte în cadrul măsurărilor.

Conform Zuidema și alții [3], doi parametri temporali influențează pragul de contrast: durata fleșului și intervalul de timp dintre două străfulgerări. Intervalul dintre două străfulgerări ar trebui să fie de cel puțin 1 s, altfel cele două străfulgerări se influențează unul pe celălalt și, eventual, pot fi văzute ca și o lumină continuă dacă intervalul devine foarte scurt (aproximativ 100 ms).

Pentru străfulgerări mai scurte de 100 ms, pragul de energie este independent de durata fleșului. Pentru intervale cuprinse între 100 ms și 500 ms, între valoarea pragului de energie și logaritmul duratei străfulgerării există o pantă constantă pozitivă. Pentru valori mai mari ale duratei străfulgerării, pragul de energie variază linear cu durata fleșului.

Blackwell [4] a coordonat cercetări intensive în 1946 asupra pragului de contrast, observând că expuneri cu timp foarte lung (peste 60 s) au fost necesare pentru a atinge contrastele minime în anumite condiții. De asemenea, a arătat că subiecții încep să folosească vederea periferică în locul celei foveale pentru detectarea stimulilor sub un anumit nivel de luminanță. Această schimbare a fost înregistrată la aproximativ 0,0024 cd/m². La un nivel de luminanță a fondului de peste 3,4 cd/m², pragul de contrast a fost constant ținând seama de luminanța de adaptare.

2. Sistemul de măsurare

Sistemul de măsurare este compus dintr-o emisferă mare (diametrul 1980 mm), vopsită în alb la interior. Această suprafață a servit ca fundal pentru stimulii luminoși. Fundalul a fost iluminat uniform cu lămpi fluorescente echipate cu balasturi electronice și dispozitive pentru diminuarea fluxului luminos. Pentru a obține nivelurile de lumină dorite, a fost necesară montarea unor filtre de densitate neutrală. Ajustările finale ale nivelurilor de lumină au fost realizate cu ajutorul balasturilor dimabile. Filtrele au afectat distribuția spectrală a lămpilor. Distribuția spectrală a luminii în cazul diferitelor niveluri de

lumină poate fi observată în Figura 1. Temperatura de culoare corelată a fost de 4920 ± 100 K.

Stimulii vizuali au fost realizați cu diode emitente de lumină (LED). Au fost făcute orificii mici în suprafața emisferei. LED-urile au fost așezate în aceste locașuri, în afara emisferei, îndreptate spre locul în care se afla subiectul. Orificiile au fost acoperite cu materiale difuzante de culoare albă, pentru ca LED-urile să nu fie văzute direct de către subiecți. Filtre și difuzoare de lumină au fost folosite pentru reducerea intensității luminii emise de LED-uri. Fluxul luminos al acestora a fost controlat cu ajutorul unui calculator, fiind realizat un control individual al intensității luminoase și duratei străfulgerării pentru fiecare LED. Diametrul unui stimul circular de 5 mm corespunde unei dimensiuni de $0,29^\circ$ la distanța de vedere de 990 mm.

2.1 Contrastele stimulilor

Contrastele stimulilor au fost măsurate în imediata vecinătate a acestora. Luminanța a fost măsurată cu un luminanțmetru calibrat LMT L1009. Ecuația 1 a fost folosită pentru calculul contrastelor, unde C este contrastul, L_t - luminanța țintei și L_b - luminanța fondului.

Luminanța stimulilor este alcătuită din două părți. Prima, luminanța produsă de LED pe difuzorul vizibil pentru subiect. Aceasta luminanță a fost măsurată cu luminanțmetrul folosind o lentilă specială de apropiere. Luminanța a fost măsurată pentru fluxul de lumină maxim al LED-ului, în fiecare poziție, după atașarea filtrelor și difuzoarelor în fața LED-urilor. Cea de-a doua parte constă în luminanța produsă de lămpile fluorescente. Reflectanța difuzorului a fost de aproximativ 12% mai scăzută decât luminanța totală a fondului. Datorită acestui fapt, contrastul ar putea fi negativ.

2.2 Radianțele stimulilor și a fundalului

Pentru aplicarea altor funcții în afară de $V(\lambda)$, a fost necesară cunoașterea radianței produse de fond și lumina stimulilor. Distribuția spectrală a luminii produse de stimuli și de fond a fost măsurată folosind un dispozitiv spectral portabil de înaltă acuratețe pentru măsurarea lungimilor de undă vizibile și a celor din domeniul ultravioletelor, Optronics OL 745, produs al Optronic Laboratories, Inc.

Distribuția spectrală a luminii fondului a fost măsurată la diferitele niveluri de lumină dorite.

Distribuția spectrală relativă măsurată a fost transformată în radianță folosind Ecuația 2 [5] și luminanța fondului măsurată. Integrala a fost calculată cu ajutorul distribuției spectrale măsurate, fără unități de măsură, și apoi multiplicată cu K_m (683 lm/W). Valoarea obținută a fost apoi comparată cu luminanța măsurată L . Deoarece valorile nu se potrivesc în general, a fost calculat un coeficient de corecție al radiației, obținut prin împărțirea luminanței măsurate L la valoarea calculată (Ecuația 2), unde L este luminanța, $L_{e,\lambda}$ - radianța integrată a sursei (distribuția spectrală a radianței) și $V(\lambda)$ - funcția de eficiență luminoasă fotopică.

Radianța stimulilor a fost calculată în mod asemănător, excepție făcând faptul că a fost luată în considerare transmisia luminii prin filtrele și difuzorii din fața LED-urilor. Transmitanțele filtrelor și difuzorilor a fost măsurată cu spectroradiometrul OL 745. Reflectanța difuzorului vizibil a fost determinată prin măsurarea distribuției puterii spectrale directe și reflectate, utilizând o lampă cu incandescență.

3. Subiecții

Opt voluntari, studenți și angajați (2 femei și 6 bărbați) ai Universității Tehnice din Helsinki au participat la aceste teste ca și subiecți. Vârsta subiecților a variat între 23 și 31 de ani, cu o medie de 25,5 ani.

Cu excepția unui singur subiect, acuratețea vizuală, câmpul vizual și vederea culorilor au fost testate de către un medic oftalmolog și diagnosticate ca fiind normale. Cel de-al optulea subiect a fost supus unui examen optic cu un an în urmă și raportat ca neavând anomalii vizuale. Nici unul dintre subiecți nu purta ochelari de vedere sau lentile de contact în viața de zi cu zi.

4. Metoda

Metoda limitelor a fost folosită pentru determinarea pragului de contrast [6]. Pragul a fost determinat ca valoare a ultimului stimul văzut și a primului nevăzut. Străfulgerări de lumină de formă rectangulară și cu o durată de 500 ms au fost prezentate subiecțiilor. Pentru intervale de timp mari între străfulgerări (peste 1 s), pragul este independent de interval [3]. În lucrarea noastră s-a folosit un interval de 1,5 s care a satisfăcut această condiție.

47 de stimuli de lumină diferiți au fost programați pentru dispozitivele de control ale LED-

urilor. Aceste luminanțe au fost împărțite în cinci grupuri, fiecare constând în câte 13 - 15 luminanțe. Luminanțele au fost selectate în așa fel încât raportul a două consecutive să fie de aproximativ 0,93, cu toate că acest raport nu a putut fi atins și pentru valorile cele mai scăzute ale luminanței. Cele cinci grupuri s-au suprapus parțial în scopul facilitării alegerii unei variante optime.

Intensitatea străfulgerărilor scurte a fost măsurată cu un dispozitiv de măsurare LMT SF 105 Versiune B. Intensitățile au fost determinate pentru toate LED-urile și pentru toate setările luminanței. Doar luminanța curentului maxim a fost măsurată direct pentru fiecare culoare de LED la un curent constant. Luminanțele străfulgerărilor scurte a fost calculată folosind valorile obținute în urma măsurării intensităților cu ajutorul fleșmetrului.

4.1 Procedeu de măsurare

Subiectul s-a poziționat în centrul deschiderii emisferei, cu ambii ochi fixați în direcția locației stimulului foveal. Fruntea și barba au fost menținute în poziția normală. Stimulii perimetrali au fost localizați la dreapta stimulului foveal la unghiuri de 10° , 30° și respectiv 60° . Dimensiunile mari ale emisferei au asigurat ca excentricitatea să fie lângă locția dorită chiar și pentru excentricități mari. Considerând distanța între pupile de 70 mm, deviația unghiului de vedere a fost mai mică de $0,3^\circ$ la alte excentricități decât 60° , pentru care a fost de aproximativ 1° .

Pragul de contrast a fost determinat prin prezentarea străfulgerărilor atât în ordinea crescătoare cât și în cea descrescătoare a intensităților. Sarcina subiectului a fost de a număra străfulgerările vizibile, în ordine descrescătoare și de a apăsa un buton de răspuns, când ordinea intensităților a fost crescătoare.

Ordinea prezentării stimulilor a fost descrescătoare, crescătoare, descrescătoare, crescătoare, obținându-se la final patru valori ale pragului de contrast pentru fiecare punct de măsurare. Toate măsurările efectuate pentru o valoare a luminanței fondului au fost realizate într-o sesiune. O singură sesiune a durat aproximativ 50 - 75 de minute, în funcție de experiența subiecților și de timpul necesar căutării luminanțelor dorite. Toți subiecții au participat la trei sesiuni, una pentru fiecare nivel de luminanță.

5. Rezultate

Rezultatele au arătat că pragul de contrast a fost influențat de nivelul de iluminare a fondului și de excentricitatea stimulilor (Figura 2). În timp ce pragul

de contrast pentru stimulii albaștri a crescut moderat o dată cu creșterea excentricității, în cazul stimulilor roșii diferențele au fost mult mai mari. Mai ales în cazul celui mai redus nivel de luminanță ($0,1 \text{ cd/m}^2$), pragul de contrast pentru stimulii roșii a fost mult mai mare la 30° și în mod special la 60° . Pentru stimulii verzi, efectul s-a situat undeva între acela al stimulilor albaștri și a celor roșii. Cu creșterea excentricității, deviațiile standard ale rezultatelor au crescut puternic pentru stimulii roșii. În cazul stimulilor albaștri, schimbările au fost mult mai mici.

La un nivel al luminanței de 10 cd/m^2 , considerat a fi în zona fotopică [4, 7], stimulii albaștri au avut un prag de contrast mai scăzut pentru vederea perimetrală față de cei roșii și verzi. Luminanțele au fost calculate folosind funcția $V(\lambda)$, care se cunoaște că subevaluează lungimile de undă scurte ale spectrului vizibil [4]. Alte funcții standard ale eficacității au fost aplicate pentru a se vedea dacă ar putea să descrie această diferență. Acestea au fost: $V_M(\lambda)$, $V_{10}(\lambda)$ și $V'(\lambda)$. $V_M(\lambda)$ este funcția $V(\lambda)$ modificată de Judd, $V_{10}(\lambda)$ este o funcție suplimentară pentru observatorul standard la 10° și $V'(\lambda)$ este funcția vederii pe timp de noapte. Noi valori ale pragului de contrast au fost calculate cu aceste funcții, folosind Ecuația 2 și radianțele calculate. Deviația standard a contrastelor a fost folosită pentru a descrie diferențele între diferitele calcule. O deviație standard mai mică indică o descriere mai bună a performanței vizuale.

În cazul vederii foveale, ambele funcții $V(\lambda)$ și $V_M(\lambda)$ descriu situația cu o foarte bună acuratețe (Tabelul 2). Acest rezultat era de așteptat, deoarece se știe că vederea foveală corespunde funcției $V(\lambda)$, chiar și pentru nivelurile mesopice ale luminii [8]. Nu există bastonașe în zona foveală a retinei. Bastonașele devin active pentru niveluri reduse ale luminii [9] și de aceea nici o deplasare Purkinje nu intervine la vederea foveală.

În cazul vederii periferice, s-a determinat că situația este diferită. Funcțiile $V(\lambda)$ și $V_M(\lambda)$ nu mai reprezentau cel mai bine procesul chiar și pentru niveluri ridicate ale luminanței de 10 cd/m^2 . În schimb, $V_{10}(\lambda)$ a devenit cea mai bună funcție descriptivă la acel nivel de iluminare. Nici aceasta nu a fost o surpriză, deoarece se știe că $V_{10}(\lambda)$ include și o mare parte din vederea periferică.

Situația a fost similară la un nivel al luminanței de 1 cd/m^2 , funcția $V_{10}(\lambda)$ fiind cea mai bună funcție descriptivă. La cel mai redus nivel al luminanței ($0,1 \text{ cd/m}^2$), funcția $V'(\lambda)$ a fost cea mai bună funcție descriptivă a vederii periferice, cu o singură excepție.

La 0,1 cd/m² și 10° excentricitate, deviația standard a fost de 0,072 cu cea mai bună potrivire a funcției $V_{10}(\lambda)$, care implică o potrivire satisfăcătoare. De altfel, deviațiile standard la niveluri mesopice au fost între 0,23 și 1,14 cu cea mai bună potrivire a funcțiilor, $V_{10}(\lambda)$ la 1 cd/m² și $V'(\lambda)$ la 0,1 cd/m². Tabelul 3 include rezultate pentru niveluri ale luminanței de 1 și 0,1 cd/m².

Diferențele pragului de contrast în ordine crescătoare sau descrescătoare au fost mici pentru vederea foveală, excepție luminanța de 0,1 cd/m², unde au fost observate diferențe relativ mari între stimulii roșii și cei verzi. Contrastele au fost, cu toate acestea, foarte scăzute între -0,037 și -0,015. În cazul vederii periferice, pragurile în ordine descrescătoare au fost, de regulă, mai mari decât cele în ordine crescătoare. O posibilă explicație ar fi aceea că atunci când lumina descrește rapid de la un nivel ridicat, cu pași discreți, separați, ochiul este adaptat la intensități mai mari și nu recunoaște intensitățile mai scăzute. O altă explicație ar putea fi aceea că unele străfulgerări nu au fost numărate. Raportul între pragurile în ordine descrescătoare și cele în ordine crescătoare a fost, de obicei, între 0,9 și 1,1, indicând diferențe relativ reduse, dar cel mai mare raport 1,69 s-a înregistrat în vederea foveală pentru stimulii verzi la un nivel al luminanței de 0,1 cd/m².

6. $V(\lambda)$ periferică

Atunci când deviațiile standard ale pragului de contrast au fost calculate cu funcțiile fopice standard ale eficacității luminoase, (de exemplu $V(\lambda)$, $V_M(\lambda)$, $V_{10}(\lambda)$) la 10 cd/m², s-a observat că deviația standard cea mai mică crește o dată cu creșterea excentricității, implicând faptul că aceste funcții descriu sensibilitatea spectrală a ochiului cu o acuratețe în scădere. A fost așadar necesară o testare, pentru a vedea dacă o altă funcție a eficacității luminoase ar îmbunătăți situația.

Pragurile de contrast pentru stimulii roșii și verzi au rămas constante la toate excentricitățile, pe când în cazul stimulilor albaștri, pragul de contrast a fost mai mic. Aceasta dovedește faptul că regiunea albastră a spectrului vizual este subevaluată de către cele trei funcții luminoase fopice. Pentru $V'(\lambda)$ situația este contrară, astfel, zona spectrală albastră este supraevaluată.

A fost determinată o nouă funcție a eficacității luminoase pentru vederea periferică, bazată pe funcția $V_{10}(\lambda)$, care a avut cea mai exactă descriere în cazul

vederii periferice. Partea funcției ce corespunde culorii albastre a fost îmbunătățită prin adăugarea diferențelor dintre funcțiile $V_{10}(\lambda)$ și $V(\lambda)$ înmulțite cu un coeficient (Ecuția 3). Ca punct de tranziție a fost aleasă lungimea de undă de 557 nm, deoarece este lungimea de undă a vârfului funcției $V_{10}(\lambda)$. Cercetările lui Wald [10], susțin această alegere, el găsiind că sensibilitatea spectrală pentru $\lambda < 550$ nm este mai dezvoltată în cazul vederii periferice (Ecuția 3).

Calculul au fost efectuate cu noua funcție, conducând la rezultatele prezentate în Tabelul 2. Se observă că noua funcție, definită ca $V(\lambda)$ sau $V_{per}(\lambda)$ periferică, a fost cel mai bun descriptor al vederii periferice, comparativ cu celelalte funcții. Optimizarea coeficientului k a fost făcută cu ajutorul subrutinei "Goal seek" (căutarea țintei), inclusă în programul Microsoft® Excel 2000. Când coeficientul k a fost optimizat pentru toate excentricitățile în mod simultan, deviațiile standard au fost mai reduse pentru toate excentricitățile, comparativ cu rezultatele obținute prin utilizarea celorlalte funcții de eficacitate luminoasă.

7. Pragurile de contrast mesopice

Rezultatele pentru 1 și 0,1 cd/m² arată că pragurile de contrast cresc cu scăderea nivelului luminanței și creșterea excentricității. Modificările depind puternic de culoarea stimulilor. Aceasta se datorează intensificării activității bastonașelor, a căror sensibilitate spectrală urmărește funcția scotopică $V'(\lambda)$, cu vârful la 507 nm [7]. O dată cu scăderea nivelului de luminanță, conurile devin mai puțin active și aceasta conduce la sensibilități spectrale mai mari pentru lungimi de undă scurte.

Rezultatele mesopice au fost modelate folosind funcțiile eficacității luminoase menționate anterior și, în completare, sistemul practic pentru fotometria mesopică dezvoltat în proiectul MOVE. Detaliile procesului de calcul al modelului mesopic se pot găsi pe site-ul CIE TC1-58 [2]. Acest sistem mesopic (denumit $V_{mes}(\lambda)$), este o funcție de tranziție liniară între funcțiile $V(\lambda)$ și $V'(\lambda)$ în regiunea mesopică. Modelul a fost optimizat pentru performanțele vizuale în cazul conducerii pe timp de noapte și este bazat pe un întreg set de experimente. Funcția $V_{mes}(\lambda)$ a fost dezvoltată folosind diferite performanțe ale sarcinii vizuale, cum ar fi timpul de reacție, pragul de contrast, pragul detecției acromatice [1].

Sistemul practic mesopic ia în considerare raportul S/P al stimulilor și fondului. Acest raport

se poate obține prin măsurarea luminanțelor fopice și scotopice. În cazul de față, calculele s-au făcut folosind datele radianței, ponderate prin utilizarea ambelor funcții $V'(\lambda)$ și $V(\lambda)$. Abscisele x ale sistemului practic mesopic au fost calculate pentru niveluri mesopice ale luminanței, folosind module MATLAB, incluse în referința 2. Valorile lui x au fost folosite pentru calculul noii funcții $V_{mes}(\lambda)$ pentru fiecare nivel al luminanței în mod individual. Noile contraste au fost calculate folosind funcția $V_{mes}(\lambda)$ și datele radianței.

Rezultatele prezentate în Tabelul 3 arată că pentru vederea foveală, atât $V(\lambda)$ cât și $V_M(\lambda)$ sunt cele mai bune funcții descriptive pentru niveluri mesopice ale luminanței. $V(\lambda)$ este ceva mai bună pe baza acestor rezultate. În vederea periferică, nou elaborata $V_{mes}(\lambda)$ reprezintă cel mai bun descriptor pentru toate excentricitățile, la ambele niveluri mesopice ale luminanței.

Tabelul 2 arată că $V_{per}(\lambda)$ are o acuratețe mai mare la 10 cd/m² decât $V_{mes}(\lambda)$. Sistemul practic pentru fotometrie mesopică a fost optimizat pentru excentricitate de 10°, care poate fi considerată ca cea mai scăzută deviație standard pentru acea excentricitate. Rezultatele acestui studiu arată că este cea mai bună funcție descriptivă a vederii periferice pentru niveluri de lumină mesopice.

8. Discuții și analizarea erorilor

Stimulii au fost realizați cu LED-uri cu lățimi de bandă între 18 și 36 nm. LED-urile au fost folosite ca stimuli vizuali, deoarece au devenit o sursă de lumină importantă în diferite aplicații de semnalizare, cum sunt turnurile de semnalizare și luminile semafoarelor.

Luminanța fondului emisferei nu a fost perfect uniformă. La valori de 10 și 1 cd/m² ale luminanței fondului, luminanța din imediata vecinătate a stimulilor a fost cu aproximativ 4-5% mai scăzută la excentricitate de 60°, decât pentru alte excentricități. Luminanța stimulilor a fost și ea mai redusă, în mod corespunzător. La 0,1 cd/m², luminanța a fost cu aproximativ 8-9% mai mică la 60° în comparație cu alte excentricități. Luminanțele fondului au fost în domeniul de 1%.

Stimulii au avut pași discreți în luminanțele lor, în principal datorită folosirii fleșurilor de 500 ms. Folosirea valorii intensității ultimului văzut și primului nevăzut este deasemenea subiect de erori. Cu toate acestea, diferențele rezultatelor între culori sunt atât

de mari încât aceste inexactități nu pot fi responsabile decât pentru o mică parte a acestor diferențe.

Luminanțmetrul LMT L1009 folosit în măsurări a fost calibrat de producător. În conformitate cu certificatul acestuia, erorile în citire au fost mai mici de -0,9%, acestea fiind corectate în timpul calibrării. Erorile în măsurarea luminanțelor și calculele radianței se estimează a fi sub 4% pentru stimulii albaștrii și mai mici pentru celelalte măsurări. Principala sursă de erori este corecția $V(\lambda)$ imperfectă a luminanțmetrului care a fost de aproximativ -2% în cazul stimulilor albaștri și folosirea lentilei de apropiere. Valorile absolute ale măsurărilor spectrale nu au fost folosite, ținându-se cont doar de distribuția spectrală relativă. Neliniaritatea răspunsului Optronics OL 754 a fost estimată ca fiind mai mică de $\pm 1\%$ pentru întregul domeniu de măsură.

9. Concluzii

Rezultatele arată că funcțiile eficacității luminoase standard folosite în mod curent nu descriu performanța vizuală destul de exact în cazul vederii periferice, la niveluri de lumină fopice scăzute. Este cunoscut faptul că funcția $V(\lambda)$ subevaluează partea albastră a spectrului vizibil. Funcția $V_{10}(\lambda)$ descrie mai bine vederea periferică, dar lungimile de undă scurte sunt și în acest caz subevaluate.

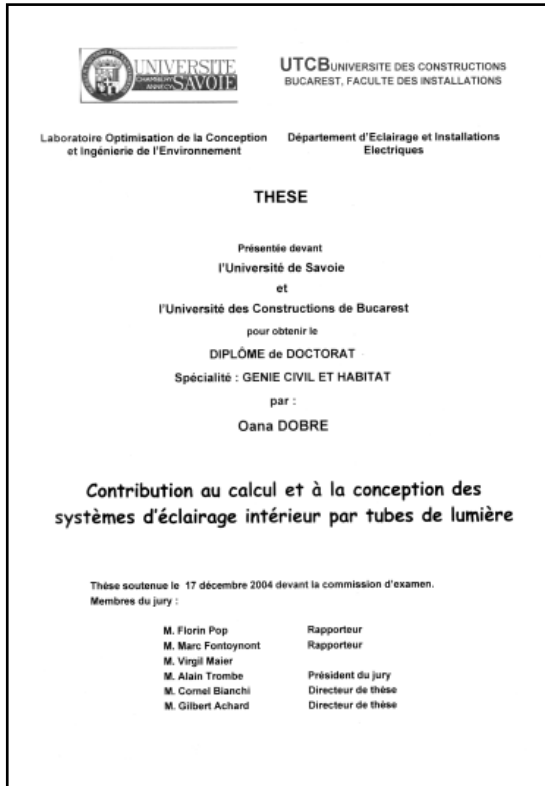
Noua funcție a eficacității luminoase pentru vederea periferică $V_{per}(\lambda)$, descrie performanța vizuală cu cea mai bună acuratețe la 10 cd/m², potrivit acestor experimente.

Performanța vizuală pentru niveluri de lumină mesopice este adesea descrisă ca o funcție combinată între $V(\lambda)$ sau $V_{10}(\lambda)$ și $V'(\lambda)$. Potrivit acestor măsurări, această apreciere ar putea fi un punct de plecare inexact. În locul lor, o nouă funcție a eficienței luminoase ar trebui stabilită în cazul vederii periferice, în scopul obținerii unor rezultate cât mai exacte.

Pentru niveluri de lumină mesopice, funcțiile $V(\lambda)$ și $V_M(\lambda)$ au fost cei mai buni descriptori pentru pragurile de contrast ale vederii foveale. Această afirmație a fost adevărată pentru ambele niveluri de luminanțe de 1 și 0,1 cd/m². În cazul vederii periferice, funcțiile $V_{10}(\lambda)$ și $V'(\lambda)$ descriu cel mai bine pragurile de contrast în conformitate cu funcțiile eficienței luminoase standard CIE. Un rezultat mai bun a fost găsit, cu toate acestea, prin aplicarea noului model practic pentru fotometria mesopică dezvoltat în cadrul proiectului MOVE.

CONTRIBUTION TO THE CALCULATION AND DESIGN OF THE INTERIOR LIGHTING SYSTEMS BY LIGHT PIPES

Oana DOBRE
Université de Savoie



The Ph D Thesis is a “cotutelle” thesis framed by two readers.

The thesis consists of a principal body of 244 pages organized in 7 chapters of which first is represented by the “Introduction” and the last by “Conclusions and Prospects”. Five appendices covering 85 pages supplement the principal body usefully. The work suggested by the author proposes a whole of studies relating to the performances of techniques of lighting using light pipes. They are pipes made up of reflective, opaque or translucent materials, intended to lead the light (natural or electric light) and to distribute it either starting from the end, or along the light pipe.

The study starts with a first chapter of description of the light pipes, the second proposes a photometric

characterization of the diffusing prismatic light pipes, starting from a bibliography, the third proposes two calculation models (analytical or matrix) making possible to determine the efficiency of a prismatic light pipe. Finally the two final chapters propose optical simulations of diffusing light pipes using a optics software (Apilux), then of a lighting software (Visual Ergonomics).

In chapter II, we describe the optical phenomena occurring in a light pipe by proposing the role of the specular factor of reflexion of the walls and phenomena of total internal reflexion, then we describes the prismatic light pipes, and the techniques allowing the guidance of the light (total internal reflexion) and the extraction along th light pipe by the presence of a extraction system. We propose finally a review of the systems available on the market and the concepts proposed. Work is exhaustive and detailed.

The following chapter (III) proposes an experimental study of the prismatic light pipes. It is a question of determining the flows provided to space surrounding all along light pipes diffusing, according to the type of source of light used, the technology of the light pipe and the type of extractor of light employed. The metrological techniques suggested have recourse to apparatuses such as the lux-meters and brightness-meters portable. The found levels of prove to be modest in absolute value (approximately 30%) in comparison with optics standards used with the techniques of fluorescent traditional lighting. It is obviously the price to be paid for this technique of offset of the contributions of luminous flow since the sources.

The following chapter (IV) proposes a certain number of models intended to simulate the optical behavior of a prismatic light pipe, lit either by two projectors HQI, or by a projector with LEDs. Thus we takes into account the indicatrix of the intensities of the source of light to know incidental

illuminations, before reflexion, on the whole of the walls of the light pipe and the portion of this luminous energy which strikes the element located in end of light pipe. We defines then a parameter which is the average number of reflexions (specular) of the luminous rays on the internal walls. This number of reflexions, in a light pipe or a portion of light pipe determines the level of reduction of luminous flow. The model thus integrate well the role of the number of reflexions on the walls of the light pipe. The model presupposes that the efficiency of the different compwents (definite as the ratios of the luminous flows transmitted on received flows) is independents the ones of the others and can be combined in series.

The study proposes then an original matric model, intended to take into account luminous flows being propagated in the two directions inside the light pipe. We notes also, that the behavior of the reflectors in end of light pipe considerably will affect the distribution of outgoing flows.

The following chapter (V) proposes an approach based on the use of a software of optics of trade (APILUX). We proposes to simulate the extraction of light of the light pipes by a succession of semi-transparent mirrors (with variable transmission), diffusing the reflected light in the room, using their concavity. We model thus each section of light pipe by a series of 20 mirrors. The analytical results appear in agreement with the results obtained with the preceding model and the experimental results found in chapter III.

The chapter which follows (VI) relates to simulation, using a second software (Visual Ergonomics) of the lighting of we part using a light pipe. In the study we lead the first simplified calculation based on the method of the zonal cavity to integrate the multiple reflexions in the room.

This method, rather traditional, makes it possible to evaluate illuminations on the various plans of the part considered. The software Visual Ergonomics requires indicatrixes of light intensity distributed on the surface of the light pipe. The luminous effects on the ground of the room are overall similar, but we observes some local differences on the level of the effects obtained at the time of simulation with the Apilux software, compared to reality.

The chapter of conclusion recalls the whole of the results obtained during the thesis. It is noted that the values of the total efficiency of the light pipe used as reference vary from 0.305 to 0.383 according to the method, what appears very reasonable being given the number of uncertainties and approximations used in the methods, in particular on the level of the integration of the light intensities to obtain flows.



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

Received 28 December 2004

CONTRIBUȚII LA CALCULUL ȘI CONCEPȚIA SISTEMELOR DE ILUMINAT INTERIOR PRIN TUBURI DE LUMINĂ

Teza este constituită dintr-un corp principal de 244 pagini organizat în 7 capitole dintre care primul este reprezentat de «Introducere» și ultimul de «Concluzii și Perspective» și cinci anexe pe 85 pagini. Autoarea propune un ansamblu de studii despre performanțele tehnicilor de iluminat utilizând tuburi de lumină. Este vorba de tuburi constituite din materiale reflectorizante, opace sau translucide, destinate să conducă lumina (naturală sau electrică) și să o distribuie, fie începând de la o extremitate, fie de-a lungul tubului.

Studiul începe printr-un capitol descriptiv despre tuburile de lumină, al doilea capitol propune o caracterizare fotometrică a tuburilor prismatice difuzante pe baza literaturii de specialitate, al treilea propune două modele de calcul (analitic sau matricial) permițând determinarea eficacității unui tub de lumină prismatic. Ultimele două capitole propun simulări optice de tuburi difuzante cu ajutorul unui program de calcul de optică (Apilux) și a unui program de calcul de iluminat (Visual Ergonomics).

În capitolul II sunt descrise fenomenele optice care au loc într-un tub de lumină punând accentul pe rolul coeficientului de reflexie speculară pe pereții interiori ai tubului și pe fenomenele de reflexie internă totală, apoi se descriu tuburile prismatice și tehnicile permițând ghidajul luminii (reflexie internă totală) și extracția ei de-a lungul acestor tuburi prin prezența unui sistem specific. Se face o trecere în revistă a sistemelor disponibile pe piață și a conceptelor propuse. Munca depusă este exhaustivă și detaliată.

Capitolul următor (III) propune un studiu experimental al tuburilor prismatice. Este vorba de determinarea fluxurilor emise în spațiul înconjurător de-a lungul tuburilor difuzante, în funcție de tipul surselor luminoase utilizate, tehnologiei tubului și tipului de extractor de lumină utilizat. Tehnicile metrologice propuse recurg la aparate portabile (luxmetru și luminanțmetru). Nivelurile de eficacitate găsite se dovedesc modeste în valoare absolută (în jur de 30%) datorită opticilor standard utilizate cu tehnicile de iluminat tradițional fluorescent. Este prețul plătit pentru aceste tehnici de deplasare a aperturilor de flux luminos emis de surse.

Capitolul următor (IV) propune un anumit număr de modele destinate simulării comportamentului optic al unui tub de lumină prismatic, alimentat fie prin două proiectoare HQI, fie printr-un proiector cu LED-uri. Astfel se iau în considerare curbele de distribuție a intensității surselor de lumină pentru a cunoaște iluminările incidente, înainte de reflexie, pe ansamblul pereților interiori ai tubului și fracțiunea de energie luminoasă care întâlnește elementul situat în capătul tubului. Se definește un parametru care este numărul mediu de reflexii (speculare) ale razelor de lumină pe pereții interiori. Acest număr de reflexii, într-un tub sau într-un tronson de tub determină nivelul de reducere a fluxului luminos. Modelul integrează bine rolul numărului de reflexii pe pereții tubului. Modelul presupune ca eficacitățile diverselor componente (definite prin raportul dintre fluxul

luminos transmis și fluxul primit) sunt independente unele față de altele și pot fi combinate în serie.

Studiul propune apoi un model matricial original, destinat să ia în considerare fluxurile luminoase care se propaga în cele două sensuri la interiorul tubului. Aici, de asemenea, notăm comportamentul reflectorului din capătul tubului care va afecta considerabil repartiția fluxurilor emise.

Capitolul următor (V) propune o metodă bazată pe utilizarea unui program de calcul de optica (APILUX) - o simulare a extracției luminii din tuburile de lumină printr-o succesiune de oglinzi semi-transparente (cu transmisie variabilă) care difuzează lumina reflectată în încăperea, datorită concavității lor. Se modelează fiecare tronson de tub de lumină printr-o serie de 20 de oglinzi. Rezultatele analitice apar în concordanță cu rezultatele obținute cu modelul precedent și cu cele experimentale găsite în capitolul III.

Capitolul VI tratează simularea cu ajutorul unui program de calcul a iluminatului unei încăperi (Visual Ergonomics) generat de un tub de lumină. În acest studiu se realizează un calcul de început simplificat, bazat pe metoda cavității zonale pentru a integra reflexiile multiple din încăperea.

Această metodă clasică permite evaluarea iluminărilor pe diferitele planuri ale încăperii considerate. Programul de calcul necesită curbele de intensitate luminoasă repartizate pe suprafața tubului. Efectele luminoase pe podeaua încăperii sunt asemănătoare în totalitate, dar se observă câteva diferențe locale, la nivelul efectelor obținute în timpul simulării cu programul de calcul Apilux.

Capitolul de Concluzii tratează ansamblul rezultatelor obținute în teză. Se poate nota că valorile eficacității globale a tubului de lumină de referință variază de la 0,305 la 0,383 în funcție de metodă, ceea ce pare foarte potrivit ținând cont de numărul de incertitudini și de aproximări utilizate, în particular la nivelul integrării intensităților luminoase pentru obținerea fluxurilor.

CALCULUS AND CONCEPTION OF ARCHITECTURAL INTEGRATED LIGHTING SYSTEMS

Mihai HUSCH

Decolight S.R.L.

The purpose of the thesis is to realize a study concerning technical and qualitative aspects of light and electrical lighting use in interdependence with the architectural space. Given the highly actual interest for the architectural lighting, this paper aims at updating the currently available information with useful methods and techniques, some of them being a first for our country, placed together with those already known and applied, synthesizing them in an original manner, through an effort towards a systemic approach of this interdisciplinary field. Due to the overall complexity of the subject, this paper limited itself to a first general synthetic approach of architectural lighting, previously a missing subject to the lighting specialists, and that opens the perspective of future research, able to take into consideration multiple elements from border areas between most diverse fields, with accent on highlighting the elements through which lighting can provide extra functionality and esthetics for architectural spaces, a more comfortable and agreeable environment.

Chapter 1 makes a short theoretical and practical overview of the current status of the studied field and introduces an original proposal for analysis of architectural lighting by similarity to the principles of architectural analysis, based on general quantitative and qualitative aspects, but, as well, on specific esthetic aspects.

Chapter 2 deals with the quality of lighting systems, determining aspect in the connection lighting– architecture, with aspects concerning luminance distribution, light color and modeling architecture elements through the use of light.

Chapter 3 presents the known computational methods (global and point) for lighting systems and the schemes for logical treatment of automated computation.

Chapter 4 describes a series of particular structures used in the interior architectural lighting: walls and lighted ceilings and integrated systems natural – artificial lighting, each of them with usage examples for different rooms studied by the author.

Chapter 5 presents solutions for architecture integrated interior lighting interior, with specific

aspects for every type of space: museums, churches, conference rooms, commercial spaces, restaurants, high spaces (atriums, halls), transition areas (receptions, waiting rooms, halls, corridors). The material, highly illustrated with examples of architectural solutions, presents particular lighting aspects for a series of spaces and destinations, considered the most representative for the applicability field of architectural lighting.

Decorative-architectural lighting of building facades is the subject of chapter 6, where the fundamental aspects of the conception of these lighting systems are described: the relationship light-building, light sources and used light devices, the physical arrangement of light devices based on the building characteristics, computation methods.

The modeling of light systems is described in the chapter 7, together with developing methods: physical modeling or computer graphic simulation.

Chapter 8 presents modern solutions of indirect systems for interior/exterior lighting with projectors and reflector surfaces. The description of these systems, with their advantages and disadvantages, with examples of applications, form a preamble to chapter 9, where the author presents an original computation method for indirect lighting systems with projectors and secondary surfaces formed by reflector panels. The description of the method is done starting from the theoretical aspects and contains the light source modeling, computation of direct illumination of the reflector panel, computation of form factors and computation of the reflected component.

In order to get a pointwise solution, the chosen mathematical model assumes a combination between finite element discretization, the radiosity method and iterative numerical methods for solving systems of equations. The surfaces are divided in finite elements (elementary surfaces), that absorb and reflect the light, thus becoming elementary light sources. Because the physical process is iterative, the iterative numerical methods have not only a mathematical support, but a physical support as well.

The main steps in the numerical approach have been:

- domain discretization;
- computation of the form factors;
- form and solve the produced system of equations;
- graphic visualization of results (as a table of values, as graphic output of illuminance and luminance values, rendered images of the environment).

For the automated calculus of light systems with projectors and reflector surfaces, the author has developed an original computer program entitled **Enlight** that allows obtaining the point lighting values on the representative surfaces of a closed space. Due to the complexity of the considered geometrical and luminotechnical parameters, a manual computation is not possible. In order to validate the produced results, an experiment has been set in a closed space of the Lighting Systems Applications Center of the Faculty of Installations – U.T.C.B. The purpose of the experiment has been to get the point lighting values of a floor of a parallelepiped room, the lighting system being formed by a projector with the lighting flow having concentrated distribution in the direction of a rectangular reflector panel, this one diffusely reflecting the light towards the working plane. The comparison between the experimental data and the computed data led to the conclusion of a high accuracy degree of the computation method. This comparison has proved the correctness of the proposed theoretical model. Moreover, we have compared the illumination values produced, for a room having the same geometrical and lighting characteristics, by the computer program Dialux 3, recognized as a standard in the lighting field. The comparison has validated once more the results of our own program.

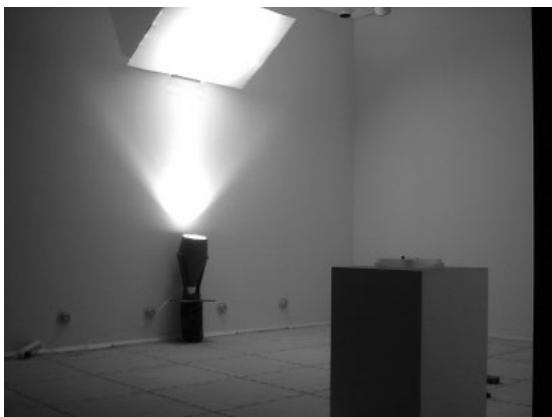


Figura 1 A view of the experimental room and lighting system

We underline the following contributions of the author of this PhD thesis:

- a synthesis of the existing information for the very actual field of architectural lighting, with specific problems, the current status and practical applications, the first development in this direction being the extended bibliographic study for this topic;
- proposal of a scheme of approaching the study of lighting systems in relation to the model of architectural analysis;
- a synthetic presentation of considerations concerning new solutions for interior/exterior lighting with projectors and reflector surfaces;
- development of an original computational method for indirect lighting systems with projectors and secondary sources made by reflector panels;
- the lighting calculus, with the modeling of the projector-reflector panel set and the development of the computational relationships for indirect lighting on the panel based on the specific geometrical parameters (projector-panel distance, inclination angle of the source axis with the vertical line, inclination angle of the reflector surface with the horizontal line) as well as lighting parameters (distribution curve of luminous intensity);
- development of our one computer program for lighting systems, entitled **Enlight**, written in C++, and using object oriented programming techniques (OOP) and dynamic memory allocation;
- development of the 1:1 scale model of an indirect lighting system using a projector and a reflector panel and the collecting of experimental data that validate our computer program based on the suggested original method;
- an analysis of the influence of a geometric parameters of an indirect lighting system with projector and reflector panel, with the obtaining of graphical distributions and nomograms, useful in the engineering practice.

Mihai HUSCH

S.C. Decolight S.R.L.

Bucharest, Șos. Mihai Bravu Nr. 444, Bl. V10, ap. 47

Phone/Fax: +40.(0)21. 2121415

E-mail: mihai@hd.kappa.ro

Received 25 November 2004

CALCULUL ȘI CONCEPȚIA SISTEMELOR DE ILUMINAT INTEGRATE CU ARHITECTURA

Teza de doctorat a dezvoltat un studiu privind aspectele tehnice și de calitate ale folosirii luminii și iluminatului electric în interdependență cu spațiul arhitectural. Dat fiind interesul de mare actualitate față de iluminatul arhitectural, lucrarea vine în completarea informațiilor existente la ora actuală cu metode și tehnici utile, unele în premieră în țara noastră, pe care le alătură celor cunoscute și aplicate deja, sintetizându-le într-o manieră originală, printr-o abordare sistemică a acestui domeniu interdisciplinar....

În capitolul 9 este prezentată o metodă de calcul originală a sistemelor de iluminat indirect cu proiectoare și suprafețe secundare constituite din panouri reflectante. Descrierea metodei se face pornind de la aspectele teoretice și cuprinde modelarea sursei de lumină, calculul iluminării directe pe panoul reflectant, calculul factorilor de formă și calculul componentei reflectate. Pentru calculul automat al sistemelor de iluminat cu proiectoare și suprafețe reflectante, autorul a realizat un program original de calcul automat intitulat *Enlight*, care permite obținerea valorilor iluminărilor punctuale pe suprafețele reprezentative ale unei incinte. Dat fiind complexitatea parametrilor geometrici și luminotehnici luați în considerație, un calcul manual nu ar fi fost posibil. Pentru validarea rezultatelor programului propriu, a fost pus la punct un experiment realizat într-o incintă a Centrului de Aplicații pentru Sisteme de Iluminat al Facultății de Instalații – U.T.C.B....

Se remarcă următoarele contribuții care aparțin autorului tezei de doctorat:

- realizarea unei sinteze a informațiilor existente pentru domeniul de mare actualitate al iluminatului arhitectural, cu problemele specifice, stadiul

actual și aplicațiile practice, prima realizare în această direcție constituind-o studiul bibliografic extins asupra temei;

- propunerea unei scheme de abordare a studiului sistemelor de iluminat în conexiune cu modelul analizei arhitecturale;
- efectuarea unei prezentări sintetice a considerentelor privind soluțiile noi pentru iluminatul interior/exterior cu proiectoare și suprafețe reflectante;
- punerea la punct a unei metode de calcul originale pentru sistemele de iluminat indirect cu proiectoare și surse secundare constituite din panouri reflectante;
- calculul luminotehnic, cu modelarea ansamblului proiector-panou reflectant și obținerea relațiilor de calcul pentru iluminarea directă pe panou în funcție de parametrii geometrici (distanța proiector-panou, unghiul de înclinare a axului sursei față de verticală, unghiul de înclinare a suprafeței reflectante față de orizontală) și luminotehnici (curba de distribuție a intensității luminoase) specifici;
- concepția unui program propriu de calcul automat al sistemelor de iluminat, intitulat *Enlight*, realizat în C++, ce folosește tehnici orientate obiect (OOP) și alocarea dinamică a memoriei;
- realizarea modelului la scara 1:1 a unui sistem de iluminat indirect folosind un proiector și un panou reflectant și obținerea unor date experimentale care validează programul de calcul automat bazat pe metoda originală propusă;
- realizarea unei analize a influenței parametrilor geometrici ai unui sistem de iluminat indirect cu proiector și panou reflectant, cu obținerea unor distribuții grafice și a unor nomograme, care se pot dovedi utile în practica inginerescă.

CIE

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

CNRI

ORGANIZERS



MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH



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



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



ENERGOBIT SCHRÉDER LIGHTING S.R.L.

**3rd International Conference
ILUMINAT 2005**



**Conferința
internățională
ILUMINAT
2 0 0 5**

2-3 Iunie, Cluj Napoca



**3rd Balkan Conference on Lighting
BALKAN LIGHT 2005
Romania, Cluj-Napoca, June 2-3, 2005**

TOPICS

The main topics of the conference are
Energy Efficiency & New Trends in Lighting
on subjects encompassing:

Vision and Colour, Lighting Design and Interior
Environment, Outdoor Lighting, Day-Lighting and
Integrated Systems, Lighting Supply Installations,
Architectural Lighting Design, Other Applications

CONFERENCE SECRETARIAT

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

CONFERENCE CHAIRMAN

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

Conferences and symposiums

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

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

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

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

HONORARY BOARD

Wout van BOMMEL, President of CIE
Cornel BIANCHI, President of CNRI
Radu MUNTEANU, Rector of Technical University of Cluj-Napoca
Nicolae COROIU, General Manager of ELECTRICA S.A.
Michel De BRUYN, General Manager of Comelec, Schröder Group GIE

SCIENTIFIC BOARD

Wout van BOMMEL, The Netherlands, President of CIE	Luciano DI FRAIA, Italy	Turkey
Cornel BIANCHI, Romania, President of CNRI	Karl GERTIS, Germany	J Owen LEWIS, Ireland
Florin POP, Romania, Acting Director of BalkanLight Society	Fumin GUAN, China	Evan MILLS, USA
Sokol ALIKO, Albania	Liisa HALONEN, Finland	Sermin ONAYGIL, Turkey
Paolo BERTOLDI, Italy	Jozsef HORVATH, Hungary	Andrej ORGULAN, Slovenia
Dorin BEU, Romania	Boudewijn HUENGES WAJER, The Netherlands	Stoyo PLATIKANOV, Bulgaria
Nils BORG, Sweden	Koichi IKEDA, Japan	Ramon SAN MARTIN, Spain
David CARTER, UK	James JEWELL, USA	János SCHANDA, Hungary
Marc FONTOYNONT, France	Jeong Tai KIM, Korea	Axel STOCKMAR, Germany
	Miomir KOSTIC, Serbia and Montenegro	Rubin TALESKI, Macedonia
	Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU,	Frangiskos V. TOPALIS, Greece
		Bosnia-Herzegovina
		Croatia

ORGANIZING COMMITTEE

Florin POP	Pal PÉTER
Gabriel RUGA	Dorin BEU
Dorin COSTEA	Marilena MĂIEREAN

SPONSORS

ELECTRODANIELLA	MOELLER ELECTRIC
ENERGOLUX	PRAGMATIC COMPREST
OSRAM ROMANIA	

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

Florin POP

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (Technical University)

Lighting Engineering Center - LEC – was created following the Tempus-Phare programme CME-03551-97 [15 December 1998 – 14 March 2000] – see the web site

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

The LEC activity was presented in the previous issues of the journal (1 – 13), beginning with **25 April 2000** when its establishment was approved by the University Senate Council until **September 2004**, the editing date of the issue no. 13 (Summer) 2004

3 November 2004 GEWISS – *Global systems of electrical installations for residential, commercial and industrial sectors*, Seminar organised in cooperation with S.C. PRAGMATIC Comprest S.R.L. and S.C. MEDIROM S.R.L. – Romanian Agency for GEWISS products. There were presented the activity of PRAGMATIC – Mr. Vasile RUSU, manager, Lighting Engineering Center – Dr. Florin POP, Professor, GEWISS - general presentation – Mr. Cristi BĂLAN, manager, Electric systems EURODOMO, EURODIN and EUROBLOC, EUROBOX and EUROPASS, EUROLITE and Software package for electric installations design.



18-20 October 2004 *The IVth International Symposium on Energy Efficiency*, Electrica S.A. Transilvania Nord, Cluj-Napoca. LEC members

contributed with two papers: The rehabilitation of pedestrian lighting in residential areas of Cluj-Napoca, authors Dr. Dorin BEU and Dr. Florin POP - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Lighting Engineering Center, eng. Nicolae CIUGUDEANU and eng. Speranța NEDELCU – ELECTRICA local branch FDFEE Transilvania Nord; Architectural lighting, daylighting and artificial lighting, some thoughts concerning trends and costs, author Dr. Florin POP.

Round Table *Energy Efficiency in Lighting* chairman Dr. Florin POP:

- *Building interior lighting with daylight – requirements, efficiency, costs*, Dr. Florin POP, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- *Comparative study of the energetics and economics criteria in the analysis of the technical accepted systems in exterior lighting*, Corina MARTINEAC, Virgil MAIER, Sorin G. PAVEL, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- *Regarding the new lighting norm NP 061-02 apply in interior lighting of the office buildings*, Dr. Dorin BEU, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- *Evaluation of the light sources efficiency for the streets lighting*, Marilena MĂIEREAN, Energobit Schröder Lighting, Cluj-Napoca
- *Fuzzy, fuzzy-neural and neural control of interior lighting depending on daylight contribution. Comparative study*, Horațiu Ștefan GRIF, Adrian GLIGOR, Universitatea “Petru Maior” Târgu Mureș
- *Energy-efficiency approach of the lighting electric installations projects and their implementation* - Presentation of some electric and lighting designers, constructors and dealers on the local area.

Dr. Florin POP and Dr. Dorin BEU contributed to The Bucharest 2004, International Lighting Symposium, Quality Solutions for an Efficient Lighting, Bucharest, 30 September – 2 October 2004, The 5th National Lighting Congress, Istanbul, 7-8 October 2004.

Information

Professors Dr. Florin POP and Dr. Marc FONTOYNONT were nominated to Report to the Ph.D. thesis of Mrs. Oana DOBRE, Contribution au calcul et à la conception des systèmes d'éclairage intérieur par tubes de lumière, 17 December 2004, Université de Savoie, France. The thesis was elaborated under the coordination of Professors Cornel BIANCHI and Gilbert ACHARD.



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

LEC members are involved in working-out of different **lighting systems optimization studies** and **lighting design projects** for local owners. Two interesting projects were designed to the rehabilitation of pedestrian lighting in residential areas of Cluj-Napoca and Dej.

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

The Lighting Engineering Center LEC is developing its activity on the Lighting and Electrical Installations Laboratory of the Building Services Department of the Technical University of Cluj-Napoca. The rehabilitation and technical modernization of its space was partially financed by the Tempus-Phare programme, the university resources, the funds received on the research grants, and postgraduate courses and sponsorships of lighting/electric installations companies and former students:

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

LIGHTING IN THE NEW WORLD

Cristian SUVAGAU
BC Hydro, Vancouver

Lighting and health

In today's world, economical engines of modern societies are functioning continuously, without any stop. Globalisation is twisting time zones, internet and satellite communications have virtually eliminated distances, pushing economies around the world to a stage of "perpetum mobile". And many workers have to adopt the same functional patterns. However, these employees can not perform like machines, constant over the 24-hour day; rather their productivity, alertness, and mental performance diminishes on the night shift.

For thousands of years, humans have awakened with the sun and slept at night. It has only been during the past century that we have broken with what nature dictates. And artificial light is the key factor. Indubitably, one of the most pushing forward inventions for humanity, electrical lighting is showing its limits when human activity patterns are becoming too "artificial":

- In western societies, people spend up to 90% of time indoors
- We are destined to be a 24-hour society even though human physiology intends us to be awake during the day and asleep during the night. In North America, up to 25 million people work irregular shifts, with the majority forced to work through the night shift.
- Lighting design in buildings addresses mostly the horizontal illumination levels and not the qualitative factors that define the well being of the occupants: visual comfort, aesthetics, productivity and communication, energy efficiency, architecture integration.

The old emphasis on lighting for visibility alone has given way to a more comprehensive model of lighting quality, in which lighting must meet many human needs while being integrated with the architecture, the environment and the economic conditions. Lighting for good health is part of this definition.

The Circadian Cycle

And we thought we knew (almost) everything about how light interacts with the eyes and the brain. That is still true for the visual process: light reaches the retina, and rods and cones transmit the information via the neural connections to the visual cortex.

However, recent research showed new findings about the second light related process: non-visual, or photobiological.

Thus, light signals received at photosensors in the retina are transmitted to other areas in the brain (like the hypothalamus) and leading to a cascade of hormonal changes in the pituitary, pineal, adrenal and thyroid glands. The resulting series of neuroendocrine changes are responsible for regulating the human body's daily biological rhythms - also known as circadian rhythms - including the sleep-wake cycle, alertness, and hormone production.

The circadian rhythm is probably the area of most of the ongoing research on non-visual lighting impact. The oscillation of hormones the circadian rhythm induces has a profound effect on most physiological functions in the body including the immune system. When this process is disrupted through environmental light changes, it may lead to some of the more damaging emotional and physiological effects associated with seasonal depression (SAD), jet lag, and shift work.

Researchers have found some of the light factors that determine the adjustment of the circadian cycle in humans:

- **light intensity and duration**; research found that higher intensity levels in work environments during dark hours could be beneficial. However, more study is required to establish adequate levels of light intensity and duration.
- **timing**; because of circadian fluctuation of immune responses, it is possible to adjust the time of day a particular disease is treated to optimise the immune response. This is known as chronotherapy. For instance, researchers have found that treating cancer in the evening, when the cancer-fighting immune cells are activated, is much more effective than administering the treatment at random times of day. Chronotherapy is now being considered as an adjunct to treatment of disorders other than cancer, for instance autoimmune disorders, heart disease and diabetes, which have circadian components.
- **wavelength**; recent research (see next) finds that the blue light is more effective in suppressing melatonin.
- **pattern and contrast**
- **light history**; previous light exposure may influence light sensitivity of the human circadian system. A lower light sensitivity may facilitate a phase delay, which has been associated with increased daytime sleepiness and sleep difficulties.

New Retinal Photoreceptors

Let's start analysing the connectivity between circadian rhythms and light, by starting with the retina. Very recent

research introduced another set of retinal photoreceptors beside the well-known rods and cones: the intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (abbreviated ipRGC). These ganglion cells are the ones that carry the light stimulus to the photobiological neural pathway, to control the circadian rhythm (as well as other metabolism responses). More evidence about this role of ipRGC has been supplemented by findings that special strains of rodents genetically bred to have no rods and cones are active still following a light-dark cycle. Moreover new research proposes that there may also be secondary photoreceptors in the skin that control alternative circadian mechanisms.

The ipRGC contain a chemical called melanopsin, similar to the photopigments in the rods and cones. Melanopsin is then instrumental in determining the pineal gland to produce or suppress melatonin, a hormone closely related to the body's master clock. Under normal circadian conditions, there is a small peak of melatonin production every afternoon at about 4PM and a much larger peak released later in the evening between approximately 10PM and 3AM. Darkness conditions also stimulate the melatonin production.

To conclude, melatonin levels remain high for most of the night while we sleep, then drop in the morning as we awaken.

Analysing the characteristics of ipRGC, one can conclude that these are ideal for simple "day or night" detectors:

- Peak sensibility in the blue colour (near 480 nm), matching the spectral distribution of the diurnal sky.
- Slow reaction speed (about 10 seconds compared with milliseconds for cones and rods) makes them insensitive to rapid changes in ambient lighting.
- Spaced sparsely throughout the retina (estimated at about few thousands compared with millions of cones and hundred millions for rods) ipRGC can not identify details as cones do.

So, ipRGCs seem to help regulate circadian rhythms in response to light (daytime or nighttime). Also they may be responsible for the eye's "blue" sensitivity (for example towards cars with MH headlamps and high colour temperature-above 5000K-fluorescent lamps). It could also explain why daylighting seems to increase visual and well-being comfort levels for office workers, increase retail sales and boost education results in schools, as recent research from the Heshong-Mahone group has found.

If these hypotheses could be proved scientifically, it would lead to major transformations in lighting equipment and design. To obtain the same visual comfort and performance, designers could use lower wattage, high colour temperature fluorescent systems and save energy. Moreover, these savings could be augmented by using integrated controls for daylighting and artificial lighting.

Blue Light Suppresses Melatonin

In recent years, researchers have learned that bright white light suppresses melatonin. Previous studies have also

suggested that melatonin suppression reacts differently to light of varying wavelengths, specifically showing a maximum sensitivity to short-wavelength ("blue") light.

A study published in NeuroReport by LRC (Lighting Research Center, New York), shows that 18 lux of blue light from light-emitting diodes (LED) is more effective at suppressing melatonin levels than 450 lux of clear mercury white light because a "spectral opponent mechanism" likely contributes to the circadian system's response to light. LRC researchers found that a form of opponency photo-process is involved in the suppression of melatonin by light in humans, making white light found in buildings much less effective at suppressing melatonin than thought.

Let's explain this "opponency". For colour vision, three types of cones (short, middle and long wavelength) process colour information in the retina corresponding to blue, green and red spectrums. The visual system separates cone responses into colour information processed by two opponent channels, the red vs. green and the blue vs. yellow. This is how we "see" colour.

In these opponent channels, light in one wavelength region (e.g., blue) increases a neural response, while light in the opposing region (e.g., yellow) decreases it. For example, colour of the ocean has a strong energy in the blue wavelength and an almost null one in the yellow spectrum. The neural response is then very high, so we end up seeing the ocean as "blue". When the energy in the opposing wavelength regions is balanced, the resulting response in that channel will be null, signalling that there is no colour, and hence no light at all. Similarly, in the case of the circadian system, a sufficient balance of light in each wavelength region results in a null response by the circadian system, just as if there is no light at all.

Until now the human circadian system was considered additive (if a certain amount of blue light and a certain amount of yellow light each produced the same level of melatonin suppression, then half of these amounts of blue and yellow added together would produce the same level of melatonin suppression). However, this theory is contradicted by recent study results showing a small amount of blue light producing a stronger suppression than a much greater amount of white light (blue plus yellow), suggesting the existence of spectral opponency in the human circadian system.

That explains why the circadian system in diurnal (active during the day) humans is preferentially sensitive to blue light, presumably the blue sky.

These findings show promise for a number of practical medical applications, including improving sleep quality in patients with Alzheimer's disease, advancing treatments for seasonal affective disorder, and studying effects of light on night-shift workers and premature infants.

How Can Lighting Designers Help

Some scientists think that urban environments offer biological darkness by day (in interiors with relatively low illuminances) and unnatural brightness by night (electric lighting extending apparent day length), producing apparently constant day length over the seasons, and having unknown health consequences.

If true, many people have disrupted daily and seasonal rhythms that could influence their health. To correct these issues, medical scientists and lighting designers will need to cross their discipline borders and work together to establish best practice guidelines.

Just after 2000 there is a wealth of experimental research but more is needed to eliminate chaos and set the right principles of healthy lighting design. Some are highlighted in the CIE committee report on “Ocular Lighting Effects on Human Physiology, Mood, and Behaviour” (TC 6-11) chaired by Jennifer Veitch of the National Research Council Canada:

- **Light for biological action should be rich in the regions of the spectrum to which the nonvisual system is most sensitive (blue).** The results of this study. It is not surprising that light level affects acuity, but there is a general absence of appreciation for the effects of light spectrum.

A study at Lawrence Berkeley National Laboratory, California, shows that both light level and lighting spectrum affect visual acuity under typical conditions of reading. Comparing to different CCT (colour corrected temperature) fluorescent systems in a school, the study founded that at the same light intensity at the eye, visual acuity was significantly better under the high CCT lamps. Visual acuity was at least equal to than the traditionally installed low CCT lighting when the high CCT lighting level was reduced by 50% compared to the low CCT lighting.

These results suggest a highly cost effective strategy for improving elementary school classroom lighting based on replacing the conventional low CCT (3500 K) lamps with high CCT lamps (5000 K or higher). The particular strategy varying at one end from maintaining the status quo in visual acuity with maximum savings in lighting energy costs or at the other end maintaining current lighting energy costs but providing a higher degree of visual acuity.

- **The important consideration in determining light dose is the light received at the eye, light both directly from the light source and reflected off surrounding surfaces.** This principle is one that will directly influence how we use lighting design to support health. Bathing everyone in very high-intensity blue-green light is not the answer. Once the necessary daily light dose is determined, we need to find out the best ways to deliver it to the eye, not to the desk. In a first step towards measuring circadian light exposure, LRC has just developed the **circadian dosimeter**. This will use dual photosensors (using the spectral opponency principle discussed above) to measure irradiance in a manner consistent with the spatial characteristics of the human eye.
- **The timing of light exposure influences the effects of the dose.** The effect of a light stimulus depends on the state of the system. Thus, bright light at night, before the low point in core body

temperature, has the effect of delaying the circadian rhythm (the low point will come later than it would have). Bright light in the morning, after the low point of core body temperature, will advance the rhythm (the low point will come earlier on the following night than it would have). The same light exposure in the middle of the day might have very little effect at all.

Following these principles of healthy lighting, design practice transformation should also balance all other principles of lighting quality:

- **For daytime applications**, controlled use of daylighting (having a view is in itself beneficial), limiting glare and solar heat gain to avoid compromising comfort, is an energy-efficient strategy for providing more light where it is wanted. When sizing lighting systems for rooms, designers should also consider task/ ambient cumulative effects and make use wisely of the colour scheme for the reflective surfaces.
- **For nighttime applications**, high illuminance delivered architecturally can influence melatonin secretion and aid in circadian phase-shifting, while shift work applications need to be tailored to the specific schedule. The bright light might not be needed constantly throughout the shift, but with additional luminaires and appropriate switching or automated controls, biologically effective lighting could be provided to those who must work overnight. This will beneficently reset the circadian clock. Luminous ceilings that deliver high illuminance, or simulated skylight apparatus that mimics the evening are both devices that have been tested for this purpose.

For sure, lighting in the 3-rd millennium will be an adventurous and fascinating endeavor, above and beyond past knowledge.



Cristian ȘUVĂGĂU

PhD, P.Eng, Lighting Engineer
LC, MIES, MCIE

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

Tel.: + 604 - 453-6478

Fax: + 604 - 453-6286

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

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

Received 27 December 2004

ILUMINATUL ÎN LUMEA NOUĂ

Iluminatul și sănătatea

În zilele noastre, mecanismele economice societăților moderne funcționează continuu, fără nici o întrerupere. Globalizarea contopește zonele orare, internetul și comunicațiile prin satelit au eliminat virtual distanțele, împingând economiile mondiale la un stadiu de “perpetuum mobile”. Și muncitorii trebuie să adopte aceleași modele funcționale. Cu toate acestea, muncitorii nu pot lucra constant mai mult de 24 de ore pe zi, ca niște roboți; mai mult, productivitatea, atenția și performanțele mentale se diminuează în schimbul de noapte.

De mii de ani, oamenii s-au trezit odată cu soarele și s-au culcat odată cu venirea nopții. Începând doar cu ultimul secol, acest lucru s-a schimbat împotriva legii firești a naturii. Lumina artificială a fost factorul cheie. Indubitabil, una dintre cele mai importante invenții ale omenirii, iluminatul electric, își arată limitele atunci când tipul activității umane devine prea “artificial” ...

Ciclul Circadian

Credeam că noi cunoașteam (aproape) totul despre felul în care lumina interacționează cu ochii și creierul. Acest fapt este încă adevărat la nivelul procesului vizual: lumina atinge retina, bastonașele și conurile transmit informația prin intermediul conexiunilor neurale către cortexul vizual. Cu toate acestea, cercetări recente au evidențiat noi aspecte privind un proces secundar al luminii: ne-vizual sau fotobiologic. Astfel, semnalele de lumină primite de senzorii din retină sunt transmise către alte zone ale creierului (cum ar fi hipotalamusul) și determină o cascadă de schimbări hormonale la nivelul glandelor pituitare, pineală, adrenală și tiroidă. Seriile de schimbări la nivel neuroendocrin rezultate sunt responsabile pentru reglarea ritmurilor biologice zilnice ale organismului uman – cunoscute și sub denumirea de ritmuri circadiene – incluzând ciclul dormit-trezit, puterea de concentrare și producerea de hormoni. Ritmul circadian este, probabil, domeniul cu cel mai ridicat interes în cercetarea impactului non-vizual al luminii. Oscilarea hormonilor pe care o induce ritmul circadian are un efect profund asupra celor mai multe funcții fiziologice ale corpului, incluzând sistemul imunitar. Când acest proces este alterat datorită schimbărilor mediului luminos, el poate să conducă la câteva dintre cele mai grave depresii emoționale și efecte fiziologice

asociate cu depresiile sezoniere (SAD) și cu schimbul de noapte.

Cercetătorii au găsit câțiva dintre factorii luminii care pot determina adaptări ale ciclului circadian uman:

- **intensitatea și durata luminii;** niveluri de intensități mai ridicate la locul de muncă pe durata nopții pot să fie benefice. Cu toate acestea, este necesară studierea în continuare a acestui fenomen pentru stabilirea valorilor adecvate ale nivelurilor intensității luminoase și a duratei.
- **temporizarea;** datorită fluctuației circadiane a răspunsului imunitar, este posibilă ajustarea momentului din zi în care să fie tratată o anumită boală astfel încât să se optimizeze răspunsul imunitar. Acest fapt este cunoscut sub denumirea de cronoterapie. De exemplu cercetătorii au descoperit că tratarea cancerului în timpul serii, când celulele imunitare luptătoare sunt activate, este mult mai eficientă decât administrarea tratamentului la un moment aleator din timpul zilei. Cronoterapia este astăzi considerată ca un mijloc suplimentar și în tratarea altor boli, cum ar fi dezechilibrări ale sistemului imunitar, boli cardiace și diabetice, afecțiunile ce au componente circadiene.
- **lungimea de undă;** descoperiri recente au arătat ca lumina albastră este mult mai eficientă în suprimarea melatoninei.
- **structura și contrastul;**
- **istoria luminii;** expunerea anterioară la lumină poate influența sensibilitatea sistemului circadian. O sensibilitate redusă la lumină poate facilita o întârziere de fază, care a fost asociată cu somnolența ridicată pe perioada zilei și dificultăți de somn (insomnii).

Noi Fotoreceptori ai Retinei

Retina trebuie să constituie punctul de plecare în analiza legăturii dintre ritmurile circadiene și lumină. Studiile foarte recente au propus un nou set de fotoreceptori la nivelul retinei, după cunoscutele conuri și bastonașe: celulele ganglionare retinale fotosensibile intrinseci (ipRGC). Aceste celule ganglionare sunt cele care transportă stimulii luminii pe calea fotobiologică neurală, pentru a controla ritmul circadian (precum și alte răspunsuri ale metabolismului). Acest rol al fotoreceptorilor ipRGC este evidențiat și de decoperirea că șoareci de laborator, a căror retina a fost modificată genetic să nu conțină conuri și bastonașe, sunt capabili

Information

să trăiască totuși după un ciclu diurn. Mai mult, noi cercetări consideră că, probabil, există fotoreceptori secundari în piele care controlează mecanisme circadiene alternative.

Celulele ipRGC conțin o substanță chimică numită melanopsină, similară pigmentilor foto-senzitivi din conuri și bastonașe. Melanopsina este, deci, instrumentul ce determină glanda pineală să producă sau nu melatonina, un hormon apropiat ceasului biologic uman. În condițiile normale circadiene, există un mic vârf de producere de melatonină în fiecare după amiază, aproximativ la ora 16,00 și un al doilea vârf mult mai mare întâlnit seara târziu, aproximativ între 22,00 și 03,00. Condițiile de întuneric stimulează, deasemenea, producerea de melatonină. În concluzie, nivelurile de melatonină rămân ridicate pe aproape tot parcursul nopții, când dormim, și scad odată cu apropierea dimineții, când ne trezim.

Analizând caracteristicile celulelor ipRGC, se poate spune că ele sunt ideale pentru detectoarele simple “zi sau noapte”.

- Vârful sensibilității pentru culoarea albastru (aproape de 480 nm) coincide cu distribuția spectrală a cerului de zi.
- Viteza de reacție scăzută (aproximativ 10 secunde în comparație cu milisecunde pentru conuri și bastonașe) le face insensibile la schimbările rapide ale ambientului luminos.
- Distribuite pe întreaga suprafață a retinei (estimate la câteva mii, în comparație cu milioane de conuri și sute de milioane de bastonașe), celulele ipRGC, nu pot identifica detaliile, la fel de bine precum conurile.

Așadar, ipRGC se pare că ajută la reglarea ciclului circadian ca răspuns la lumină (lumina de zi sau de noapte). Deasemenea, ele pot fi responsabile pentru sensibilitatea ochiului la culoarea albastră (de exemplu față de mașinile cu faruri cu MH și cu o temperatură de culoare ridicată - de peste 5000 K). S-ar putea deasemenea explica de ce lumina zilei pare că îmbunătățește confortul vizual și starea de bine a celor ce lucrează în birouri, creșterea vânzărilor pentru spațiile comerciale și îmbunătățirea rezultatelor la învățatură în școli, după cum au arătat recente cercetări efectuate de grupul Heshong-Mahone.

Dacă aceste ipoteze ar putea fi demonstrate științific, acest fapt ar conduce la modificări majore în echipamentul de iluminat și în proiectare. Pentru a obține același confort vizual și performanțe, proiectanții ar putea folosi o putere mai redusă, o temperatură de culoare mai ridicată pentru sistemele fluorescente și să economisească energie. Mai mult, aceste economii

ar putea fi mărite prin utilizarea sistemelor de control integrat al iluminatului natural și electric.

Lumina albastră suprimă melatonina

În ultimii ani, cercetătorii au învățat că lumina albă strălucitoare suprimă melatonina. Studii anterioare au sugerat, de asemenea, că reducerea melatoninei reacționează diferit la lumină în raport cu lungimea de undă, în mod specific cu un maximum de sensibilitate la lumina cu lungime de undă mică (“albastru”).

Un studiu publicat în *NeuroReport* de către LRC (Lighting Research Center, New York), arată că 18 lx de lumină albastră provenită de la un LED sunt mult mai eficienți în suprimarea melatoninei decât 450 lx de lumină albă provenită de la o lampă cu mercur, datorită faptului că un “mecanism spectral oponent” este probabil să contribuie la răspunsul la lumină al sistemului circadian. Cercetătorii de la LRC au găsit că este implicată o formă de foto-proces oponent în suprimarea prin lumină a melatoninei la oameni, ceea ce face ca lumina albă din interiorul clădirilor să fie mai puțin eficientă în reducerea melatoninei decât s-a crezut până acum. ...

Atunci când energia cu o lungime de undă opusă este echilibrată, răspunsul obținut în acel canal va fi nul, semnaland lipsa culorii, și, de aici, lipsa luminii. În mod similar, în cazul sistemului circadian, un echilibru suficient al luminii în fiecare regiune a spectrului va determina un răspuns nul, la fel ca și cum ar fi complet întuneric.

Până acum, sistemul circadian s-a considerat că este aditiv (dacă o anumită cantitate de lumină albastră și o anumită cantitate de lumină galbenă produc fiecare același nivel de suprimare a melatoninei, atunci jumătate din aceste cantități de lumină albastră și galbenă la un loc produc același nivel de suprimare a melatoninei). Totuși, această teorie este contrazisă de rezultatele unor studii recente care arată că o mică cantitate de lumină albastră produce un nivel de suprimare mai puternic decât o mai mare cantitate de lumină albă (albastru și galben), sugerând existența unei oponente spectrale în sistemul circadian uman. Acest fapt explică de ce sistemul circadian pentru oamenii ce lucrează în timpul zilei este mai sensibil la lumina albastră, a cerului albastru. Aceste descoperiri deschid drumuri noi în aplicații practice medicale, incluzând îmbunătățirea calității somnului pacienților care suferă de boala Alzheimer, tratamente avansate pentru dezechilibrările hormonale sezoniere și studierea efectelor luminii asupra celor ce lucrează în schimbul de noapte sau pentru copiii născuți prematur.

Cum pot să ajute proiectanții în iluminat

Unii cercetători consideră că mediul urban determină în mod biologic zone de întuneric pe timpul zilei (în interiorul clădirilor cu niveluri de iluminare relativ reduse) și oferă străluciri nenaturale în timpul nopții (iluminatul electric ce prelungește aparent durata zilei), producând o constanță aparentă a lungimii zilei pe perioada întregului an, având însă consecințe necunoscute asupra sănătății umane. Dacă aceste presupuneri sunt adevărate, înseamnă că pentru un număr ridicat de persoane, ritmul zilnic și sezonier firesc legii naturii este întrerupt, ceea ce le-ar putea influența sănătatea. Pentru corectarea acestor probleme, cercetătorii din domeniul medical și proiectanții de iluminat vor trebuie să depășească limitele domeniilor lor și să lucreze împreună în scopul elaborării celor mai bune recomandări practice.

Imediat după anul 2000 s-a înregistrat o creștere a cercetărilor experimentale, dar mai est încă mult de făcut pentru a înlătura haosul și a stabili principiile corecte ale proiectării unui iluminat sănătos. Unele au fost evidențiate în raportul Comitetului CIE “Efecte Oculare Luminoase asupra Fiziologiei, Comportamentului și Performanței Umane” (TC 6-11), coordonat de Jennifer Veitch de la Consiliul Național de Cercetare al Canadei:

- **Lumina utilizată în scopuri biologice trebuie să fie bogată în regiuni ale spectrului pentru care sistemul non-vizual este cel mai sensibil (albastru).** Nu este surprinzător faptul că nivelul de iluminare afectează acuitatea, dar este o lipsă generală a considerării efectelor spectrului luminii. Un studiu al Lawrence Berkeley National Laboratory, California, arată că atât nivelul de iluminare cât și spectrul luminii afectează acuitatea vizuală în condiții specifice de citire. ... Aceste rezultate sugerează adoptarea unei strategii pentru îmbunătățirea sistemelor de iluminat în sălile de clasă, prin înlocuirea lămpilor convenționale cu o temperatură de culoare scăzută (3500 K) cu altele cu o temperatură de culoare ridicată (5000 K sau mai mare). Strategia specifică variază, pe de o parte, de menținerea status quo privind acuitatea vizuală cu un maxim de economie de energie, și pe de altă parte, de menținerea costurilor energiei în iluminat dar cu asigurarea unei acuități vizuale sporite.
- **Criteriul important în stabilirea dozei de lumină este lumina primită de ochi. atât direct de la sursa de lumină cât și reflectată de suprafețele înconjurătoare.** Acest principiu va influența direct modul în care vom proiecta iluminatul pentru a sprijini sănătatea. Răspunsul nu este dat de băi de lumină de

mare intensitate în domeniul albastru-verde. Odată ce doza necesară de lumină este determinată, trebuie să găsim căile cele mai bune pentru a fi furnizată ochiului și nu biroului de lucru. Într-un prim pas către măsurarea expunerii circadiane la lumină, LRC a creat **dozimetrul circadian**. Acesta va utiliza fotosenzori duali (folosind principiul spectral oponent amintit mai sus) pentru a măsura iradianța într-o manieră corespunzătoare caracteristicilor spațiale ale ochiului uman.

- **Perioada expunerii influențează efectele dozei de lumină.** Efectul la un stimul de lumină depinde de caracteristicile sistemului. Așadar, lumina strălucitoare pe timpul nopții, înainte de a înregistra cea mai scăzută temperatură în corp, are efectul de întârziere a ritmului circadian (punctul cel mai scăzut va veni mai târziu decât normal). Lumina strălucitoare pe perioada dimineții, după ce s-a înregistrat cea mai scăzută temperatură în corp, va accelera ritmul circadian, punctul de minim va veni mai devreme în noaptea următoare decât de obicei. O aceeași expunere la lumină în mijlocul zilei va avea un efect foarte mic.

Urmând aceste principii ale unui iluminat sănătos, modificarea proiectării va trebui să echilibreze toate celelalte principii ale calității iluminatului:

- **Pentru aplicații pe timpul zilei,** utilizarea controlată a iluminatului natural cu limitarea strălucirii și aportului de căldură solară în scopul menținerii confortului interior este o strategie eficient energetică pentru a asigura mai multă lumină acolo unde ea este dorită. La dimensionarea sistemelor de iluminat interior, proiectanții vor trebui să considere efectele cumulate sarcină/mediu înconjurător și să utilizeze pe larg schema de culori pentru suprafețele reflectante.
- **Pentru aplicații pe timpul nopții,** un nivel de iluminare ridicat poate influența secreția de melatonină și poate ajuta schimbul de fază circadian, atunci când lucrul în schimburi trebuie adaptat unui program specific. Lumina puternică nu trebuie să fie neapărat constantă de a lungul schimbului, dar cu aparate de iluminat adiționale și un sistem adecvat de acționare sau control automat, un iluminat efectiv biologic ar putea fi asigurat celor ce trebuie să lucreze pe timpul nopții. Acest fapt va reseta în mod benefic ceasul circadian. Tavanele luminoase ce asigură un nivel de iluminare ridicat sau sistemele de simulare a cerului care imită înserarea sunt dispozitive care au fost testate în acest scop.

Cu siguranță, iluminatul în mileniul trei va fi o încercare fascinantă și plină de aventuri, ce va depăși cu mult nivelul cunoștințelor din zilele noastre.

IEA ANNEX 45 ENERGY EFFICIENT ELECTRIC LIGHTING FOR BUILDINGS

Eino TETRI

Lighting Laboratory, Helsinki University of Technology

The Executive Committee of the Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) program established a new international research project (Annex) in June 2004 called Energy Efficient Electric Lighting for Buildings. Professor Liisa Halonen from Lighting Laboratory of Helsinki University of Technology was elected for the Operating Agent of the Annex 45. The objectives of the Annex 45 is to identify and accelerate the use of energy efficient high-quality lighting technologies and their integration with other building system, assess and document the technical performance of existing and future lighting technologies and to assess and document barriers preventing the adoption of energy efficient technologies and propose means to resolve these barriers. Currently there are 10 participating countries and 15 organisations in the Annex 45.

1. Introduction

International Energy Agency (IEA) is an intergovernmental body committed to advancing security of energy supply, economic growth and environmental sustainability through energy policy co-operation. IEA has Implementing Agreements (IA) to organize research. One of these IAs is Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS). The function of ECBCS is to undertake research and provide an international focus for building energy efficiency. Tasks are undertaken through a series of annexes that are directed at energy saving technologies and activities that support their application in practice. Results are also used in the formulation of energy conservation policies and standards.

The Executive Committee of the ECBCS program established a new Annex in June 2004 called Energy Efficient Electric Lighting for Buildings. Professor Liisa Halonen from Lighting Laboratory of Helsinki University of Technology was elected for the Operating Agent of the Annex 45 and Doctor of Science Eino Tetri for the Leader of the Subtask D Documentation and Dissemination.

2. Background

Lighting-related electricity production for the year 1997 was 2016 TWh of which 1066 TWh was attributable to IEA member countries. Global lighting

electricity use is distributed approximately 28% to the residential sector, 48% to the service sector, 16% to the industrial sector, and 8% to street and other lighting. For the industrialized countries national lighting electricity use ranges from 5% to 15%, while in developing countries the value can be as high as 86% of the total electricity use. The corresponding carbon dioxide emissions were 1775 million tonnes, of which approximately 511 million tonnes was attributable to the IEA member countries. [1]

More efficient use of lighting energy would limit the rate of increase of electric power consumption, reduce the economic and social costs resulting from constructing new generating capacity, and reduce the emissions of greenhouse gases and other pollutants. New aspects of desired lighting are energy savings, daylight use, individual control of light, quality of light, emissions during life cycle and total costs.

LEDs (Light Emitting Diodes) are new alternative light sources, which are foreseen to revolutionise the lighting technology in the near future. According to Agilent Technologies the lm/package value of red LEDs is increasing 30 times per decade whereas the price is decreasing 10 times per decade [2]. LED's share of lighting market will be 20% on 2010 and 50% on year 2020 [3]. The use of LED based lighting will decrease the lighting energy consumption by 50% by the year 2025 [4]. The foreseeable future of LED luminaires targeted for general illumination will use arrays of LEDs and not a single LED [5].

Information

At present, high pressure discharge lamps cannot replace other lamp types. Reasons are given in the start performance and in the fact that they cannot be dimmed well. On the other hand, their advantages are good colour rendering and high luminous efficacy. The high pressure discharge lamps are very energy-efficient lamp types. Their small discharge body allows a more efficient reflector design for luminaires so that the luminous flux leaving the luminaire can be distributed effectively in the room. Typically, it takes 3 minutes to emit 80% of the luminous flux of high pressure discharge lamp. For car lamps, this time has been reduced to 3 seconds already [6]. Research on the interaction of ballast electronics and high pressure discharge lamps may generally improve the performance of this lamp type.

The building sector in the EU consumes over 40% of energy use in EU and is responsible for over 40% of its carbon dioxide emissions. Lighting is a substantial energy consumer, and a major component of the service costs in many buildings. The percentage of the electricity used for lighting in European buildings is 50% in offices, 20-30% in hospitals, 15% in factories, 10-15% in schools and 10% in residential buildings [7]. To promote the improvement of the energy performance of buildings within the community, the European Parliament has adopted the Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings. [8]

3. Objectives

The objectives of the Annex 45 are:

- Identify and accelerate the use of energy efficient high-quality lighting technologies and their integration with other building systems.
- Assess and document the technical performance of existing and future lighting technologies.
- Assess and document barriers preventing the adoption of energy efficient technologies and propose means to resolve these barriers.

4. Structure

The work of Annex 45 is divided to four Subtasks.

Subtask A Targets for energy performance and human well-being

Subtask B Innovative technical solutions

Subtask C Energy-efficient controls and integration

Subtask D Documentation and dissemination

Subtask A

Targets for energy performance and human well-being

The objective is to document the effect of design and targets for energy use, lighting quality and human well-being and performance and give examples of good practice.

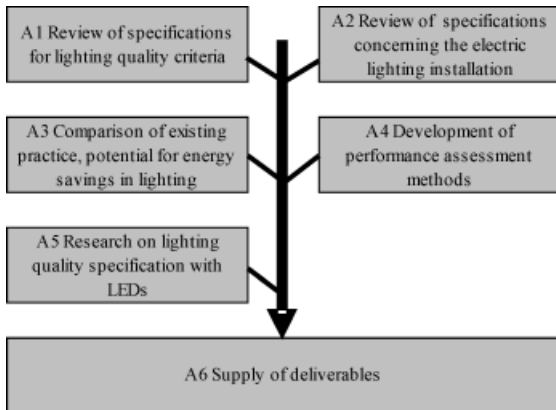


Figure 1 Structure of Subtask A.

Different demands on levels of lighting quality have a strong impact on the technical solutions. The performance criteria include the spectral (colour rendering, colour temperature), electrical (harmonics, power factor, power supply) and user related issues (acceptability, glare considerations) The energy criteria include energy efficiency as well as suitability for other energy savings systems, life cycle energy considerations, maintenance and operation. The economical criteria include cost of devices and of application.

Subtask B

Innovative technical solutions

The objective of the Subtask B is to identify, assess and document the performance, energy and economical criteria of the existing promising and innovative future lighting technologies and their impact on other building equipment and systems. The purpose is to reduce the energy use of buildings by investigating the saving potential by comparing the existing and future technologies and by applying information on concepts, products and lighting solutions.

The innovative technical solutions of subtask B cover power supply, light sources, luminaires

Information

and concepts of controls. These result in principal lighting solutions (planning methods, lighting design layouts and installations). The Subtask B covers solutions to existing and new buildings.

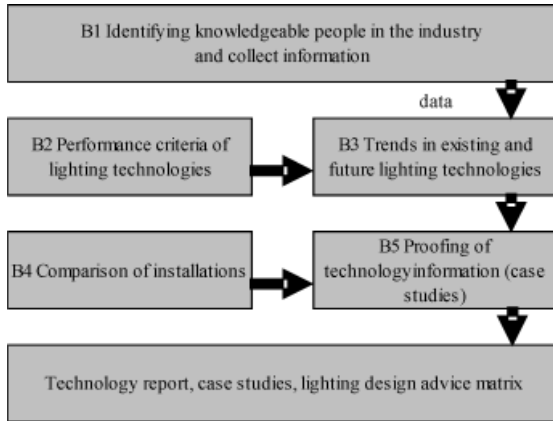


Figure 2 Structure of Subtask B.

Subtask C Energy-efficient controls and integration

The Subtask C will focus on controls that enable the occupant and facility manager to modify the electric lighting according to personal needs and preferences, within acceptable building operative requirements focusing on energy savings. The personalisation and integration of these controls with other building systems (daylighting, HVAC, and demand energy management) will be an important part of the Subtask work. The communication and data exchange between the control components (such as sensors, actuators and electronic ballasts) is the key focus of control strategies.

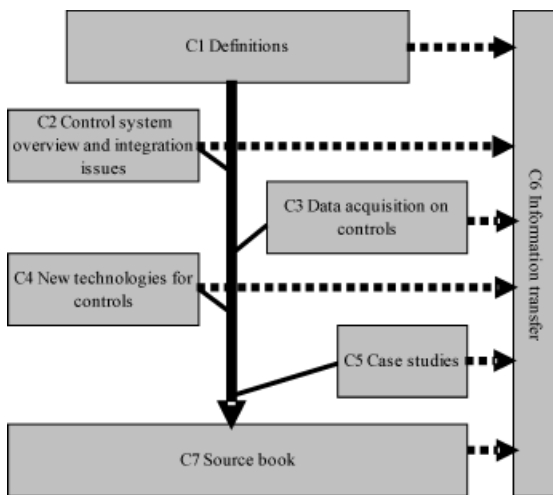


Figure 3 Structure of Subtask C.

Subtask D

Documentation and dissemination

The objective of Subtask D is to positively affect the current lighting practices in a manner that accelerates the use of energy efficient products, improves overall building performance and enhances occupants environmental satisfaction. The objective of Subtask D is to compile and widely disseminate the Annex research results of Subtasks A, B and C and to identify the means to influence the energy policies and regulations in order to promote the use of energy efficient lighting.

The design guidebook of energy efficient lighting will be the final product of the Annex. It will be published as a book, as a CD-ROM and in the web. The other deliverables are semi-annual newsletters, seminars and a web-site.

5. Management of the Annex

The Annex is managed by the Operating Agent with the assistance of the Subtask Leaders. Currently there are 10 participating countries and 15 organisations in the Annex 45.

Operating Agent:

Helsinki University of Technology
Professor Liisa Halonen, Finland

Subtask A Leader:

École Nationale des Travaux Publics de l'État
Professor Marc Fontoynt, France

Subtask B Leader:

Zumtobel Staff GmbH,
Dipl.Ing. Peter Dehoff, Austria

Subtask C Leader:

Technische Universität Berlin,
Professor Dr. rer. nat. Heinrich Kaase,
Germany

Subtask D Leader:

Helsinki University of Technology,
D.Sc. Eino Tetri, Finland.

6. Schedule

The Annex will run for four and a half year from July 2004. Preparation and planning will be carried

Information

out during the first half a year and the following four years will be full working years.

For more information of the Annex, please contact Liisa Halonen (liisa.halonen@hut.fi) or Eino Tetri (eino.tetri@hut.fi) from Helsinki University of Technology or check the Annex web-site:

<http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45>.

7. References

- 1 Mills E. 2002. Why we're here: The \$320-billion global lighting energy bill. *Right Light* 5, Nice, France. pp. 369-385.
- 2 Haitz, R. 2001. Another Semiconductor Revolution: This Time it's Lighting; Proceedings of 9th International Symposium on the Science and technology of Light Sources; Ithaca, NY, USA.
- 3 Kendall M. & Scholand M. 2001. Energy Savings Potential of Solid State Lighting in General Lighting Applications, Final Report. Prepared by Arthur D. Little, Inc. for U.S. Department of Energy.
- 4 Edited by Tsao J. Y. 2002. Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination An OIDA Technology Roadmap Update 2002 September 2002 Optoelectronics Industry Development Association (OIDA) Sandia National Laboratories
- 5 Narendran, N. & Bullough, J. D. 2001. Light Emitting Diodes as Light Sources; Proceedings of

9th International Symposium on the Science and technology of Light Sources; Ithaca, NY, USA.

- 6 Kaase, H. 2004. Entwicklungstendenzen, Strategien und Visionen der Lichttechnik; LICHT 4/04; Germany.
- 7 http://www.europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/html/lightdintro.html, accessed on 24th of April 2004.
- 8 Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, 6 p.



Eino TETRI

D.Sc. (Tech.), Research Scientist
Helsinki University of Technology
Lighting Laboratory
P.O.Box 3000; 02015 HUT; Finland
phone +358 9 4512420
fax + 358 9 4514982
e-mail: eino.tetri@hut.fi
<http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45>

Graduated from the Department of Electrical and Communications Engineering of Helsinki University of Technology in 1988 and obtained D.Sc. in 2001. Research Scientist at the Lighting Laboratory of Helsinki University of Technology. Author of more than 50 national and international articles in the field of lighting. Research areas are light sources and energy.

Received 10 December 2004

IEA ANEXA 45 ILUMINAT ELECTRIC EFICIENT ENERGETIC PENTRU CLĂDIRI

Comitetul executiv al Programului “Conservarea Energiei în Clădiri și Sisteme Comunitare” (ECBCS) a înființat un nou proiect de cercetare internațional (vezi Anexa) intitulat “Iluminat Electric Eficient Energetic pentru Clădiri”, în iunie 2004. În fruntea acestui proiect a fost desemnată Liisa Halonen din cadrul Laboratorului de Iluminat al Universității Tehnice din Helsinki. Obiectivele acestui proiect sunt următoarele: identificarea și folosirea tehnologiilor de iluminat cu o înaltă eficiență energetică, integrarea acestora cu alte sisteme ale clădirilor; evaluarea și documentarea performanțelor tehnice al sistemelor de iluminat existente și viitoare, identificarea barierelor întâlnite în calea adoptării acestor tehnologii, dar și a mijloacelor de înlăturare a acestora. În prezent, Anexa 45 numără 15 organizații și 10 țări participante.

1. Introducere

Agenția Internațională de Energie (IEA) este un organism interguvernamental care încearcă, prin adoptarea unor politici energetice de cooperare adecvate, să impună principii precum folosirea în mod rațional a resurselor energetice, dezvoltarea economică sau protecția mediului. IEA are Acorduri de Implementare (IA) pentru organizarea cercetării. Unul dintre acestea este “Conservarea Energiei în Clădiri și Sisteme Comunitare” (ECBCS). Scopul acestuia constă în asumarea cercetării și focalizarea internațională asupra eficienței energetice a clădirilor. Ca mijloace, programul folosește diverse Anexe orientate spre tehnologii de economisire a energiei și mijloacele de punere în practică a acestora. Rezultatele obținute sunt utilizate în formularea politicilor și standardelor de conservare a energiei.

În iunie 2004, Comitetul Executiv al Programului ECBCS a elaborat o nouă Anexă având ca scop iluminatul electric eficient energetic pentru clădiri. Prof. Liisa Halonen de la Laboratorul de Iluminat a Universității Tehnice din Helsinki a fost aleasă coordonator al acestui proiect intitulat “Anexa 45”. Dr. Eino Tetri se află în fruntea Subproiectului D “Certificare și Diseminare” al acestei Anexe.

2. Istoric

Producția de energie electrică pentru iluminat în anul 1997 a fost de 2016 TWh, din care 1066 TWh a fost atribuită țărilor membre IEA. Energia electrică folosită în iluminat este distribuită la nivel global după cum urmează: aproximativ 28% pentru sectorul rezidențial, 48% - sectorul de servicii, 16% - sectorul industrial, 8% - iluminatul public precum

și alte feluri de iluminat. În cazul țărilor puternic industrializate, energia electrică folosită în iluminat este cuprinsă între 5% și 15% din totalul necesarului de energie electrică, în timp ce în cazul țărilor în curs de dezvoltare poate ajunge până la 86%. Emisia de dioxid de carbon aferentă este de 1775 milioane de tone, din care aproximativ 511 milioane tone sunt atribuite țărilor membre IEA. [1]

Utilizarea în mod eficient a energiei electrice pentru iluminat ar limita rata de creștere a consumului energetic, ar reduce costurile economice și sociale corespunzătoare producerii acestei energii și, nu în ultimul rând, ar reduce emisiile gazelor de seră și ale altor agenți poluanți. Economia de energie, utilizarea luminii naturale, controlul individual al iluminatului, calitatea luminii, emisiile raportate la durata de viață precum și costurile totale reprezintă noi tendințe ale acestui domeniu.

LED-urile sunt surse alternative de lumină ce se așteaptă să revoluționeze tehnologia iluminatului în viitorul apropiat. Raportul lm/unitate pentru LED-urile roșii crește de 30 de ori într-o decadă, în timp ce pentru aceeași perioadă prețul scade de circa 10 ori [2]. LED-urile vor acoperi 20% din piața iluminatului în 2010 și 50% în anul 2020 [3]. Folosirea acestor noi surse de lumină va duce la o scădere a consumului de energie electrică pentru iluminat cu 50% până în anul 2025 [4]. Se presupune că viitorul LED-urilor ca surse pentru iluminatul general îl vor constitui matricile de LED-uri și nu un singur LED [5].

În prezent, lămpile de înaltă presiune cu descărcări nu pot înlocui celelalte tipuri de lămpi. Motivele constau în performanțele acestora la pornire (aprindere) și în faptul că fluxul nu poate fi ușor reglat. Pe de altă parte, aceste lămpi au o caracteristică de redare a culorilor ridicată și o bună eficiență luminoasă, având în același

timp o foarte bună eficiență energetică. Corpul de descărcare de dimensiuni reduse permite proiectarea eficientă a reflectoarelor aparatelor de iluminat, astfel că fluxul luminos emis poate fi distribuit optim în încăpere. În mod obișnuit sunt necesare circa trei minute pentru ca o astfel de lampă să emită 80% din fluxul său luminos. În cazul lămpilor de înaltă presiune cu descărcări utilizate la autovehicule, acest interval de timp a fost redus deja la trei secunde [6]. Cercetarea interacțiunii lampă - balast electronic poate să conducă la îmbunătățirea performanțelor acestui tip de lampă.

Sectorul clădirilor în Uniunea Europeană consumă peste 40% din totalul de energie electrică și este responsabil pentru mai mult de 40% din emisiile de dioxid de carbon. Iluminatul este un consumator important de energie electrică și o componentă importantă a costului de utilizare în multe clădiri. La nivel european, procentul utilizării curentului electric pentru iluminatul clădirilor este de 50% pentru birouri, 20-30% pentru spitale, 15% pentru fabrici, 10-15% școli și 10% în cazul sectorului rezidențial [7]. Pentru a îmbunătăți eficiența energetică la nivelul clădirilor, Parlamentul European a adoptat Directiva 2002/91/EC cu privire la performanțele energetice ale clădirilor. [8]

3. Obiective

Obiectivele Anexei 45 sunt:

- Identificarea și accelerarea folosirii tehnologiilor de iluminat de înaltă eficiență, alături de integrarea acestora cu celelalte servicii ale clădirilor.
- Supravegherea și certificarea performanțelor tehnice ale tehnologiilor existente și viitoare.
- Identificarea barierelor în calea utilizării acestor tehnologii și propunerea mijloacelor de înlăturare a acestora.

4. Structura

Activitatea în cadrul Anexei 45 se desfășoară în patru Subproiecte:

Subproiectul A – Ținte în vederea performanțelor energetice și a confortului uman

Subproiectul B – Soluții tehnice inovatoare

Subproiectul C – Sisteme de control eficiente energetic și integrarea acestora

Subproiectul D – Documentare și diseminare

Subproiectul A. Ținte în vederea performanțelor energetice și a confortului uman

Obiectivul este de certificare a efectelor proiectării și țintelor pentru utilizarea energiei, calitatea luminii și confortul uman și performanța și oferirea unor exemple de succes.

Diferitele cerințe asupra nivelului calității iluminatului au un efect direct asupra soluțiilor tehnice. Criteriile de performanță includ latura spectrală (redarea culorii, temperatura culorii),

electrică (armonicile, factorul de putere, sursa de putere) și cea legată de utilizator (adaptabilitate, orbire). Criteriile de energie includ eficiența energetică, încurajarea utilizării altor mijloace de economisire a energiei, considerații energetice privind ciclul de viață, mentenanța și funcționarea. Criteriul economic include costul acestor dispozitive și al aplicațiilor.

Subproiectul B. Soluții tehnice inovatoare

Obiectivele celui de al doilea subproiect sunt de identificare, observare și dezvoltare a performanței, criteriile energetice și economice ale acestor tehnologii promițătoare și inovative existente și viitoare, precum și impactul lor asupra altor echipamente și sisteme din cadrul clădirilor. Scopul este de a reduce consumul de energie al clădirilor prin investigarea potențialului de economisire a energiei, prin compararea tehnologiilor existente și viitoare și aplicarea informațiilor în concepte, produse și soluții în iluminat. Soluțiile tehnice inovative acoperă sursele de putere, sursele de lumină, aparatele de iluminat și conceptele de control. Toate acestea conduc spre soluțiile de iluminat (metode de planificare, proiectarea amplasării iluminatului și a instalațiilor). Subproiectul B are în vedere soluții pentru clădirile existente și cele viitoare.

Subproiectul C. Sisteme de control eficiente energetic și integrarea acestora

Subproiectul C va fi concentrat asupra controlului ce va permite ocupanților și gestionarilor de facilități să modifice iluminatul electric în acord cu necesitățile și preferințele personale, dar ținând cont de cerințele de eficiență energetică pentru clădiri. Personalizarea și integrarea acestor sisteme de control cu celelalte sisteme ale clădirii (lumina naturală, încălzire-ventilație-automatizare-climatizare, managementul energetic) va constitui unul dintre punctele cele mai importante ale acestui Subproiect. Comunicarea și schimbul de date între diferitele dispozitive de control (senzori, dispozitive de aprindere, balasturi electronice) este cheia strategiilor de control.

Subproiectul D. Documentare și diseminare

Obiectivul acestui Subproiect constă în influențarea pozitivă a practicilor în iluminat în scopul accelerării utilizării produselor eficiente energetic, îmbunătățirii în ansamblu a performanței clădirii și creșterii satisfacției ambientale a ocupanților. Obiectivul este de a compila și disemina la scară largă rezultatele cercetărilor subproiectelor A, B și C, dar și de a influența politicile și reglementările energetice în scopul promovării unui iluminat eficient.

Finalitatea acestui program o va constitui elaborarea unui ghid de proiectare a unui iluminat eficient energetic. Acesta va fi publicat ca o carte, un CD-ROM și o pagină web. Alte mijloace de mediatizare vor fi jurnalele bianuale, seminarii și pagini web.

Adrese de contact: Liisa Halonen (liisa.halonen@hut.fi) sau Eino Tetri (eino.tetri@hut.fi) din cadrul Universității Tehnice din Helsinki sau să consultați site-ul programului: <http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45>.

Traducere ing. Călin CIUGUDEANU

EFFICIENCY OF DAYLIGHTING SYSTEMS USING LIGHT-PIPES

Cosmin ȚICLEANU

Technical University of Constructions, Bucharest

Daylighting provides light that supplements or replaces electric lighting. For commercial buildings, artificial lighting and its associated cooling energy, represent 30-40% of total used energy. The addition of daylight in a space may bring benefits related to aesthetics, health, and energy savings. The synthesis of a properly daylighted space and well-controlled artificial lighting system can produce lighting energy savings in the range of 30-70% in offices.

1. Introduction

Meeting the challenge of sustainable living in a world with fast-diminishing finite resources calls for a fundamental change in the way we use those resources. The use of renewable energy to power our modern lives is intended to prevent the need for damaging fossil fuels and hence slow or halt global warming. The amount of energy demand generated by the use of electric lights is considerable and gives the possibility of significant savings by daylighting. An additional saving that is associated with natural lighting is a reduction in cooling load for air-conditioned buildings. Because the luminous efficacy of natural daylight is higher than the majority of artificial light sources, fewer radiant watts of power are required for a given level of illuminance. In an artificially lit office building, a considerable percentage of the heat that requires removal is generated by the light fittings and overall savings through daylighting are significant [4].

Daylight allows people to see well and to feel some connection with their environment [5] and when allowed to express a preference, occupants choose natural over artificial light. Long-term studies have found that people prefer the varying levels of light provided by a daylight cycle to the constant light levels provided by artificial lights [3]. The same study showed that people chose high levels of natural light that corresponded to levels of light at which biological stimulation occurs. The work concluded that a wide range of health problems might be due to a lack of access to natural light throughout the day.

The use of daylight in buildings is beneficial both to human wellbeing and to productivity and also

has a place in the effort to minimize the impact of human activity on the planet by reducing electricity consumption in lighting.

2. Review of daylighting strategies

Following their principal function, daylighting systems can be classified [6] as systems with shading and systems without shading.

Two types of daylighting systems with shading are discussed: systems that rely primarily on diffuse skylight and reject direct sunlight, and systems that use primarily direct sunlight, sending it onto the ceiling or to locations above eye height.

Shading systems are designed for solar shading as well as daylighting; they may address other daylighting issues as well, such as protection from glare and redirection of direct or diffuse daylight. The use of conventional solar shading systems, such as pull-down shades, often significantly reduces the admission of daylight to a room. To increase daylight while providing shading, advanced systems have been developed that both protect the area near the window from direct sunlight and send direct and/or diffuse daylight into the interior of the room.

Daylighting systems without shading are designed primarily to redirect daylight to areas away from a window or skylight opening. They may or may not block direct sunlight. These systems can be broken down into four categories; some systems can fulfill multiple functions and are therefore in more than one category.

- Diffuse light-guiding systems redirect daylight from specific areas of the sky vault to the interior of the room. Under overcast sky conditions, the area around the sky zenith is much brighter than the

area close to the horizon. For sites with tall external obstructions (typical in dense urban environments), the upper portion of the sky may be the only source of daylight. Light-guiding systems can improve daylight utilization in these situations.

- Direct light-guiding systems send direct sunlight to the interior of the room without the secondary effects of glare and overheating.
- Light-scattering or diffusing systems are used in skylit or toplit apertures to produce even daylight distribution. If these systems are used in vertical window apertures, serious glare will result.
- Light transport systems collect and transport sunlight over long distances to the core of a building via fiber-optics or light pipes.

Currently, light from core daylighting systems is usually directed into a space by large diffusers that descend below the ceiling plane. Smaller diffusers and hollow light guides that resemble ordinary luminaires are also available. It is reasonable to expect that these systems will have light distributions and glare control similar to those of standard luminaires. However, most manufacturing efforts have gone into producing systems that efficiently collect light and transmit it through the building. More work is needed to produce effective methods of directing light to the work surface.

New daylighting technologies are not likely to become common until their prices drop to reduce the payback period. The light pipe is perhaps the most technologically exciting of innovative daylighting systems because of the long distances over which it can operate. In principle light pipes collect, direct, and channel sunlight into virtually any area of a building. The system consists of three main components: heliostat (collecting and concentrating unit), transport system (reflective conducts) and emitter (distributing light into the targeted space). The micro prismatic film perform total internal reflection, which is approximately ten times as efficient as typical specular metallic reflection (reflectance 0.99 compared to 0.90).

Daylighting systems can contribute to lower first costs for a building's mechanical system by lowering peak cooling load relative to that of the same building with conventional lighting design. Mechanical system downsizing is dependent on the confidence in the estimated load and the reliability of the daylighting system to reduce loads during peak periods. Since

mechanical systems are offered in standard sizes, however, incremental differences in calculated capacity may not always result in a change in equipment size.

Operating costs for energy can be calculated using the local utility rate. It is important to model utility rates accurately, particularly for daylighting technologies, because savings are often realized during summer peak periods when electricity costs are the highest.

Daylighting systems should be maintained on a regular basis. Systems with operating parts or those that rely on sensors for proper operation must be tuned or recommissioned when the interior space is reconfigured or its use is redefined. If the system is static and enclosed, then maintenance costs will probably be equal to those for conventional systems. Systems that permit natural ventilation may require more maintenance because of increased exposure to weather and dirt.

3. Solutions of daylighting systems using light-pipes

Light-pipe is a secondary light source which transmits light from the primary (natural or artificial) source within interior spaces, to a specific target or on specific reflecting or transmitting surfaces.

Light transmission is done at the end of the light-pipe, where light is distributed and directed depending on task particularities, or by side transfer towards specific targets. Light-pipe transmits light radiation through total internal reflection. The inner material has a reflectance of up to 0.98 and internal reflectance is produced within the structure of the 0.5 mm thick optic film, made of transparent acryl or polycarbonate [2]. This film has a prismatic outer face and a plate inner face, concurring to totally reflect light rays.

The collecting unit is the functional device of the highest importance with respect to the amount of daylight which can be used. Using a Fresnel lens, the heliostat is built to track efficiently sun position in the sky by a simple rotation around vertical axis, as lens's collecting angle allows sunlight to be focalized for any solar angle, specific to the site latitude where this system is mounted [7]. This focalized light is than reflected by a mirror towards the vertical conduct, as close as possible to its axis. The mirror has a special design allowing collection of diffused skylight.

The lighting system should also be equipped with electric light sources, able to balance daylight permanent variability. Following aperture photocells signals, the control unit turns on the electric lamps,

in order to balance or to replace daylighting in case that sky is no longer clear or after night fall.

The use of light-pipes can increase energy savings, but generally system efficiency is low because of light losses within ramification or direction changing. There are specific light-pipe systems for roof applications, known as solar tubes. These systems maximize the concept of renewable energy by reflecting and intensifying sunlight and even normal daylight, down through a highly reflective silver mirror-finish aluminum tube.

An early work on light transport [9] described a hollow light tube developed in 1978 and constructed from a prismatic polymer material that combined the high reflection efficiency of total internal reflection with the low cost and practicality of a hollow system. This device was intended both for electric and daylight transport, but only accepted light from a cone of 27.6° , precluding day-long passive solar collection for daylighting.

An example of light-transport daylighting is the 'Heliobus' device, which employs a hollow light guide similar to light pipes and ducts [1]. The collector was a heliostat, which was a concave mirror that collected sunlight and delivered it to the reflective duct below, of square cross-section. This section had emitters fitted to allow the removal and use of light at various heights through the building, followed by a diffuser at the end of the duct to emit the remainder of the light. The system also had three efficient electric lamps to act as backup at times of insufficient external illuminance. Monitoring of the system in the building showed that without electric lamps the system increased room illuminance by 1.5 to 3 times and overall was calculated to give energy consumption 3-4 times lower than a standard electric installation, as well as reducing the installed electric lighting capacity by half.

The very most of the micro prismatic light guides have been continuously light emitting pipes, with a continuously diffusive extractor film inside the tube. This extractor film has to be given a specific design for each different light guide length and diameter. A further step could be adjustable dynamic extractors. In a light guide system now all the discrete extractors are identical, and a light valve adjusts the light emitted from each extractor. The light valve can be an arrangement of a turnable mirror, for instance adjustable from parallel with the longitudinal axis to 45° . In this way the amount of deflected light can be varied as needed. Such a light guide system can

be built from similar extractors through the whole installation, and the adjustment of light levels in each room can easily be done afterwards. This will do the manufacturing and installation of the systems much more efficient, and more cost effective.

4. Discussion on light-pipes efficiency

Although prism light guide luminaire systems work well, they are intrinsically less efficient than conventional, simple luminaires. The reason is that the light injector itself typically has efficiency similar to that of a conventional fixture, so that any inefficiency of the prism light guide luminaire represents a net loss compared to conventional lighting. Since typical overall efficiencies for prism light guide luminaires range from 0.40 to 0.80, this loss is significant, and has limited the use of prism light guide systems to situations in which the practical advantages of piping light are economically more significant than energy efficiency issues. Recently, however, there has been interest in using new light sources that have higher luminous efficacy, in conjunction with improved prism light guide luminaires, to achieve a net efficiency comparable to conventional lighting.

Whitehead developed a simple calculation method for estimating the net efficiency of prism light guide luminaire systems [8]. For several example systems, this method yields results that are in good agreement with photometric testing, but since the method involves numerous simplifying assumptions, its accuracy cannot be assured in new circumstances.

The most striking feature of the problem is the large number of loss mechanisms. For simplicity, this problem is broken into four multiplicative stages: light injector loss factor, light guide input loss factor, light guide transport loss factor, and light guide output loss factor.

This simple calculation method was used to estimate the efficiency of several light-pipe systems, found to be between 0.43 and 0.75 [8].

5. Conclusions

A significant number of applications using daylighting systems have been accomplished. The most interesting and easily adaptive solution is however represented by light-pipes. Even if light-

Information

pipe industry met a major development in the 80s, efficient systems are still expected in practice. The efficiency of such systems is difficult to be estimated with high accuracy.

Research and development work needs to be done in order to improve the global efficiency of daylighting systems using light-pipes, so that these systems finally meet large scale application demands and contribute to a safer environment.

References

- 1 Aizenberg, J.B., "Principal New Hollow Light Guide System HELIOBUS for Daylighting and Artificial Lighting of Central Zones of Multi Storey Buildings", The Right Light 4 Conference, 1997
- 2 Bianchi, C., "Illuminating Engineering, Post-Graduate Courses", Technical University of Constructions Bucharest, Lighting and Electrical Department, 2002
- 3 Begemann, S.H.A., Van Den Beld, G.J., Tenner, A.D., "Daylight, Artificial Light and People in an Office Environment, Overview of Visual and Biological Responses", International Journal of Industrial Ergonomics, no. 20 3, 1997
- 4 Bodart, M., De Herde, A., "Global Energy Savings in Offices Buildings by the Use of Daylighting", Energy and Buildings, no. 34, 5, 2002
- 5 Boyce, P.R., "Why Daylight?", Daylighting 1998 – International Conference on Daylighting Technologies for Energy Efficiency in Buildings
- 6 IEA, "Daylight in Buildings", International Energy Agency, Berkeley, California, 2000
- 7 Ticleanu, C., "Modern Daylighting Techniques", International Conference Light & Lighting 2002, Bucharest, November 2002
- 8 Whitehead, L.A., Hoffmann, K., "Method for Estimating the Efficiency of Prism Light Guide Luminaires", University of British Columbia, Department of Physics and Astronomy, 1997
- 9 Whitehead, L.A., Nodwell, R.A., Curzon, F.L., "New Efficient Light Guide for Interior Illumination", Applied Optics, no. 21, 5, 1982



PhD Student. Eng.
Cosmin TICLEANU
Technical University of Constructions,
66 Pache Protopopescu Blvd., RO-
021414 Bucharest
Phone: + 40 72 256 3439;
Fax: + 40 21 252 4367;
E-mail: paringul@home.ro

Graduated in 2001 of the French Department of Building Services and Equipments at the Technical University of Constructions. Collaborator and afterwards Executive Secretary of the Romanian National Committee of the CIE. Research contracts and publications in lighting engineering. Ph.D student on integrated interior lighting systems.

Received 26 November 2004

EFICIENȚA SISTEMELOR DE ILUMINAT NATURAL CU TUBURI DE LUMINĂ

Iluminatul natural asigură lumina necesară completării sau înlocuirii iluminatului electric. Pentru clădiri cu destinație comercială, iluminatul artificial și energia de răcire asociată reprezintă 30-40% din energia totală utilizată. Integrarea dintre un sistem de iluminat natural corespunzător spațiului iluminat și un sistem de iluminat electric corect conceput și controlat poate conduce la economii de energie de ordinul a 30-70% pentru clădiri de birouri.

1. Introducere

Asigurarea vieții într-o lume cu resurse naturale finite care cunosc o diminuare rapidă necesită o schimbare fundamentală a modului în care aceste resurse sunt folosite. Utilizarea energiilor neconvenționale este menită să prevină dispariția combustibililor fosili și astfel să diminueze sau să stopeze încălzirea globală a planetei.

Necesarul de energie determinat de utilizarea luminii electrice este considerabil și oferă posibilitatea obținerii de economii de energie semnificative prin utilizarea luminii naturale. O economie de energie suplimentară asociată cu utilizarea luminii naturale constă în reducerea sarcinii de răcire pentru spații interioare climatizate. Deoarece eficacitatea luminoasă a luminii naturale este superioară eficacității majorității surselor de lumină electrică, asigurarea unui anumit nivel de iluminare presupune aporturi termice reduse în spațiul interior iluminat. În clădiri de birouri iluminate electric, o proporție considerabilă a căldurii ce trebuie evacuată este generată de sistemul de iluminat, iar economia globală de energie prin utilizarea luminii naturale este semnificativă [4].

Lumina naturală permite oamenilor să vadă bine și să perceapă legătura cu mediul înconjurător [5], iar atunci când trebuie să-și exprime preferința, ocupanții aleg lumina naturală în defavoarea luminii electrice. Studii îndelungate au descoperit faptul că oamenii preferă parametrii variabili ai luminii naturale și nu pe cei constanți asigurați de sursele de lumină electrică [3]. Concluziile acestor studii au arătat că o serie largă de probleme de sănătate se pot datora lipsei accesului de lumină naturală de-a lungul zilei în spațiile interioare.

Utilizarea luminii naturale în clădiri este benefică atât pentru confortul ocupanților, cât și pentru

creșterea productivității, având de asemenea un rol important în efortul de minimizare a impactului activităților umane asupra mediului natural prin reducerea consumului de energie electrică pentru iluminat.

2. Strategii de iluminat natural

După funcția principală, sistemele de iluminat natural pot fi clasificate [6] în sisteme cu ecranare și sisteme fără ecranare.

Sistemele cu ecranare sunt concepute atât pentru împiedicarea accesului luminii solare directe, cât și pentru iluminat natural; ele pot rezolva și alte aspecte legate de iluminat, cum ar fi evitarea orbirii și redirectionarea luminii directe și a luminii difuze către suprafețe de interes.

Sistemele de iluminat fără ecranare sunt concepute în principal pentru redirectionarea luminii naturale către zone îndepărtate de ferestre sau deschideri superioare. Ele pot sau nu bloca accesul luminii solare directe. Aceste sisteme pot fi clasificate în patru categorii:

- Sisteme de ghidare a luminii difuze a cerului
- Sisteme de ghidare a luminii directe solare
- Sisteme de difuzare a luminii naturale
- Sisteme de transport al luminii naturale

Tubul de lumină este probabil sistemul de iluminat natural modern cel mai interesant din punct de vedere tehnologic, datorită distanțelor lungi pe care el poate opera.

Strategiile și sistemele avansate de iluminat natural pot produce economii de energie atunci când sunt folosite în zone climatice corespunzătoare și pentru orientări corecte ale clădirilor, în concordanță cu analiză specifică realizată cu algoritmi și programe de simulare a fenomenelor de reflexie, refracție și transmisie a luminii, necesară pentru estimarea performanțelor acestor sisteme.

3. Soluții de sisteme cu tuburi de lumină

Tubul de lumină este o sursă secundară de lumină care transmite lumina de sursa primară (naturală sau electrică) în spațiul interior, către un obiectiv specific sau către anumite suprafețe reflectante sau transmițătoare. Transmisia luminii se realizează la capătul tubului de lumină, unde lumina este distribuită sau direcționată, în funcție de particularitățile sarcinii vizuale, sau prin transfer lateral către obiectivele specifice.

Tubul de lumină transmite radiația luminoasă prin fenomenul de reflexie internă totală. Materialul interior are o reflectanță de 0,98, iar reflexia internă se produce în structura de 0,5 mm grosime a filmului optic, fabricat din acril transparent sau policarbonat [2]. Acest film are suprafața exterioară prismatică și suprafața interioară plană, conducând la reflexia totală a radiațiilor luminoase.

Unitatea de captare este echipamentul funcțional de cea mai mare importanță în ceea ce privește cantitatea de lumină naturală ce poate fi utilizată. Prin înglobarea unei lentile Fresnel, heliostatul este astfel construit încât să urmărească eficient poziția soarelui pe cer printr-o rotație simplă în jurul axului vertical și/sau axului orizontal, întrucât unghiul de captare al lentilei permite luminii solare să fie focalizate pentru orice unghi de înălțime solară, specific latitudinii locului unde acest sistem este montat [7]. Această lumină focalizată este apoi reflectată de către un sistem de oglinzi către conducte verticale, cât mai aproape posibil de axul central. Oglinzile au un design special, permițând și captarea luminii difuze a cerului.

Sistemul de iluminat trebuie să fie de asemenea echipat cu surse de lumină electrice, capabile să compenseze variabilitatea permanentă a luminii naturale, suplimentând sau înlocuind iluminatul natural atunci când este cazul.

Majoritatea sistemelor sunt echipate cu filme difuzante de extracție a luminii din interiorul tubului, care trebuie concepute în mod specific pentru fiecare lungime și diametru de tub de lumină. Un pas ulterior ar putea fi reprezentat de extractoarele cu reglaj dinamic. Într-un sistem de ghidare a luminii,

toate extractoarele sunt identice, și o valvă reglează lumina emisă de fiecare extractor. Valva poate fi reprezentată de o oglindă rotativă, de exemplu reglabilă între 0° (paralelă cu axa longitudinală a tubului) și 45° . Astfel, cantitatea de lumină emisă poate fi variată după necesități. Un astfel de sistem poate fi construit din extractoare similare de-a lungul întregii instalații, iar reglarea nivelului de iluminare în fiecare încăpere poate fi cu ușurință realizată ulterior. Aceasta va face aceste sisteme mai eficiente și va determina scăderea costurilor de producere și de instalare a acestor sisteme.

4. Discuție despre eficiența tuburilor de lumină

Deși sistemele prismatice de ghidare a luminii funcționează bine, ele sunt în principiu mai puțin eficiente decât sistemele simple, convenționale. Explicația este că injectorul de lumină prezintă de regulă o eficiență similară eficienței dispozitivelor convenționale, astfel încât orice ineficiență a sistemului prismatic de ghidare reprezintă o pierdere netă comparativ cu iluminatul convențional. Deoarece eficiențele globale tipice ale sistemelor prismatice de ghidare – tuburi de lumină variază între 0,40 și 0,80, aceste pierderi sunt semnificative și au limitat gradul de aplicare al acestor sisteme în situațiile în care avantajele practice ale tubului de lumină sunt din punct de vedere economic mai importante decât aspectul eficienței energetice.

5. Concluzii

Un număr semnificativ de aplicații utilizând sisteme de iluminat natural au fost realizate. Soluția cea mai interesantă și cea mai flexibilă este reprezentată de tuburile de lumină. Deși industria tuburilor de lumină a cunoscut o dezvoltare majoră în anii '80, sunt în continuare necesare activități de cercetare și dezvoltare pentru a îmbunătăți eficiența globală a sistemelor de iluminat natural cu tuburi de lumină, astfel încât acestea să cunoască cereri de instalare la scară largă și să contribuie astfel la realizarea unui mediu mai curat și mai sigur.