

INGINERIA ILUMINATULUI

7

**Editura MEDIAMIRA
Cluj-Napoca
2001**



Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Centrul de Ingineria Iluminatului UTC-N



ELECTRICA S.A.

Sucursala de Distribuție Cluj

Colegiul de Redacție

- Dr. Florin POP, Profesor
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Centrul de Ingineria Iluminatului UTC-N
- Gabriel RUGA, ing., Director
ELECTRICA S.A.
Sucursala de Distribuție Cluj
- Dr. Dorin BEU, Șef lucrări
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Centrul de Ingineria Iluminatului UTC-N

Comisia de Referenți

- Cornel BIANCHI, Profesor Dr.
Universitatea Tehnică de Construcții București
- David CARTER, Profesor Dr.
University of Liverpool
- Luciano DI FRAIA, Profesor Dr.
Universita degli Studi "Federico II" Napoli
- Liisa HALONEN, Profesor Dr.
Helsinki University of Technology
- Florin POP, Profesor Dr.
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- Ramon SAN MARTIN, Profesor Dr.
Universitat Politecnica de Catalunya

Tehnoredactare și traducere

Mihaela POP, ing.

Pentru manuscrise, informații suplimentare și abonamente, cititorii se pot adresa redacției la adresa:

Dr. Florin POP, Profesor
UTC-N - Universitatea Tehnică
Str. C. Daicoviciu Nr. 15
RO-3400 - Cluj-Napoca, România
Fax: (064)192055
(internațional: +40.64.192055)
e-Mail: Florin.Pop@insta.utcluj.ro

Revista **INGINERIA ILUMINATULUI** este o publicație semestrială, editată de Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca prin Centrul de Ingineria Iluminatului UTC-N - Lighting Engineering Center LEC, ELECTRICA S.A. prin Sucursala de Distribuție Cluj și Editura MEDIAMIRA S.R.L. Cluj-Napoca.

INGINERIA ILUMINATULUI este o revista de informație tehnică, dedicată educației continue în domeniul iluminatului.

Obiectivele revistei constau în prezentarea rezultatelor activității de cercetare științifică, popularizarea unor realizări profesionale, încurajarea și educarea specialiștilor din construcții, administrație publică, proiectare, învățământ, studenților și a altor utilizatori.

Revista nu inserează anunțuri publicitare sau comerciale.

Opiniile exprimate de autori, referenți și colaboratori sunt personale și nu sunt în mod necesar acelea ale redacției.

Autorii sunt responsabili de calitatea materialelor grafice din cuprinsul articolelor proprii - diagrame, desene, fotografii, reproduceri.

Costul unui număr este de 5 Euro, la care se adaugă taxa poștala (0,12 Euro - România, 0,95 Euro - Europa). Se utilizează cursul BNR în prima zi a lunii în care se efectuează plata.



Editura MEDIAMIRA
Cluj-Napoca
C.P. 117, O.P. 1, Cluj
ISSN 1454-5837

Copyright

În conformitate cu dispozițiile legale în vigoare, aceasta publicație nu poate fi reprodusă sau transmisă în nici o formă, electronică sau mecanică, incluzând fotocopiere, înregistrare, memorare pe un sistem informatic sau traducere, în întregime sau parțial, fără acordul scris al Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Centrul de Ingineria Iluminatului și al Editurii MEDIAMIRA S.R.L. Cluj-Napoca, România.

Flora POP	EDITORIAL
Gert van den BELD, Wim van BOMMEL	INDUSTRIAL LIGHTING productivity, health and well-being
Conrad BIANCHI, Camilla BURLACI	CONCEPTION DESIGN OF LIGHTING SYSTEMS for urban traffic roads
Paul DINULESCU	QUICK, RATIONAL AND ACCURATE LUMEN METHOD using minimum available data
Hans-Joachim LOEBERG	CELLS IN THE WORLD
Eduardo R. MANZANO, Ramon SAN MARTIN	THE BENEFIT COST IN URBAN LIGHTING
Eino TETRI	EFFECT OF DIMMING ON LAMP LIFE results of a lamp life test
	CONTINUTE SI SIMPOZIONA 28-30 Iunie 2001, Cluj-Napoca CONFERINTA INTERNATIONALA ILUMINAT 2001
Flora POP	INFORMATI CENTRUL DE INGINERIA ILUMINATULUI - CTCI Lighting Engineering Center - LEC
Cristian Florin SUTIGAR	LIGHTING IN THE NEW WORLD
	LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY
	Recommendations for the printing form of your papers

Cuprins

-
- 5 EDITORIAL *Florin POP*
-
- 7 INDUSTRIAL LIGHTING
productivity, health and well-being *Gerrit van den BELD, Wout van BOMMEL*
-
- 32 CONCEPTION/DESIGN
OF LIGHTING SYSTEMS
for urban traffic roads *Cornel BIANCHI, Camelia BURLACU*
-
- 44 QUICK, RATIONAL AND ACCURATE
LUMEN METHOD
using minimum available data *Paul DINCULESCU*
-
- 59 CIE IN THE WORLD
Hans Allan LÖFBERG
-
- 67 THE BENEFIT/COST
IN URBAN LIGHTING
Eduardo R. MANZANO, Ramon SAN MARTIN
-
- 74 EFFECT OF DIMMING ON LAMP LIFE
results of a lamp life test *Eino TETRI*
-

Conferințe și Simpozioane

-
- 83 Conferința internațională ILUMINAT 2001
28-30 Iunie 2001, Cluj-Napoca
-

Informații

-
- 87 CENTRUL DE INGINERIA ILUMINATULUI - UTC-N
Lighting Engineering Center - LEC *Florin POP*
-
- 89 LIGHTING IN THE NEW WORLD *Cristian Viorel SUVAGAU*
-
- 89 LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY
relaunched journal
-
- 94 Recommendations for the printing form of your papers
-

Copyright

În conformitate cu dispozițiile legale privind dreptul de autor, este permisă reproducerea și transmiterea în orice formă, electronică sau mecanică, inclusiv prin intermediul sistemelor de stocare și recuperare de informații, în scopuri de cercetare științifică și învățământ superior, fără a fi necesară autorizarea prealabilă a titularilor de drepturi de autor.

Lighting education courses have always struggled to exist, mainly due to the breath of the subject, which means that it crosses a number of academic boundaries and therefore it is difficult for it to find a logical academic home...

[David L LOE, *Distance learning - A way forward in lighting education, 24th Session of the CIE- Warsaw '99*]

Inginerul de iluminat trebuie permanent să ia decizii referitoare la alegerea tehnologică, eficiența energetică, impactul asupra mediului și efectele acestora asupra ființei umane. Disponibilitatea multor surse luminoase eficiente, creșterea importanței contribuției luminii naturale în clădiri, impactul calculatoarelor asupra organizării locului de muncă și al relațiilor de muncă, la fel cu dezvoltarea metodelor de măsurare, calcul și proiectare, sunt doar câteva exemple privind schimbările curente care cer răspunsuri din partea inginerilor de iluminat care pot doar să reacționeze cu succes cu ajutorul mijloacelor oferite de cercetare și dezvoltare. Aceasta imagine este comună pentru diferite țări și regiuni ale globului. Este necesar să fie promovată generația cunoașterii, generație care se adaptează la tehnologia ce integrează o viziune regională, cu caracteristici culturale, de mediu și economice specifice.

Teoria educațională actuală sugerează că există moduri mai eficiente de prezentare a materialului didactic decât într-o carte. Cea mai nouă modalitate de educație în iluminat este un instrument educațional de tip hipermedia. Acesta poate fi parte a unui program de învățământ la distanță în iluminat. Învățământul la distanță este instituit de către *Open University*, care oferă cursuri ce acoperă o gamă mare de domenii, unele dintre acestea până la nivel postuniversitar. El permite oamenilor să studieze în propriul lor oraș sau loc de muncă și în propriul lor ritm. Cum comunicația electronică devine din ce în ce mai larg disponibilă, comunicarea între cadrul didactic și student poate fi relativ simplă.

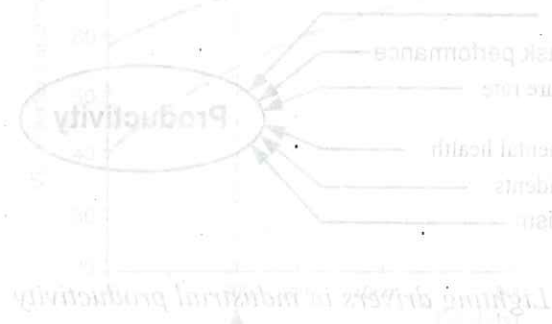
Studentii pot câștiga cunoștințe în iluminat prin intermediul specializărilor universitare de Instalații în Construcții și Inginerie Electrică, în care ponderea elementelor de iluminat este de până la 50%. Nu exista un curs specific la Arhitectură. Noțiuni de tehnica iluminatului sunt cuprinse și în unele cursuri de la secții de profil Mecanic sau Construcții, în care elemente de iluminat se predau în 4 ore de curs. Anual, peste 700 de studenți/cursanți primesc un nivel bun de cunoștințe în domeniul iluminatului, 350 un nivel mediu și 300 un nivel scăzut. Este menționat că de la începutul Facultății de Instalații în Construcții din București (1949) au fost instruiți peste 6.000 de studenți.

Este util să cuantificăm elementele de iluminat relativ la totalul cursului. Numărul de ore, având ca subiect elemente de iluminat la cursurile principale, este limitat la aproximativ 20 de ore de curs și 15-20 de ore practice. Aceasta înseamnă nu mai mult de 40% din totalul orelor de curs. Există câteva cursuri secundare, care includ parțial elemente de iluminat. Numărul de ore este foarte mic, de la 4 la 10 ore de curs și de la 2 la 8 ore practice, nu mai mult de 15-30% din totalul orelor de curs. Numărul studenților/participanților variază mult, în funcție de profilul secției, de la un minim de 15-20 la un maxim de 90-180.

Educația în iluminat este sub semnul analizei în multe țări. Pregătirea suplimentară specifică este realizată în cadrul cursurilor postuniversitare, de master și doctorat.



Dr. Florin POP, Profesor



Summary

Nowadays in many companies the human resources are considered as the major asset. For reasons of both economics and people's health and well-being, the safety, reduction of accidents and absenteeism are getting a lot of attention. Measures are taken and legislation on safety rules exist or are under preparation in many countries. Despite all these efforts the direct economic losses are about 2,8-3,6% of GNP in the EU member states or 100-200 million working days annually. Moreover, apart from the personal tragedies, also EU and national policy are addressing the societal cost of healthcare and cost of re-integration of (disabled) workers after illness. Another aspect is the aging workforce with higher rate of absenteeism and relatively high rate of fatal accidents. There is also a shift towards a 24-hrs society especially in capital intensive production processes and service organizations. Global competitiveness also contributes to the increased 24 hrs operations in many businesses. Consequently workers have to perform more and more optimally independent of time of day.

Good lighting on the task and in the working place is required for optimal (visual) task performance, especially also taking into account the aging workforce. The effects of good lighting are even more important as (medical) science has shown in the last two decades the positive influence of light on

health and well-being as light is e.g. controlling largely the biological clock. This body clock regulates e.g. all daily rhythms of both physiological and psychological processes such as hormone secretion levels, alertness, mood, sleep-wake cycle, body temperature and many others. Both these aspects of good industrial lighting will become more important in 24-hour operations. Dedicated lighting solutions will be required.

At present industrial lighting standards are based on the lighting needs to carry out the (visual) task efficiently. The lighting requirements are fulfilled by general lighting for the work place eventually augmented by local task/machine lighting. It is striking that in general the lighting quality requirements for industry are lower than e.g. for offices. Moreover many existing industrial lighting systems are very old and economically as well as quality wise outdated. One would expect the opposite: The best lighting systems in the industrial working environment for enhanced productivity, safety and health reasons. A better lighting will positively contribute to speed and failure rate in performance, safety and accidents rate, absenteeism, health and well-being.

In this paper the importance of industrial lighting of high quality as a driving factor to improve productivity is discussed. The impact of light on vision, performance, alertness, well-being etc. as indicated in the model will be analyzed on basis of the present state of knowledge on light & vision and light & health.

Concluding, industrial lighting should be given the attention it deserves from the point of view of company's economics, worker's health and well-being and public health policy and costs.

WORKING ENVIRONMENT

- Air
- Sound/noise
- Hygiene
- Heating/cooling

LIGHTING

- Infrastructure
- Furniture
- Machinery
- Etc.

WORK PLACE



TASK

- Eye/vision
- (Visual) task performance
- Speed/failure rate
- Physical/mental health
- Safety/accidents
- Absenteeism

Productivity

Lighting drivers in industrial productivity

1 INDUSTRIAL LIGHTING

Industrial lighting covers a wide range of different working interiors and work tasks: from small work shops to huge factory halls, and from fine precision work to heavy industrial tasks. In industrial environments we have often to rely for an important part on artificial lighting only. There where (glare-free) daylight can enter the industrial premises it can play an important role in obtaining satisfying lighting results at the moments it is available. Good linking with the artificial lighting is then essential. There are three systems of artificial lighting used in industrial interiors: general lighting, localised lighting and local task lighting. General lighting is designed to produce a relatively uniform illuminance on the working plane throughout the area. In those interiors where the arrangement of the work positions is permanent, the use of localised lighting, with concentration of the higher illuminances at the work positions, can lead to more cost effective installations. The lighting requirements for certain specific tasks can be so stringent that it is neither technically feasible nor economically viable to do the lighting with the general lighting alone. Local task lighting is then used to supplement the general lighting for these specific tasks.

1.1 Visual performance and lighting

The lighting quality should always be such as to guarantee sufficient visual performance for the tasks concerned. Research on the quantity and quality of lighting over the past decades has shown that improvement of lighting quality from a low or moderate level increases the speed and accuracy with which objects can be detected and recognised. The actual visual performance of a person is dependent upon the quality of the lighting and of his or her own „seeing abilities“. In this respect age is an important criterion. With increasing age, more and more light is necessary. Figure 1.1 gives the relative requirements of the amount of lighting for

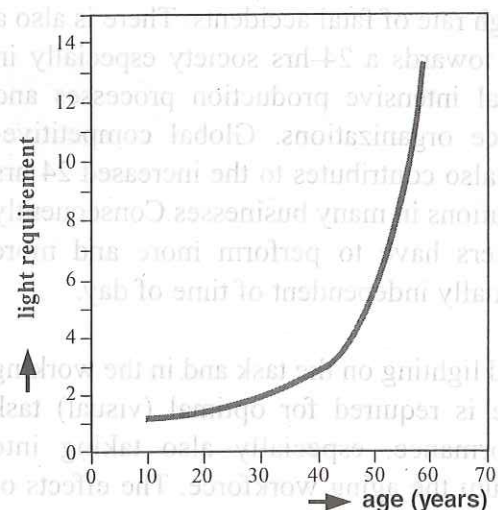


Figure 1.1 Relation between age and light required for reading good print. Source: Fortuin [1.1]

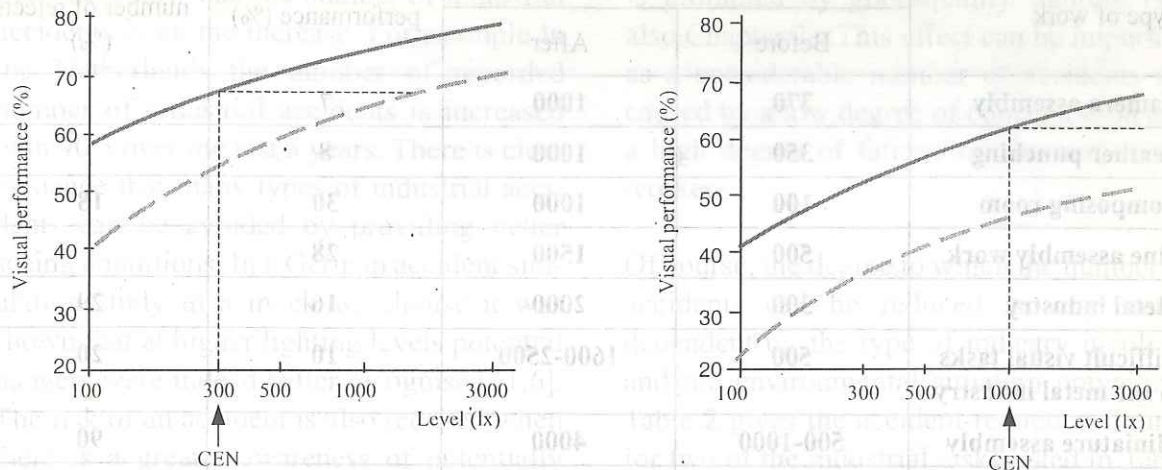


Figure 1.2 Relation between relative visual performance (in %) and lighting level (in lx) for a visually moderate difficult task (left) and a visually difficult task (right). Continuous line: young persons, broken line: older persons. Source: CIE [1.3]

reading a well printed book in dependence of age. If the requirement at the age of 10 is taken as 1, it follows that a person of 60 years old requires as an average 15 times more light! This effect of course becomes more and more important with the workforce becoming older.

Figure 1.2 serves as an illustration of the many research results pertaining to the influence of lighting quality on visual performance. It gives the relative visual performance as a function of the lighting level for different task difficulties. One for a visually moderate task (as, for example, relevant for general machine work) and another one for a difficult task (as, for example, fine assembly work or colour inspection work). For all tasks a clear increase in visual performance is shown if the quality of the lighting, in this example the lighting level, is increased. From the figure it again becomes evident that the effect of age on visual performance is very important. For the same level of visual performance the quality of the lighting must be much higher for older workers. But for visually-difficult tasks, lighting cannot completely compensate for the deteriorating effect of age. Given the increase in average age of the workforce in the coming years

(20% increase of the age group 50 - 65 in the coming 15 years) this means that with no changes in the illuminance levels worker performance will decrease. In the graph, the required lighting levels for the two tasks as specified in the European draft standard of CEN [1.2] are indicated. It shows that these CEN requirements are in fact conservative rather than overstated if we take the age effect into account.

An improvement in visual performance yields, in its turn, an improvement in task or work performance. The improvement is reflected in a higher output and in a lower number of errors.

To what extent good quality lighting enhances work performance is, of course, dependent on the visual component of the task. A task with an important visual component will benefit more from good seeing conditions than a task with a less important visual component.

As an example, Table 1 summarises from different publications for different industrial tasks the increase in task performance and the reduction in rejects brought about by an improvement of the lighting quality.

Type of work	Lighting level (lx)		Increase in task performance (%)	Reduction in number of rejects (%)
	Before	After		
Camera assembly	370	1000	7	
Leather punching	350	1000	8	
Composing room	100	1000	30	18
Fine assembly work	500	1500	28	
Metal industry	300	2000	16	29
Difficult visual tasks in the metal industry	500	1600-2500	10	20
Miniature assembly	500-1000	4000		90
Weaving mill	250	1000	7	

Table 1 Increase in task performance and reduction in number of rejections as a result of improvements in lighting level. Source: *Handbuch für Beleuchtung* [1.4]

Figures 1.3 and 1.4 summarise the general trends of improvement in task performance and the reduction of errors with increase in lighting level.

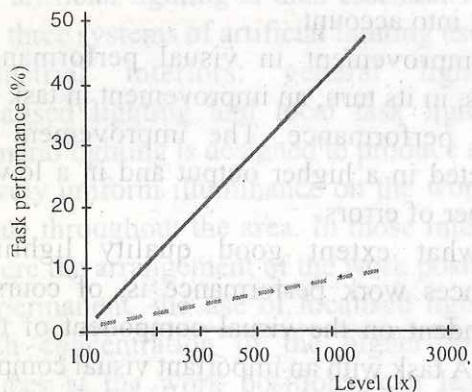


Figure 1.3 Relative task performance increase that may be expected to follow from improved lighting for a simple (broken line) and a difficult (continuous line) visual component task. Source: *Fördergemeinschaft Gutes Licht* [1.5]

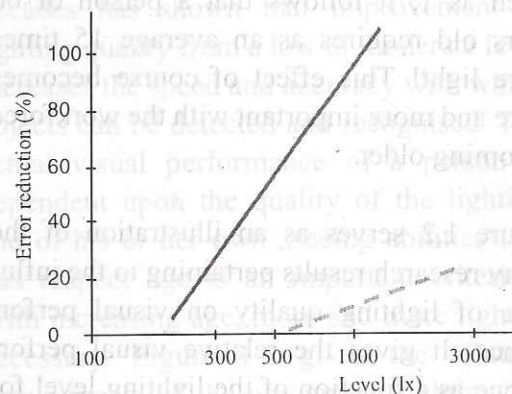


Figure 1.4 Relative reduction of errors resulting from improved lighting for a simple (broken line) and a difficult (continuous line) visual component task. Source: *Fördergemeinschaft Gutes Licht* [1.5]

1.2 Accident reduction and lighting

Accidents are often a concern in the industrial environment. The resulting physical injuries and mental anguish are sometimes responsible for considerable losses in pro-

duction.

Statistics show that the number of industrial accidents is on the increase. For example in the Netherlands the number of recorded number of industrial accidents is increased with 40.5 over the last 3 years. There is clear evidence that many types of industrial accidents can be avoided by providing better seeing conditions. In a German accident simulation study in a mock warehouse it was shown that at higher lighting levels potential dangers were indeed better recognised [1.6]. The risk of an accident is also reduced when there is a greater awareness of potentially dangerous situations and when the mood,

alertness and health of the industrial worker is promoted by good-quality lighting (see also Chapter 2). This effect can be important as a considerable number of accidents are caused by a low degree of concentration and a high degree of fatigue on the part of the worker.

Of course, the degree to which the number of accidents can be reduced is very much dependent on the type of industry involved and the environmental situation prevailing. Table 2 gives the accident-reduction figures for two of the industrial tasks listed in Table 1 above, where performance improvements

Table 2 Accident reductions as a result of improvements in lighting level

Type of work	Lighting level (lx)		Accident reduction (%)
	Before	After	
Metal industry	300	2000	52
Difficult visual tasks in the metal industry	500	1600-2500	50

and reject reductions were recorded. Figure 1.5, resulting from another study, gives the number of accidents at the workplace as a function of the lighting level for

different types of injuries. Here, again, the trend is clearly a reduction in the number of accidents as the quality of the lighting is improved.

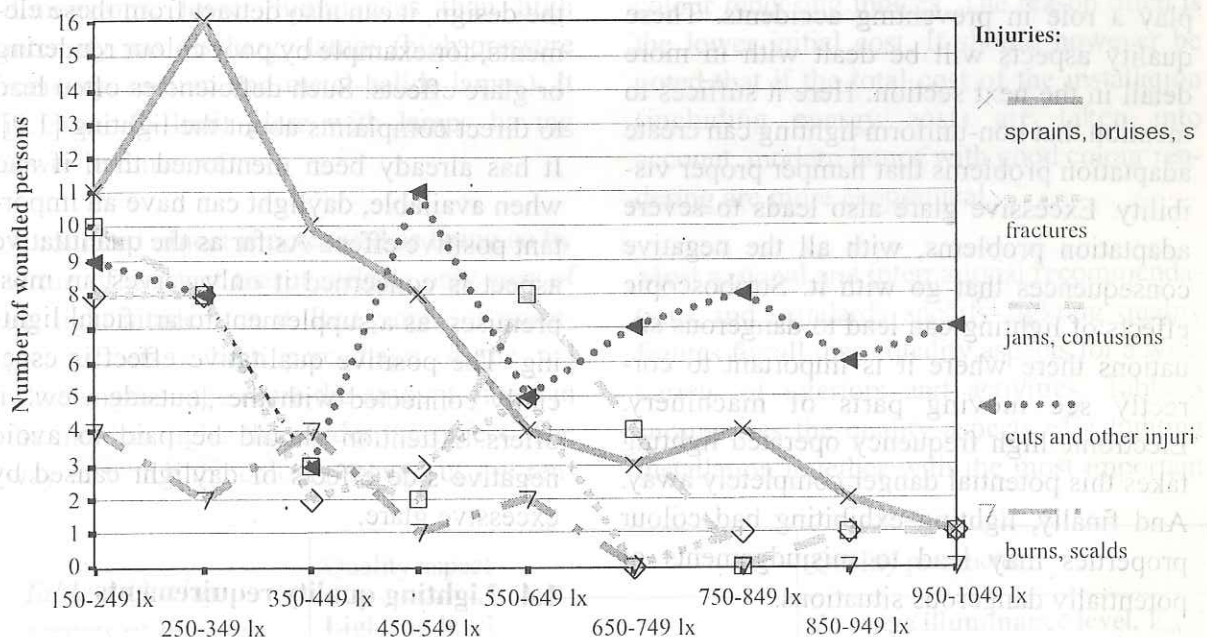


Figure 1.5 Number of accidents for different industrial tasks as a function of the lighting level (347 Accidents investigated in total). Source: Völker, Rüschemschmidt and Gall [1.7]

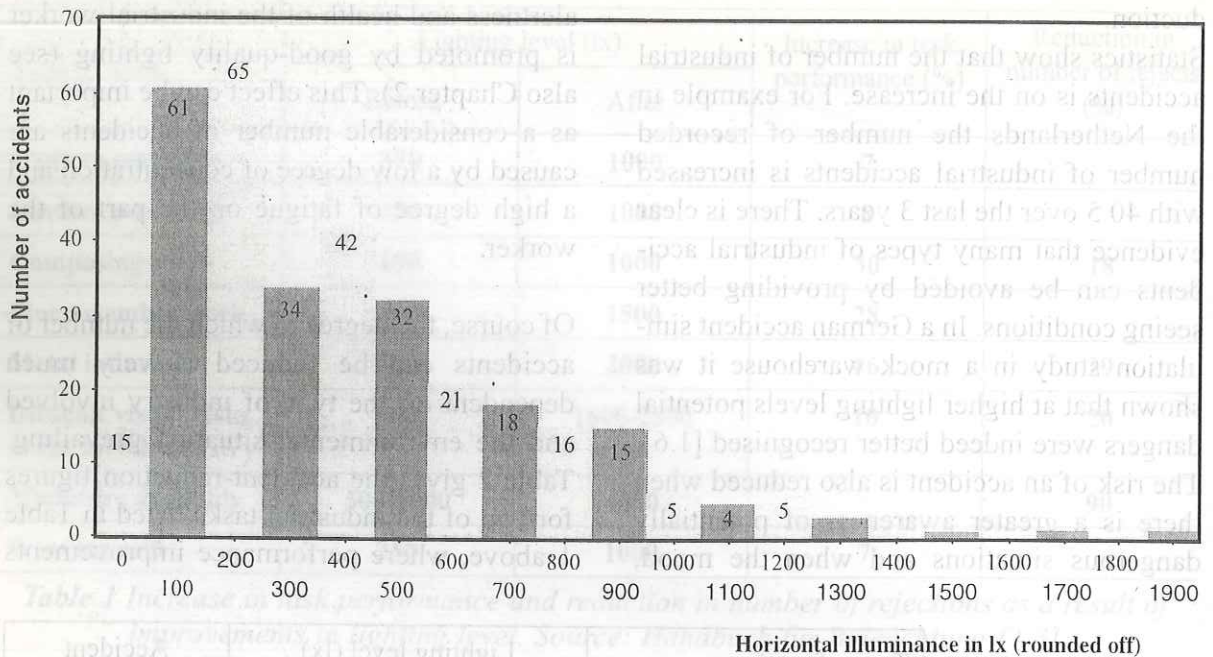


Figure 1.6 Number of accidents as a function of the lighting level. (A total of 347 accidents have been investigated). Source: Völker, Rüschemschmidt and Gall [1.7]

In Figure 1.6, all accidents analysed in this study are combined. It makes very clear that work places with lighting levels between 50 and 250 lx are confronted with a relatively high number of accidents.

It is important to note that not only the lighting level but all aspects of lighting quality play a role in preventing accidents. These quality aspects will be dealt with in more detail in the next section. Here it suffices to mention that non-uniform lighting can create adaptation problems that hamper proper visibility. Excessive glare also leads to severe adaptation problems, with all the negative consequences that go with it. Stroboscopic effects of lighting can lead to dangerous situations there where it is important to correctly see moving parts of machinery. Electronic high frequency operated lighting takes this potential danger completely away. And finally, lighting exhibiting bad colour properties may lead to misjudgements of potentially dangerous situations.

1.3 Lighting and working environment

Apart from the influence lighting has on visual performance there is also the influ-

ence the lighting has on the working environment. The overall working environment, if properly designed, can have a stimulating effect on the people working there [1.8]. Today, much importance is placed on the layout and interior design of the work-place. The lighting can have an important role here: whilst it can emphasise positive elements of the design, it can also detract from these elements, for example by poor colour rendering or glare effects. Such deficiencies often lead to direct complaints about the lighting [1.9]. It has already been mentioned that, if and when available, daylight can have an important positive effect. As far as the quantitative aspect is concerned it only serves, in most premises, as a supplement to artificial lighting. The positive qualitative effect is especially connected with the „outside view“ it offers. Attention should be paid to avoid negative side effects of daylight caused by excessive glare.

1.4 Lighting quality requirements

To enable people to perform visual tasks efficiently, accurately and safely especially the lighting level has been shown to have an important influence. However, other quality

aspects of lighting, namely uniformity of the lighting pattern, glare restriction and colour rendering are also very important.

Non-uniform lighting with abrupt changes in illuminances around the task area may lead to visual stress and discomfort. This has to do with the adaptation properties of the eye. Sufficient uniformity of the general lighting will ensure sufficiently high lighting levels to give complete freedom in the placement of the machinery and work places.

Glare is the sensation produced by brightnesses within the visual field that are largely greater than the brightness to which the eyes are adapted. This can lead to a reduction of visual performance and to discomfort. Too much glare can even lead to complaints such as eye strain and headache. The same problem may occur if there are excessive differences in brightness between the surfaces in the interior. It is thus important to limit glare to avoid errors, fatigue and accidents. The degree of glare restriction obtained depends very much on the optical quality of the luminaires used in combination with the type of lamp used. Fluorescent lamps have, thanks to their larger dimensions, lower luminances than high intensity gas discharge lamps (high pressure mercury, sodium and metal-halide lamps). It is easier to limit glare with lamps having lower luminances.

A coloured object is perceived as being so by virtue of the fact that it reflects only part of the light incident on it. Red paint, for example, reflects a high percentage of the red wavelengths - the more the amount of red in the incident light, the redder the object. The way in which the colours around us are ren-

dered is thus strongly dependant upon the colour rendering qualities of the lighting. The colour rendering index, Ra, of a light source is the measure for this quality. Ra can have values ranging from zero (no colour rendering) to 100 (excellent colour rendering). The proper colour rendering of the human skin is especially important. Lighting that makes the skin look pale and unhealthy often leads to complaints. By a proper choice of the light source (colour rendering Ra at least 80), this problem is easily avoided. Lamps with a colour rendering index lower than 80 give unacceptable results in interiors where people work or live; unacceptable as far as task performance is concerned, but also unacceptable from a mood and well-being point of view. The requirement for an Ra of 80 or more is especially important when it comes to the choice of the right type of tubular fluorescent lamp, there being so many different types available. For working environments, only those tubular fluorescent lamps with a colour code of 830 or higher fulfil the requirement.

In today's practice however, still in around 80% of the industrial lighting installations use is made of light sources with much lower colour rendering indices. The reason often is the lower initial cost. It should however be noted that if the total cost of the installation (including energy cost) are taken into account, modern lamps with good colour rendering are more economical.

Most national and international recommendations and standards specify lighting quality figures for all these quality aspects for a wide variety of interiors and activities. Table 3 summarises the quality aspects of a lighting installation together with the most important

Table 3 Quality aspects of lighting installations with their quality parameters

Quality aspect	Quality parameter
Lighting level	Average illuminance level, E_{av}
Uniformity	E_{min} / E_{av}
Glare restriction	UGR
Colour rendering	R_a

parameter for each aspect. As an illustration of what quality is required in different situations Tables 4 to 6 give the required values for three different types of industry: chemical industry, power stations and printing industry. These requirements are values given in a draft European standard (draft 1998) for work places, which meet the

needs of visual performance, comfort and safety. Of course the same standard specifies values for many other types of industry. (The values specified for the average illuminance are so-called „maintained illuminance values“: values below which the average illuminance on the specified surface is never allowed to fall).

2.5 Chemical, plastics and rubber industry

Ref. no.	Type of interior, task or activity	C_m	UGR _L	R _a	Remarks
2.5.1	Remote-operated processing installations	50	-	20	Safety colours shall be recognisable
2.5.2	Processing installations with limited manual intervention	150	28	40	
2.5.3	Constantly manned work places in processing installations	300	25	80	
2.5.4	Precision measuring rooms, laboratories	500	19	80	
2.5.5	Pharmaceutical production	500	22	80	
2.5.6	Tyre production	500	22	80	
2.5.7	Colour inspection	1000	16	90	T _{CP} ≥ 4000 K
2.5.8	Cutting, finishing, inspection	750	19	80	

Table 4 Lighting requirements for the chemical, plastic and rubber industry.

Source CEN [1.2]

2.15 Power stations

Ref.	Type of interior, task or activity	C_m	UGR	R _a	Remarks
2.15.1	Fuel supply plant	50	-	20	Safety colours shall be recognisable.
2.15.2	Boiler house	100	28	40	
2.15.3	Machine halls	200	25	80	For high-bay: see clause 4.6.2.
2.15.4	Side rooms, e.g. pump rooms, condenser rooms etc.; switchboards (inside buildings)	200	25	60	
2.15.5	Control rooms	500	16	80	1. Control panels are often vertical. 2. Dimming may be required. 3. For DSE-work see clause 4.11.
2.15.6	Outdoor switch gear	20	-	20	Safety colours shall be recognisable.

Table 5 Lighting requirements for power stations. Source CEN [1.2]

2.16 Printers

Ref.	Type of interior, task or activity	C _m	UGR	R _a	Remarks
2.16.1	Cutting, gilding, embossing, block engraving, work on stones and platens, printing machines, matrix making	500	19	80	
2.16.2	Paper sorting and hand printing	500	19	80	
2.16.3	Type setting, retouching, lithography	1000	19	80	
2.16.4	Colour inspection in multicoloured printing	1500	16	90	T _{CP} ≥ 5000 K.
2.16.5	Steel and copper engraving	2000	16	80	For directionality see clause 4.5.2.

Table 6 Lighting requirements for the printing industry. Source CEN [1.2]

A quality criterion seldom mentioned in standards is the frequency at which lamps are operated. Some people experience headaches because of the flicker of fluorescent lamps operated on magnetic ballasts (50 Hz). Fluorescent lamps run on modern electronic ballasts operating at high frequency (around 30 000 Hz) do not exhibit this flicker phenomenon. In a comparison it has been found that the occurrence of headache is, indeed, significantly lower when electronic ballasts are used [1.10]. On the basis of its influence on the basic brainwave pattern (EEG), another study describes fluorescent light produced by lamps operated on conventional, non-electronic magnetic ballasts as a potential stress source [1.11]. Of course electronic high-frequency ballasts are also recommended because they are more efficient and do result in a longer lamp life than lamps on conventional ballasts.

2 LIGHTING AND BIOLOGICAL EFFECTS

2.1 Background

Until a couple of centuries ago human life was determined by the daily light-dark cycle

and the related wake-sleep rhythm. Since the industrial revolution and especially the invention of electric light, the society is gradually extending the active daily period and now moving towards a 24 hour society. Shift work, including nightshifts, is already for many years applied in production processes in e.g. metal and food industry and hospitals. Today with the globalisation of the activities of many companies, IT services and intense intercontinental travelling the number of people working in irregular work schedules is increasing rapidly. In many countries a substantial part - 15-25% - of the working population is working in one of another form of shift schedule whether it be in production, transport or services.

From the ancient times the beneficial effect of (day)light was well known and used in e.g. heliotherapy. Light therapy in solving health problems was popular until the 1930's, than through the invention of penicillin, pharmaceuticals took the leading role. The importance of light in relation to health and well-being however revived in the last 20-30 years by various findings in biological and medical research.

We normally think of the eye as an organ for vision, but after the discovery of additional

nerve connections from the eye to the brain, it turns out that ocular light mediates and controls a large number of physiological and psychological processes in humans. The most important findings in the effects of ocular light are related to:

- Control of the biological clock
- Direct (stimulating) effects
- Influence on mood

2.2 Light and the biological clock

In the new science of chrono-photobiology, light is considered as the most important factor - often referred to as 'Zeitgeber' - in controlling our internal body clock, located in the supra chiasmatic nuclei in the hypothalamus in the brain [2.1]. Ocular light sends, via a separate nerve system, signals to our biological clock located in the brain which in turn regulates the circadian (daily) and circannual (seasonal) rhythms [2.2] of a large variety of body processes. In a natural setting ocular light, especially morning light, synchronises the internal body clock to the environmental time or the 24 hour light-dark cycle of the rotating earth. Without light, the internal clock would be free-running with a period of about 24 hrs and 15 minutes and consequently the internal clock-time will deviate day after day more and more from the environmental clock time [2.3]. The result is that one will get similar symptoms as when having jet-lag after travelling over some time-zones[2.4].

In figure 2.1 some typical rhythms in human beings are illustrated, it should be noted that these have been smoothed and masking effects are ignored (temporary effects of food, coffee etc). The figure shows only a few examples: body temperature, alertness and the hormone rhythms of cortisol (stress hormone) and melatonin (sleep hormone). Important other ones are e.g. sleep-wake cycle, sleepiness, fatigue, mood and performance.

The hormones cortisol and melatonin play an important role in alertness and sleep. Cortisol levels raise in the morning and prepare the body and mind for the coming day activity. At the same time melatonin level drops, reducing the sleepiness. Melatonin is popular known as sleep hormone and induces sleepiness e.g. melatonin is used as sleeping pill to cope with jet lag. The rise of melatonin levels in the evening prepares humans to start the sleep cycle and maintain a good quality sleep during the night, resulting in optimal start of the new day. Light has the capability of directly suppressing melatonin e.g. light during the night reduces melatonin levels within half an hour and also morning light helps to reduce the melatonin level and consequently wakens-up. From these simplified examples it is evident that both hormone rhythms are important to function well during the time we are awake and influence directly the degree of alertness

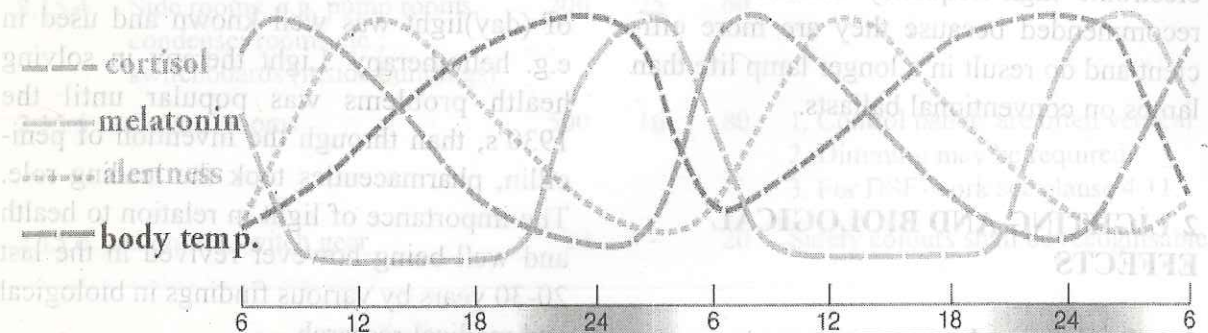


Figure 2.1 Double plot (2*24 hrs) of typical circadian rhythms of body temperature, melatonin, cortisol and alertness in humans for a natural 24 hour light/dark cycle. (Various sources, see text)

(see also chapter 2.4).

So the correct dose and timing of daily light is very important to keep the internal and external clocks in phase with each other especially because our internal clock regulates the circadian rhythm which are relevant in our daily activity such as alertness, sleepiness, fatigue, mood, performance. [2.2], [2.5].

2.3 Light and direct stimulating bodily effects

Direct stimulating effects of light are recognised by almost everybody, especially when comparing summer and winter, but also in the interior (working) environment [2.18]. This is partly a psychological effect, but also as illustrated above a physical component is contributing to this. Different light levels give changes in the EEG pattern and as a consequence influences the central nervous system resulting in effects on various body functions. Also through direct suppression by light of e.g. melatonin (see above) body processes are influenced.

Recent findings suggest moreover a direct effect of light e.g. heart rate, insulin level etc. [2.19], [2.20], [2.21]. Fundamentally these recent findings show an increasing number of neural pathways, directly or indirectly, from the eye to various glands in the body. Many of these effects could be related to the biological clock as well. Research has shown that light therapy is useful for various sleep disorders, Alzheimer disease and many others, which are subject of further research e.g. PMS, anorexia, bulimia, the immune system etc. [2.22], [2.23], [2.24], [2.25].

2.4 Light, mood and alertness

Mood is the reflection of the feelings of state of the person, physically the feeling good or bad, and mentally the feeling more or less alert [2.6]. Other factors known as influencing mood are for example weather/season [2.7] and in case of work the seeing condi-

tions and the (visual) environment.

In the industrial field alertness is of prime importance as it is a factor in not only mood but also in performance and avoiding accident. Alertness at a specific time of day is largely determined by an endogenous component, related to the circadian body clock, (raising in the morning, stable in the afternoon and declining in the late evening) and an exogenous component, declining over the period of wakefulness (the longer awake the lower). Subjective alertness at a time of the day is the combination of these two components, most probably not by simple addition but in a more complex relation. This leads also to the so-called lunch-dip with a relatively high sleep propensity and increased number of e.g. traffic accidents (principally the dip is not related to lunch, which at best deepens the dip).

Considering the alertness rhythm (Fig. 2.1) it is not remarkable that many investigations on the effects of light on alertness and arousal level have been carried out under (night) shift-work conditions because of the low level in e.g. arousal and the effects to be expected are the strongest. Figure 2.2 shows the effect of two lighting regimes on arousal as a function of time at work for shift-workers [2.8].

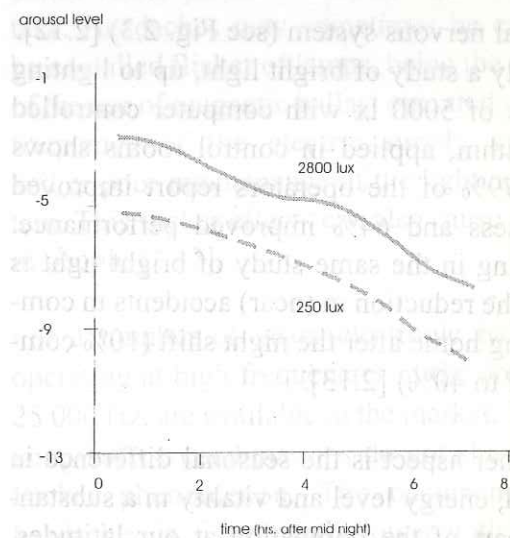


Figure 2.2 Mood expressed as arousal level for uniform lighting levels of 250 lx (o) and 2800 lx () as a function of number of working hours for night-shift workers (Boyce et al.)

A decline in arousal over the night occurs for both conditions, but the high-lighting regime results in a significantly increased arousal level.

Other studies show that the use of higher lighting levels to cope with fatigue results in staying longer alert [2.9], [2.10], [2.11]. This holds also for the composition of EEG's, containing less delta waves (which is an indicator for sleepiness) which means that bright light has an alerting influence on the

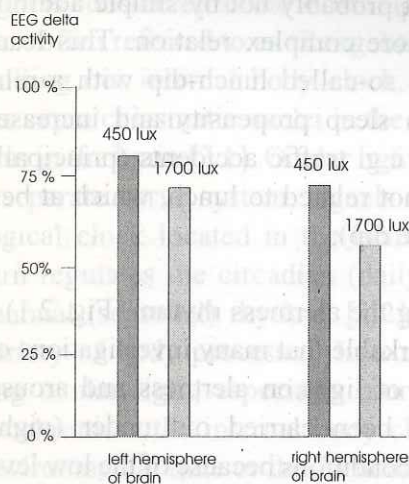


Figure 2.3 Delta activity in the EEG of office workers under lighting levels of 450 lx and 1700 lx (Kuller, Wetterberg)

central nervous system (see Fig. 2.3) [2.12]. Finally a study of bright light, up to lighting levels of 5000 lx with computer controlled algorithm, applied in control rooms shows that 79% of the operators report improved alertness and 64% improved performance. Striking in the same study of bright light is also the reduction in (near) accidents in commuting home after the night shift (10% compared to 40%) [2.13].

Another aspect is the seasonal difference in mood, energy level and vitality in a substantial part of the population at our latitudes. Studies with 145 (healthy) office workers (day shift, using for at least one hour/day a bright light desk luminaire providing 2500 lx) show 62% of the people reporting lesser

negative seasonal effects (on a VAS: Visual Analogue Scale), resulting in improved well-being, mood and energy level [2.14]. In other research studies stimulating effects of bright light have been found during daytime and night time aiming towards elevated levels in alertness and performance [2.11], [2.15], [2.16]. In wintertime the suppression of melatonin by electric light in the morning (so called dawn simulation) could play an important role, especially in the dark winter morning hours, as it will help people to overcome morning sleepiness. Direct stimulation could play a role in the dark afternoon hours to improve concentration and alertness.

Stress levels and complaints were studied in people working indoors under electric lighting only in comparison to people working under a combination of electric light and daylight. With artificial light only (same lighting level), hardly any difference is found in stress complaints between winter and summer [2.17]. However the stress in the group with the combined lighting was in summer substantially lower than in winter

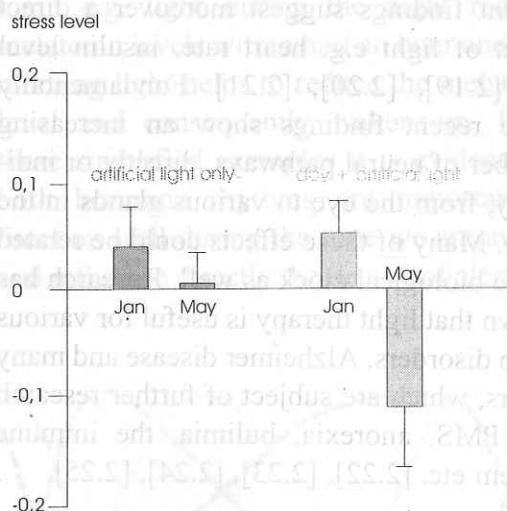


Figure 2.4 Stress levels in a group of workers working either under electric light only or under a combination of electric light and daylight (Kerkhof)

(see Fig. 2.4).

It can be assumed that the high amount of the daylight component in summer contributes

to the reduced number of stress complaints. Bright light in winter as demonstrated in one of the above mentioned studies can most probably compensate this difference [2.14].

Light plays evidently an important role as good seeing conditions and a pleasant work place will stimulate positive mood and contribute through increased alertness to reduced accident rates and increased performance.

2.5 Daylight and electric light

Many of the mentioned positive effects are obtained as the result of medical and biological research projects proving that electric light can be as effective as natural light. However in the indoor environment usually the lighting levels are much lower than even the minimum lighting levels found outdoor which are in the order of 1000-2000 lx on a dull day (on a sunny day levels reach 100 000 lx). Indoor levels without daylight contributions are in the order of 100-500 lx only and usually depending on the (minimum) requirement in the standard or recommendations which are in most cases based on horizontal illuminance while for the biological effects the illuminance on the eye is relevant. Compared to daylight lighting levels the recommended illuminance values can be considered as „biological darkness“. Fortunately in many cases daylight contributions penetrate the buildings at least for a number of hours per day increasing the overall lighting levels substantially. Another difference between daylight and electric light is the dynamics in level and colour temperature of daylight which is missing in the (windowless) interior. It is generally accepted that these changes in daylight have a positive influence on mood and stimulate people. There is in case of electric light evidence that such changes by means of dynamic indoor lighting have a stimulating effect on people. An extensive study under office conditions has shown that people prefer high additional electric lighting in an office environment (average 800 lx on top of the

prevailing daylight contribution) [2.28].

If present installations all would meet the most recent lighting standards this would be an important step in realising healthy light in the workplace.

2.6 Effects of poor lighting quality

Although good quality lighting has positive effects on health, well-being and performance, it should also be emphasised that poor lighting can lead to negative effects even though people are not complaining on the quality of the lighting [2.29]. In the early nineties a lot attention is given to the so called Sick Building Syndrome: complaints of workers in office buildings on dry air, air quality, too high or too low temperatures, headache and irritated eyes and nose. In a survey in the Netherlands in 61 buildings half the people complain on air quality and 25% on health and well-being. About 30% of the people complain on the lighting [2.30]. Working in poor or low quality lighting can lead to eye strain and fatigue, influencing negatively the performance of the worker. In a number of cases it can lead to e.g. headaches [2.31]. Causes are in many cases a too low lighting level, glare from light sources and not well-balanced luminance ratios in the workplace and on the task. Headaches may sometimes be caused by so-called flicker of lamps, being the result of the use of magnetic ballast operated on the frequency of the electric supply system and/or poor maintenance of the lighting system. This flicker effects can also cause stress in people [2.32].

For a number of years electronic ballasts, operating at high frequencies in the order of 25 000 Hz, are available in the market. These lamp-ballast combinations do not show this flicker phenomenon. The occurrence of headaches is significantly lower with these types of ballast [2.31].

2.7 Final remark

In summing up it is evident that a good healthy condition, improving alertness, performance and mood will further decrease the accident rate, and have a positive effect on performance and consequently will also result in a lower absenteeism rate.

A good quality lighting, meeting both the visual and biological requirements, will contribute substantially to the productivity in the industrial processes as well as to the general health and well-being of the individual worker.

3 LIGHTING AND PRODUCTIVITY

In the previous part of this paper the relationships between lighting of good quality and visual performance, biological effects and a stimulating working environment have been discussed. Subsequently the consequences for work speed and failure rate for accident reduction, mood, alertness and health and well-being have been illustrated. All these factors together can have a considerable positive effect on the overall productivity.

It is evident that good mood and alertness together with a well maintained health condition of the industrial worker will further decrease the accident risks. Lower accidents in the industrial environment have, in turn, an additional positive effect on work performance. High work performance of course directly influences productivity in a positive sense. Added to this positive effect on productivity is the lower absenteeism which directly follows from the reduced accidents, improved mood and alertness, well maintained health and motivation connected to good-quality lighting.

Our preliminary evaluations of all data described in this paper lead to the following conclusion: Increasing the lighting level from the minimum required 300 lx to 500 lx

leads to an increased productivity

- based on conservative assumptions: 10-25%

- based on probably more realistic assumptions: 10-40%

but certainly to more than 10%.

Nowadays most lighting installations in industry are hardly achieving the (minimum) required 300 lx. Those lighting installations consist most of the time of old fashioned bare battens with conventional electro-magnetic ballasts and standard fluorescent lamps. In the „better“ installations the battens are provided with a simple (white) metal reflector to prevent the light going to the ceiling.

A good quality installation would consist of a luminaire with an optical system that brings the light where it is really needed, provided with three-band fluorescent lamps with a colour rendering index of 80 or more, flicker-free operated on a high-frequency ballast.

Because of the higher lighting efficiency of such an installation, the far higher efficacy of the fluorescent lamps and the lower energy losses in the high-frequency ballast, energy savings up to 70% compared with the existing installation can be achieved. In such a case, increasing the lighting level from 300 lx to 500 lx would still result in a lower consumption of energy and thus to lower operating costs for lighting.

The investment for a better quality lighting installation and an increased lighting level of 500 lx will be paid back by the financial gain achieved by the increase in productivity within a very short periode of usually (much) less than one year.

REFERENCES

References Chapter 1

- [1.1] Fortuin, G. J., „Visual power and visibility“, Philips Research Report 6, (1951)
- [1.2] Draft European Standard prEN 12464, „Lighting of work places“, (1998) (Comité Européen de Normalisation, CEN)
- [1.3] CIE Publication 29.2: „Guide on interior lighting“ (1986)
- [1.4] Lange, H., „Handbuch für Beleuchtung“, SLG, LiTG, LTG, NSVV, 5. Auflage, Ergänzung 1999
- [1.5] Fördergemeinschaft Gutes Licht, „Industrielle verlichting xxxxxxxxxxxx“, 19xx
- [1.6] Völker, S., „Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveau“, Dissertation, Ilmenau, 1999
- [1.7] Völker, S., Rüschemschmidt, H., und Gall, D., „Beleuchtung und Unfallgeschehen am Arbeitsplatz“, Zeitschrift für die Berufsgenossenschaften, 1995
- [1.8] Clements-Croome, D., et al., „An assessment of the influence of the indoor environment on the productivity of occupants in offices“, Design, constructions and operations of healthy buildings, ASHRAE, 1998
- [1.9] Preller, L., et al., „Gezondheidsklachten en klachten over het binnenklimaat in kantoorgebouwen“, Directoraat Generaal van de Arbeid, 1990
- [1.10] Wilkens, A. J., Nimmo-Smith, I., Slater, A., Bedocs, L., „Fluorescent lighting, headaches and eyestrain“, Lighting Research and Technology, 1989
- [1.11] Küller, R., Laike, T., „The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal“, Ergonomics, 1998

References Chapter 2

- [2.1] Brainard, G.C., Effects of light on physiology and behaviour. Proceedings CIE session, New Delhi, 1996
- [2.2] OTA, Congress of the US, Biological rhythms. US DOCS Y 3.T 22/2 2B 57/8
- [2.3] Czeisler, C.A., et al., Stability, precision and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. Science 284, 2177-2281, 1999
- [2.4] Boulos, Z., et al., Light treatment for sleep disorders: Consensus Report VII Jet lag. Journal of biological rhythms, Vol.10, 1995
- [2.5] Colquhoun, W.P., et al. Shift work, Problems and solutions, Chapter 2. ISBN 3-631-49133-6, 1996
- [2.6] Mehrabian, A., Russell, J.A., An approach to environmental psychology. Cambridge, MA: MIT press, 1974

- [2.7] Mersch, P.P.A., et al. The prevalence of seasonal affective disorder in the Netherlands: A prospective and retrospective study of seasonal mood variation in the general population. Biol. Psychiatry 45 (1999) 1013-1022
- [2.8] Boyce, P.R., et al. Lighting the graveyard-shift: the influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night shift workers. Lighting Research and Technology 29(3) 105-134 (1997)
- [2.9] Daurat, A., et al. Bright light affects alertness and performance rhythms during a 24-hour constant routine. Physics and behaviour, 1993
- [2.10] Grunberger, J., et al. The effect of biologically active light on the noo- and thymopsyche on psycho-physiological variables in healthy volunteers. Int. J. of Psychophysiology, 1993
- [2.11] Tops, M., et al. The effect of the length of continuous presence on the preferred illuminances in offices. Proceedings CIBSE Conference, 1998
- [2.12] Kuller, R. et al. Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. Lighting Research and Technology, 1993
- [2.13] Baker, T.L., Use of circadian lighting system to improve night shift alertness and performance at the US Nuclear Regulatory Commission Headquarters Operations Centre. Proceedings ANS International meeting, Washington, 1995
- [2.14] Partonen, T. et al. Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. Journal of Affective disorders 57 (2000) 55-61
- [2.15] Cajochen, C. et al. Dose response relationship for light intensity and ocular and electro-encephalographic correlates of human alertness. In press.
- [2.16] Zeitzer, M.Z., et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. Journal of Physiology (2000), 526.3, pp. 695-702
- [2.17] Kerkhof, G.A., Licht en prestatie. Proceedings. Symposium Licht en Gezondheid, Amsterdam, 1999
- [2.18] Mikellides, B., Emotional and behavioural reaction to colour in the built environment. Thesis Oxford, 1989
- [2.19] Ueyama, T. et al. Supra-chiasmatic nucleus: a central autonomic clock. Nat. Neuroscience (1999) 2(12) 1051-1053
- [2.20] Scheer, F.A., et al. Light and diurnal cycle affect human heart rate: possible role for the circadian pacemaker. Journal of Biological Rhythms 1999 (3) 202-212
- [2.21] Scheer, F.A., et al. Light affects morning salivary cortisol in humans. Journal of Clinical Endocrinological Metabolism 1999 (9) 3395-8
- [2.22] Lam, R., et al. Canadian consensus guidelines for the treatment of seasonal affective disorder. 1998.

- [2.23] Van Someren, E.J.W., Rest activities in ageing, Alzheimer's disease and Parkinson's disease. Thesis 1997
- [2.24] Lam, L.W., Light therapy for seasonal bulimia. American Journal of Psychiatry, 1989
- [2.25] SLTBR (Society for light treatment and biological rhythms. Various publications and bulletins)
- [2.26] Veitch, J.A. Full-spectrum lighting effects on performance, mood and health. National Research Council Canada, Internal Report No. 659, June 1994
- [2.27] Vallenduuk, V. The effects of variable lighting on mood and performance in an office environment. Graduation thesis, TUE Eindhoven, 1999
- [2.28] Begemann, S.H.A., et al. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. International Journal of Industrial Ergonomics 20 (1997) 231-239
- [2.29] Padmos, P. Adverse effects of fluorescent lighting on health and well-being? A literature study (Dutch). TNO ISBN 90-5307-180-6 (1991)
- [2.30] Leijten, J., et al. Sick building blijft tol eisen. Klachten over kou en hoofdpijn klinken ook in nieuwe kantoren. Onderzoek Bouw 04/april 2000
- [2.31] Wilkins, A.J., et al. Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. Lighting Research and Technology 1989
- [2.32] Kuller, R., et al. The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. Journal of Ergonomics, 1998

Paper presented at the International Conference

Author

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

**ILUMINATUL INDUSTRIAL,
 PRODUCTIVITATE, SĂNĂTATE
 ȘI CONFORT**

Rezumat

În prezent, resursele umane sunt considerate în multe companii ca cel mai important bun. Din rațiuni atât economice cât și ale stării de sănătate și confort a oamenilor, siguranța, reducerea accidentelor și absenteismului au primit o atenție sporită. În multe țări sunt luate o serie de măsuri și există sau este în pregătire o legislație privind regulile de siguranță. Cu toate aceste eforturi, pierderile directe economice sunt în jur de 2,8-3,6% din PIB în țările membre, egale cu 100-200 milioane zile de muncă anual. De altfel, pe lângă tragediile

personale, politicile UE și cele naționale se adresează costurilor sociale ale îngrijirii medicale și ale reintegrării muncitorilor după boală. Un alt aspect este cel al forței de muncă vârstnice, cu un grad mai mare de absenteism și o rată relativ ridicată de accidente fatale. Se remarcă o alunecare spre o societate de 24 ore, în special în procesele de producție intensivă și în organizații de servicii.

Competitivitatea globală contribuie de asemenea la creșterea procentului de activități de 24 ore în multe afaceri. Ca o consecință, muncitorii trebuie să desfășoare o activitate din ce în ce mai bună independ de momentul din zi.

Un bun iluminat al sarcinii și a locului de muncă este cerut pentru o optimizare a performanței sarcinii (vizuale), în special având

în vedere forța de muncă vârstnică. Efectele unui bun iluminat sunt chiar mai importante, din moment ce medicina a arătat în ultimele două decade influența pozitivă a luminii asupra sănătății și a confortului, din moment ce lumina controlează ceasul biologic. Acest ceas al corpului reglează ritmul zilnic al proceselor fiziologice și psihologice, cum este nivelul secreției hormonale, starea de concentrare, forma psihică, ciclul treaz-somn, temperatura corpului și multe altele. Aceste aspecte ale unui bun iluminat industrial vor deveni mai importante în orpașiile de 24 de ore. Soluții de iluminat dedicate vor fi necesare.

Standardele de iluminat industrial actuale sunt bazate pe necesarul de lumină pentru desfășurarea eficientă a sarcinii vizuale. Cerințele luminotehnice sunt îndeplinite de iluminatul general al locului de muncă, eventual mărite cu un iluminat local al sarcinii/utilajului. Este evident că, în general, cerințele de calitate a iluminatului pentru industrie sunt mai scăzute decât, de exemplu, al celor pentru birouri. De altfel, multe sisteme de iluminat industriale sunt foarte vechi și depășite sub aspect economic și al calității. Ne-am aștepta la contrariul: cele mai bune sisteme de iluminat ar trebui să fie cele din mediul industrial, pentru productivitate îmbunătățită și din rațiuni de siguranță și sănătate. Un iluminat mai bun va contribui în mod pozitiv la mărirea vitezei și reducerea pierderilor de performanță, siguranță și rata accidentelor, absentism, sănătate și confort.

În această lucrare este discutată importanța iluminatului industrial cu o calitate ridicată ca factor de îmbunătățire a productivității. Impactul luminii asupra vederii, performanței, stării de concentrare, confortului etc. sunt arătate în modelul ce va analiza pe baza cunoașterii actuale asupra relației lumină & vedere și lumină & sănătate.

În concluzie, iluminatul industrial va trebui să fie în atenția companiilor din punctul de vedere al economiei, sănătății și confortului muncitorului și politicii de sănătate publică și costuri.

1 ILUMINATUL INDUSTRIAL

Iluminatul industrial acoperă o gamă largă de spații interioare și sarcini de lucru: de la mici ateliere până la mari hale de producție, și de la lucrări de precizie până la sarcini de lucru industriale. În mediile industriale deseori trebuie să ne bazăm într-o măsură importantă doar pe iluminatul artificial. Acolo unde iluminatul natural neorbitor poate intra în zonele industriale, poate juca un rol important în obținerea unor iluminări satisfăcătoare în momentele când este disponibil. Este esențială o legătură bună cu iluminatul artificial. Există trei sisteme de iluminat artificial folosite în interioarele industriale: iluminatul general, iluminatul localizat și iluminatul pentru sarcini de lucru locale. Iluminatul general este proiectat pentru a produce o iluminare relativ uniform pe întreaga arie a planului de lucru. În acele interioare unde aranjamentul pozițiilor de lucru este permanent, utilizarea iluminatului localizat, cu concentrarea iluminărilor mari în punctele de lucru, poate conduce la instalații mai eficiente din punctul de vedere al costurilor. Cerințele de iluminat pentru anumite sarcini de lucru pot fi atât de stringente încât nu este nici tehnic fezabil, și nici economic viabil să realizăm iluminarea doar folosind iluminatul general. Iluminarea sarcinilor de lucru locale este, astfel, folosită pentru a suplimenta iluminatul general.

1.1 Performanța vizuală și iluminarea

Calitatea iluminatului ar trebui să garanteze întotdeauna o performanță vizuală suficientă pentru sarcinile de lucru. Cercetarea cantității și calității iluminatului în ultimele decenii a arătat că îmbunătățirea calității iluminatului de la un nivel scăzut sau moderat crește viteza și acuratețea cu care obiectele pot fi detectate și recunoscute. Performanța vizuală reală a unei persoane este dependentă de calitatea iluminatului și de abilitățile sale vizuale. În acest caz, vârsta este un criteriu important. Odată cu înaintarea în vârstă, este necesară din ce în ce mai multă

lumină. Figura 1.1 reprezintă cererile relative de lumină pentru a citi o carte bine tipărită, în funcție de vârstă. Dacă cerința la vârsta de 10 ani este considerată 1, urmează că o persoană de 60 ani cere în medie de 15 ori mai multă lumină! Acest efect devine, desigur, din ce în ce mai important pe măsură ce forța de muncă îmbătrânește.

Figura 1.2 servește ca ilustrație a multor rezultate de cercetare relativ la influența calității iluminatului asupra performanței vizuale. Figura prezintă performanța vizuală relativă în funcție de nivelul de iluminat pentru sarcini de lucru de dificultăți diferite. Una pentru o sarcină de lucru moderată (ca, de exemplu, relevantă pentru lucrul general la o mașină) și o alta pentru o sarcină dificilă (ca, de exemplu, asamblare fină sau inspectare a culorilor). Pentru toate sarcinile este indicată o creștere clară a performanței vizuale dacă calitatea iluminării, în acest exemplu nivelul iluminării, crește. Din această figură devine, din nou, evident că efectul vârstei asupra performanței vizuale este foarte important. Pentru același nivel de performanță vizuală calitatea iluminării trebuie să fie mai mare pentru muncitorii mai vârstnici. Dar pentru sarcini vizuale dificile, iluminarea nu poate compensa complet efectul deteriorant al vârstei. Fiind dată creșterea în vârsta medie a forței de muncă pentru anii următori (20% creștere a grupului de vârstă cuprins în intervalul 50-65 ani în următorii 15 ani) aceasta înseamnă că, fără schimbări în nivelurile de iluminare, performanța muncitorilor va scădea. În grafic sunt indicate nivelurile de iluminat cerute pentru cele două sarcini de lucru, așa cum sunt specificate în propunerea de standard european a CEN [1.2]. Se arată că aceste cerințe ale CEN sunt, de fapt, conservatoare, mai degrabă decât prea pretențioase, dacă ținem seama de efectul vârstei.

O îmbunătățire în performanța vizuală produce, în schimb, o îmbunătățire în performanța de lucru. Această îmbunătățire este reflectată într-o producție mai mare și într-un număr mai mic de erori. Măsura în care o calitate mai bună a iluminatului

îmbunătățește performanța de lucru este, desigur, dependentă de componenta vizuală a sarcinii de lucru. O sarcină cu o componentă vizuală importantă va beneficia mai mult de condiții vizuale bune decât o sarcină cu o componentă vizuală mai puțin importantă.

Ca un exemplu, Tabelul 1 sumarizează din diferite publicații, pentru diferite sarcini industriale, creșterea în performanța de lucru și reducerea rebuturilor produse ca urmare a îmbunătățirii calității iluminatului. Figurile 1.3 și 1.4 sumarizează tendința generală a îmbunătățirii în performanța de lucru și reducerea erorilor împreună cu creșterea nivelului de iluminare.

1.2 Reducerea accidentelor și iluminatul

Accidentele sunt deseori o preocupare în mediul industrial. Rănile fizice rezultate și angoasa mentală sunt uneori responsabile de pierderi considerabile în producție. Statisticile arată că numărul accidentelor industriale este în creștere. De exemplu, în Olanda, numărul înregistrat de accidente industriale este în creștere cu 40% de-a lungul ultimilor trei ani. Există dovezi clare că multe tipuri de accidente industriale pot fi evitate prin oferirea unor condiții vizuale mai bune. Într-un studiu german de simulare a accidentelor într-un depozit s-a arătat că la niveluri de iluminare mai ridicate pericolele potențiale au fost, într-adevăr, mai bine recunoscute [1.6].

Riscul unui accident este, de asemenea, redus când există o mai mare conștientizare a situațiilor potențial periculoase și când dispoziția, atenția și sănătatea muncitorului industrial sunt promovate printr-un iluminat de bună calitate (vezi și Capitolul 2). Acest efect poate fi important deoarece un număr considerabil de accidente sunt cauzate de un grad scăzut de concentrare și un grad ridicat de oboseală din partea muncitorului. Desigur, gradul în care numărul de accidente poate fi redus depinde foarte mult de tipul de industrie și de situația de mediu. Tabelul 2 prezintă gradul de reducere a accidentelor

pentru două din sarcinile industriale listate în Tabelul 1, unde au fost înregistrate îmbunătățirile de performanță și reducerile rebuturilor.

Figura 1.5, rezultând dintr-un alt studiu, prezintă numărul de accidente la locul de muncă în funcție de nivelul de iluminare pentru diferite tipuri de răni. Din nou, tendința este în mod evident de reducere a numărului de accidente împreună cu îmbunătățirea calității iluminatului.

În Figura 1.6 sunt combinate toate accidentele analizate în acest studiu. Devine foarte clar că locurile de muncă cu niveluri de iluminare între 50 și 250 lx sunt confruntate cu un număr relativ ridicat de accidente. Este important de notat că nu doar nivelul de iluminare, ci toate aspectele calității iluminatului joacă un rol în prevenirea accidentelor. Aceste aspecte de calitate vor fi abordate în mai mare detaliu în următoarea secțiune. Aici este suficient să menționăm că iluminatul neuniform poate crea probleme de adaptare care afectează vizibilitatea corespunzătoare. Orbirea excesivă conduce, de asemenea, la probleme severe de adaptare, cu toate consecințele negative ale acestora. Efectele stroboscopice ale iluminatului pot duce la situații periculoase în locuri unde este important ca părțile în mișcare ale mașinilor să fie văzute corect. Iluminatul operat în mod electronic prin înaltă frecvență elimină complet acest pericol potențial și, finalmente, iluminatul cu proprietăți de culoare slabe poate conduce la judecarea în mod incorect a unor situații potențial periculoase.

1.3 Iluminatul și mediul de lucru

În afară de influența pe care iluminatul o are asupra performanțelor vizuale, iluminatul are o influență și asupra mediului de lucru. Mediul global de lucru, dacă este corect proiectat, poate avea un efect stimulator asupra oamenilor care lucrează în acel loc [1.8]. Astăzi se acordă o mare importanță formatului și proiectării interioare a locului de muncă. Iluminatul poate avea aici un rol

important: în timp ce poate scoate în evidență elemente pozitive ale proiectării, poate să și distragă atenția de la acestea, de exemplu printr-o redare slabă a culorilor sau prin efecte de orbire. Astfel de deficiențe conduc deseori la plângeri în legătură cu iluminatul [1.9]. A fost deja menționat că, dacă și când este disponibil, iluminatul natural poate avea un efect pozitiv important. În ceea ce privește aspectul cantitativ, acesta servește în cele mai multe locuri doar ca un supliment al iluminatului artificial. Efectul calitativ pozitiv este în special legat de "vederea de exterior" pe care o oferă. Ar trebui să se acorde o atenție specială efectelor secundare negative ale iluminatului natural cauzate de orbirea excesivă.

1.4 Cerințele unui iluminat de calitate

S-a arătat că pentru a permite oamenilor să realizeze sarcini vizuale eficient, cu acuratețe și în siguranță, în special nivelul iluminării are o influență importantă. Totuși, și alte aspecte de calitate ale iluminatului, anume uniformitatea modelului de iluminare, restricția de orbire și redarea culorilor sunt foarte importante.

Iluminarea neuniformă, cu schimbări abrupte ale luminanței în jurul zonei de lucru, poate conduce la stres vizual și disconfort. Aceasta are legătură cu proprietățile de adaptare ale ochiului. O uniformitate suficientă a iluminării generale va asigura niveluri de iluminare suficient de mari pentru a oferi o libertate completă în modul de plasare a mașinilor și locurilor de lucru.

Orbirea este senzația produsă de strălucirile în câmpul vizual mult mai mari decât strălucirea la care este adaptat ochiul. Aceasta poate conduce la o reducere a performanței vizuale și la disconfort. O orbire prea mare poate conduce chiar la dureri de ochi și de cap. Aceeași problemă poate apărea dacă există diferențe excesive în erorile de strălucire între suprafețele din interior. Este, astfel, important să limităm strălucirea pentru a evita erorile, oboseala și accidentele. Gradul de restricție a orbirii depinde foarte

mult de calitatea optică a corpurilor de iluminat folosite în combinație cu tipul de lampă folosit. Datorită dimensiunilor lor mari, lămpile fluorescente au luminanțe mai mici decât lămpile cu descărcare în gaz, de intensitate mare (lămpi cu mercur, sodiu și ioduri metalice, cu presiune mare). Este ușor de limitat orbirea cu lămpi având luminanțe mici.

Un obiect colorat este perceput ca fiind astfel în virtutea faptului că reflectă doar o parte din lumina incidentă pe el. Vopseaua roșie, de exemplu, reflectă un procentaj mare din lungimile de undă roșii - cu cât mai mare este cantitatea de roșu din lumina incidentă, cu atât mai roșu este obiectul. Modul în care culorile din jurul nostru sunt redare este, astfel, puternic dependent de calitățile de redare a culorilor a iluminatului. Indicele de redare a culorilor, R_a , al unei surse de iluminat este măsura acestei calități. R_a poate avea valori de la zero (fără redarea culorilor) la 100 (redare excelentă a culorilor). Redarea corectă a culorii pielii umane este importantă în mod special. Iluminatul care face ca pielea să arate palidă și nesănătoasă deseori duce la plângeri. Printr-o alegere corespunzătoare a sursei de iluminat (redarea culorilor R_a de cel puțin 80), această problemă este ușor de evitat. Lămpile cu un indice de redare a culorilor mai mic decât 80 dau rezultate inacceptabile în interioarele unde oamenii lucrează sau locuiesc; acestea sunt inacceptabile din punctul de vedere al performanței lucrului, dar de asemenea inacceptabile din punctul de vedere al stării de spirit și dispoziției bune. Cerința pentru un R_a de 80 sau mai mult este în special importantă când se pune problema alegerii tipului corect de lampă tubulară fluorescentă, din cauza multitudinii de lămpi disponibile. Pentru mediile de lucru, doar acele lămpi fluorescente tubulare cu un cod de culoare de 830 sau mai mare satisfac această condiție.

Totuși, în practică, în aproximativ 80% din instalațiile de iluminat se utilizează surse de iluminat cu indici de redare a culorilor mult mai mici. Motivul este, deseori, costul inițial mai mic. Ar trebui să notăm că, totuși,

dacă costul total al instalației (inclusiv costul energiei) este luat în considerare, lămpile moderne cu redare bună a culorilor sunt mai economice.

Multe recomandări și standarde naționale și internaționale specifică numere ale calității iluminatului pentru toate aceste aspecte de calitate pentru o varietate mare de activități și interioare. Tabelul 3 sumarizează aspectele de calitate ale unei instalații de iluminat împreună cu cel mai important parametru al fiecărui aspect.

Ca o ilustrare a calității care se cere în situații diferite, Tabelele de la 4 la 6 prezintă valorile cerute pentru trei tipuri de industrie: industria chimică, centralele electrice și industria tipografică. Aceste cerințe sunt valorile date într-un proiect de standard european (draft 1998) pentru locuri de muncă, care satisfac nevoile de performanță vizuale, confort și siguranță. Desigur, același standard specifică valori pentru multe alte tipuri de industrii. (Valorile specificate pentru iluminarea medie sunt numite și "valori ale iluminării de întreținere": valori sub care iluminarea medie pe suprafața specificată nu este permis să scadă).

Un criteriu de calitate rareori menționat în standarde este frecvența cu care lămpile sunt utilizate. Unii oameni acuză dureri de cap din cauza pâlpâirii lămpilor fluorescente operate pe balasturi magnetice (50 Hz). Lămpile fluorescente pe balasturi electronice moderne operate la frecvență înaltă (în jurul a 30.000 Hz) nu prezintă acest fenomen de pâlpâire. Într-un studiu comparativ s-a găsit că apariția durerilor de cap este, într-adevăr, semnificativ mai mică la utilizarea balasturilor electronice [1.10]. Pe baza influenței sale asupra modelului undelor de bază ale creierului (EEG), un alt studiu descrie lumina fluorescentă produsă de lămpile operate cu balasturi magnetice convenționale, ne-electronice ca o sursă potențială de stres [1.11]. Desigur, balasturile electronice de frecvență mare sunt, de asemenea, recomandate pentru că sunt mai eficiente și asigură o durată de viață mai mare a lămpilor decât în cazul lămpilor operate cu balasturi convenționale.

2 ILUMINATUL. EFECTELE BIOLOGICE ALE ILUMINATULUI

2.1 Aspecte generale

Pâna acum câteva secole în urmă, viața omului a fost influențată de ciclul zi-noapte și de ritmul veghe-somn. O dată cu revoluția industrială și, în special, o dată cu descoperirea energiei electrice, societatea și-a extins gradual perioada activă a zilei, acum îndreptându-ne spre societatea activă timp de 24 de ore. Lucrul în schimburi, inclusiv schimbul de noapte, este deja de mulți ani aplicat în procesele de producție, de exemplu în industria metalurgică și alimentară și spitale. Astăzi, o dată cu globalizarea activităților multor companii, a dezvoltării serviciilor IT și a numeroaselor călătorii intercontinentale, numărul oamenilor care nu lucrează după un program fix cunoaște o ascendență rapidă. În multe țări, o parte substanțială - 15% - 25% - a populației active lucrează într-o altă formă a programului schimbat, fie că este în producție, transporturi sau servicii.

Din timpuri străvechi, beneficiul efectului luminii (naturale) a fost bine cunoscut și utilizat, de exemplu în helioterapie. Terapia luminii în rezolvarea problemelor de sănătate a fost una din cele mai populare metode de terapie până în anii 1930, însă, o dată cu inventarea penicilinei, farmaceutica a trecut în frunte. Datorită importanței luminii în relație cu sănătatea și bunăstarea în ultimii 20-30 de ani, ea a fost redescoperită în urma multelor și variatelor descoperiri biologice și cercetări medicale.

În mod normal noi considerăm ochiul ca un organ al vederii, însă, după descoperirea conexiunilor adiționale dintre ochi și creier, s-a evidențiat că lumina oculară mediază și controlează un mare număr de procese psihice și fiziologice umane. Cele mai relevante descoperiri privind efectele luminii oculare sunt:

- controlul ceasului biologic
- efectele directe (stimulative)
- influența asupra dispoziției.

2.2 Lumina și ceasul biologic

În noua știință a crono-fotobiologiei, lumina este considerată ca cel mai important factor - deseori denumit "Zeitgeber" - în controlul ceasului intern al organismului, localizat în nucleii chiasmatici localizați în hipotalamus [2.1]. Lumina oculară trimite prin intermediul unui sistem nervos separat, semnale ceasului nostru biologic localizat în creier, care determină ritmurile zilnice și anuale (sezoniere) [2.2] a unor variate procese ale organismului. Într-un cadru natural, lumina oculară, în special lumina răsăritului, sincronizează ceasul intern al organismului la ceasul naturii sau la ciclul de 24 de ore zi-noapte determinat de rotația pământului. Fără lumină, acest ceas intern ar funcționa liber cu perioada de 24 de ore și 15 minute și, ca o consecință, ceasul intern va devia zi de zi, din ce în ce mai mult, de ceasul naturii [2.3]. Rezultatul ar fi acela al unui simptom similar cu cel întâlnit la călătoriile peste câteva fusuri orare [2.4].

În figura 2.1 sunt ilustrate câteva ritmuri umane tipice, de notat fiind faptul că acestea au fost netezite, astfel mascându-se anumite efecte (efectul temporar al foamei, setei etc.). Figura evidențiază doar câteva exemple: temperatura corpului, atenția și ritmul hormonal al cortizonului (hormonul stresului) și melantonina (hormonul somnului). Un alt aspect important este, de exemplu, ciclul somn-veghe, somnolența, oboseala, buna dispoziție și performanța.

Cei doi hormoni, cortizonul și melantonina, joacă un rol important în atenție și somn. Nivelul cortizonului crește dimineața pregătind corpul și mintea pentru o nouă zi de activitate. În același timp, nivelul melantoninei scade, reducând somnolența.

Melantonina este cunoscută popular ca hormonul somnului, inducând starea de somnolență. De exemplu, melantonina este utilizată ca somnifer pentru a rezolva problema diferenței de fus orar. Seara, creșterea nivelului melantoninei pregătește ciclul somnului și menține calitatea somnului în timpul nopții, ducând la începutul unei zile

cât mai fructuoase. Lumina are capacitatea de-a suprima direct producerea de melatonină, de exemplu lumina în timpul nopții reduce nivelul melantoninei în cursul unei jumătăți de oră și, de asemenea, lumina dimineții ajută la reducerea nivelului de melatonină, deci la trezire.

Plecând de la aceste exemple este evidentă importanța funcționării corecte a ambelor ritmuri hormonale de-a lungul timpului în care suntem treji și influența directă asupra gradului de atenție (a se vedea de asemenea capitolul 2.4).

Corecta dozare și temporizare a luminii naturale este, deci, foarte importantă pentru a ține ceasurile extern și intern în fază unul cu celălalt, mai ales deoarece ceasul nostru intern reglează ritmul zilnic care este relevant în activitatea noastră cotidiană, cum ar fi atenția, somnolența, oboseala, buna dispoziție, performanța. [2.2]; [2.5].

2.3 Lumina și efectele directe de stimulare a organismului

Efectele stimulative directe ale luminii sunt recunoscute de aproape oricine, mai ales când comparăm vara și iarna, dar de asemenea și în ambianța interioară (de lucru). [2.18]. Aceasta este, parțial, un efect psihologic, dar așa cum s-a ilustrat mai sus, comportamentul corporal își aduce contribuția la aceasta. Diferite niveluri ale luminii produc schimbări ale formei EKG-ului și, ca o consecință, influențează sistemul nervos central, rezultând astfel efecte asupra diferitelor funcții ale organismului. De asemenea, sunt influențate procesele organismului prin înlăturarea de către lumină a melantoninei (a se vedea mai sus).

Recentele descoperiri sugerează pe deasupra și efectele luminii asupra băților inimii, nivelului de insulină etc. [2.19], [2.20], [2.21]. Aceste recente descoperiri arată în mod fundamental un număr crescut de căi nervoase directe sau indirecte de la ochi la diferite glande al corpului uman. Multe din aceste efecte pot fi la fel de bine raportate la ceasul biologic. Cercetarea a ară-

tat că terapia luminoasă este utilă în cazul diferitelor dereglări ale somnului, bolii Alzheimer și multor altele, care sunt subiectul unor viitoare cercetări, ca de exemplu PMS, anorexia, bulimia, sistemul imunitar etc. [2.22], [2.23], [2.24], [2.25].

2.4 Lumină, bună dispoziție și atenție

Buna dispoziție este reflecția simțirii proprii, a stării fizice de bine sau de rău, iar mental, a te simți mai mult sau mai puțin în alertă [2.6]. Alți factori ce influențează dispoziția sunt, de exemplu, și vremea/sezonul [2.7], respectiv în cazul locului de muncă: vederea condițiilor și a ambianței (vizuale).

În domeniul industrial, atenția este de primă importanță deoarece este un factor nu numai pentru buna dispoziție ci și pentru performanță și evitarea accidentelor. Atenția este puternic influențată la un moment dat al zilei de un comportament endogen, aferent unui ceas biologic zilnic, (crescător dimineța, stabil la amiază și descrescător în timpul serii târzii) și de un comportament exogen, descrescător de-a lungul perioadei de trezire. Atenția subiectivă la un moment dat al zilei este combinația acestor două componente, mai puțin probabil ca o sumă a acestora, dar într-o relație mai complexă. Aceasta conduce, de asemenea, la așa numitul dejun -lung (lunch-dip) cu o relativ înaltă înclinație spre somn și, de exemplu, cu un număr crescut de accidente de trafic.

Considerând ritmul atenției (fig. 2.1) nu este remarcabil că multe investigații ale efectelor luminii asupra atenției și nivelului de trezire au fost desfășurate în condițiile unui schimb de producție (de noapte), deoarece la nivel scăzut de trezire și efectele așteptate sunt mai puternice. Figura 2.2 arată efectul a două regimuri de iluminat în trezire ca o funcție de timpul de muncă pentru muncitorii din schimburi [2.8].

Un declin în trezire de-a lungul nopții apare pentru ambele condiții, dar regimul iluminării puternice se concretizează într-o creștere semnificativă a nivelului de trezire.

Alte studii arată că utilizarea unor

niveluri înalte ale iluminatului pentru a face față oboselii sunt conduc spre o stare prelungită de atenție [2.9], [2.10], [2.11]. Aceasta ține de asemenea de conținutul EKG-ului, cu mai puține unde delta (care este un indicator pentru somnolență), ceea ce înseamnă că lumina strălucitoare are o influență alertă asupra sistemului nervos central (a se vedea Fig.2.3) [2.12].

În sfârșit, un studiu al luminii strălucitoare, până la niveluri de iluminare de 5000 lx aplicat în camere de control cu algoritmi controlați de computer, arată că 75% dintre operatori au raportat o mărire a atenției, iar 64% și-au îmbunătățit performanța. Frapant în același studiu al luminii strălucitoare este reducerea accidentelor în cazul întoarcerii acasă după tura de noapte (10% comparativ cu 40%) [2.13].

Alt aspect este cel al deosebirilor sezoniere în buna dispoziție, nivelul energiei și vitalitatea a unei părți considerabile din populație la latitudinea noastră. Studiile cu 145 de funcționari (sănătoși, în tură de zi, folosind pentru cel puțin o oră pe zi un luminator cu lumină strălucitoare asigurând 2500 lx) arată că 62% dintre oamenii raportând mai puține efecte sezoniere negative (pe un VAS: Visual Analogue Scale), rezultând într-o stare de bună dispoziție îmbunătățită, dispoziție și nivel de energie [2.14]. În alte studii de cercetare, efectul stimulant al luminii strălucitoare a fost descoperit în timpul zilei și al nopții ducând spre niveluri înalte de atenție și performanță [2.11], [2.15], [2.16].

În timpul iernii suprimarea melatoninei de către lumina electrică a dimineții (așa numita simulare a răsăritului) ar putea juca un rol important, în special în orele întunecate ale dimineții, deoarece va ajuta oamenii să depășească somnolența dimineții. Stimularea directă poate juca un rol în orele întunecate ale după-amiezei pentru a îmbunătăți concentrarea și atenția.

Nivelul de stres și nemulțumirile au fost studiate la oameni care lucrează în încăperi iluminate electric, în comparație cu oameni lucrând sub o combinație de lumină electrică

și lumină a zilei. Numai cu lumină artificială (același nivel de iluminare) nu se observă nici o diferență în nemulțumirile legate de stres între iarnă și vară [2.17]. Oricum, stresul în grupul cu lumina combinată a fost pe timpul verii mult mai scăzut decât în iarnă (vezi Fig. 2.4).

Se poate presupune că o componentă mai mare a luminii naturale în timpul verii contribuie la numărul redus de plângeri legate de stres. Lumina strălucitoare în timpul iernii așa cum s-a demonstrat într-unul din studiile mai sus menționate poate fi probabil compensată de această diferență [2.14].

Lumina joacă un rol important evident de vreme ce condițiile optice bune și un loc de muncă plăcut va stimula pozitiv buna dispoziție și va contribui prin atenție crescută la reducerea ratelor de accidentare și la creșterea performanței.

2.5 Lumina naturală și lumina electrică

Multe din efectele pozitive menționate sunt obținute ca un rezultat al unor proiecte de cercetare medicale și biologice dovedind că lumina electrică poate fi la fel de eficientă ca lumina naturală. În orice caz, nivelurile de iluminare în spațiile interioare sunt, de obicei, mult mai scăzute decât nivelurile de iluminare minime găsite în exterior, care sunt de ordinul a 1000-2000 lx într-o zi înnoțată (într-o zi însorită nivelurile ajung la 100.000 lx). Nivelurile din încăperile fără contribuție a luminii naturale sunt doar de ordinul a 100-500 lx și, de obicei, depind de cerințele minime conform standardelor sau recomandărilor care sunt în cele mai multe cazuri bazate pe iluminarea orizontală, în timp ce, pentru efectele biologice, este relevantă iluminarea pe ochi. Comparativ cu nivelurile luminii naturale, valorile recomandate ale iluminării pot fi considerate ca "întuneric biologic". Din fericire, în multe cazuri, lumina naturală pătrunde în clădiri cel puțin pentru un număr de ore pe zi, crescând per ansamblu în mod substanțial nivelurile de iluminare în interior. Altă dife-

rență între lumina naturală și lumina electrică este dinamică în nivel și temperatura culorii luminii naturale care lipsește în interiorul fără ferestre.

Este general acceptat că aceste schimbări în lumina naturală au o influență pozitivă asupra bunei dispoziții și stimulează oamenii. În cazul luminii electrice este evident că astfel de schimbări realizate cu ajutorul unui iluminat interior dinamic au un efect pozitiv în buna dispoziție și stimulant asupra oamenilor. Un studiu extensiv realizat în condiții de birou a arătat că oamenii preferă un iluminat electric adițional mai mare (în jur de 800 lx suplimentar față de contribuția luminii naturale care prevalează) [2.28].

Dacă instalațiile actuale ar fi la cele mai recente standarde de iluminare acesta ar fi un pas important în realizarea unei lumini sănătoase la locul de muncă.

2.6 Efectele unei slabe calități a iluminatului

Deși o calitate bună a iluminatului are efecte pozitive asupra sănătății, bunei dispoziții și performanței, ar trebui accentuat faptul că iluminatul insuficient poate conduce la efecte negative chiar și la persoane care nu se plâng de calitatea iluminatului [2.29]. La începutul anilor 90, o mai mare atenție s-a acordat așa numitului Sindrom al Clădirii Bolnave, manifestat prin dureri de cap și iritații ale nasului și ochilor ale lucrătorilor din clădirile cu birouri cu aer uscat, temperatură prea mică sau prea mare. Într-un sondaj de opinie desfășurat în 61 de clădiri din Olanda, jumătate dintre ocupanți se plâneau de calitate aerului, iar 25% pe motive de sănătate și bună dispoziție. În jur de 30% dintre intervieuați au avut de obiectat în privința luminii [2.30].

Desfășurarea activității în condiții de iluminare slabă poate conduce la forțarea ochilor și oboseală, influențând negativ performanțele muncitorilor. Într-un număr de cazuri poate conduce la dureri de cap [2.31]. Cauzele, în multe situații, sunt datorate unui

nivel de iluminare prea scăzut, strălucirea datorată surselor de lumină și a unor rapoarte necorespunzătoare ale luminanței la locul de muncă și pe sarcină. Durerile de cap pot fi cauzate de multe ori de fenomenul de flicker al lămpilor, datorită utilizării balasturilor magnetice controlate în frecvență sau datorită unei mentenanțe necorespunzătoare a sistemului de iluminat. Acest efect de flicker poate de asemenea cauza și stres [2.32].

Balasturile electronice care lucrează la frecvențe înalte, de ordinul a 25.000 Hz, pot fi găsite în comerț de mai mulți ani. Aceste combinații lampă-balast nu prezintă fenomenul de flicker. Apariția durerilor de cap este semnificativ redusă cu aceste tipuri de balast [2.31].

2.7 Concluzii

În concluzie, este evident că condițiile bune de sănătate, atenția ridicată, performanța și buna dispoziție duc la scăderea ratei accidentelor și au o influență pozitivă asupra performanțelor, ceea ce va duce la o rată mai scăzută a absenteismului.

Bună calitate a iluminatului, înțelegând prin aceasta asigurarea cerințelor vizuale și biologice, va contribui substanțial la o mai bună productivitate în cadrul proceselor de producție industrială, ca și la o stare generală de sănătate și bună dispoziție a fiecărui muncitor în parte.

3 Iluminatul și productivitatea

În capitolele anterioare ale lucrării s-a discutat despre relația dintre calitatea iluminatului și performanțele vizuale, efectele biologice și mediul de lucru stimulat. De asemenea, s-au ilustrat aspectele ce privesc viteza de lucru și rata eșecului la reducerea accidentelor, buna dispoziție, atenția și sănătatea. Toți acești factori împreună pot avea un considerabil efect asupra întregii productivități.

Este evident că buna dispoziție și atenția, împreună cu o sănătate corespunzătoare a

muncitorilor din industrie, vor determina descreșterea riscului de accidentare. Accidentele ușoare în mediu industrial, au pe ansamblu un efect pozitiv în performanța. Înalta performanță de muncă, desigur, influențează direct productivitatea în sens pozitiv. La acest efect pozitiv asupra productivității se adaugă un absenteism mai scăzut care duce în mod direct la scăderea accidentelor, îmbunătățește sănătatea și motivația pentru un iluminat de bună calitate.

Evaluările noastre preliminare la toate datele descrise în acest articol conduc la următoarea concluzie: creșterea nivelului de iluminare de la minimul cerut de 300 lx la 500 lx conduce la o productivitate mărită

- cu 10 - 25%, bazat pe o prezumție conservativă;

- cu 10 - 40%, bazat pe o probabilă prezumție mai realistă, dar cu siguranță la mai mult de 10%.

În prezent, multe instalații de iluminat din industrie realizează cu dificultate nivelul (minim) cerut de 300 lx. Acele instalații de iluminat sunt realizate cu vechile corpuri de iluminat deschise (bare battens) cu balasturi electromagnetice convenționale și lămpi fluorescente convenționale. Într-o instalație "mai bună", corpurile de iluminat sunt prevăzute cu un reflector metalic (alb) pentru a preveni iluminarea tavanului.

O instalație de bună calitate va consta dintr-un corp de iluminat cu un sistem optic, care conduce lumina acolo unde este într-adevăr nevoie, prevăzut cu lămpi fluorescente trifosfor cu un indice de redare a culorii de 80 sau mai mult, cu balast electronic (fără flicker, ce operează în înaltă frecvență).

Datorită înaltei eficiențe a iluminatului unei astfel de instalații, precum și a eficacității lămpilor fluorescente și a pierderilor scăzute de energie în balastul de înaltă frecvență, economia de energie poate fi de 70% față de instalațiile existente. În astfel de cazuri, creșterea nivelului de iluminare de la 300 lx la 500 lx va păstra consumul de energie și costurile de operare pentru iluminat.

Investiția pentru o instalație de iluminat de o calitate mai bună și un nivel de iluminare mărit la 500 lx va fi recuperată prin câștigul financiar oferit de creșterea productivității într-o scurtă perioadă de timp, de obicei mai scurtă de un an.

Traducere realizată de
Adrian GLIGOR
și Horațiu GRIF

CONCEPTION/DESIGN OF LIGHTING SYSTEMS FOR URBAN TRAFFIC ROADS

Cornel BIANCHI*,
Camelia BURLACU**

* Technical University of
Constructions, Bucharest

**ELECTRICA S.A., Bucharest

Abstract

The paper treats an up-to-date conception of lighting systems for medium and high speed traffic roads, based on international research, CIE norms and recommendations, corroborated with researches made by Lighting and Electrical Installations Chair within Bucharest Technical University of Constructions and by Romanian National Committee of CIE (CNRI). On this solid base, an approach structure is suggested. It starts with quantitative and qualitative aspects of urban luminous environment in connection with traffic specific requirements/criteria, tackling adequate solution/solutions step-by-step. It also realises necessary calculation structure regarding road luminance values, as well as drivers visual protection about physiological glare and psychological glare. So, an up-to-date treatment of road lighting systems designing is emphasized, that was also applied in Romania, during last years.

1 Introduction

This paper suggests the evidence of modern conception of lighting systems for medium or high speed traffic ways (streets and highways). CIE (Commission Internationale d'Éclairage) researches, experience and recommendations are used, corroborated with experience and researches of Lighting and Electrical Installations Chair of Bucharest Technical University of Constructions (UTCB), Faculty of Installations.

2 Conception of lighting systems for traffic ways

Like any other lighting systems, recommended original structure of lighting systems for traffic ways requires a logical composition including the following component parts (Figure 1):

- A. specific requirements (criteria);
- B. determination of quantitative and qual-

itative components of luminous environment that can satisfy the needs of visual comfort, traffic security, functionality and connected esthetical aspects;

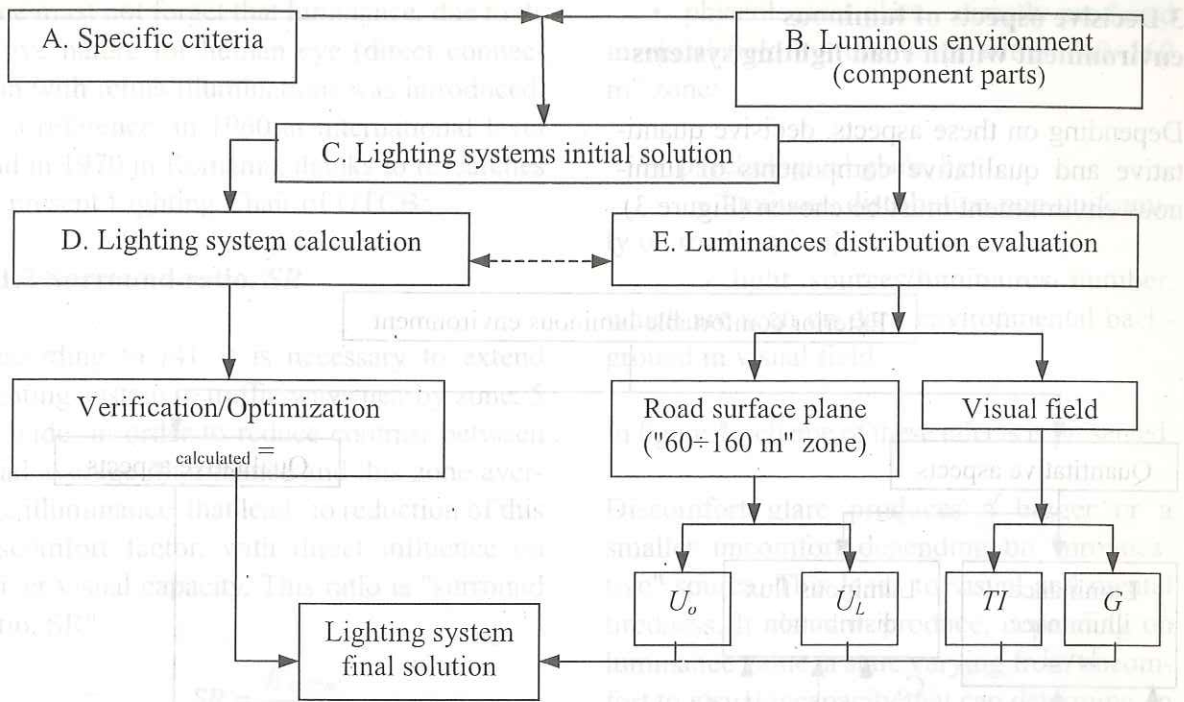
C. selection of system solution on the basis of relevant reasons from stages A and B;

D. quantitative calculations of lighting system on the basis of reference dimension: average luminance (\bar{L}) on road surface;

E. qualitative evaluation of lighting system from luminance distribution and visual field points of view.

Using this algorithm step-by-step, correct final solution can be reached, which can realize decisive quantitative and qualitative requirements.

In Figure 2, these specific criteria of lighting systems for medium and high speed traffic ways are shown; these criteria must be taken into account in conception of lighting systems.



L - average luminance of road surface
 U_o - overall uniformity of road luminance
 U_L - longitudinal uniformity of road luminance
 TI - threshold increment
 G - glare control mark

Figure 1 Structure of lighting systems conception approach for traffic ways

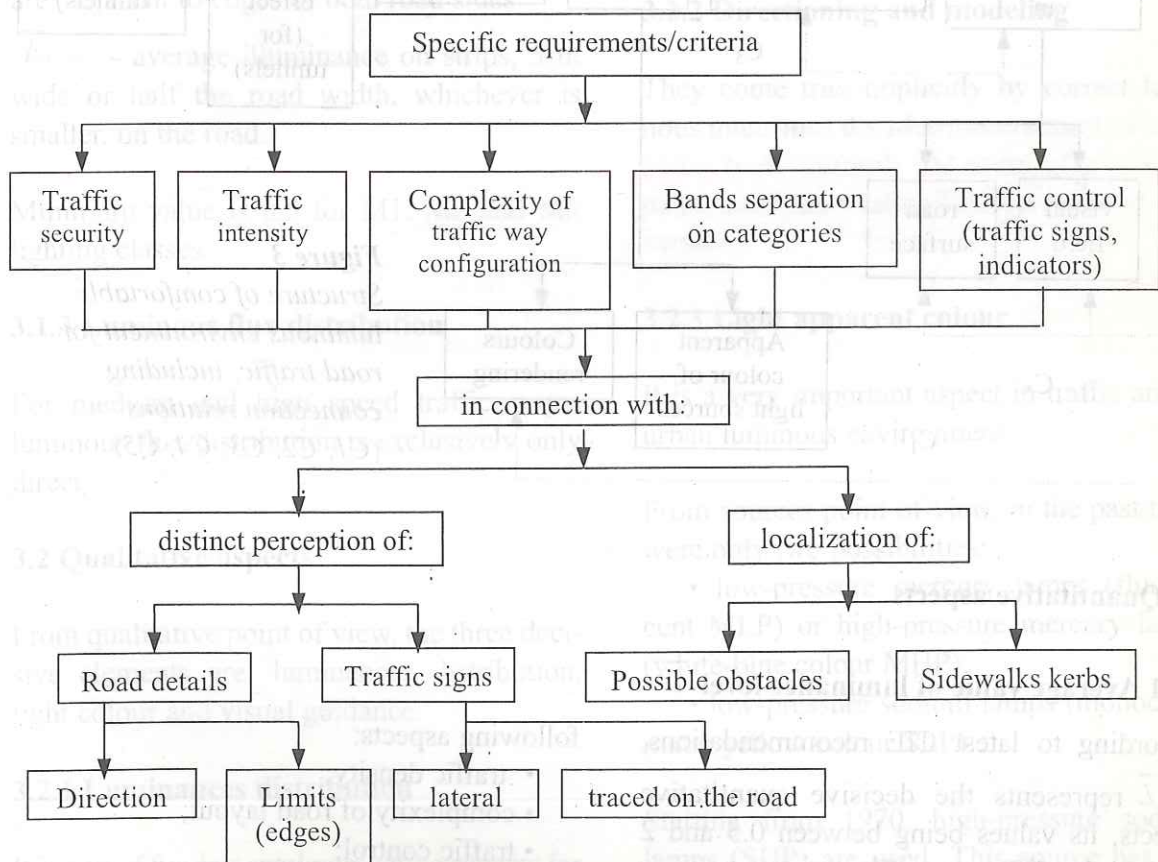


Figure 2 Specific criteria in road traffic

3 Decisive aspects of luminous environment within road lighting systems

Depending on these aspects, decisive quantitative and qualitative components of luminous environment must be chosen (Figure 3).

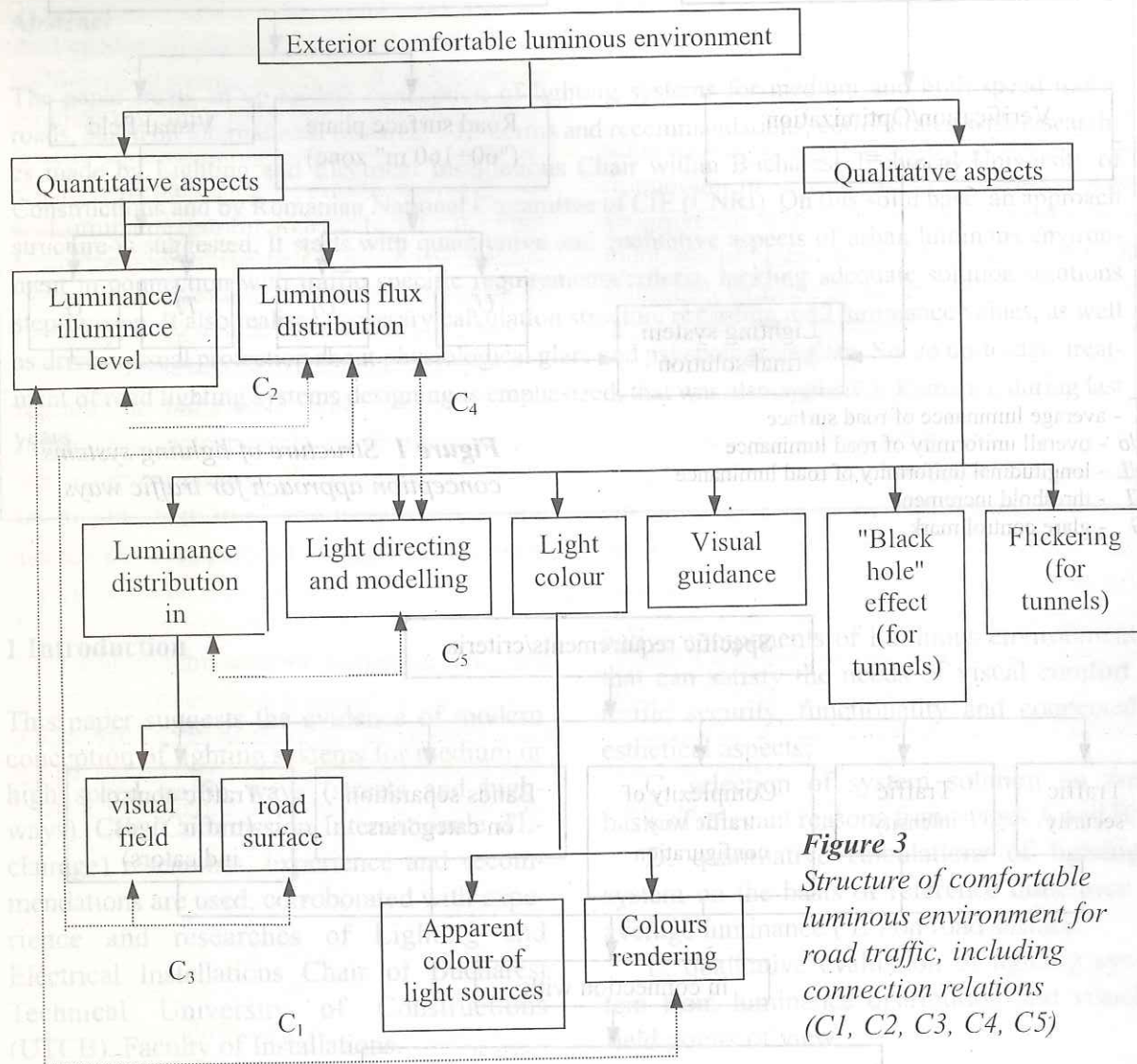


Figure 3
Structure of comfortable luminous environment for road traffic, including connection relations (C1, C2, C3, C4, C5)

3.1 Quantitative aspects

3.1.1 Average value of luminance level \bar{L}

According to latest CIE recommendations, [4], \bar{L} represents the decisive quantitative aspects, its values being between 0.5 and 2 cd.m⁻², for different traffic ways categories (lighting classes: M1, M2, M3, M4, M5). Traffic ways are classified depending on the

following aspects:

- traffic density;
- complexity of road layout;
- traffic control;
- separation of different types of road users.

One must not forget that luminance, due to its active nature for human eye (direct connection with retina illumination) was introduced, as a reference, in 1960 at international level and in 1970 in Romania, thanks to researches of present Lighting Chair of UTCB.

3.1.2 Surround ratio, SR

According to [4], it is necessary to extend lighting system in traffic ways nearby zone, 5 m wide, in order to reduce contrast between road average illuminance and this zone average illuminance, that leads to reduction of this discomfort factor, with direct influence on driver visual capacity. This ratio is "surround ratio, SR":

$$SR = \frac{\bar{E}_{nz,5m'}}{\bar{E}_{r,5m'}} \quad (1)$$

where:

$\bar{E}_{nz,5m'}$ - average illuminance on strips, 5 m wide or less if space does not permit, which are adjacent to edges of both road sides

$\bar{E}_{r,5m'}$ - average illuminance on strips, 5 m wide or half the road width, whichever is smaller, on the road.

Minimum value is 0.5 for M1, M2 and M3 lighting classes.

3.1.3 Luminous flux distribution

For medium and high speed traffic ways, luminous flux distribution is exclusively only direct.

3.2 Qualitative aspects

From qualitative point of view, the three decisive elements are: luminances distribution, light colour and visual guidance.

3.2.1 Luminances distribution

It is one of fundamental qualitative aspects for obtaining traffic comfort and security, by avoiding the two types of glare:

- physiological glare, directly produced in visual field by luminaires within "60÷160 m" zone;
- psychological glare, by:
 - luminous distribution non-uniformity on road surface;
 - light sources/luminaires number, which are seen on dark environmental background in visual field.

In figure 4, scheme of these effects is presented.

Discomfort glare produces a bigger or a smaller uncomfort depending on "provocative" source. This leads to visual and mental tiredness. It also can produce, depending on luminance value, a state varying from uncomfort to visual incapacity that can determine, in extremis, impossibility to distinguish some road elements/structures. Finally, it can lead to control loss besides visual/mental perturbation.

3.2.2 Directioning and modeling

They come true implicitly by correct luminous intensities distribution structure of luminaires (non-uniform) and eventually by luminaires adequate orientation compared to road surface.

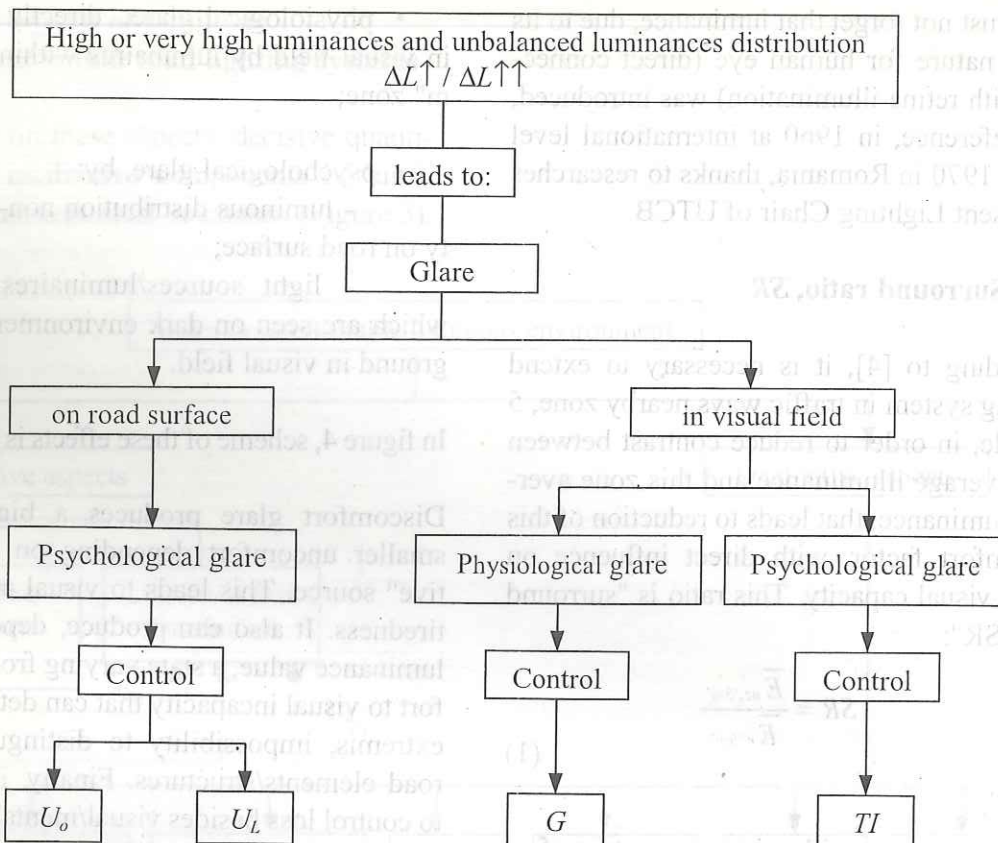
3.2.3 Light apparent colour

It is a very important aspect in traffic and in urban luminous environment.

From sources point of view, in the past there were only two possibilities:

- low-pressure mercury lamps (fluorescent MLP) or high-pressure mercury lamps (white-blue colour MHP);
- low-pressure sodium lamps (monochromatic yellow colour SLP).

Starting from 1970, high-pressure sodium lamps (SHP) are used. This source has distinct qualities from both visual-esthetical and energy performance points of view:



L - average luminance of road surface
 U_o - overall uniformity of road luminance
 U_L - longitudinal uniformity of road luminance
 TI - threshold increment
 G - glare control mark

- visual, thanks to spectral emission "evolute" curve that has maximum value approximately at the same wavelength as "relative visibility curve";

- yellow-gold colour of emission, that creates an exquisite pleasant, warm, attractive and esthetical environment;

- luminous efficacy is double compared to classical high-pressure mercury lamps and with 60÷80% higher than metal halide lamps and fluorescent lamps;

- lifetime (12000÷25000 h) is more than double compared to high-pressure mercury lamps and metal halide lamps.

High-pressure sodium lamp represents optimum solution from colour-visibility-aesthetics-energy consumption points of view, although colours rendering is low, aspect that is not generally irritating in evening/night conditions.

Figure 4 Effects of luminances non-uniform distribution

In Figure 5, qualities of high-pressure sodium lamp are presented. It must be mentioned that the new generation of high-pressure sodium lamp with xenon has a higher efficacy (with ≈20%) compared to standard variant.

3.2.4 Visual guidance

It is a very important qualitative aspect for traffic and can usually be realized by adequate solutions choice depending on road configuration (junction, curve, ramp).

Generally speaking, single-sided arrangement with luminaires along outside of the curve represents an optimum solution for narrow streets (Figure 6).

For wide streets curves, opposite arrangement represents a good visual guidance, compared to staggered arrangement that can create visual confusion (Figure 7).

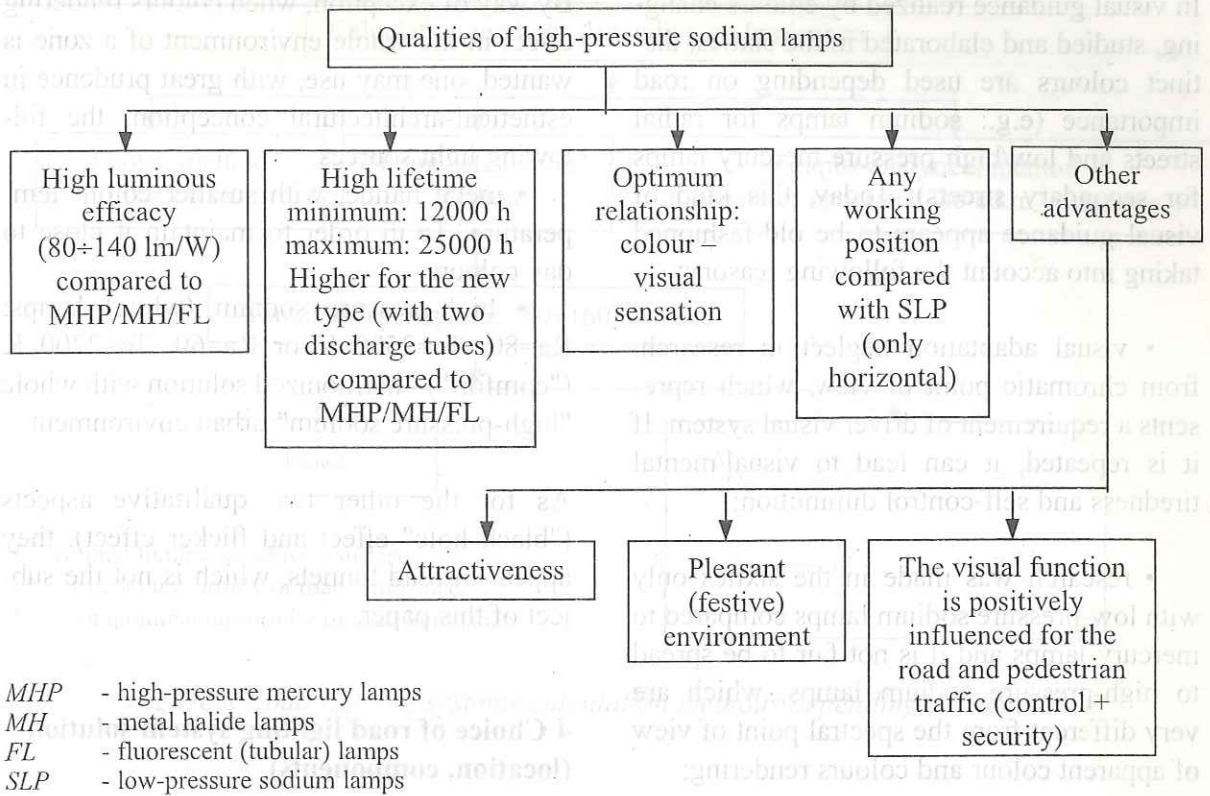


Figure 5 Qualities of high-pressure sodium lamp

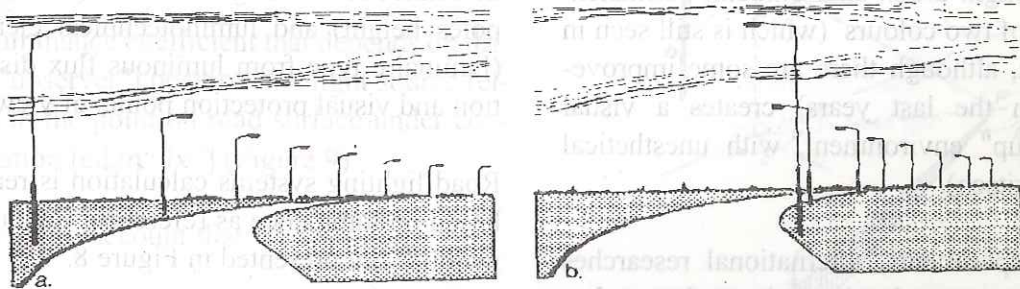


Figure 6 Visual guidance in curves for single-sided arrangements; a - luminaires along outside of curve (good); b - luminaires along inside of curve (confusion)

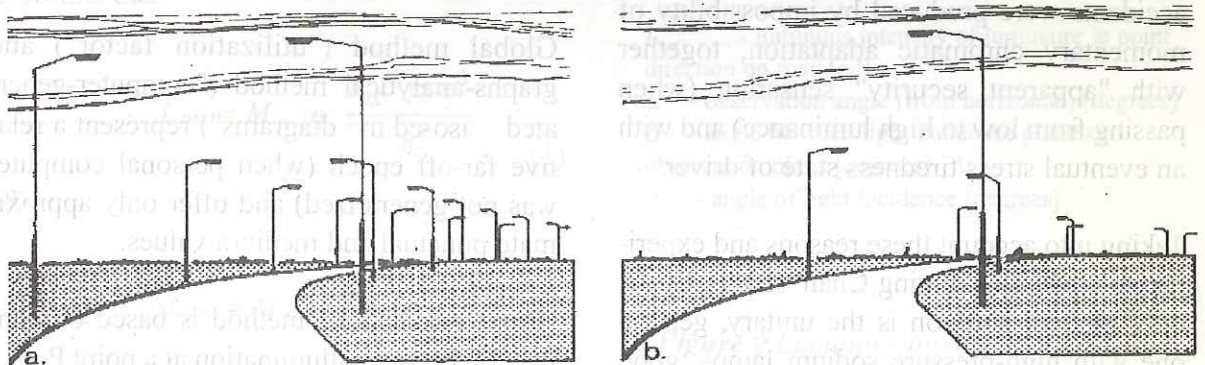


Figure 7 Visual guidance in curves for bilateral arrangement; a - opposite arrangement (good); b - staggered arrangement (confusion)

In visual guidance realized by colours changing, studied and elaborated in the sixties, distinct colours are used depending on road importance (e.g.: sodium lamps for radial streets and low/high pressure mercury lamps for secondary streets). Today, this kind of visual guidance appears to be old-fashioned taking into account the following reasons:

- visual adaptation neglect in research, from chromatic point of view, which represents a requirement of driver visual system. If it is repeated, it can lead to visual/mental tiredness and self-control diminution;

- research was made in the sixties only with low-pressure sodium lamps compared to mercury lamps and it is not fair to be spread to high-pressure sodium lamps, which are very different from the spectral point of view of apparent colour and colours rendering;

- permanent colours change degrades "unitary and harmonious ensemble" image of evening/night urban environment; permanent mixture of two colours (which is still seen in Romania, although there are some improvements in the last years) creates a visual "mixed up" environment, with unesthetical results (kitsch).

Using experiments, international researches proved an aspect harder to be understood at first interpretation: accident risk when passing from white-blue colour (mercury) with low luminance level to warm yellow colour with high luminance level (for main streets). These accidents were produced by impossibility of momentary chromatic adaptation, together with "apparent security" sensation (when passing from low to high luminance) and with an eventual stress/tiredness state of driver.

Taking into account these reasons and experiments made by Lighting Chair of UTCB, the only modern solution is the unitary, general one with high-pressure sodium lamps, good colours rendering not being necessary in traffic and urban environment.

By way of exception, when colours rendering effect in the whole environment of a zone is wanted, one may use, with great prudence in esthetical-architectural conception, the following light sources:

- metal halide, with smaller colour temperature, T_c in order to maintain it close to day colour;

- high-pressure sodium (white) lamps: $R_a=80$, $T_c=2500$ K or $R_a=60$, $T_c=2200$ K ("comfort") - harmonized solution with whole "high-pressure sodium" urban environment.

As for the other two qualitative aspects ("black hole" effect and flicker effect), they appear in road tunnels, which is not the subject of this paper.

4 Choice of road lighting system solution (location, components)

It is realized based on luminous environment quantitative and qualitative analyzed aspects, in connection with geometrical (road width, poles height) and luminotechnical elements (luminaire type from luminous flux distribution and visual protection points of view).

Road lighting systems calculation is realized based on luminance as reference. Calculation methods are presented in Figure 8.

Of course, "point calculation" method is the most used today in modern lighting software and offers pertinent and sure analysis possibility of whole "controlled" zone.

Global method ("utilization factor") and graphs-analytical method ("computer-generated iso-cd.m⁻² diagrams") represent a relative far-off epoch (when personal computer was not generalized) and offer only approximate punctual and medium values.

"Point calculation" method is based on connection between illumination at a point P, E_{PH} and corresponding luminance, L_{PH} :

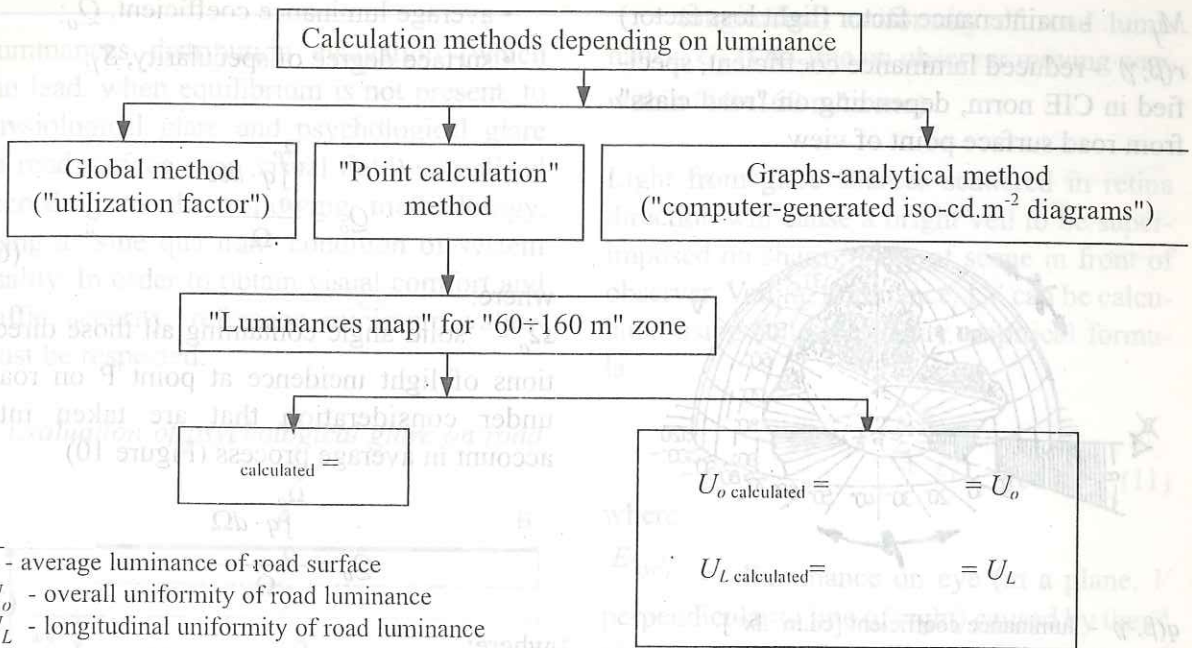


Figure 8 Road lighting systems calculation methods depending on luminance

$$L_{PH} = q \cdot E_{PH} [\text{cd.m}^{-2}] \quad (2)$$

where:

q - luminance coefficient that depends on driver ("observer") position and light source relative to the point on road surface under consideration [$\text{cd.m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$] (Figure 9)

Taking into account that:

$$E_{PH} = M_f \cdot \frac{I_{\bar{a}c} \cdot \cos^3 \bar{a}}{h^2} \quad (3)$$

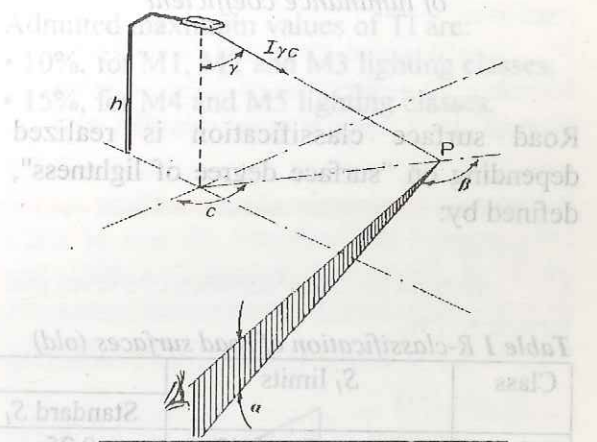
It results that:

$$L_{PH} = M_f \cdot q \cdot \frac{I_{\bar{a}c} \cdot \cos^3 \bar{a}}{h^2} \quad (4)$$

or:

$$L_{PH} = M_f \cdot \frac{I_{\bar{a}c} \cdot r(\hat{a}, \bar{a})}{h^2} \quad (5)$$

where:

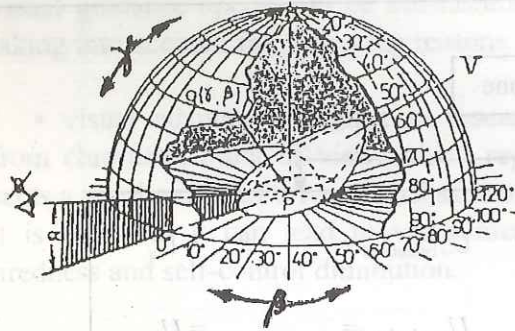


$I_{\gamma C}$ - luminous intensity of luminaire in point direction on road [cd]
 α - observation angle (from horizontal) [degrees]
 β - angle between light incidence plane and observation plane [degrees]
 γ - angle of light incidence [degrees]

Figure 9 Luminous intensity and decisive angles

M_f - maintenance factor (light loss factor)
 $r(\beta, \gamma)$ - reduced luminance coefficient, specified in CIE norm, depending on "road class" from road surface point of view.

- average luminance coefficient, Q_o ;
- surface degree of specularity, S_f .



$q(\beta, \gamma)$ - luminance coefficient [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$]
 α - observation angle (from horizontal) [degrees]
 β - angle between light incidence plane and observation plane [degrees]
 γ - angle of light incidence [degrees]
 V - volume of reflected intensities distribution

Figure 10 Spatial representation of luminance coefficient

Road surface classification is realized depending on "surface degree of lightness", defined by:

$$Q_o = \frac{\int_0^{\Omega_o} q \cdot d\Omega}{\Omega_o} \quad (6)$$

where:

Ω_o - solid angle containing all those directions of light incidence at point P on road under consideration that are taken into account in average process (Figure 10)

$$Q_o = \frac{\int_0^{\Omega_o} q \cdot d\Omega}{\Omega_o} \quad (7)$$

where:

- $r(0, 2)$ - reduced luminance coefficient for $\beta=0$ and $\gamma=2$
- $r(0, 0)$ - reduced luminance coefficient for $\beta=0$ and $\gamma=0$

Depending on S_f and Q_o , road surfaces classification can be realized in:

- four classes, according to CIE old system (Table 1);
- two classes, according to CIE new system (Table 2).

Table 1 R-classification of road surfaces (old)

Class	S_f limits	R system		Reflection type
		Standard S_f	Normalized Q_o	
R I	$S_f < 0.42$	0.25	0.10	diffuse
R II	$0.42 \leq S_f < 0.85$	0.58	0.07	approximately diffuse
R III	$0.85 \leq S_f < 1.35$	1.11	0.07	slightly glossy
R IV	$1.35 \leq S_f$	1.55	0.08	glossy

Table 2 C-classification of road surfaces (new)

Class	S_f limits	Standard S_f	Normalized Q_o
C I	$S_f < 0.4$	0.24	0.10
C II	$S_f \geq 0.4$	0.97	0.07

Luminances distribution evaluation (which can lead, when equilibrium is not present, to physiological glare and psychological glare on road surface or in visual field) is realized according to the following methodology, being a "sine qua non" condition of system quality. In order to obtain visual comfort and traffic security, reference minimum values must be respected:

a. Evaluation of psychological glare on road

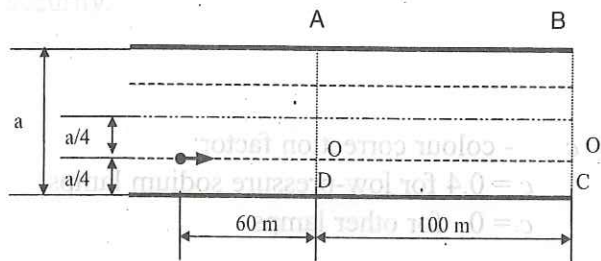


Figure 11 Determination of U_o and U_L factors

plane is realized using (Figure 11):

- overall uniformity of road luminance, U_o (ABCD surface);

- longitudinal uniformity of road luminance, U_L (OO' line on observer moving way, within "60÷160 m" zone).

Light from glare sources scattered in retina direction will cause a bright veil to be superimposed on sharp image of scene in front of observer. Veiling luminance, L_V can be calculated using Stiles-Holladay empirical formula:

$$L_V = k \cdot \sum_{i=1}^n \frac{E_{eye'i}}{c_i^2} \quad [\text{cd.m}^{-2}] \quad (11)$$

where:

$E_{eye'i}$ - illuminance on eye (in a plane, V perpendicular to line of sight) caused by the i^{th} glare source, S_i [lx] (Figure 12)

θ_i - angle between viewing direction and direction of light incidence on eye of the i^{th} glare source, S_i [degrees]

k - age factor (for calculation purposes taken as 10)

Admitted maximum values of TI are:

- 10%, for M1, M2 and M3 lighting classes;
- 15%, for M4 and M5 lighting classes.

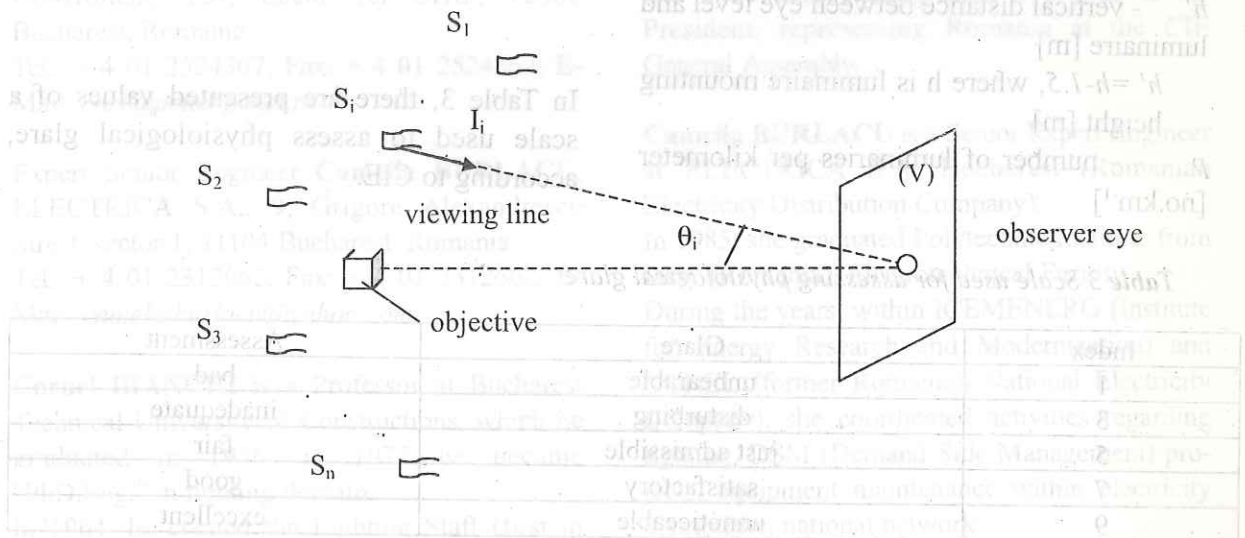


Figure 12 Determination of veiling luminance, L_V on observer retina

c. Evaluation of physiological glare
is realized using glare control mark, G.

After tests realized using a large number of observers, international research elaborated an empirical formula for G:(12)

where:

$$G = 13.84 - 3.31 \cdot \log I_{80} + 1.3 \cdot (\log \frac{I_{80}}{I_{88}})^{0.5} - 0.08 \cdot \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \cdot \log F + 0.97 \cdot \bar{L} + 4.41 \cdot \log h' - 1.46 \cdot \log p + c$$

I_{80} - absolute luminous intensity at an angle of 80° to downward vertical, in a vertical plane parallel to road axis [cd]

I_{80}/I_{88} - ratio of luminous intensities at an angle of 80° and at an angle of 88° to downward vertical, in a vertical plane parallel to road axis

F - orthogonal projected flashed area of luminaire in a direction of 76° to downward vertical, in a vertical plane parallel to road axis [m²]

\bar{L} - average luminance of road surface .
[cd.m⁻²]

h' - vertical distance between eye level and luminaire [m]

$h' = h - 1.5$, where h is luminaire mounting height [m]

p - number of luminaries per kilometer
[no.km⁻¹]

c - colour correction factor:

$c = 0.4$ for low-pressure sodium lamps

$c = 0$ for other lamps

Formula for G is valid for following ranges of values:

$$50 < I_{80} < 7000$$

$$1 < L < 50$$

$$0.007 < F < 0.4$$

$$0.3 < I_{80}/I_{88} < 7$$

$$5 < h' < 20$$

$$20 < p < 100$$

number of luminaires rows = 1 or 2

In Table 3, there are presented values of a scale used to assess physiological glare, according to CIE.

Table 3 Scale used for assessing physiological glare

Index	Glare	Assessment
1	unbearable	bad
3	disturbing	inadequate
5	just admissible	fair
7	satisfactory	good
9	unnoticeable	excellent

5 Conclusions

This paper offers a modern conception structure of lighting systems for medium and high speed traffic roads (streets, highways, tunnels, passages) on the basis of decisive aspects:

- specific criteria of connection with luminous environment;
- calculation depending on luminance;
- evaluation of luminances distribution.

This is a complex modality that leads to accomplishment of a lighting system capable to provide for traffic luminous comfort and security.

References

1. Bianchi C., Luminotehnica, vol. I, II, Ed. Tehnica, Bucuresti, România, 1990
2. Bianchi C., s.a., Culoarea aparenta a luminii în sistemele de iluminat urban, Light & Lighting 2000 Proceedings, Bucuresti, România, 2000
3. Bommel, Van W.J.M., De Boer J.B., Road Lighting, PHILIPS Library, Eindhoven, Holland, 1980
4. CIE, Recommendation for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, Publication no. 115, Vienna, Austria, 1995
5. PHILIPS, Lighting Manual, 5th Edition, Eindhoven, Holland, 1993
6. Manualul inginerului de instalatii, Partea I-a: Iluminat, în curs de aparitie
7. ASRO, ILUMINATUL CAILOR DE CIRCULATIE. Conditii de iluminat pentru cai de circulatie destinate traficului rutier, pietonal si/sau ciclistilor si tunelurilor /pasajelor subterane rutiere, SD 13433:1999, Bucuresti, România, 1999

Paper presented at the International Conference ILUMINAT 2001, June 28-30, 2001, Cluj-Napoca

Professor PhD. Engineer **Cornel BIANCHI**, Technical University of Constructions, Faculty of Installations, Lighting and Electrical Installations Department, 124, Lacul Tei Blvd., 72305 Bucharest, Romania
Tel.: + 4 01 2524367; Fax: + 4 01 2524367; E-Mail: cnri@pcnet.pcnet.ro

Expert Senior Engineer **Camelia BURLACU**, ELECTRICA S.A., 9, Grigore Alexandrescu Street, sector 1, 71104 Bucharest, Romania
Tel.: + 4 01 2312662; Fax: + 4 01 2312662; E-Mail: cameliaburlacu@yahoo.com

Cornel BIANCHI is a Professor at Bucharest Technical University of Constructions, which he graduated in 1956; in 1972 he became "PhD.Eng." in lighting domain.
In 1964, he created the Lighting Staff (first in Romania) and in 1992 - the Lighting Chair, first in Romania and Eastern Europe.
Starting 1990, he is a leader of doctor's degree.
From 1974 till 1992, he represented Romania at Division 3 of CIE; in 1999, he was awarded with

CIE Certificate.

Within CNRI (Romanian National Committee of CIE), he was the Vice-President between 1982 and 1990 and, starting from 1990, he is the President, representing Romania at the CIE General Assembly.

Camelia BURLACU is a Senior Expert Engineer at ELECTRICA S.A. Bucharest (Romanian Electricity Distribution Company).

In 1985, she graduated Polytechnic Institute from Iassy (Romania), Electrotechnical Faculty.

During the years, within ICEMENERG (Institute for Energy Research and Modernization) and CONEL (former Romanian National Electricity Company), she coordinated activities regarding lighting, DSM (Demand Side Management) projects, equipment maintenance within electricity distribution national network.

Starting from 1992 she is a member of CNRI (Romanian National Committee of CIE) and, from November 1999, she is the secretary for international relations of CNRI.

QUICK, RATIONAL AND ACCURATE LUMEN METHOD USING MINIMUM AVAILABLE DATA

Paul DINCULESCU
"Politehnica" University
of Bucharest

Abstract

One propose to patch together the various existing lumen methods and the CIE methods into a single, efficient, expeditious and more accurate method for the design and for the verification of a lighting installation in an interior by maintaining all their important particularities. The metd uses analytical relationships for more accurate establishing of utilization factors for all room surfaces, using a minimum available data concerning the considered luminaire (i.e. flux code or the average luminous intensity distribution) and general data (average geometric multipliers for CIE reference room and luminaire arrangement, as a function of the room index). If the manufacturer does not supply the flux code, this may be easily calculated. The use of tabulated specific utilization factors and indispensable interpolations are avoided. The results are practically few different from those referring to a certain room shape and luminaire arrangement. The correction factors may be avoided. As for another methods, the proposed method applies to luminaires considered as point sources characterized by their average luminous intensity distribution.

1 Lighting installation models and denotements

The general model for interior general lighting calculations using the lumen method consists of a rectangular parallelepiped whereby the following diffusely reflecting surfaces are delimited (fig. 1):

- three material surfaces S_1, S_2, S_3 (the ceiling, the frieze and the four walls lumped together) characterized by their areas $A_1 = ab, A_2 = 2h'(a+b), A_3 = 2h(a+b)$ and reflectances r_1, r_2, r_3 ;
- the working plane S_4 (material or immaterial) surface, having an area $A_4 = ab$; due to the fact that it isn't always a continuous, homogenous surface, an equivalent reflectance r_4 may be given to it;
- an immaterial surface defined by the plane of luminaires S_5 .

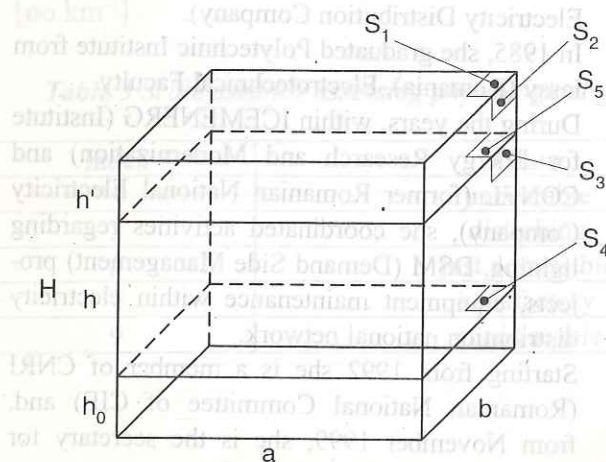


Figure 1 General calculation model

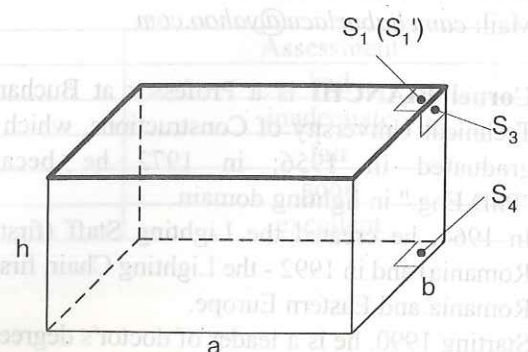


Figure 2 Simplified calculation model

To designate photometric characteristics and geometric characteristics the suffixes 1, 2, 3, 4 and 5 are respectively used.

Generally, illuminances on the room surfaces are given by the final luminous fluxes obtained as a result of the combined effect of direct- and interreflected fluxes.

One denotes: Φ_{li} - installed lamp flux; Φ , Φ_{\downarrow} , Φ_{\uparrow} - installed luminaire fluxes (total, downward and utile respectively); $f = \Phi/A_p$, $f_{\downarrow} = \Phi_{\downarrow}/A_p$, $f_u = \Phi_{\uparrow}/A_4$ - flux densities of the interior (total, downward and utile respectively); Φ_c - luminous flux from a luminaire; Φ_{lc} - lamp flux of a luminaire; Φ_{oi} - direct fluxes, Φ_i - final fluxes; $U_i = \Phi_i/\Phi$ - utilances; $U_{ri} = E_i/f$ - reduced utilances; $u_i = \Phi_i/\Phi_{li}$ - utilization factors; A_i - areas; $E_i = \Phi_i/A_i$ - final illuminances; r_i - (average) reflectances; N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 - identifying numbers of a luminaire (flux code); $R_d = \Phi_{oi}/\Phi_{\downarrow}$ - direct ratio of the installation [1, 2].

Room index $K = ab/h/(a+b)$, ceiling-cavity index $K_c = ab/h'/(a+b)$ and suspension height ratio $J = h'/(h+h')$ are defined (h - mounting height, h' - suspension height).

Form factor from a surface j to a surface i [3] is denoted by f_{ji} (sometimes substituted for q_{ji} to avoid confusion with flux densities).

Two simplified three-surface models may be used instead of the general model. In the simplified models the ceiling and the frieze (ceiling cavity) is substituted for:

a) a single flat surface S_1' (fig. 2) coinciding with the surface S_5 (flat equivalent ceiling) having the area A_1 and an equivalent reflectance r_{1e} depending on r_1, r_2, K_c respectively on r_1, r_2, K, J [4, 5];

b) a single concave surface S_1' having the area $A_1 + A_2$ (concave equivalent ceiling) and the average reflectance r_c depending on A_1, A_2, r_1, r_2 [4, 5].

By comparing the three models described above, one can find that the general four-surface model is more complete but the relation for computation of the flux densities or illuminances are more complicated. More simple relations characterize the both simplified three-surface models and it follows from the calculation that they give identical results, very close to the general model results [5].

2 Comparison of different existing lumen methods used in lighting calculations

It has been shown [6] that in calculating the interior lighting the existing utilization factor methods are actually identical with the CIE methods [1, 2], all of them representing only versions on applying the general flux transfer theory, as it is briefly exposed in Annex.

With the same procedure for determining the direct flux distribution as well as by using properly calculated tables of coefficients and/or of utilization factors, both the CIE methods and any other version of the lumen method give identical results in calculating either final luminous fluxes or illuminances on the room surfaces. Despite all appearances, even coefficients for computing fluxes or illuminances are essentially the same.

All existing methods have as common traits:

- starting from a reference arrangement of luminaires in a reference interior;
- assumptions regarding evaluation of room reflectances, illuminance uniformity, inter-reflection circumstances.

Though, the CIE methods have important advantages such as:

- an accurate and quick determination, for any arrangement of luminaires and shape of the interior, either of direct fluxes or of their contribution to the final illuminances without necessarily calculate their own values;

- establishing and using the flux code of a luminaire as a main photometric datum (at least for symmetrical point sources);
- computation of illuminances on all room surfaces;
- eliminating the need to produce utilization factors table for each luminaire type.

Besides that, the CIE methods have some major disadvantages among which one can enumerate:

- they make use of some quantities not having an obvious physical meaning (e.g. installed flux density, reduced utilance, reduced utilization factor, exchange coefficient etc);
- they are difficult to understand and complicate to use;
- they require two sets of relationships used to design an respectively to verify an installation and therefore, two sets of tables for a single (and sometimes irrelevant) value of the suspension height ratio;
- many tables have been elaborated depending on a given luminaire classification to which many existing luminaires cannot be easily affiliated.

On the other hand, both the CIE methods and the other lumen methods use tabulated data (coefficients for computing flux densities, illuminances or final fluxes, values of utilances or of utilization factors). This is a reminiscence of times when calculation means were still rudimentary. Frequently the number of required tables is great enough. By using tables one must perform numerous uncomfortable interpolations and insert correction factors. Moreover, tables cannot cover all practical cases involved in lighting design.

Under the conditions of computer-aided design, it is preferable to dispose of analytical relationships to directly calculate the quantities of interest for any value of reflectances, of room index and of suspension height ratio.

3 Basic relations

For the reason above (§ 1), the common used model of an installation considers the luminaires mounted on a flat ceiling and the ceiling reflectance either r_1 (for $J = 0$) or r_{1e} (for $J \neq 0$).

Only three surfaces (denoted S_1, S_3, S_4) and the corresponding direct fluxes ($\Phi_{01}, \Phi_{03}, \Phi_{04}$) and final fluxes (Φ_1, Φ_3, Φ_4) are therefore taken into account.

For evaluating the interreflections one uses the form factors f_{ij} between room surfaces, based on the final flux distribution; the inertia of the human eye cannot allow the perception of each reflection separately.

By solving the set of simultaneous equations of flux transfer written for all model surfaces

$$\Phi_i = \Phi_{0i} + \sum_j f_{ji} r_j \Phi_j \quad (i=1,3,4; \quad j=1,3,4) \quad (3.1)$$

one can obtain the relationship either between direct and final fluxes or between flux densities and final illuminances:

$$[\Phi_0] = [C] \cdot [\Phi] \quad (3.2)$$

$$[f] = [D] \cdot [E], \quad (3.3)$$

where $[\Phi_0]$, $[\Phi]$, $[f]$, $[E]$ are three-row vectors and $[C]$, $[D]$ result as square 3×3 numerical matrices.

The solution of the set (3.2), (3.3) may be written as

$$[\Phi] = [F] \cdot [\Phi_0], \quad \text{where } [F] = [C]^{-1}, \quad (3.4)$$

$$[E] = [I] \cdot [f], \quad \text{where } [I] = [D]^{-1}. \quad (3.5)$$

Coefficients [C], [D], [F] and [I] are expressed in terms of reflectances and, by means of form factors, of room index and suspension height ratio [4, 5].

This common approach can be considered as a source of all existing relationships that a number of countries have developed as their own individual methods in lighting calculations using the lumen method.

The points of difference from one method to another are confined in the main to:

a) the way that the direct flux distribution and interreflections are dealt with; b) the coefficients used; c) the quantities involved.

One can easily show (see Annex) that all these well-known methods used in lighting calculations for interior lighting may be derived from the basic relations above.

Each method comprises a number of specific tables of coefficients for classical ("manual") calculation of fluxes and/or illuminances.

4 Proposed method

4.1 Principles

Taking into account the exposed considerations both for and against concerning main lumen methods, it is useful to reexamine the present CIE methods in order to:

- patch the two methods together and maintain all their important particularities concerning especially the use of the flux code of a luminaire and calculation of direct fluxes;
- eliminate their useless particulars such as correction factors for unusual luminaire arrangements or where their values are too low to be taken into consideration;
- use quantities with an immediate physical meaning;
- make them more versatile (e.g. by reducing the number of formulas and/or tables);
- make them applicable by using computer-aided design by using either specific or general calculation programs (e.g. Mathcad, Matlab).

Such a revised method can be recommended as an *improved utilization factor method* that:

- is logical and conceptual simple;
- is closer to the physical meaning;
- needs only one set of relationship both for the design and for the verification procedure through the agency of utilization factors;
- can provide fluxes to all room surfaces;
- may also make use of a simplified model for the interior;
- uses only a single form factor (referring to rectangular parallel identical surfaces); one may dispense from exchange coefficients;
- may be conceived to provide procedures both for computer-aided design and for classical ("manual") calculations as well as for partly computer-aided calculations.

To perform either the design or the verification of an installation using the *utilization factor method based on the CIE methods*, the following technical data are needed: dimensions of the interior, room reflectances, luminous flux of a lamp (Φ_l), maintenance factor ($\delta < 1$), desired average illuminances on room surfaces (E_1, E_3, E_4), number of lamps in a luminaire (n_l). The Photometric Data Sheet (PDS) must contain luminous flux distribution of a luminaire only, in the form of flux code $N_1 \dots N_5$. If the manufacturer does not supply this datum, only the average luminous intensity distribution (shown preferably in tabular form or in the form of a polar diagram) is needed to calculate the flux code. Moreover, a table containing the average geometric multipliers must be available independently of the luminaire used. One exempts

from specific utilization factor(s) table.

At the beginning one may be content with a CIE reference arrangement of luminaires in a reference interior for which reference geometric multipliers are known (or may be calculated) in terms of room index. Should it be necessary to depart from the standard luminaire arrangement or from the reference shape of the interior, the actual arrangement and the actual shape can be considered in a second iteration and the actual geometric multipliers can be computed by using specific relationships and calculation programs. One finds that the results are practically few different.

Utilization factor defined for a surface S_i is the single quantity to be determined. The definition of the utilization factor (§ 1) gives the main relationship used in calculations:

$$u_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{II}} = \delta \frac{E_i A_i}{N_l \Phi_l} \quad (4.1.1)$$

where N_l is the numbers of lamps in the installation. This simplest relationship serves both for the design and for the verification procedure.

Taking into account that, as in the CIE methods, there is no solution for any set of the three desired illuminances, in the design procedure it is preferable to consider firstly the requirement for the working plane only (and use the corresponding utilization factor), select the luminaire and the luminaire arrangement, then pass to the verification procedure and compare provided and given illuminances for all surfaces. If the requirements for the walls and the ceiling cavity are not achieved one can try to select another luminaire.

4.2 Calculation of the utilization factors

To calculate the utilization factors it is useful to adopt the simplified model of the installation (flat equivalent ceiling) and start from the relation (2.1.4).

The luminous flux Φ_l and respectively the illuminance E_l calculated by using the three-surface model refer to the equivalent ceiling. Therefore, the final flux on the ceiling-cavity surfaces has to be calculated for suspended luminaires by multiplying that flux by the coefficient of multiple reflections on the ceiling-cavity surfaces [4]:

$$\kappa_c = (K_c + 2)^2 / [(K_c + 2)^2 - 2(K_c r_1 + 2r_2)] \quad (4.2.1)$$

The reflectance of the equivalent ceiling may be calculated by the relationship [4]:

$$r_{1e} = K_c (K_c r_1 + 2r_2) / [(K_c + 2)^2 - 2(K_c r_1 + 2r_2)] \quad (4.2.2)$$

The matrix [C] in (2.1.4) has been found [4,II] as

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & -(1-f_{45}) \cdot K/2 \cdot r_3 & -f_{45} \cdot r_4 \\ -(1-f_{45}) \cdot r_{1e} & 1 - [1 - (1-f_{45}) \cdot K] \cdot r_3 & -(1-f_{45}) \cdot r_4 \\ -f_{45} \cdot r_{1e} & -(1-f_{45}) \cdot K/2 \cdot r_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2.3)$$

Using the conservation and reciprocity relationships between form factors [4,II], only form factor between parallel flat surfaces either f_{45} (the case of suspended luminaires) or f_{4l} (ceiling mounted luminaires) is finally used:

$$f_{45} = \frac{2}{\pi} \cdot \left[\frac{\sqrt{a_*^2 + 1}}{a_*} \cdot \arctg \frac{b_*}{\sqrt{a_*^2 + 1}} + \frac{\sqrt{b_*^2 + 1}}{b} \cdot \arctg \frac{a_*}{\sqrt{b_*^2 + 1}} - \frac{1}{a_*} \cdot \arctg b_* - \frac{1}{b_*} \cdot \arctg a_* + \frac{1}{2a_* b_*} \cdot \ln \frac{(a_*^2 + 1)(b_*^2 + 1)}{(a_*^2 + b_*^2 + 1)} \right] \quad (4.2.4)$$

where

$$a_* = \frac{a}{h} = \frac{\mu + 1}{\mu} K, \quad b_* = \frac{b}{h} = (\mu + 1)K; \quad \mu = \frac{b}{a} \quad (4.2.5)$$

A very good approximation is obtained by the relation:

$$f_{45} = \exp\left(-\frac{0,92}{K}\right) + \frac{0,02675}{K} - 0,011 \quad (4.2.6)$$

The relation:

$$f_{45} = \frac{\sqrt{K^2 + 1} - 1}{K} \quad (4.2.7)$$

also gives a good approximation.

Table giving f_{45} as a function of room index for standard rooms may be available as an alternative.

For ceiling mounted luminaires $r_{le} \rightarrow r_l, f_{45} \rightarrow f_{l4}, k_c \rightarrow 1$.

It follows from the calculations:

$$\begin{aligned} u_1 &= \kappa_e \{F_{11} + [F_{12} - F_{11} + (F_{13} - F_{12})R_d]N_4\}N_5 \\ u_3 &= \{F_{21} + [F_{22} - F_{21} + (F_{23} - F_{22})R_d]N_4\}N_5 \\ u_4 &= \{F_{31} + [F_{32} - F_{31} + (F_{33} - F_{32})R_d]N_4\}N_5 \end{aligned} \quad (4.2.8)$$

The direct ratio R_d is given by the relation:

$$R_d = M_1 N_1 + M_2 N_2 + M_3 N_3 + M_4, \quad (4.2.9)$$

where $M_1 \dots M_4$ (average geometric multipliers for the reference arrangement of luminaires in a standard room) are known as a function of room index [2].

Coefficients F_{ij} may be calculated by using relationships derived from the inversion of 3x3 matrices [4,III]. The simplest way consists in using the numerical matrix [C] by substituting the values of quantities involved and applying a fast method of inversion (e.g. MATHCAD or MATLAB procedures). Simple procedures are also used to calculate k_c, r_{le}, R_d (including interpolations for geometric multipliers corresponding to intermediate values of K) and finally utilization factors.

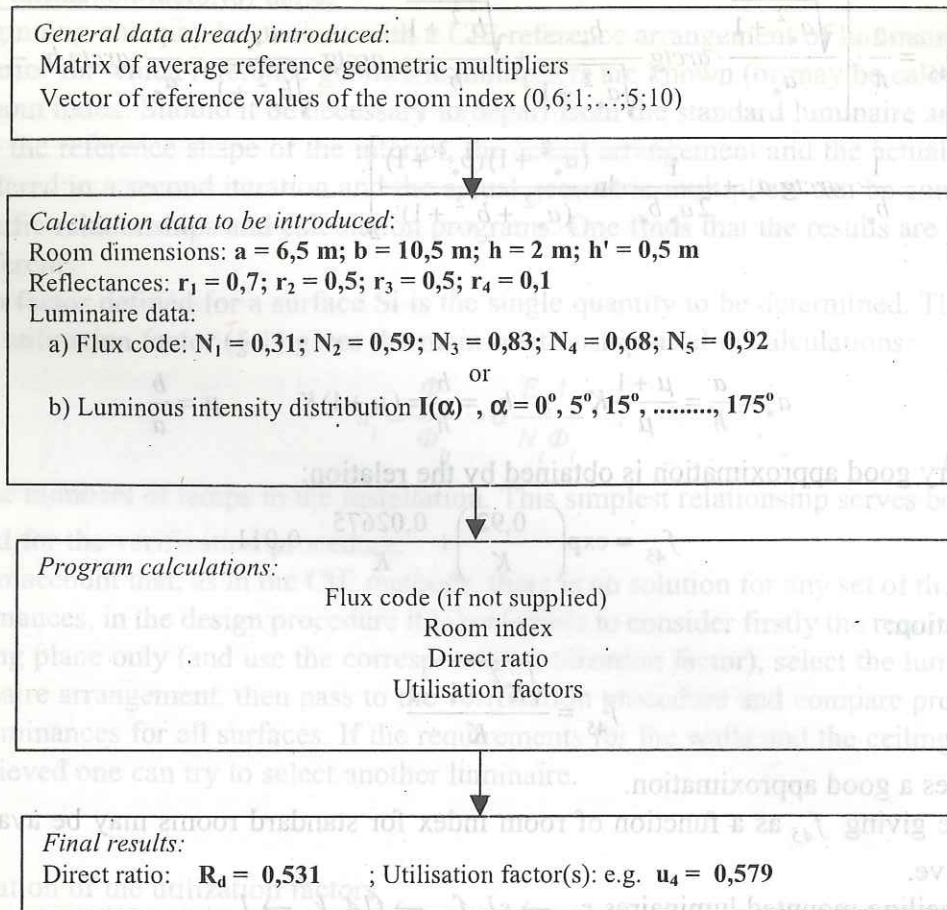


Figure 3 Calculation of direct ratio and utilization factors

Denoting

$$\begin{aligned}
 B_{11} &= F_{11} & B_{12} &= F_{12} - F_{11} & B_{13} &= F_{13} - F_{12} \\
 B_{21} &= F_{21} & B_{22} &= F_{22} - F_{21} & B_{23} &= F_{23} - F_{22} \\
 B_{31} &= F_{31} & B_{32} &= F_{32} - F_{31} & B_{33} &= F_{33} - F_{32}
 \end{aligned}
 \tag{4.2.10}$$

equations (4.2.8) become

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \kappa_c \{B_{11} + [B_{12} + B_{13} R_d] N_4\} N_5 \\
 u_3 &= \{B_{21} + [B_{22} + B_{23} R_d] N_4\} N_5 \\
 u_4 &= \{B_{31} + [B_{32} + B_{33} R_d] N_4\} N_5
 \end{aligned}
 \tag{4.2.11}$$

Tables with coefficients B_{ij} or F_{ij} calculated for certain reference combinations of room reflectances and room index values may be also available if classic ("manual") calculations are desired [7]. At least three tables are needed if the working plane is only considered. However, this practice eliminates the advantages offered by the analytical procedure described above.

As an example, figure 3 illustrates the main steps of a program used to calculate direct ratio and utilization factors

Particular procedures used with the lumen method

For simplicity, the discussion will be restricted to the relationships for the working plane.

For the working plane, the reduced utilance U_{r4} and the utilance U_4 are the same. Working plane utilization factor may be expressed as:

$$u_4 = U_4 N_5,$$

where N_5 is the light output ratio of a luminaire.

A.1. CIE Basic Method [1] and French (basic) Method [8]

From (2.5), it results for the working plane

$$E_4 = I_{31} f + I_{32} f_{\cup} + I_{33} f_u \quad (\text{A.1.1})$$

respectively

$$E_4 = [I_{31} + (I_{32} + I_{33} R_d) N_4] f, \quad (\text{A.1.2})$$

where $R_d = \Phi_{04} / \Phi_{\cup}$ is the direct ratio of the installation and $N_4 = \Phi_{c\cup} / \Phi_c$

The expression

$$U_{r4} = U_4 = I_{31} + (I_{32} + I_{33} R_d) N_4 \quad (\text{A.1.3})$$

gives the (reduced) working plane utilance.

The working plane utilization factor will be:

$$u_4 = [I_{31} + (I_{32} + I_{33} R_d) N_4] N_5 \quad (\text{A.1.4})$$

A.2. French Applied Method [9]

Denoting

$$S = I_{31} + I_{32} N_4, \quad R = I_{33}, \quad (\text{A.2.1})$$

the expression (A.1.2) can be written as

$$E_4 = (R N_4 R_d + S) f = (R f_u^* + S) f, \quad (\text{A.2.1})$$

where $f_u^* = f_u / f$ is the relative flux density on the working plane.

The (reduced) working plane utilance and the corresponding utilization factor are expressed as:

$$\begin{aligned} U_{r4} = U_4 &= R f_u^* + S \\ u_4 &= (R f_u^* + S) N_5 \end{aligned} \quad (\text{A.2.2})$$

A.3. Russian Method [10]

The general equations (2.1) for the three-surface model are written in the form:

$$\Phi_i = (\Phi_{0i} + \sum_{j=1}^2 q_{ij} r_j \Phi_j) \kappa_i, \quad (\text{A.3.1})$$

where k_i is the coefficient of multiple reflections on the surface i . With a flat ceiling model $k_1 = k_4 = 1$, $k_3 > 1$.

It follows from (A.3.1) a set of simultaneous equations similar to (3.4) with the solution for the working plane:

$$\Phi_4 = A\Phi_{01} + B\Phi_{03} + C\Phi_{04} \quad (A.3.2)$$

where coefficients A, B and C are also expressed in terms of room reflectances and room index.

The utilization factor is given by:

$$u_4 = (A\Phi_{01} + B\Phi_{03} + C\Phi_{04}) / \Phi_{II} \quad (A.3.3)$$

By employing (A.1.1) one has

$$\Phi_4 = E_4 A_4 = I_{31} \Phi + I_{32} \Phi_{\cup} + I_{33} \Phi_{04}$$

wherefrom

$$\Phi_4 = I_{31} \Phi_{01} + (I_{31} + I_{32}) \Phi_{03} + (I_{31} + I_{32} + I_{33}) \Phi_{04} \quad (A.3.4)$$

By comparing (A.3.4) with (A.3.2), it is easily seen that:

$$I_{31} = A, \quad I_{31} + I_{32} = B, \quad I_{31} + I_{32} + I_{33} = C \quad (A.3.5)$$

A.4. Transfer Factors Method [11]

The working plane utilization factor is given by

$$u_4 = D_1 T_{14} + D_3 T_{34} + D_4 T_{44} \quad (A.4.1)$$

where $D_i = \Phi_{0i} / \Phi_{II}$ denote distribution factors and T_{14} , T_{34} , T_{44} and are transfer factors between room surfaces.

Note the identity of equations (A.4.1) and (A.3.3) wherefrom

$$T_{14} = A, \quad T_{34} = B, \quad T_{44} = C \quad (A.4.2)$$

A.5. British Zonal Method [12]

Using the downward and upward components of the flux from the installation to the working plane ($\Phi_{4\cup}$ and $\Phi_{4\cap}$), one can express the utilization factor as:

$$u_4 = U_{\cup} \eta_{c\cup} + U_{\cap} \eta_{c\cap} \quad (A.5.1)$$

where $U_{\cup} = \Phi_{4\cup} / \Phi_{\cup}$ and $U_{\cap} = \Phi_{4\cap} / \Phi_{\cap}$ are lower and upper flux utilances respectively and $\eta_{c\cup} = \Phi_{c\cup} / \Phi_{lc}$, $\eta_{c\cap} = \Phi_{c\cap} / \Phi_{lc}$ are downward and upward light output ratio of a luminaire (Φ_{lc} is the lamp flux of the luminaire).

It is easily to show that

$$U_{\cup} = (1 - R_d) T_{34} + R_d T_{44}; \quad U = T_{14}$$

$$E_4 = [(1 - N_4) U_{\cap} + N_4 U_{\cup}] f \quad (A.5.2)$$

It follows from (A.5.2), (A.4.2) and (A.3.5) the general equation (A.1.2).

References

1. CIE Publication No 40. *Calculations for Interior Lighting*. Basic Method
2. CIE Publication No 52. *Calculations for Interior Lighting*. Applied Method
3. Dourgnon, J. *Les réflexions mutuelles entre surfaces diffusantes*. Revue d'optique; 38, 1959; No: 8; pp:365 - 394
4. Dinculescu, P. *O prezentare unitara a interreflexiilor in instalatiile de iluminat*. EEA-Electrotehnica, 38 (1990): I) nr. 2, pp. 65-70; II) nr.4, pp. 159-171; III) nr.5, pp. 194-208
5. Dinculescu, P. *Calculations for Interior Lighting*. 8-th Conference "LIGHTING 90", Varna, 1990
6. Dinculescu, P. *On the Calculation of Average Illuminance in Various Existing Methods for Interior Lighting*. 6-th Conference "LIGHTING '84", Varna, 1984, pp. 81-86
7. Dinculescu, P. *Proiectarea instalatiilor de iluminat interior folosind tabele precalculate*. Energetica, Seria B, 41 (1993), nr. 6, p. 123-127
8. Norme ANFOR S 40-001. *Détermination des éclairagements sur le plan utile et sur les parois*
9. Norme UTE 71-121, 1970. *Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements dans les espaces clos*
10. Epaneshnikov, M.M. *Elektricheskoe osveshchenie*. Moskow-Leningrad, Energiya, 1973
11. Bean, A.R. and Bell, R.I. *Calculation of Utilization Factors*. Lighting Research and Technology, 8, 1976, No. 4, pp. 200 - 210
12. IES Technical Report No. 2. *The Calculation of Utilization Factors*. The BZ Method. London, 1971

O VARIANTĂ RAPIDĂ, RAȚIONALĂ, EFICIENTĂ ȘI PRECISĂ A METODEI FLUXULUI LUMINOS, FOLOSIND UN MINIM DE DATE ȘI MATERIALE AUXILIARE

Rezumat

Se propune reunirea diverselor variante ale metodei factorilor de utilizare și metodelor propuse de CIE, într-o metodă unică, operativă și mai precisă de proiectare și verificare a instalațiilor de iluminat, reunind avantajele tuturor metodelor existente. Metoda are la bază relații analitice pentru calculul mai exact al factorilor de utilizare corespunzători suprafețelor încăperii, solicitând un număr minim de date lumino tehnice inițiale specifice corpului de iluminat folosit (codul de flux CIE sau distribuția intensității luminoase) și generale (multiplicatorii geometrici medii de referință, în funcție de indicele instalației). Se elimină astfel necesitatea tabelelor cu factori de utilizare precalculați specifici fiecărui corp de iluminat, precum și a interpolărilor inerente. Amplasarea și configurația de referință conduc la rezultate acceptabile practic. Pentru instalații care se abat de la situația de referință, multiplicatorii geometrici se pot, de asemenea, calcula. Ca și toate celelalte proceduri existente, metoda se aplică în cazul asimilării corpurilor de iluminat cu surse punctiforme simetrice, caracterizate prin curba de distribuție medie a intensității luminoase.

1 Modelul de calcul al instalației de iluminat și notații

Modelul general pentru calculul iluminatului interior general folosind metoda factorului de utilizare (metoda fluxului luminos) este un paralelipiped în care se disting următoarele suprafețe perfect difuzante (fig. 1):

- trei suprafețe materiale S_1, S_2, S_3 (tavanul, friza și cei patru pereți considerați împreună) caracterizate prin ariile corespunzătoare $A_1 = ab, A_2 = 2h'(a+b), A_3 = 2h(a+b)$ și factorii lor

de reflexie r_1, r_2, r_3 ;

- planul de lucru (util) S_4 (suprafață materială sau materializată, nu totdeauna continuă și omogenă) având aria $A_4 = ab$, căreia i se poate atribui un factor de reflexie echivalent r_4 ;

- planul corpurilor de iluminat S_5 (suprafață nematerială).

Pentru definirea caracteristicilor lumino tehnice și geometrice se folosesc respectiv indicii 1, 2, 3, 4 și 5.

În general, iluminările pe suprafețele încăperii sunt date de fluxurile luminoase finale obținute ca efect combinat al fluxurilor directe și reflectate.

Se notează: Φ_{lt} - fluxul lămpilor instalate; Φ , Φ_U , Φ_r - fluxurile luminoase instalate (respectiv total, inferior și superior); $f = \Phi/A_4$, $f_U = \Phi_U/A_4$, $f_r = \Phi_r/A_4$ - densitățile de flux (respectiv totală, inferioară și superioară); Φ_c - fluxul luminos al unui corp de iluminat; Φ_{lc} - fluxul lămpilor dintr-un corp de iluminat; Φ_{oi} - fluxurile directe, Φ_f - fluxurile finale; $U_i = \Phi_i/\Phi$ - utilanțele; $U_{ri} = E_i/f$ - utilanțele reduse; $u_i = \Phi_i/\Phi_{lt}$ - factorii de utilizare; A_i - ariile; $E_i = \Phi_i/A_i$ - iluminările finale; r_i - factorii de reflexie (medii); N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 - indicații de distribuție ai corpului de iluminat; $R_d = \Phi_{04}/\Phi_U$ - raportul direct al instalației [1, 2].

Se definesc mărimile adimensionale: indicele instalației $K = ab/h/(a+b)$, indicele cavității tavan-friză $K_c = ab/h'/(a+b)$ și raportul de suspendare $J = h/(h+h')$ (h - înălțimea de montare, h' - distanța de suspendare).

Factorul de formă al suprafeței j în raport cu suprafața i [3] se notează cu f_{ji} (notație înlocuită uneori cu q_{ji} , pentru a evita confuzia cu densitățile de flux).

Practica arată că în locul modelului general (cu patru suprafețe de calcul) se pot folosi două modele simplificate, cu câte trei suprafețe de calcul, în care tavanul și friza (cavitatea tavan-friză) sunt înlocuite cu:

a) o suprafață plană S_1' (fig. 2) care coincide cu suprafața S_5 (tavan echivalent plan) având aria A_1 și un factor de reflexie echivalent r_{1e} care depinde de r_1, r_2, K_c respectiv de r_1, r_2, K, J [4, 5];

b) o suprafață concavă S_1' având aria $A_1 + A_2$ (tavan echivalent concav) și factorul de reflexie mediu r_c depinzând de A_1, A_2, r_1, r_2 [4, 5].

Comparând cele trei modele descrise anterior, se constată că modelul general este mai complet, dar relațiile de calcul al densităților de flux sau iluminărilor sunt mai complicate. Ambele modele simplificate sunt caracterizate prin relații mai simple și, așa cum rezultă din calcule, conduc la rezultate foarte apropiate de cele obținute prin folosirea modelului general [5].

2 Comparație între diversele variante existente ale metodei fluxului luminos

Așa cum s-a arătat [6], metodele factorilor de utilizare folosite în prezent sunt practic identice cu metodele CIE [1,2], reprezentând doar variante ale teoriei generale a transferului de flux luminos, așa cum se arată pe scurt în Anexă.

Pentru aceeași procedură de determinare a fluxurilor luminoase directe, ca și prin folosirea corectă a tabelelor precalculate cu coeficienți/factori de utilizare, atât metodele CIE cât și orice altă versiune a metodei fluxului luminos conduc la rezultate identice în calculul fluxurilor luminoase finale sau al iluminărilor medii pe suprafețele încăperii. În ciuda aparențelor, chiar și diverse variante ale coeficienților de calcul al fluxurilor sau iluminărilor sunt în esență aceleași.

Toate metodele existente au ca trăsături comune:

- considerarea inițială a unei amplasări de referință a corpurilor de iluminat într-o încăpere standard (de referință):

- ipotezele privind evaluarea factorilor de reflexie, uniformitatea iluminării, condițiile de schimb reciproc de flux luminos între suprafețe.

Cu toate acestea, metodele CIE au avantaje importante cum ar fi:

- determinarea rapidă și precisă, pentru orice amplasare a corpurilor de iluminat și orice configurație a încăperii, fie a fluxurilor directe, fie a contribuției lor la iluminările finale, fără a calcula în mod obligatoriu valorile respective;

- folosirea codului de flux al corpului de iluminat ca principală dată luminotehnică (cel puțin pentru sursele de lumină punctiforme simetrice):

- calculul iluminărilor pe toate suprafețele încăperii:

- eliminarea necesității câte unui tabel cu factori de utilizare pentru fiecare corp de iluminat.

Pe lângă aceasta, metodele CIE prezintă dezavantaje importante, printre care se pot enumera:

- utilizarea unor mărimi fără o semnificație fizică directă (de exemplu, densitățile de flux instalat, utilanțele reduse, factori de schimb tec);

- sunt mai dificil de înțeles și de aplicat;

- necesită două seturi de relații folosite pentru proiectarea respectiv verificarea unei instalații și, prin urmare două seturi de tabele pentru o anumită (și uneori nerelevantă) valoare a factorului de suspendare:

- multe tabele sunt întocmite pe baza unei clasificări a corpurilor de iluminat, la care corpurile reale nu se pot afilia totdeauna.

Pe de altă parte, atât metodele CIE, cât și alte variante ale metodei fluxului luminos au la bază folosirea de date tabelate precalculate (coeficienți pentru calculul densităților de flux, iluminărilor sau fluxurilor finale, valori ale utilanțelor sau ale factorilor de utilizare), reminiscență a vremurilor când mijloacele de calcul erau rudimentare. Deseori, numărul tabelelor necesare este destul de mare. Folosirea tabelelor implică numeroase și inconfortante interpolări, precum și introducerea de coeficienți de corecție. De asemenea, tabelele nu pot acoperi toate cazurile practice dintr-o instalație de iluminat.

În condițiile proiectării asistate de calculator, este preferabil să se dispună de relații analitice care să permită calculul direct al mărimilor care prezintă interes, pentru orice valori ale factorilor de reflexie, ale indicelui instalației sau ale raportului de suspendare și pentru orice corp de iluminat.

3 Relații de bază

Pe baza considerațiilor precedente (§ 1), cel mai uzitat model de calcul consideră corpurile de iluminat montate pe un tavan plan având factorul de reflexie fie r_1 (pentru $J = 0$), fie r_{1e} (pentru $J \neq 0$). În consecință, trebuie considerate numai trei suprafețe de calcul

(S_1, S_3, S_4) și fluxurile corespunzătoare directe ($\Phi_{01}, \Phi_{03}, \Phi_{04}$) și finale (Φ_1, Φ_3, Φ_4).

În vederea evaluării interreflexiilor, se folosesc factorii de formă f^i între suprafețele încăperii, deoarece inerția ochiului nu permite perceperea separată a fiecărei reflexii.

Rezolvând sistemul de ecuații referitoare la schimbul de flux scrise pentru cele trei suprafețe ale modelului (3.1), se obțin relațiile fie între fluxurile directe și fluxurile finale, fie între densitățile de flux și iluminările finale (3.2, 3.3) unde $[\Phi_0], [\Phi], [f], [E]$ sunt vectori cu trei coloane iar $[C], [D]$ sunt matrice numerice 3×3 .

Soluțiile sistemelor (3.2), (3.3) pot fi scrise sub forma (3.3, 3.4).

Factorii $[C]$, $[D]$, $[F]$ și $[L]$ se determină în funcție de factorii de reflexie și, prin intermediul factorilor de formă, în funcție de indicele instalației și de raportul de suspendare [4,5]

Această abordare este sursa tuturor relațiilor pe care diverse țări le-au stabilit ca propriile metodologii de calcul folosind metoda fluxului luminos. Diferențele principale între acestea constau în: a) modul de operare cu distribuția fluxurilor directe și cu interreflexiile; b) factorii (coeficienții) folosiți; c) mărimile care intervin.

Se poate arăta ușor (a se vedea Anexa) că toate metodologiile ("metodele") cunoscute folosite în calculul iluminatului interior pot fi deduse din relațiile de bază prezentate mai sus.

Fiecare "metodă" conține un număr de tabele specifice de factori (coeficienți) folosiți pentru calculul clasic ("manual") al fluxurilor luminoase și/sau al iluminărilor.

4. Metoda propusă

4.1 Principii

Având în vedere considerațiile pro și contra, expuse mai sus, privind metoda fluxului luminos, devine utilă reexaminarea celor două metode CIE existente în sensul de a reuni metodele respective și variantele uzitate ale metodei factorilor de utilizare, menținând particularitățile importante ale fiecăreia, în special în privința utilizării codului de flux (indicatorilor de distribuție) pentru un corp de iluminat și calculul fluxurilor directe, rezultând o metodă care să realizeze:

- eliminarea particularităților inutile, cum ar fi factorii de corecție pentru amplasări ale corpurilor de iluminat diferite de cea de referință sau cei cu valori prea mici pentru a fi luate în considerație în practică;

- folosirea de mărimi cu semnificație fizică nemijlocită;

- operativitate și suplete, de exemplu prin reducerea numărului de formule și/sau de tabele sau eliminarea unora dintre acestea;

- adaptarea la proiectarea asistată de calculator, cu folosirea unor programe de calcul atât specifice cât și generale (de exemplu MATHCAD, MATLAB).

O astfel de metodă poate fi recomandată ca o variantă îmbunătățită a metodei factorului de utilizare care reunește calitățile tuturor celorlalte metode și care:

- este logică și simplă;

- este mai apropiată de semnificația fizică;

- necesită un număr minimal de date de catalog inițiale, renunțându-se la tabele cu valori precalculate, specifice fiecărui corp de iluminat;

- necesită un singur set de relații atât pentru problema de proiectare cât și pentru problema de verificare a unei instalații, care pot fi extinse la orice amplasare a corpurilor de iluminat și orice încăpere;

- permite determinarea fluxurilor luminoase și a iluminărilor pe toate suprafețele încăperii;

- folosește un singur factor de formă (pentru două suprafețe paralele identice), eliminându-se coeficienții de schimb;

- poate fi folosită atât pentru proiectarea asistată de calculator cât și pentru proiectarea clasică ("manuală").

În vederea proiectării sau verificării unei instalații de iluminat, folosind *metoda factorilor de utilizare bazată pe metodele CIE*, sunt necesare următoarele date inițiale: geometria încăperii, factorii de reflexie ai suprafețelor, fluxul luminos al unei lămpi (Φ_l), factorul de

mentenanță ($\delta < 1$), iluminările medii necesare pe suprafețele încăperii (E_1, E_3, E_4), numărul de lămpi dintr-un corp de iluminat (n_l). Singura dată luminotehnică referitoare la corpul de iluminat folosit este codul de flux $N_1 \dots N_5$. Dacă fabricantul nu oferă această dată, este necesară distribuția în plan a intensității luminoase, sub forma curbelor polare sau, preferabil, sub formă tabelară. Pentru inițierea calculului, este necesar un tabel cu multiplicatorii geometrici medii ai instalației independent de corpul de iluminat folosit.

Pentru început se poate opera cu o amplasare de referință CIE, într-o încăpere de referință, pentru care multiplicatorii geometrici sunt cunoscuți (sau pot fi calculați) în funcție de indicele instalației. În cazul unei amplasări diferite și/sau al unei încăperi de proporții diferite față de valorile de referință, acestea pot fi luate în considerare într-o a doua iterație când multiplicatorii geometrici reali pot fi calculați. Se constată însă că rezultatele obținute în situațiile practice sunt relativ puțin diferite.

Factorul de utilizare definit pentru o suprafață S_i este singura mărime care trebuie determinată. Pe baza definiției factorilor de utilizare (§ 1), rezultă principala relație folosită în calcul (4.1.1), unde N_l este numărul total de lămpi din instalație. Această relație extrem de simplă servește atât pentru calculul de proiectare, cât și pentru calculul de verificare.

Deoarece, ca și în metodele CIE, pentru corpul de iluminat ales nu există totdeauna o soluție pentru orice combinație de valori ale iluminărilor necesare pe cele trei suprafețe de calcul, este preferabil să se considere inițial numai cerințele impuse pentru planul de lucru (și să se folosească factorul de utilizare corespunzător), să se stabilească numărul de corpuri de iluminat și amplasarea lor, apoi să se treacă la operația de verificare și să se compare valorile obținute și impuse ale iluminării pe toate suprafețele. În cazul când nu sunt satisfăcute cerințele impuse pentru pereți și tavan, se poate încerca alegerea unui alt corp de iluminat cu o distribuție convenabilă.

4.2 Calculul factorilor de utilizare

Pentru calculul factorilor de utilizare este indicat să se adopte modelul simplificat al instalației (tavan echivalent plan) și să se pornească de la relația (2.1.4).

Fluxul luminos Φ_l și respectiv iluminarea E_l calculate folosind modelul cu trei suprafețe de calcul se referă la tavanul echivalent. Prin urmare, fluxul luminos final pe suprafețele cavității tavan-friză trebuie calculat (4.2.1), pentru corpurile de iluminat montate suspendat, multiplicând acest flux cu factorul de reflexii multiple pe suprafețele respective [4]. Factorul de reflexie al tavanului echivalent poate fi calculat cu relația (4.2.2) [4]:

Matricea $[C]$ din (2.1.4) poate fi calculată folosind relația (4.2.3) [4].

Folosind relațiile de conservare și de reciprocitate între factorii de legătură [4], rezultă că, în final, va fi folosit numai factorul de formă între două suprafețe plane paralele f_{45} (pentru montajul suspendat) sau f_{41} (pentru montajul corpurilor de iluminat direct pe tavan) (4.2.4, 4.2.5).

O foarte bună aproximare se obține cu relația (4.2.6). Relația (4.2.7) permite, de asemenea, o bună aproximare.

Ca o alternativă, poate fi precalculat un tabel al f_{45} (f_{41}) în funcție de indicele instalației.

Pentru corpurile de iluminat montate pe tavan: $r_{le} \rightarrow r_p, f_{45} \rightarrow f_{1\phi}, k_c \rightarrow 1$.

Din calcul, rezultă expresiile (4.2.8).

Raportul direct R_d este dat de relația (4.2.9) în care $M_1 \dots M_4$ (multiplicatorii geometrici medii pentru amplasarea de referință într-o încăpere standard) sunt cunoscuți în funcție de indicele instalației [2].

Factorii F_{ij} pot fi calculați folosind relațiile care rezultă din inversarea unei matrice 3x3 [4]. Cel mai simplu este însă să se utilizeze matricea numerică [C], prin înlocuirea valorilor mărimilor care intervin și să se aplice o metodă de inversare rapidă (de exemplu, o secvență MATH-CAD sau MATLAB). Alte procedee simple pot fi folosite pentru a calcula k_c , r_{le} , R_d (inclusiv interpolarea pentru multiplicatorii geometrici corespunzători valorilor intermediare ale lui K) și, în final, factorii de utilizare.

Notând (4.2.10), ecuațiile (4.2.8) devin (4.2.11).

În vederea unei eventuale calculații clasice ("manuale"), se pot furniza tabele conținând factorii B_{ij} sau F_{ij} pentru anumite combinații de referință ale factorilor de reflexie ai suprafețelor și anumite valori ale indicelui instalației [7]. Sunt necesare cel puțin trei tabele în cazul considerării numai a planului de lucru. Această modalitate elimină însă avantajele oferite de modalitatea analitică descrisă anterior.

În figura 3 se prezintă pașii principali ai unui program de calcul al raportului direct și al factorilor de utilizare.

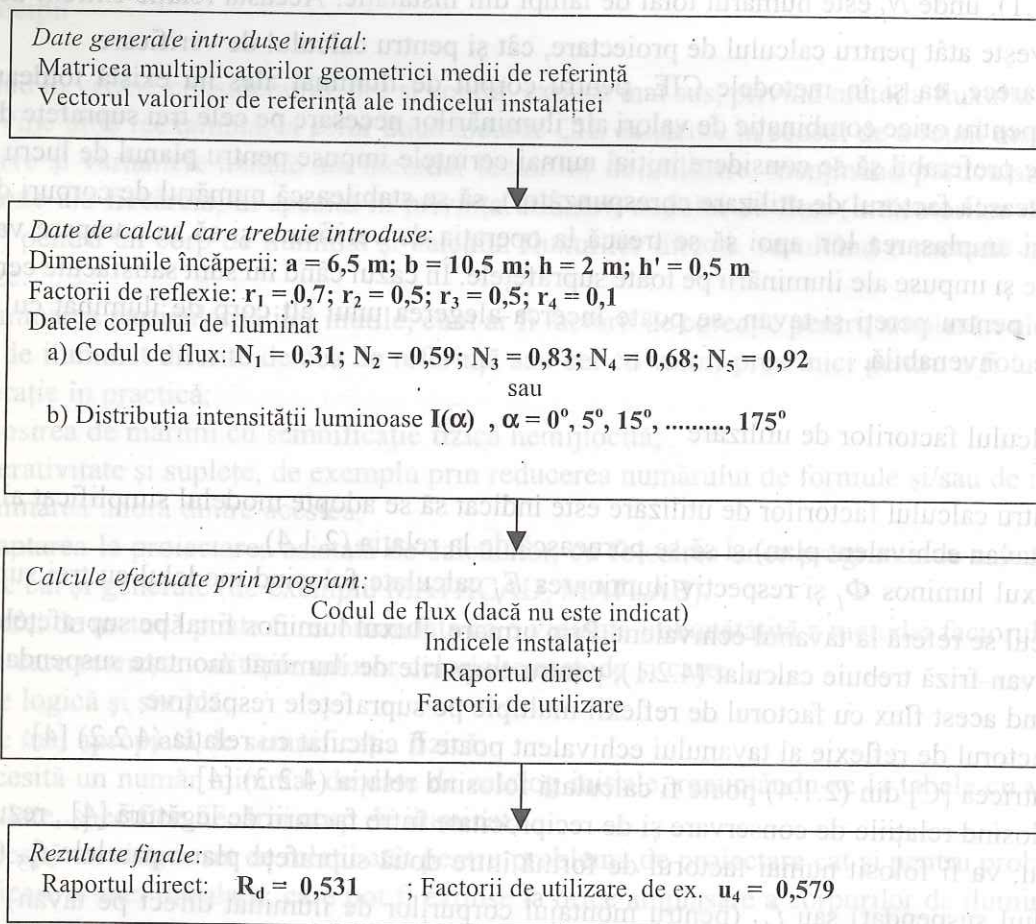
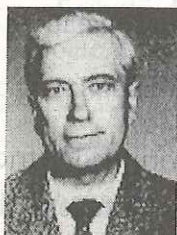


Figure 3 Calculul raportului direct și al factorilor de utilizare



dr.ing. **Paul DINCULESCU**, Profesor Universitatea "Politehnica" București
Facultatea de electrotehnică, 77206, București, Spl. Independenței 313
Tel.(401)410.4.00/139; 092.429.814, E-mail: paul@apel.apar.pub.ro

Absolvent al Facultății de Electrotehnică 1960; doctorat 1973 la UPB.
Predă cursuri de Instalații electrice și Iluminat electric. Autor de manuale universitare și lucrări științifice în domeniu. Contribuții la studiul surselor de lumină și la caracteristicilor corpurilor de iluminat și la calculul instalațiilor de iluminat interior.