

ENERGY MANAGEMENT IN LIGHTING SYSTEMS

Thomas D BAENZIGER

Merloni Progetti spa Energy Saving, Italy

Abstract

As we move steadily into the new century it seems abundantly clear that the major issue confronting building designers, developers, owners and occupiers is energy efficiency. Although efficient energy usage has been a recurring theme throughout the past two decades we are now approaching the subject with greater rationale and maturity than perhaps we tended to in the past. Energy management must stand on its own, rather than appeal to the investors' sense of society; thus measures to improve energy efficiency must offer investors competitive returns on investment (ROI). Although energy conservation can take many forms the efficient use lighting in particular will save the community many millions of Dollars in electricity charges and reduced generating plant requirements, as well as many millions of tones of coal and CO₂ emission annually. And, all this is achievable without any requirement to work below current illuminance standards - *simply to utilise available daylight, compensate for over-design, compensate for lamp lumen depreciation and due to that save on air-conditioning costs.*

I INTRODUCTION

A. General

In the USA 7% of electrical energy consumed by the industrial sector is used for the lighting [1]. For the USA (1994) this is $54,332 * 10^6$ kWh [1]. With a suitable lighting control system some 20% to 50%, typically 30% of this energy can be saved. Daylight is not absolutely necessary to achieve good savings. Important is that a lighting control system is not disturbing the occupants, meaning a successful system is completely transparent to the „user“.

Systems can be installed in new installations as well as in retrofit situations. The proper design and the commissioning are important to achieve good savings. Lighting Control Systems can be linked to a building control system. However, the experience shows that the simpler a system the easier it is to operate and the more reliable it operates. „*Everything has to be done as simple as possible but not simpler*“ (quote Albert Einstein).

B. Return on Investment (ROI)

The current approach to energy conservation lies in the underlying requirement that any initiatives in respect be viewed in terms of 'reasonable return on investment'. That is the cost of saving €1000 per annum should not exceed a capital cost of €1000 - €3000 and ideally less than €2000 - a return on funds in less than two years, even allowing for the costs of funds, is in order. This however, represents only the quantifiable requirements, in addition solutions to energy conservation should blend in to improve the current work environment rather than impose restrictions or distractions on work practices.

C. The Requirements of a LCS

Apart from saving energy a successful Lighting Control System (LCS) must meet the following requirements:

- ❑ must not disturb occupants
- ❑ must have a reasonable ROI
- ❑ must conform to the lighting standards
- ❑ must conform to electrical standards
- ❑ must be reliable

The five requirements above are most important to meet. Without a full compliance a LCS will not be acceptable.

D. Two Different Techniques

A LCS can be based on at least one or both of the following techniques:

- stepless controls or dimming;
- switching controls.

Both techniques play an important role and both techniques do not necessarily comply with the five requirements when installed in different applications. It is important to find the right system or mix depending on the application.

II WHERE DOES A LIGHTING CONTROL SYSTEM DERIVE IT'S SAVINGS?

1) Lumen Depreciation Compensation:

Due to the fact that all discharge lamps including fluorescent lamps "age" or reduce their luminous flux during their life a maintenance factor of 0.6 to 0.8 is applied to the lighting design. This means that with a maintenance factor of e.g. 0.7 the illuminance level is 30% higher with new lamps then it should. Once the lamps have reached the end of their economical life the illuminance level equals the target design, not taking into account any over design. With a closed loop, stepless system this ageing process can be compensated and the illuminance can be regulated and maintained on the target illuminance. With a suitable control system between 12% and 25% of energy can be saved. These savings are accurately predictable.

2) Over Design Compensation: At the time the design of the lighting is done, many parameters are unknown. Therefore assumptions have to be made. These assumptions are normally made on the conservative side. Building constraints, e.g. ceiling grids or design constraints such as the requirement of having a continuous band of luminaires do increase the illuminance level. Due to all these factors over design is a common feature. With a closed loop, stepless system in place the over design can be compensated. This leads to substantial energy savings between 0% and 50% (25% typically). Savings do depend much on the degree of over design and are accurately predictable as long as the exact lighting design parameters are known.

3) Daylight Savings: Savings due to daylight are far more difficult to predict. But as long as architectural details are known these savings can be predicted with a certain degree

of accuracy because the daylight availability averaged over the year is very much predictable. In order to maximise these savings it is important to control luminaires with similar

"daylight exposure" the same way, meaning the circuits should run parallel to the windows or be exposed to the same amount of sky lights. With suitable circuiting and reasonable daylight penetration between 20% and 30% of the total lighting energy use can be saved in an industrial application. With good sky-lighting some 35% to 50% can be saved during daylight hours.

4) Reduction of Illuminance Levels at Certain Hours: During cleaning or non-occupancy hours the lighting can be reduced by dimming evenly to e.g. 50% control is achieved with timers or occupancy sensors. If time control is used the savings are accurately predictable. In case occupancy sensing is used the savings depend obviously on the occupancy pattern. These need to be analysed carefully in advance.

5) Air Conditioning Savings: In addition to the savings discussed above air conditioned applications will benefit from a lower A/C load. Depending on the A/C system and the location of the application the lighting savings can be multiplied by a factor of 1.1 to 1.8.

6) Savings due to Switching Controls: Quite obviously the most economical way of saving energy in lighting is not to use the lighting. This is a quite simple statement and considering our requirements in chapter I (C) it is very difficult to achieve. Due to the „visibility“ of light it is difficult to switch the light off without noticing it! Only in enclosed areas and only if it is certain that there is nobody in a room this can be done. One simple measure however could substantially reduce energy cost: **If there is nobody in a room or factory switch the lights off!** Again a simple statement difficult to achieve. Somebody needs to be responsible for this! Switching systems can be occupancy or time based as well as daylight linked. Switching systems do achieve good savings but depending on the application they may interfere with the occupants. I recommend careful consideration in the choice

of a switching system. In many instances occupants were not satisfied or disturbed. Savings depend much on the occupancy and are therefore difficult to predict.

7) Total Savings: The total savings of a LCS range from 20% to 50%, typically 30%. Daylight is not absolutely necessary to achieve this savings.

III FINANCIAL RATIONALE

Provision for lighting can be divided in two different cost components, initial investment and operational cost. Unfortunately the initial investment influences to a high degree the operational cost which are by far more substantial over the life span of a lighting installation.

Three cost components need to be considered:

- ❑ initial investment
- ❑ cost of energy
- ❑ cost of maintenance

A small example shall give you a better understanding of this: We take a high quality high-bay with glass refractor fitted with a high pressure sodium (HPS) lamp 400 W and a reactor ballast (losses 35 W).

a) Initial investment: The cost of the above luminaire is about €200.00.

b) Cost of energy: Operated for 4000 h per year at a cost of energy of 8.2 ct [2] the annual energy cost of this high-bay is:

$$€0.082 * 4000 \text{ h} * 435\text{W} = €142.68$$

or 71% of the initial investment. Assuming a 20 year live and a constant price of energy the energy cost over the life of the luminaire is:

$$€142.68 * 20 \text{ years} = €2,853.60$$

or 14 times the cost of the initial investment. In a „around the clock“ application this figures would more than double:

$$€0.082 * 8760\text{h} * 435\text{W} * 20 \text{ years} = €6,249.38$$

c) Cost of maintenance: Assuming a lamp life of 12'000 h the lamp needs to be changed about 7 times in case of 4000 h p.a. of operation. The cost for this would be about €20.00 for the lamp and about €25.00 for the labour and machinery. The total maintenance cost for 20 years with 4000 hrs p.a. is:

$$7 * €45.00 = €315.00$$

The following chart will illustrate the findings of this small calculation - Figure 1 shows the split-up of cost of the lighting installation described above with 4000 h of operation p.a.

The decision to choose adequate lighting is many times left to the builder, who has in most cases no incentive to look at the overall efficiency and quality of such an installation. It is many times only after the construction phase when operational cost become apparent and ways are thought to reduce them.

The trend to design and construct facilities eliminates the expert advice specialised electrical engineers would be able to provide.

Occupiers put great emphasise in the provision of energy efficient lighting and lighting controls in order to minimise energy consumption and operating cost.

The benefit resulting out of a higher investment in the first place can be paid back in many cases within a commercially viable period of time. The resulting benefit is not only to the occupier in form of reduced operational cost for the entire life span of the lighting installation but represents as well a major contribution to our environment.

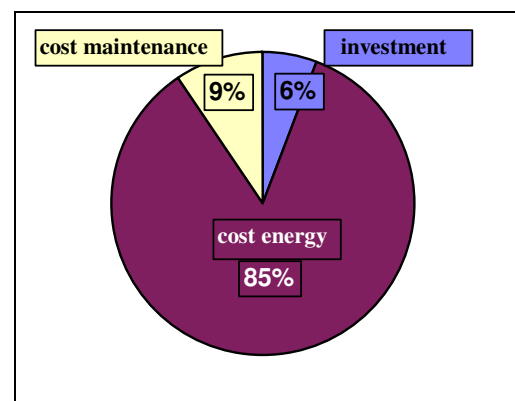


Figure 1

IV HARDWARE CONFIGURATION

Two basic step-less (dimming) systems are available. The centralised control system, where a whole circuit of luminaries is controlled by a Source Controller (power

module) or a decentralised system, where the controller is part of the luminaries (Unit Source Controller as case of high intensity discharge (HID) lamps

A basic LCS of the centralised approach can consist of three components only: The Source Controller, which is placed at the start of each circuit (normally the distribution board), a photoelectric cell, which is placed on the ceiling in the centre of that particular zone and a Central Control Unit (CCU) to connect the PE cell to the Source Controller(s).

Figure 2 is showing a typical schematic diagram of a 3-phase installation with three Source Controllers, one CCU and one photocell. Note the control gear of the lamps and the simple installation of the system.

In 1992 KEMA Transport & Distribution started to test 4 different dimming systems [3]. The four systems, two operating with electronic ballasts and two operating with magnetic low loss ballasts were installed in 4 identical rooms.



Similar test results can be expected for an industrial application. The reason for the good result of the magnetic ballast operated on NCWI* is the increased efficacy of the luminaire when it is dimmed. At 50% light output the power consumption is about 45% only [4]. This is a 10% increase!

VI DIMMING OF DISCHARGE LAMPS

- ❑ step dimming with taped ballast
- ❑ electronic ballast (HF)
- ❑ transformer based systems
- ❑ electronic transformer based systems
- ❑ NCWI (non critical wave form intersection technology)

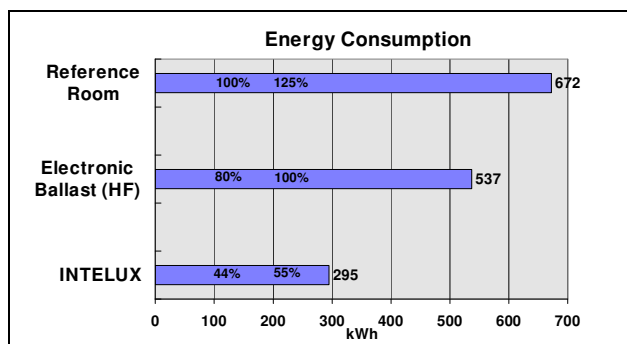


Figure 3

Figure 3 illustrates the test results [3] of the three operating systems. The reference room is equipped with magnetic low loss ballasts without any control (energy consumption 672 kWh). The result of the electronic ballasts is the average consumption of the two brands installed (energy consumption 537 kWh). The result of the dimmed system with magnetic ballasts is 295 kWh or 56% less than the reference office - a) and b) represent „distributed“ systems, all the others are centralised systems.

Any type of dimming of any kind of lamp will change the colour temperature and the colour rendering index of the light. This is as well the case with incandescent lamps. Some techniques, e.g. NCWI keep this change to a minimum they are normally not visible. The question has to be if such changes are acceptable for the type of installation. So for example in a boutique selling up-market clothes it can not be accepted, where in a factory where daylight is compensated and these parameters are improved by the daylight it is definitely acceptable.

It will give a short description of each of the systems:

a) Step dimming with taped ballast: The ballast is fitted with additional windings which are put in circuit by means of a relay. This will reduce the power and the lumen output. Obviously this is not a continuous system. As in all distributed systems additional wiring is necessary to control the device, e.g. a control cable to energise the relay.

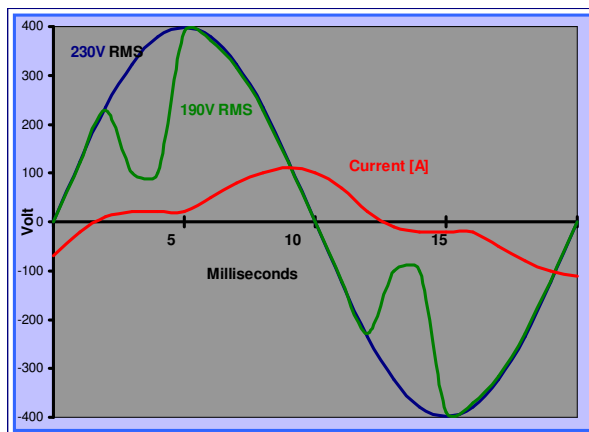
b) Electronic ballast: Widely used in fluorescent lighting. Ballast operates tube on higher

frequency (10-30 kHz). Some HF ballasts can be dimmed by e.g. a control voltage 0-10V. This means additional wiring. The efficacy of the lamp drops dramatically when dimmed, e.g. at 50% light power consumption is 59% [4] this equates a loss of efficacy of 18%!

c) Transformer based systems: Transformers are a quite simple way of dimming the lighting. Two things have to be kept in mind. Firstly the transformer should not have any moving parts (brushes) because they need maintenance. If the maintenance is not performed transformers can be a fire hazard. So it is better to use brushless or step transformers. Secondly it is important to know that only HPS lamps are suitable for an acceptable dimming range (100% - 50% of luminous flux). Other than that transformers are well suited for larger retrofit installations because they can handle high power factor (HPF) luminaires fitted with magnetic ballasts.

d) Electronic transformer based systems: They are usually based on IGBT technology. The application is similar to c). Advantages compared to conventional transformers are: maintenance free, smaller units available, more cost effective, smaller in size and lighter in weight. Electronic transformers will eventually replace conventional transformers.

e) NCWI technology: This technology has been specially developed to dim discharge



lamps. Any kind of discharge lamp can be dimmed provided that the lamp is operated by a magnetic reactor ballast and there is no power factor (PFC) capacitor in the luminaire. Power factor correction can be done centrally on the

Figure 4

line side of the Source Controller. Depending on the type of lamp used a dimming range of 100% down to 20% can be achieved.

Figure 4 is showing the principle of NCWI. The „trick“ of NCWI is to supply the luminaire with the peak voltage of every half wave and to inject a current during the „low-state“ of each half wave.

V LIGHTING MAINTENANCE

A. General

Our experience shows that many commercial and industrial installations do not have a proper maintenance scheme in place nor a person responsible and educated to perform this important task.

Lamps are exchanged one by one or in small groups when they fail. The replacement lamps are bought in rather small quantities and the person in charge of buying the lamps has usually no knowledge of lighting and lamps. The cheapest lamps are bought.

This is often done because people in charge think that this is cheapest solution!

This is by far the most expensive way to have a lighting installation which does not even fulfil the minimum recommendations and standards!

B. The Right Maintenance

Proper maintenance of a lighting installation is important. To exchange lamps when they fail is not good enough. The majority of older type lamps fail when their light output has depreciated by some 50% or more. That means the lighting level is not sufficient to perform the task comfortably and safely, but still, the power consumed by the lighting is at 100%. That means you pay for 100% and you get 50%! It is therefore essential and cheaper to bulk replace lamps when their economical life* is finished. The economical life of a lamp differs from product to product. Ask your supplier. Good lamps would last some 12.000 hrs or more, this

is about 3 years at 4000h p.a.. Lamps failing before that are replaced when they fail.

It is recommend the installation of a counter, counting the hours of operation of a representative circuit. The person in charge of buying lamps must have some knowledge about lighting. If this is not possible talk to a lighting engineer, ask him what the best lamps would be for your installation. Price is not everything! For example standard 36W lamps are available for less then €1.00, a similar product of good quality can cost you more then €2.00. You get what you pay for! The major differences between the poor and the good product are: Lamp life, light output, colour rendering (quality of colour spectrum) and colour temperature (i.e. warm white, neutral white, cool white).

* **Economical life:** This is the time, when the lumen output has dropped to around 80% of the initial output. At that stage the illuminance of the installation has dropped to the target illuminance, in other words the maintenance factor has been „used“. The other 10% (for a maintenance factor of 0.7) are a provision for the dirt depreciation of the luminaire.

C. Choice of Replacement Lamps

In order to ensure an even and good light the replacement lamps should be bought in big quantities. This gives the added advantage of a better price.

VI CONCLUSION

Lighting Control for Energy Management has become an important issue. Regardless of the system or technology used in a Lighting Control System, the five requirements of a LCS for Energy Management must be checked thoroughly in advance. Virtually every type of lamp HID and fluorescent is dimmable utilising standard magnetic (reactor) control gear. No modifications are necessary on inductive luminaires.

Technologies as described can be used not only in industrial sits but also in commercial buildings and external lighting.

Finally a successful application has not only something to do with energy savings and short pay-back periods, but with happy customers. Service, credibility and reliability add to the five requirements as they do in most of the

cases, where new technologies are implemented.

VII. CASE STUDY

Summary: A step-less Lighting Control System is installed in the tool hall of a car manufacturer. The hall has a surface of 20,000 m² and a height of 16 m. The hall has even skylights (about 1% of roof surface). The lighting consists of 1100 metal halide lamps 400 W (plus 35 W for the ballast). That is a total lighting load of 479 kW. The cost of the LCS is:

LCS Hardware	€ 175,000.00
Installation	€ 43,000.00
Total cost	€ 218,000.00

The average energy savings were 30%. The energy and maintenance savings add up to USD 97,380.00 p.a. The ROI therefore is 2.2 years.

Installation: The 1100 lamps are supplied evenly from four lighting distribution boards (DB's). Each DB is supplying 275 lamps distributed over 8 three-phase circuits (3*50 A). That is a total of 24 single-phase circuit. Each of the circuits is connected to one 50 A Source Controller (12 kVA). The 24 Source Controllers are controlled by one CCU Photocell installed in the same DB and one photo cell installed in the respective zone.

Table 1 Return of Investment Calculation

Hours of operation p.a.	4,250	h
Cost of energy	0.06	€
Lamp power	400	W
Ballast loss	35	W
No. of lamps	1100	pcs
Usage without LCS	2,033	MWh
Usage with LCS	1,423	MWh
Energy savings p.a.	610	MWh
Average energy savings	30	%
This equates to about	600	t CO ₂
Energy cost savings p.a.	85,380	€
Maintenance cost savings p.a.	12,000	€
Total savings per year	97,380	€
Total investment	218,000	€
Return on Investment	2.2	years

Energy Verification: In order to verify the performance of the lighting control system recorders have been installed. The energy savings were measured over several months.

The over all cost of the system installed per m² is about € 11.00. The over all cost of the system installed per W is about € 0.46.

Table 1 illustrates the individual parameters of the ROI (return of investment) calculation. Notable is the low cost of energy of 6ct per kWh in this installation. Needless to mention that with energy costs of 10ct per kWh the ROI would be some 20 months! An increase of the operating hours would of course lower the ROI.

REFERENCES

- [1] Energy Information Administration/ Manufacturing Consumption of Energy 1994 (Table A8, Page 89), USA
- [2] Energy Prices&Taxes - Quarterly Statistics (4/1998), Part II, Section D, Table 20, USA
- [3] KEMA is the official Dutch laboratory for testing. The test of different lighting control system was published in the NL lighting journal (Licht, October 1995), Autor is Piet Roelse.
- [4] INTELUX Manual Edition 9906D, Page 17
- [5] Internet page from GE Lighting
www.gespectrum.com/inet/vdc/wpapers.htm

Thomas D BAENZIGER, BE Elec.

Merloni Progetti spa Energy Saving

Viale Certosa 247

20151 Milano/Italy

Fax: +41796003788

e-Mail: tbaenziger@merloniprogetti.it

www.mpes.com

1985 - Graduation as electrical engineer at "Higher Technical College of Winterthur" (Fachhochschule). 1985-1988: R&D engineer for air defence systems. 1988-1994: Managing Director of Kelstrom Pty Ltd, Melbourne Australia (subsidiary of the Swiss based INTELUX Group). 1994-2000: Managing Director of INTELUX AG, Switzerland. 2000-...: Merloni Progetti spa Energy Saving, responsible for: Marketing & Sales, Export, R &D and Production.

Participant at International Conferences with papers/ reports on Energy Efficiency/Control Systems in Lighting

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

MANAGEMENTUL ENERGETIC ÎN SISTEMLILE DE ILUMINAT

Rezumat

Pe măsură ce înaintăm în noul mileniu, eficiența energetică devine din ce în ce mai evident o problemă majoră cu care se confruntă proiectanții de clădiri, dezvoltatorii, proprietarii și ocupanții acestora. Deși utilizarea eficientă a energiei electrice a fost o temă des invocată în ultimele decenii, în prezent abordăm subiectul mai rațional și mai matur decât probabil s-a preconizat în trecut. Managementul energetic trebuie să rămână de sine stătător, mai precis nu la latitudinea atracției investitorilor societății; astfel măsurile de creștere a eficienței energetice trebuie să ofere investitorilor o recuperare a investiției (ROI – returns on investment). Deși conservarea energiei poate lua multe forme, utilizarea eficientă a iluminatului în particular va determina economisirea a multor milioane de dolari ai comunității la consumul de electricitate și cereri mai reduse de instalații de producere, la fel ca și economisirea a milioane de tone de cărbune și reducerea emisiilor anuale de CO₂. Toate acestea pot fi realizate fără utilizarea sub standarde a iluminatului – *prin utilizarea luminii naturale disponibile, compensată pentru iluminatul artistic, compensată pentru deprecierea fluxului luminos și datorită acesteia, economii ale costurilor pentru aerul condiționat.*

I Introducere

A. Aspecte generale

În SUA, 7% din energia electrică consumată în sectorul industrial este utilizată pentru iluminat, reprezentând $54,332 \cdot 10^6$ KWh (1994) [1]. Cu un sistem de control al iluminatului corespunzător poate fi economisit de la 20% la 50%, uzual 30%. Lumina naturală nu este absolut necesară pentru a obține economii importante. Important este ca sistemele de control al iluminatului să nu deranjeze ocupanții, înțelegând prin acesta un sistem reușit, complet transparent pentru utilizator.

Sistemele pot fi instalate în noile instalații cât și în cele existente. Proiectul corespunzător și instrucțiunile de utilizare sunt importante pentru a obține economii semnificative. Sistemele de control al iluminatului pot fi cuplate la sistemul de control al clădirii. Oricum, experiența arată că simplitatea sistemului duce la un mod mai facil și de încredere în operare. *“Totul trebuie realizat cât de simplu posibil, dar nu mai simplu de atât”* spunea Albert Einstein.

B. Recuperarea investiției

Abordarea de față privind conservarea energiei constă în satisfacerea cerinței ca orice inițiativă în acest sens să fie văzută în termenii unei 'recuperări rezonabile a investiției'. costul economiei de €1000 pe an nu ar trebui să depășească un cost principal de €1000 - €3000 și ideal de mai puțin de €2000 – recuperarea în mai puțin de doi ani, chiar permițând ca costurile să fie în fondurile stabilite. Acestea oricum, reprezintă doar cerințe cuantificabile, soluții suplimentare pentru conservarea energiei ar trebui elaborate pentru îmbunătățirea mediului actual de lucru, mai degrabă decât impunerea de restricții sau condiții care distrag atenția în timpul lucrului.

C. Cerințele unui sistem de control al iluminatului electric

Separat de economiile de energie, un sistem de control al iluminatului electric (SCIE) reușit trebuie să întrunească următoarele cerințe:

- să nu deranjeze ocupanții
- durata de recuperare a investiției rezonabilă
- trebuie să fie conform cu standardele de iluminat
- trebuie să respecte standardele electrice
- trebuie să fie sigur

Cele cinci cerințe de mai sus sunt cele mai importante care trebuie îndeplinite. Fără o completă conformare, SCIE nu vor fi acceptabile.

D. Două tehnici diferite

Un SCIE poate fi bazat pe una ori pe ambele din următoarele metode:

- control continuu (stepless) sau variator;
- control de comutare (switching).

Amândouă metode joacă un rol important dar nu e necesar ca împreună să satisfacă cele cinci condiții, când sunt instalate în aplicații diferite. Este important să se găsească sistemul potrivit sau combinații în funcție de aplicație.

II De unde provin economiile unui sistem de control al iluminatului?

1) Compensarea deprecierei fluxului luminos: datorită faptului că lămpile cu descărcări au o anumită durată de viață sau își reduc fluxul luminos în timpul vieții, la proiectare se ia în calcul un factor de menținere de 0,6-0,8. Aceasta înseamnă că pentru un factor de menținere de 0,7 nivelul iluminării este cu 30% mai mare decât ar trebui pentru lămpile noi. Odată ce lampa a atins sfârșitul vieții economice, nivelul de iluminare ajunge la nivelul proiectat, neluând în calcul nici o altă supradimensionare. Cu o buclă închisă, cu un sistem de reglare continuu (stepless), acest proces de îmbătrânire poate fi compensat, iluminarea putând fi reglată și menținută la valoare impusă. Cu un sistem de control corespunzător se poate economisi între 12% și 25% din energia electrică. Aceste economii pot fi estimate cu exactitate.

2) Compensarea supradimensionării: în timpul proiectării iluminatului, mulți parametri sunt necunoscuți. Așadar trebuie făcute niște presupuneri. Aceste presupuneri sunt făcute în mod obișnuit în cazurile comune. Constrângerile legate de clădire, ca de pildă textura tavanului sau constrângeri de proiectare ca necesitatea unei benzi continue de luminoare, va duce la creșterea nivelului de iluminare. Datorită acestor factori, supradimensionarea este o caracteristică obișnuită. Un sistem în buclă închisă, continuu, poate compensa efectele supradimensionării. Acesta conduce la economii substanțiale de energie, între 0% și 50% (tipic 25%). Economia depinde mult de gradul de supradimensionare, putând fi estimat cu exactitate cât timp se cunosc parametrii exacti ai proiectării.

3) Economii datorate iluminatului natural: economiile obținute ca urmare a utilizării luminii naturale sunt mult mai greu de estimat. Dar cât timp detaliile arhitecturale sunt

cunoscute, aceste economii pot fi estimate într-un anumit grad de precizie, deoarece media disponibilității luminii naturale de-a lungul anilor este predictibilă. În sensul de-a maximiza aceste economii, este important de-a controla corpurile de iluminat cu o aceeași expunere la lumina naturală, înțelegând prin aceasta că circuitele ar trebui să fie paralele cu ferestrele sau expuse la aceeași iluminare a cerului. Cu ajutorul unor circuite corespunzătoare și o pătrundere rezonabilă a luminii naturale, poate fi economisit între 20% ... 30% din totalul energiei utilizate pentru iluminat în aplicațiile industriale. Profitând de o bună iluminare a cerului pot fi economisite de la 35% la 50% în timpul zilei.

4) Reducerea nivelului iluminării la anumite ore: în timpul efectuării curățeniei sau în timpul orelor de inactivitate, iluminatul poate fi redus de exemplu la 50% cu ajutorul timer-elor sau senzorilor de prezență. Dacă se utilizează un control orar economiile sunt estimate cu acuratețe. În cazul utilizării senzorilor de prezență, economiile depind în mod evident de ocupanți. Acest aspect trebuie analizat cu grijă din timp.

5) Economii în cazul sistemelor de aer condiționat: ca urmare a celor discutate anterior aplicațiile cu aer condiționat vor beneficia de o încărcare mai mică. În funcție de sistemul de alimentare și amplasare, economiile înregistrate de pe urma sistemului de iluminat pot fi multiplicare cu un factor de la 1,1 la 1,8.

6) Economia de energie prin utilizarea sistemelor cu comutare: este cât se poate de evident că cel mai economic mod de a economisi energie în iluminat este de-a nu folosi iluminatul. Aceasta este cât se poate de simplu, dar foarte greu de îndeplinit ținând seama de cerințele din capitolul I (c). Datorită caracterului de "vizibilitate" al luminii este extrem de greu de a opri iluminatul fără a se observa acest lucru! Ceea ce se poate face doar în spațiile închise și doar dacă este sigur că acolo nu se găsește nici o persoană. O măsură simplă, care poate reduce substanțial costurile pentru energie: *oprește iluminatul dacă nu este nici o persoană în încăperea vizată sau în fabrică!!* Din nou o problemă simplă, dar o condiție dificilă de a fi obținută. O persoană

trebuie să fie responsabilă cu această activitate! Sistemele cu comutare pot fi bazate pe controlul de prezență sau de timp, cuplat cu disponibilitatea luminii naturale. Sistemele cu comutare asigură economii considerabile, dar în funcție de aplicație pot să interfere cu utilizatorii. Recomand ca această alegere să se realizeze cu grijă. În multe cazuri, utilizatorii nu au fost satisfăcuți sau au fost deranjați. Economii depind în mare măsură de utilizatori și sunt greu de estimat.

7) Economii totale: totalul economiilor SCIE poate fi cuprins într-un interval de la 20% la 50%, tipic 30%. Iluminatul natural nu este absolut necesar pentru a obține aceste economii.

III Rațiuni financiare

Resursele pentru iluminat pot fi împărțite în două componente diferite: - de cost, investiția inițială și - costurile operaționale. Din nefericire, costurile inițiale influențează într-un grad sporit pe cele operaționale care sunt pe departe mai substanțiale de-a lungul vieții instalațiilor de iluminat.

Trei categorii de costuri trebuie luate în considerare:

- ❑ costul inițial
- ❑ costul energiei
- ❑ costul mentenanței

Un mic exemplu vă va face să înțelegeți acest aspect: să considerăm un corp de iluminat de calitate ridicată cu sticlă refractară dotată cu o lampă de sodiu la înaltă presiune (HPS) de 400 W și balast reactiv (cu pierderi de 35 W).

A) investiția inițială: costul corpului de iluminat de mai sus este în jur de €200,00.

B) costul energiei: pentru o funcționare de 4000 h pe an la un cost al energiei de 8,2 cenți [2], costul anual al energiei va fi:

$$€0,082 \cdot 4000 \text{ h} \cdot 435 \text{ W} = €142,68$$

sau 71% din investiția inițială. Presupunând durata de viață la 20 de ani și un preț constant al energiei, costul energiei pe durata de viață a corpului de iluminat este:

$$€142,68 \cdot 20 \text{ years} = €2.853,60$$

sau de 14 ori costul investiției inițiale. Iar pentru toată aplicația costurile vor reprezenta mai mult decât dublul investiției:

$$€0,082 \cdot 8760 \text{ h} \cdot 435 \text{ W} \cdot 20 \text{ ani} = €6.249,38$$

C) Costul mentenanței: presupunând că durata de viață a lămpii este de 12.000 h, lampa necesită a fi schimbată de aproape 7 ori dacă este operațională 4000 h/an. Costul se va cifra la €20,00 pentru lămpi și €25,00 cu manopera și aparatele. Costul total al mentenanței pentru 20 de ani cu o utilizare de 4000 h/an este:

$$7 \cdot €45,00 = €315,00$$

Graficul următor ilustrează ceea ce s-a obținut în urma acestui mic calcul – figura 1 ne prezintă costul instalării sistemului de iluminat descris mai sus cu o perioadă de operare de 4000 h/an.

Decizia alegerii unui iluminat adecvat este lăsat de multe ori la latitudinea constructorului clădirii, care cele mai multe cazuri nu au nici un îndemn de a căuta instalații de calitate și eficiente. Sunt multe cazuri în care doar după faza de construcție, când costul operațional devine evident, se caută căi de a le reduce.

Orientarea de a proiecta și construi facilități s-a îndepărtat de sfatul experților specializați în inginerie electrică care au un cuvânt de spus în acest sens.

Ocupanții pun un mare accent pe sursele de iluminat eficiente energetic și control al iluminatului în scopul de a minimiza consumul de energie și costul operațional.

Beneficiul rezultat dintr-o investiție ridicată poate fi obținut în multe cazuri într-o perioadă viabilă de timp din punct de vedere comercial. Beneficiile rezultate nu sunt doar pentru ocupanți sub forma reducerii costurilor operaționale pentru întreaga perioadă de timp de funcționare a instalației de iluminat, ci reprezintă la fel de mult și o contribuție majoră la protejarea mediului înconjurător.

IV Configurația echipamentelor

Sunt disponibile la ora actuală două sisteme de variere a fluxului luminos în mod continuu (dimming): sistemul de control centralizat, unde toate circuitele luminatoarelor sunt controlate de un controler sursă, sau sistemul

descentralizat, unde controlerul face parte din corpul de iluminat (dispozitivul sursa controler pentru lămpile cu descărcări de înaltă intensitate - HID sau balast la înaltă frecvență - HF în cazul iluminatului fluorescent). În ideea conformității cu cerințele unei recuperări în scurt timp a investiției este esențială menținerea costului capital scăzut. În multe cazuri aceasta ne lasă cu prima și cea mai economică opțiune: sistemul centralizat. Important aici este faptul că sistemul poate controla aparatele standard și un aspect chiar mai important este acela că permite controlul unui număr mai mare de corpuri de iluminat cu o singură unitate, acesta trebuind să fie desigur mai sigur.

Un SCIE elementar în abordarea centralizată constă doar din trei componente: controlerul sursă, care este plasat la începutul fiecărui circuit (normal la tabloul de distribuție), o celulă fotoelectrică plasată pe tavan în centrul unei zone particulare și unitatea centrală de control (CCU) care realizează conexiunea dintre celula fotoelectrică și controlerul sursă.

CCU este instalat în tabloul de distribuție unde setările (iluminarea dorită) pot fi modificate ușor. CCU este calibrat după instalare în scopul de-a menține nivelul iluminării constant. El transmite semnale controlerului sursă care reglează fluxul de putere în circuitele sale. Toate corpurile de iluminat sunt echipate cu balast cu miez de fier standard, startere standard și lămpi standard sau amorsatoare standard în corpurile de iluminat cu lămpile fluorescente sau amorsatoare standard în cazul lămpilor cu descărcări de înaltă intensitate. Cu această tehnologie fluxul luminos al lămpilor poate fi controlat în domeniul de la 100% la 50%, care înseamnă controlul puterii de la 100% la 45% în cazul lămpilor fluorescente și de la 100% la 65% în cazul lămpilor cu descărcări de înaltă intensitate.

Figura 2 ne prezintă schema unei instalații cu trei faze cu trei controlere sursă, un CCU și o fotocelulă. Se poate remarca controlul aparaturii lămpilor și instalarea simplă a sistemului.

IV Testele KEMA

În 1992 KEMA Transport & Distribution a început testarea a patru sisteme diferite pentru controlul fluxului luminos [3]. Dintre cele patru sisteme, două operează cu balast electronic, iar celelalte două cu balast magnetic cu pierderi mici, în patru camere identice.

Toate sistemele au fost sisteme cu modificarea fluxului luminos continuu, fiind calibrate să mențină nivelul iluminării la valoarea de 500 lx. Unul din două sisteme dotate cu balast magnetic s-a defectat mai repede în cursul testului, alte trei sisteme au funcționat până la sfârșitul testului.

Rezultate similare se pot obține în urma unor teste pentru o aplicație industrială. Motivul pentru care s-au obținut rezultate bune datorită utilizării balastului magnetic ce funcționează pe tehnologia NCWI* este creșterea eficienței lămpii, când este diminuat fluxul luminos. La o valoare a fluxului luminos de 50% din fluxul de ieșire al lămpii consumul de putere este de 45%. Aceasta este o creștere de 10%. **NCWI este prescurtare la "non critical waveform intersection". această tehnologie a fost dezvoltată în special pentru diminuarea fluxului luminos al lămpilor cu descărcare (a se vedea capitolul VI)*

VI Diminuarea fluxului luminos al lămpilor cu descărcări

Sunt disponibile diferite sisteme:

- ❑ cu diminuare în trepte cu balast (taped ballast)
- ❑ balast electronic (HF)
- ❑ sisteme cu transformatoare
- ❑ sisteme cu transformatoare electronice
- ❑ NCWI (non critical wave form intersection technology)

Figura 3 ilustrează rezultatele testării celor trei sisteme. Încăperea de referință este echipată cu balasturi cu pierderi scăzute fără nici un tip de control (consumul energetic este de 672 KWh). În cazul utilizării balasturilor electronice consumul este media consumurilor celor două tipuri instalate (consum energetic de 537 KWh).

Rezultatul sistemului de diminuare cu balasturi magnetice este de 295 KWh sau cu 56% mai puțin ca în cazul biroului de referință. Cazurile a) și b) reprezintă sistemele "distribuite", toate celelalte fiind sisteme centralizate.

Orice tip de diminuare a oricărui tip de lampă va schimba temperatura de culoare precum și indicele de redare a culorii luminii. Este la fel ca și în cazul lămpilor incandescente. Unele tehnici, de exemplu NCWI, păstrează aceste schimbări la un minimum, care în mod normal nu este vizibil. Întrebarea este dacă astfel de schimbări sunt acceptabile pentru tipul respectiv de instalație. De exemplu, într-un magazin de haine, aceste schimbări nu sunt acceptate, pe când într-o fabrică, aceste schimbări sunt acceptate definitiv deoarece iluminarea naturală este compensată și acești parametri sunt îmbunătățiți de lumina naturală

În continuare va fi dată o scurtă descriere a fiecărui sistem:

a) Diminuare în trepte cu balast (taped ballast): balastul este montat cu bobine adiționale puse în circuit cu ajutorul unui releu. Aceasta va reduce consumul de putere și fluxul luminos. Evident acesta nu este un sistem continuu, ca și în sistemele distribuite. Cablare adițională este necesară pentru a controla dispozitivul, de exemplu un cablu pentru alimentarea releului.

b) Balast electronic: larg utilizat în iluminatul cu lămpi fluorescente. Sunt utilizate pentru lămpi cu frecvență ridicată (10 - 30 kHz). În acest caz diminuarea fluxului luminos se poate realiza printr-o variație de tensiune în intervalul 0 - 10 V. Aceasta înseamnă fire în plus. Eficacitatea lămpilor scade dramatic când este diminuată de exemplu puterea luminoasă cu 50%, consumul este de 59% din consumul inițial, aceasta ducând la o scădere a eficienței de 18%!

c) Sisteme bazate pe transformator: transformatoarele reprezintă calea cea mai simplă de diminuare a fluxului luminos. Trebuie să se țină cont de două aspecte. Primul aspect îl reprezintă faptul că transformatorul nu trebuie să aibă părți mobile deoarece acestea

necesită operații de întreținere. Dacă operațiile de întreținere nu sunt executate, transformatoarele pot să prezinte pericol de incendiu. De aceea este indicat a se utiliza transformatoare cu cursor. Al doilea aspect îl reprezintă faptul că numai lămpile de înaltă presiune sunt potrivite pentru o diminuare a fluxului luminos într-un domeniu acceptabil de 100% ... 50%. Pe de altă parte aceste transformatoare sunt adecvate pentru marile instalații existente, deoarece ele pot controla cu un factor de putere bun lămpile dotate cu balast magnetic.

d) Sisteme bazate pe transformator electronic: aceste sisteme se bazează pe tehnologia IGBT. Aplicația este similară cu cea de la punctul c). Avantajele față de transformatoarele clasice sunt: mult mai ieftine, mult mai mici în dimensiune și greutate. Transformatoarele electronice vor înlocui eventual transformatoarele clasice.

e) Tehnologia NCWI: această tehnologie a fost dezvoltată în mod special pentru a diminua fluxul luminos al lămpilor cu descărcări. Orice tip de lampă cu descărcare poate fi supusă unui control de diminuare a fluxului luminos cu condiția folosirii unui balast magnetic (magnetic reactor ballast) și nu există starter în corpul de iluminat. Corecția factorului de putere poate fi făcută centralizat la nivelul sursei controller. În funcție de tipul lămpii folosite se pot obține diminuări de la 100% până la 20%.

Figura 4 arată principiul NCWI. Ideea tehnologiei NCWI este de a alimenta lampa cu vârful de tensiune a fiecărei jumătăți de undă și de a injecta un curent în punctul minim al jumătății de undă.

V Mentenanța iluminatului

A. Generalități

Experiența noastră arată că multe instalații comerciale și industriale nu au o schemă corespunzătoare de mentenanță și, de asemenea, nici o persoană responsabilă și pregătită să execute această importantă sarcină.

Lămpile sunt schimbate una câte una sau în grupuri mici atunci când ele se defectează.

Lămpile ce înlocuiesc pe cele defecte sunt cumpărate mai degrabă în cantități mici și persoana însărcinată cu cumpărarea lor nu are de obicei cunoștințe de iluminat și despre lămpi. astfel sunt cumpărate lămpile ieftine. Aceasta se întâmplă de obicei deoarece persoanele însărcinate cu cumpărarea lămpilor consideră aceasta ca fiind o soluție ieftină.

Aceasta este de departe cea mai scumpă cale de a avea o instalație de iluminat care nu îndeplinește întocmai setul minim de recomandări și standarde!

B. Mentenanța corespunzătoare

Mentenanța corespunzătoare a unui sistem de iluminat este importantă. Schimbarea lămpilor când ele s-au defectat nu este o măsură suficient de bună. Majoritatea lămpilor de tip vechi se defectează când fluxul lor emis s-a redus cu 50% sau mai mult. Aceasta înseamnă că nivelul luminii nu este corespunzător pentru a executa o sarcină în mod confortabil și sănătos și de asemenea puterea consumată este tot 100%. Aceasta înseamnă că veți plăti ca pentru o lampă nouă și obțineți de fapt 50% din fluxul luminos al unei lămpi noi. Deci este esențial și mai ieftin să fie înlocuite lămpile când durata de viață economică* este atinsă. Durata de viață economică a unei lămpi diferă de la un produs la un altul. Întrebați furnizorul: lămpile bune vor putea funcționa în jur de 12.000 ore sau mai mult, ceea ce reprezintă 3 ani cu 4.000 ore p.a.

Este recomandată instalarea unui contor, care să contorizeze orele de funcționare a unui circuit reprezentativ. persoana însărcinată cu cumpărarea lămpilor trebuie să aibă niște cunoștințe despre iluminat. Dacă acest lucru nu este posibil, vorbiți cu un inginer în luminotehnică și întrebați-l care sunt cele mai bune lămpi pentru instalația dvs. Prețul nu este totul! De exemplu lămpile standard de 36 W sunt disponibile pentru mai puțin de 1,00 €, un produs similar de o calitate bună vă poate costa mai mult de 2,00 €. Veți avea ce veți plăti! Diferențele majore între un produs de calitate slabă și unul de bună calitate sunt: viața lămpii, fluxul luminos emis, redarea culorii (calitatea

spectrului de culoare) și temperatura de culoare (ex. alb cald, alb neutru, alb rece).

* Durata de viață economică: aceasta reprezintă perioada în care fluxul luminos scade până la 80% din fluxul luminos inițial. La acest stadiu iluminarea instalației a scăzut la iluminarea stabilită, cu alte cuvinte factorul de menținere a fost "folosit". Celelalte 10% (pentru un factor de menținere de 0,7) reprezintă deprecierea fluxului luminos datorită depunerilor de praf pe corpul de iluminat.

C. Alegerea înlocuirii lămpilor

În vederea obținerii unei lumini bune și uniforme, lămpile de rezervă trebuie să fie cumpărate în cantități mari. Aceasta va oferi avantajul unui preț mai bun.

VI Concluzii

Controlul iluminatului pentru managementul energetic a devenit o direcție importantă. Indiferent de tipul sistemului sau tehnologia utilizată pentru SCIE, trebuie verificate încă de la început cinci cerințe ale acestuia, pentru a putea vorbi de un management energetic. Teoretic fiecare tip de lampă HID și fluorescentă se pretează la un control al fluxului luminos folosind dispozitive de reglare standard magnetice. Nu sunt necesare modificări pentru lămpile inductive.

Tehnologiile descrise pot fi utilizate nu numai în domeniu industrial ci și în clădirile comerciale cât și în iluminatul exterior.

În sfârșit, succesul aplicării unei astfel de sistem constă nu numai în obținerea unei economii de energie și reducerea perioadei de recuperare a investiției ci și în obținerea satisfacției clienților. Întreținerea, credibilitatea și încrederea se adaugă celor cinci cerințe ce trebuie îndeplinite în majoritatea cazurilor unde noile tehnologii au fost implementate.

VII Studiu de caz

Prezentare: sistemul de control al iluminatului este instalat în hala de unelte a unei fabrici de mașini. hala are o suprafață de 20.000 m² și o înălțime de 16 m. Hala prezintă și luminoare (în jur de 1% din suprafața acoperișului). Sistemul de iluminat este realizat cu 1100 de lămpi cu ioduri metalice de 400 W

(plus 35 W pentru balast). Aceasta reprezintă o încărcare de 479 KW.

Costul SCIE este:

- echipamente SCIE	175.000 €
- instalare	43.000 €
- costul total	218.000 €

În medie, economiile de energie au fost de 30%. Economii de energie ajung până la 97.380 USD/an, astfel ROI este de 2,2 ani.

Instalare: cele 1100 de lămpi sunt alimentate echilibrat de la patru tablouri de distribuție (TD). Fiecare TD alimentează 275 de lămpi distribuite în 8 circuite trifazate (3*50 A), deci sunt 24 de circuite monofazate. Fiecare circuit este conectat la o sursă controller de 50 A (12 KVA). Cele 24 de surse controller sunt controlate de o fotocelulă CCU instalată în același TD și o fotocelulă instalată în zona respectivă.

Tabel 1 Calculul perioadei de recuperare a investiției

Orele de funcționare anual	4.250 h/an
Costul energiei	0,06 €
Puterea lămpii	400 W
Pierderi în balast	35 W
Număr de lămpi	1100 bucăți
Utilizare fără SCIE	2,033 MWh
Utilizare cu SCIE	1,423 MWh
Economia de energie anuală	610 MWh/an
Economia de energie	30%
Aceasta echivalează cu	600 t CO ₂
Economii financiare anuale	85.380 €
Economia prin mentenanță	12,000 €
Totalul economiilor anuale	97,380 €
Investiția totală	218,000 €

Recuperarea investiției	2,2 ani
-------------------------	---------

Verificare energetică: pentru verificarea performanțelor SCIE au fost instalate înregistratoare. Economii de energie au fost măsurate de-a lungul câtorva luni.

Costul sistemului instalat per m² este 11,00 €. Costul sistemului instalat per W este de 0,46 €.

Tabelul 1 ilustrează parametrii individuali ai calculului perioadei de recuperare a investiției. Notabil în această instalație este costul scăzut al energiei de 6 sutimi per KWh (6 cenți per KWh). Este inutil să se mai menționeze faptul: cu pentru un cost al energiei de 10 sutimi per KWh recuperarea investiției va fi de numai 20 de luni! De asemenea, o creștere a numărului orelor de funcționare va duce, desigur, la scăderea ROI.

Traducere realizată de Adrian GLIGOR și Horațiu GRIF