

A PROJECT ON AUTOMATICALLY CONTROLLED OFFICE LIGHTING SYSTEMS

Sermin ONAYGIL, Nesrin ÇOLAK, Dilek ENARUN, Alpin YENER
Istanbul Technical University

Abstract

A new project in relation with “Daylight in Buildings” which is being supported by IEA (International Energy Agency) since 1995, has been started to obtain some results for Turkey. This project will be carried out in ITU-Faculty of Electrical and Electronics, Department of Electrical Engineering.

The aim of this project is the determination of the comfort conditions and energy saving realised by using the automatic systems. In addition, the people’s preferences about control systems and lighting criteria, relations between the available daylight and the required artificial lighting are also to be determined in this project.

This paper sets principals of the project and covers some information on the completed parts of it, which is supported by TUBITAK, ITU, Zumtobel and Siemens.

1. Introduction

A project entitled “Daylight in Buildings” started at the end of 1995 as a part of the “Solar Heating and Cooling Program” in relation to IEA-International Energy Agency (IEA Task 21) [1,2,3]. It is being carried out by 16 participant countries in the following sections:

- A) Performance evaluation of daylighting systems
- B) Daylight responsive lighting control systems
- C) Daylight design tools
- D) Case studies

A new project entitled “Providing Working Comfort and Energy Saving in Offices by using the Control Systems” is being carried out in ITU (Istanbul Technical University)’s Faculty of Electrical and Electronics, Department of Electrical Engineering in order to share knowledge and experience with other participant countries and obtain data for our country related to the above mentioned Part B. This paper aims to give

general information about the project and give the results of the completed parts of it, which is being supported by TUBITAK (Turkish Research Council), ITU (Istanbul Technical University), Zumtobel and Siemens.

2. Aim of the project

The aims of the project are the determination of the energy saved by using an automatically controlled lighting system while obtaining visual comfort conditions in office lighting, the determination of people’s preferences for control systems and lighting criteria and the determination of the correlation between available daylight and required artificial light. The results of the project will enable the proper and correct use of the control systems.

3. Experimental set-up

An office room which is used by real occupants has been set up as the test office. The room, which is located on the third floor has the dimensions 3.35m x 6.25m x 3.25m. The windows are oriented to the north-east and their area is 3.03 m². The ceiling is white, walls are grey and the floor is light blue ($r_c=0.9$, $r_w=0.7$, $r_f=0.2$). The room is furnished functionally with light grey furniture which has a high reflection factor ($r_{wp}=0.5$). There are light blue ($r_s=0.7$) roller blinds at the windows. The illumination system consists of 6 luminaires with a double parabolic mirror louver (Zumtobel/REDA2/50W LME) each of which has two 50 W fluorescent lamps (Figure 1). Luminaires are positioned in three rows parallel to the windows and recessed in the suspended ceiling the height of which is 3.25m.

Maximum illumination level provided by this system on the working plane is 1500 lx. 12 fluorescent lamps, each of which is connected individually to dimmable electronic ballasts are regulated by the Zumtobel LUXMATE bar system. This bar system enables the regulation of each lamp either automatically or manually. The illumination level of the office can be adjusted automatically by a daylight sensor in the room depending on the external illumination level. Or alternatively, luminous flux of each lamp can be brought to the required level by the occupant with a remote control within the range of 3% to 100%. In addition, 5 different levels of illumination can be determined and fixed, so that these levels can be obtained easily by the occupants using the remote control or the keys on the control panel. There are 6 sensors in the room, 2 of them are horizontal and 4 of them are vertical. One of the horizontal sensors is on the working plane and the other is in front of the window. One of the vertical sensor is placed on the wall opposite of the occupant when sitting at the working table, one on the wall behind the computer, one on the rear wall of the room at a height of 1.2m and the last one is on the window surface directed to

the outside and isolated from the internal artificial illumination (Figure 1). The total illumination level values (daylight + artificial light) measured by these sensors are recorded continuously by computer through a data collection unit (Data Electronics Data Taker - DT 600) and stored with a 6 minute time interval (Table 1).

The current of lamps (A), voltage (V), active power (kW), reactive power (kVAr) and power factor ($\cos\phi$) are measured and stored every 6 minutes over a power-meter (Siemens/4300) (Table 2). This system aims to determine the energy saved by the automatically controlled systems in comparison with the conventional systems. Furthermore, the artificial illumination level related to the wattage can be determined. These values enable the separation of the artificial illumination level from the total values (daylight + artificial light) which are measured by the sensors.

Table 1. An example of the measured illumination levels inside the office

Date	Time	E1(lux)	E2 (lux)	E3 (lux)	E4 (lux)	E5 (lux)	E6 (lux)
01.09.1999	12:00:00	390	1023	527	530	728	4720
01.09.1999	12:06:00	339	978	480	468	633	4177
01.09.1999	12:12:00	295	936	435	395	586	4242
01.09.1999	12:18:00	286	929	423	362	544	3821
01.09.1999	12:24:00	313	957	443	414	597	4428
01.09.1999	12:30:00	174	178	103	317	501	4746
01.09.1999	12:36:00	185	195	110	325	550	5930
01.09.1999	12:42:00	200	213	121	355	579	6299
01.09.1999	12:48:00	195	210	119	347	572	6514
01.09.1999	12:54:00	196	211	120	347	579	6761
01.09.1999	13:00:00	228	253	141	418	650	7419
01.09.1999	13:06:00	205	221	125	374	584	6205

Table 2. An example of the measured electrical values by the Power-meter

Date - Time	I(A)	U(V)	P(kW)	Q(kVar)	cosφ	E(lux)
Thu Aug 26 10:48:19 1999	2,78	226	0,62	0,07	0,992	1257
Thu Aug 26 10:54:19 1999	2,74	226	0,61	0,06	0,994	1235
Thu Aug 26 11:00:19 1999	2,27	226	0,51	0,05	0,993	1015
Thu Aug 26 11:06:19 1999	2,4	225	0,54	0,05	0,994	1081
Thu Aug 26 11:12:19 1999	1,95	226	0,44	0,03	0,996	860
Thu Aug 26 11:18:19 1999	2,05	227	0,46	0,04	0,993	904
Thu Aug 26 11:24:19 1999	2,11	228	0,48	0,03	0,996	949
Thu Aug 26 11:30:19 1999	2,03	228	0,46	0,03	0,996	904
Thu Aug 26 11:36:19 1999	1,79	228	0,41	0,03	0,996	794

Values measured by the vertical sensor in front of the window and values measured by the horizontal sensor placed on the working plane are continuously recorded, and a linear relation between them is found especially in winter period. This function enables the separation of the artificial illumination level from the total value measured on the working plane and also the verification of this value.

In the small daylight laboratory which is placed on the roof of the building the following values are measured and stored by computer through the second data collection unit (Data Electronics Data Taker - DT 500) every 6 minutes:

- External horizontal illumination caused by the sky, E_{sky}

- External horizontal illumination caused by the sun, E_{sun}
- Total external horizontal illumination, E_T
- Zenith luminance, L_z
- Temperature
- Humidity

The measured values are being evaluated according to “CIE - Guide to Recommended Practice” and stored by computer as a data base [4].

4. Experimental method

Male and female office workers of different ages are invited to work in the test office for 3 days. They are requested to do their regular

work (reading, writing, mutual discussion, talking on the telephone, working on the computer) in the test office. First, they are asked questions about their personal, physiological and family situation. Then they fill in test forms every day, where they put their impressions about the office and its lighting. Test sets for 3 days are as follows:

1. Day: Daylight control works

Lighting system provides a constant 500 lx illumination level on the working plane. The amount of artificial light depends on the available daylight. If the person is not satisfied with the automatic system he has the opportunity to change the illumination level manually.

2. Day: Daylight control doesn't work

The test person can adjust the illumination level as he wants.

3. Day: Daylight control doesn't work

The test person has 2 alternatives, either he can switch off the lights or he can switch them on to get a 500 lx artificial illumination level.

5. Objectives

The below given objectives are followed on application of the above mentioned test method in the test office:

- Determination of the occupants' opinions on automatic lighting control systems,
- Determination of the energy saved by using automatic control systems,
- Determination of the required illumination level in offices,
- Determination of a relationship between the required illumination level inside the office and the measured daylight values outside the office.

6. Preliminary results

The following results were reached by testing 15 people, aged between 23 and 55, 7 of them female and 8 of them male:

- People's preferences for lighting were quite different,
- Only 20% of the test persons said that they were satisfied with the automatically

controlled system which provides a constant 500 lx illumination level during the day,

- Female test persons were more sensitive to the systems and more selective about their requirements (subjects who are satisfied with the automatic system and whose self-adjusted values are in accordance with the constant 500 lx illumination level which is provided by daylight control system, have been classified as "sensitive and selective"),
- When a remote control was available, people preferred higher illumination levels than they were satisfied with in the automatically controlled system.

7. Conclusion

From the preliminary results, it is clear that people's preferences are quite different. Therefore, it is obvious that the existing lighting automation systems which provide a constant illumination level during the year cannot cover visual comfort requirements.

If personal preferences on lighting related to physiological and psychological factors are estimated and lighting control systems are adjusted according to these estimations, systems can function more efficiently. This can be possible if the results of a lot of tests over long periods are fed into the systems through a proper teaching algorithm [5]. Therefore, the results of this project will be classified according to the seasons, months, daily weather conditions and time of the day. The relation between the external measurements and the internal values preferred by the occupants will be determined with the Neural Network Method.

The results for Turkey, which has different latitudes and altitudes and a different culture have a great importance for the main project. Another important result of this project is the determination of the daylight conditions for Istanbul, where there are a lot of complex buildings with automation systems.

References

- [1] S.Aydınlı, "Daylight in Buildings", I. National Lighting Congress, p.24-30, Istanbul, (1996)

[2] M.Velds, "Monitoring Protocol, IEA, Task 21, Daylight in Buildings, Subtask B, Daylight Responsive Lighting Control Systems" Delft, (1996)

[3] M. Velds, J. Christoffersen, "Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings", (1996)

[4] CIE 108-1994, "Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement", Technical Report, (1994)

[5] N. Çolak, S. Onaygil, "Predicted Artificial Illuminance by Using Neural Network", Proc.CIBSE National Lighting Conference, p.127-131, London, (1998)

Sermin ONAYGIL*, Nesrin ÇOLAK*, Dilek ENARUN*, Alpin YENER**

* Istanbul Technical University - Faculty of Electrical and Electronics

** Istanbul Technical University - Faculty of Architecture

Istanbul Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Maslak, 80626, Istanbul, Turkey

Tel: +90 212 285 69 55

Fax: +90 212 285 67 00

e-mail: sermin@elk.itu.edu.tr

UN PROIECT PRIVIND CONTROLUL AUTOMAT AL SISTEMELOR DE ILUMINAT PENTRU BIROURI

Rezumat

Un nou proiect referitor la "Lumina naturală în clădiri", susținut de IEA (International Energy Agency) începând cu 1995, a fost demarat în Turcia. Acest proiect va fi desfășurat în cadrul ITU – Universitatea Tehnică Istanbul, Facultatea de Electrică și Electronică, Departamentul de Inginerie Electrică.

Scopul proiectului este de a determina condițiile de confort și economia de energie realizate utilizând sistemele automatizate. De asemenea, în proiect sunt determinate preferințele utilizatorilor pentru sistemele de control și criteriile luminotehnice, relațiile dintre lumina naturală disponibilă și iluminatul artificial necesar.

Această lucrare stabilește ideile principale ale proiectului și prezintă informații despre părțile finalizate ale acestuia, susținut de TUBITAK, ITU, Zumtobel și Siemens.

1. Introducere

Proiectul intitulat "Lumina naturală în clădiri" a început la sfârșitul anului 1995 ca și parte a "Programului Încălzirea și Răcirea Solară" al IEA – International Energy Agency (IEA Task 21) [1,2 3]. Proiectul este realizat de 16 țări participante, cu următoarele secțiuni:

A) Evaluarea performanței sistemelor ce permit utilizarea luminii naturale

B) Sisteme de iluminat cu control sensibile la lumina naturală

C) Instrumente de proiectare a iluminatului natural

D) Studii de caz

La ITU (Universitatea Tehnică din Istanbul), Facultatea de Electrică și Electronică, Departamentul de Inginerie Electrică, este realizat un nou proiect intitulat "Asigurarea confortului de lucru și economisirea energiei în birouri prin utilizarea sistemelor de control" pentru a face un schimb de informații și experiență cu celelalte țări participante și pentru a obține datele pentru țara noastră referitoare la punctul B mai sus menționat. Scopul acestei lucrări este de a da informații generale despre proiect și de a prezenta rezultatele părților finalizate din proiect, care sunt susținute de TUBITAK (Consiliul de Cercetare Turc), ITU (Universitatea Tehnică din Istanbul), Zumtobel și Siemens.

2. Obiectivul proiectului

Obiectivele proiectului sunt determinarea energiei economisite prin utilizarea sistemelor de iluminat cu control automat, realizând în același timp condiții vizuale confortabile în iluminatul birourilor, determinarea preferințelor utilizatorilor pentru sisteme de control și criteriile luminotehnice și determinarea unei corelații între lumina naturală disponibilă și lumina artificială necesară. Rezultatele proiectului vor permite o utilizare exactă și corectă a sistemelor de control.

3. Stabilirea experimentului

S-a ales ca și încăperea test, un birou ocupat de utilizatori reali. Încăperea, situată la etajul al treilea, are dimensiunile 3,35 m x 6,25 m x 3,25 m. Ferestrele sunt orientate spre nord-est și aria lor este 3,03 m². Tavanul este vopsit în alb, pereții sunt gri și podeaua are o culoare albastru-deschis ($r_c = 0,9$, $r_w = 0,7$, $r_f = 0,2$). Camera este mobilată funcțional, cu o mobilă gri-deschis care are un factor de reflexie ($r_{wp} = 0,5$). Ferestrele sunt prevăzute cu jaluzele albastru-deschis ($r_s = 0,7$). Sistemul de iluminare conține 6 corpuri de iluminat cu oglindă parabolică dublă (Zumtobel/REDA2/50W LME), fiecare din ele având două lampi fluorescente de 50 W (figura 1). Corpurile de iluminat sunt dispuse pe trei rânduri paralele cu ferestrele și montate în tavanul suspendat, la înălțimea de 3,25 m. Nivelul de iluminare maxim asigurat pe planul de lucru este de 1500 lx. 12 lampi fluorescente, fiecare conectată individual la un balast electronic cu dimmer, sunt reglate de un sistem bus-bar LUXMATE Zumtobel. Acest sistem permite reglarea fiecărei lampi atât automat cât și manual. Nivelul de iluminare a biroului poate fi ajustat automat prin introducerea unui senzor de lumină naturală în încăperea în concordanță cu nivelul de iluminare extern. Sau, ca și o alternativă, fluxul luminos al fiecărei lampi poate fi adus la valoarea cerută de utilizator cu ajutorul unei telecomande în gama de 3% până la 100%. În plus, cinci niveluri de iluminare diferite pot fi determinate și fixate, astfel încât aceste niveluri pot fi atinse ușor de către utilizator cu ajutorul unei telecomande sau a unui panou de control. Există 6 senzori în încăperea, 2 orizontali și 4 verticali. Unul din senzorii orizontali este în planul de lucru și celălalt este în fața ferestrei. Unul din senzorii verticali este plasat pe peretele opus ocupantului când acesta stă la masa de lucru, unul pe peretele din spatele computerului, unul pe peretele din spate al camerei la o înălțime de 1,2 m și ultimul este situat în fața ferestrei, orientat spre exterior și izolat de iluminatul artificial interior (figura 1). Valoarea nivelului iluminării totale (iluminat artificial și natural) măsurată de acești senzori este înregistrată continuu de un computer prin unitatea de colectare a datelor (Data Electronics

Data Taker – DT 600) și înmagazinată la un interval de 6 minute. (Tabel 1).

Valorile curentului lămpii (A), tensiunii (V), puterii active (kW), puterii reactive (kVAr) și factorului de putere ($\cos\phi$) sunt măsurate și înregistrate la fiecare 6 minute cu un multimetru (Siemens/4300) (Tabel 2). Acest sistem are scopul de a determina energia economisită prin sistemul controlat automat în comparație cu sistemele convenționale. Se poate determina nivelul iluminatului artificial corelat cu puterea electrică.

Aceste valori permit separarea nivelurilor de iluminare artificială de valorile totale (iluminare artificială + naturală) care sunt măsurate de senzori. Valorile măsurate de senzorul vertical din fața ferestrei și cele măsurate de senzorul orizontal din planul de lucru sunt înregistrate continuu și s-a găsit o relație lineară între ele, mai ales în perioada de iarnă. Această funcție permite separarea nivelului de iluminare artificială de nivelul total măsurat în planul de lucru și, de asemenea, verificarea acestei valori.

Următoarele valori au fost înregistrate într-un laborator mic cu lumină naturală, situat la ultimul nivel al clădirii, fiind stocate de computer printr-o a doua unitate de colectare a datelor (Data Electronics Data Taker – DT 500) la fiecare 6 minute:

- iluminare orizontală externă datorată cerului, E_{sky}
- iluminare orizontală externă datorată soarelui, E_{sun}
- iluminare orizontală totală, E_T
- luminanță zenitală, L_z
- temperatură
- umiditate

Valorile măsurate au fost evaluate în concordanță cu Ghidul de recomandări practice – CIE și stocate de un computer într-o bază de date.

4. Metoda experimentală

Într-un birou test au fost invitați să lucreze persoane de sex masculin și feminin pentru 3 zile și li s-a cerut să-și îndeplinească sarcinile

obișnuite de lucru (citit, scris, discuții, vorbit la telefon, lucru la computer). La început au fost întrebați despre situația lor personală, fiziologică și familială. Apoi au completat în fiecare zi formulare test, în care și-au exprimat impresiile despre birou și iluminatul său. Seturile de teste pentru 3 zile sunt astfel:

Ziua 1: sistemul de control al luminii naturale funcționează. Sistemul de iluminat furnizează o iluminare constantă de 500 lx la nivelul planului de muncă. Cantitatea iluminatului artificial depinde de lumina naturală disponibilă. Dacă persoana nu este satisfăcută cu sistemul automat are oportunitatea să schimbe manual nivelul de iluminare.

Ziua 2: sistemul de control al luminii naturale nu funcționează. Persoana testată poate să-și adapteze nivelul iluminării cum dorește.

Ziua 3: sistemul de control al luminii naturale nu funcționează. Persoana testată are două alternative: poate să stingă sau poate să aprindă luminile astfel încât să obțină un iluminat artificial de 500 lx.

5. Obiective

S-au urmărit următoarele obiective prin metoda testului mai sus menționată:

- determinarea opiniei ocupanților asupra sistemului de control automat al iluminatului,
- determinarea energiei economisite prin utilizarea sistemului automat de control,
- determinarea nivelului de iluminare necesar pentru birouri,
- determinarea unei relații între nivelurile de iluminare cerute în interiorul biroului și valorile măsurate ale luminii naturale în exterior.

6. Rezultate preliminare

Următoarele rezultate au fost obținute prin testarea a 15 persoane, între 23 și 55 ani, 7 de sex feminin și 8 masculin:

- Preferința persoanelor pentru iluminat este diferită,
- Doar 20% din persoanele testate au fost satisfăcute de sistemul de control automat

care furnizează o iluminare constantă de 500 lx în timpul zilei,

- Persoanele testate de sex feminin au fost mult mai sensibile la sistemele de control și mai selective privind necesitățile (subiecții care sunt satisfăcuți de sistemul de control automat și ale căror valori auto-ajustate sunt în concordanță cu nivelul de iluminare constant de 500 lx furnizat de sistemul de control al luminii naturale sunt clasificați ca "sensibili și selectivi"),
- Dacă este disponibil un sistem de telecomandă, persoanele testate preferă un nivel al iluminării mai mare decât cel cu care erau satisfăcuți în cazul sistemului automat de control.

7. Concluzie

Din rezultatele preliminare este clar că preferințele sunt foarte diferite. De aceea este evident că sistemele actuale de control automat, care furnizează o iluminare constantă de-a lungul anului, nu pot acoperi necesitățile de confort vizual.

Dacă preferințele personale asupra iluminatului legate de factorii fiziologici și psihologici ar fi luate în calcul și sistemele de control ar fi ajustate în concordanță cu aceste estimări ar putea funcționa mai eficient. Aceasta ar putea fi posibil dacă rezultatele mai multor teste pe o perioadă mai mare de timp ar fi prelucrate printr-un algoritm corespunzător. [5] De aceea rezultatele acestui proiect vor fi clasificate în funcție de anotimp, luni, condiții climaterice zilnice și timpul din zi. Relația dintre măsurătorile externe și valorile interioare preferate de ocupanți vor fi determinate cu Metoda Rețelei Neurale.

Rezultatele din Turcia, care are latitudine și longitudine diferite și o cultură diferită, au o mare importanță pentru proiectul principal. Un alt rezultat important al acestui proiect este determinarea condițiilor de lumină naturală în Istanbul, unde sunt multe clădiri complexe cu sisteme automate de control.