

CONTRIBUTIONS TO THE CALCULATION METHODS FOR INDOOR LIGHTING SYSTEMS

Cristian Viorel ȘUVĂȚĂU
BC Hydro, Vancouver, Canada

The Doctorate Thesis has been developed under joint coordination of Prof. dr. eng. Cornel BIANCHI, Technical University for Constructions Bucharest and of Prof. Em. O. Dr. Rer. Nat. Dr. H.C. Hans Walter BODMANN, Technical University of Karlsruhe, Germany. The Thesis has been defended on January 14, 1995.

The document has 183 pages, 6 chapters, 26 appendixes, and 84 references, from which 5 belong to the author. The content refers to five research directions:

- the actual lighting calculations methods for indoor lighting systems (LS);
- computer calculations for LS ;
- original determination of the reflected point illuminance (RPI);
- validation of the RPI calculus, using experimental studies and computer simulations;
- practical applications.

The thesis ends with a chapter of conclusions.

1 Modern aspects in treating quantitative and qualitative conditions of the luminous environment

This chapter presents a comparative study of the actual fundamental calculation methods that are used in lighting system analysis.

The author states in the beginning that “size variation of the quantitative lighting factors (illuminance level, flux distribution) and of the quantitative ones (luminance distribution, light colour, visual task modeling) can influence both visual performance and human behavior. Accounting for all visual quality aspects and predicting the radiative transport of luminous flux from a source to a receiving surface is fundamental to all lighting calculations”. The author analyzes the most used lighting calculation methods based on the radiative transfer and the process of interreflexion in

a cavity, concluding that accuracy in lighting calculations can be improved by increasing the precision of the point by point calculations, for both direct and reflected illuminances.

2 Computer programs – a modern analysis tool in lighting design

The chapter showcases the most important software and hardware aspects in Computer Aided Lighting Design practice.

Presenting the computer graphics theory and visual models (radiosity, ray-tracing, Monte-Carlo) the author underlines the revolutionary leap forward that synthetic images are creating in lighting simulations.

3 A new method to improve the indoor lighting calculations by computing the reflected point illuminance (RPI)

The author proposes a new method for indoor lighting calculations, introducing the determination of the RPI. The quantitative and qualitative lighting factors can be thus calculated with accuracy.

The method proposed uses together the *finite element analysis, the radiosity and the iterative numerical methods* in order to offer a point-by-point solution to express the interreflective phenomena. The author describes the behavior of light (in a cavity) as a “function of related variables associated with geometrical position and orientation of finite surfaces and the directional distribution of light, forming a large system of linear equations to be solved simultaneously”. The chief mathematical challenges in RPI calculus were: modeling the domain (room surfaces) as discrete elements, computation of (radiative) form factors, forming and solving the large matrix finite-element system.

The author proposes an algorithm to calculate the form factors between two finite surfaces (and between one finite surface and one infinitesimal surface), regardless their reciprocal positions within the (parallelepipedical) room. The form factor U_{12} between two finite surfaces: S_1 (x, y co-ordinates) and S_2 (u, v co-ordinates) positioned in two perpendicular planes (1), and respectively parallel (2) of a room, is:

$$U_{12} = \frac{1}{2\pi A_1} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 F(u_i, v_j, x_k, y_m) \times (-1)^{i+j+k+m} \quad (1)$$

and respectively:

$$U_{12} = \frac{z^2}{2\pi A_1} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 G(u_i, v_j, x_k, y_m) \times (-1)^{i+j+k+m} \quad (2)$$

where z represents the distance between the planes, and F, G are original geometrical functions, determined with respect to the room x, y, z co-ordinates (chap. 3.3).

4 The validation of the RPI calculation by model experiments and computer simulation

An original developed calculation software, successfully validates the RPI calculus theory when compare data with experiments on physical models at TUC Bucharest and TU Karlsruhe.

Comparing the experimental and simulation results, the author found that the reflective illuminance could be split in two components: a "pulsatory" element due to the rapidly changes of the emittance distribution (dependent on the configuration of the finite surface elements), and one "smooth" component, representing the contribution of the total interreflections to the final illuminance.

Using the known proportionality between illuminance and luminance, one can determine thus the point luminance (in a diffusive environment). This makes possible the accurate prediction of quantitative aspects of lighting systems but also of the factors that determine the quality of the visual field.

5 Practical applications of RPI

The chapter presents possible practical applications of the RPI calculations in the lighting research and design practice. As an example, the author developed the REFLUX software, an original computer aided lighting

design tool for indoor applications. REFLUX allows the separate or cumulative study of more lighting systems in the same room, considering that luminaires can be installed on each of the room's surfaces. The software has a user-friendly graphic interface, graphical visualization and outputs, as well as an upgrading library of luminaire e-files.

6 Conclusions

The author summarizes the main contributions to the theory and practical applications of LS and RPI calculations: the original calculus, the validation through experiments and computer simulation and the REFLUX lighting software.

Acknowledgements

The author thanks to all whom helped the development of the doctorate research and the finalization of the thesis.

My first thoughts are for Prof. Dr. Eng. Cornel BIANCHI for his continuous encouragement, support, and excellent advice throughout the finalization of the thesis.

I want to thank Prof. Dr.H.C. Hans Walter BODMANN for his support and assistance during my research stage in Karlsruhe and after.

I also acknowledge Prof. Dr. Eng. Nicolae MIRA and Prof. Dr. Eng. Florin POP for their support in developing the theory model and finalize the practical applications.

Last but not least, I am thankful to my family and all the dear friends that supported and encouraged me throughout the doctorate research and the making of the thesis.

Cristian ȘUVĂGĂU

PhD, Peng, LC, BC Hydro, 6911 Southpoint Drive, Burnaby, BC, Canada

Fax. + 604-528-1552

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



Lighting engineer at BC Hydro, in Vancouver, Canada. Member of CIE and IESNA Board of Directors for BC. Numerous lighting research, technical articles and project designs for institutional, commercial and industrial indoor and outdoor facilities in North America.

Received his doctorate from the Technical University of Construction Bucharest in 1995. Assistant Professor at the Lighting and Electrical Installations Chair, Faculty of Installations, UTCB until 1995.

Intrat în redacție – 06.12.2000

CONTRIBUȚII LA METODELE DE CALCUL PENTRU SISTEMLLE DE ILUMINAT INTERIOR

Teza de doctorat a beneficiat de conducerea științifică în dublă tutelă a d-lui prof. dr. ing. Cornel Bianchi, Universitatea Tehnică de Construcții București și a d-lui Prof. Em. O. Dr. Rer. Nat. Dr. H.C. Hans Walter Bodmann, Universitatea Tehnică din Karlsruhe, Germania. Teza a fost susținută public în data de 14 ianuarie 1995.

Lucrarea conține 183 de pagini, 6 capitole, și 26 de anexe, precum și o bibliografie de 84 de titluri, dintre care 5 ale autorului. Conținutul reflectă cinci direcții inițiale de cercetare:

- stadiul actual în domeniul calculului sistemelor de iluminat (SIL);
- utilizarea calculatorului în proiectarea SIL;
- modelul matematic pentru calculul componentei reflectate punctuale a iluminării (CPI);
- verificare prin studiu experimental și simulare automată pentru calculul CPI;
- aplicații practice.

Lucrarea se încheie cu un capitol de concluzii.

1 Stadiul actual privind metodele de calcul pentru sistemele de iluminat interior

Acest capitol prezintă un studiu comparativ al stadiului actual pe plan mondial privind **calculul SIL interior**, sub ambele aspecte: cantitativ și calitativ.

Un prim subcapitol analizează factorii calitativi determinanți ai SIL precum și moduri concrete de evaluare a acestora. După o prezentare a fenomenului reflexiilor multiple sunt trecute în revistă principalele metode de calcul cantitativ pentru SIL interior, subliniindu-se limitele fiecărei metode. Autorul subliniază **importanța îmbunătățirii preciziei calculului iluminării punctuale**, atât pentru componenta directă cât și pentru cea reflectată.

2 Utilizarea calcului automat în proiectarea sistemelor de iluminat interior

În acest capitol sunt prezentate aspectele cele mai importante privind **utilizarea modernă**

a calculului automat în luminotehnică. O atenție deosebită este atribuită producerii **"imaginii sintetizate"**, ce marchează o adevărată revoluție în modul de reprezentare și concepție a mediului luminos confortabil.

Sunt introduse atât conceptele fizice și modelele matematice (radiosity, ray-tracing, Monte-Carlo) folosite în simularea grafică computerizată a modelului luminos, dar și considerente practice de programare și echipament de calcul necesare.

3 Contribuții privind fundamentarea teoretică și determinarea prin calcul a componentei reflectate punctuale a iluminării (CPI) într-o incintă

În acest capitol se aduc contribuții la fundamentarea teoretică și determinarea prin calcul a iluminării reflectate punctuale, într-o incintă paralelipipedică cu suprafețe ce reflectă perfect difuz lumina (cazul cel mai frecvent întâlnit în practica de proiectare).

Este prezentată astfel **modalitatea de adaptare a teoriei analizei cu elemente finite, cât și a metodei schimbului radiativ, la simularea procesului reflexiilor multiple într-o incintă**, precum și etapele de calcul necesare: discretizarea domeniului de analizat în elemente finite, constituirea ecuațiilor elementare, calculul coeficienților ecuațiilor (în cazul acesta, al factorilor geometrici - factori de formă ce caracterizează schimbul radiativ dintre elementele finite), constituirea și rezolvarea sistemului de ecuații elementare.

Se propune o **formulare originală** (bazată pe calculul analitic) **pentru expresia de calcul a factorilor de formă** dintre două suprafețe finite și între o suprafață finită și una elementară, indiferent de poziția acestora pe suprafețele incintei de formă paralelipipedică.

Astfel, factorul de forma U_{12} între două suprafețe S_1 (de arie A_1 și cordonate x,y) și S_2 (de coordonate u,v) situate în plane perpendiculare, și respectiv paralele ale unei încăperi, este (1) și respectiv (2), unde F și G sunt funcții geometrice originale, determinate de coordonatele celor două elemente finite în raport cu sistemul de coordonate fixe atașat încăperii de calculat (subcap. 3.3).

4 Studiu comparat asupra verificării teoriei de calcul a CPI, prin studiu experimental și simulare automată

Studiul teoretic este finalizat printr-un *algoritm de calcul automat* care este comparat cu succes cu rezultatele experimentale făcute pe model fizic în camerele test ale laboratoarelor de iluminat de la UTC București și UT Karlsruhe.

Analiza acestor studii *validează precizia modelului matematic* și permite obținerea unor concluzii importante cu privire la dependența iluminării reflectate de alți factori. Astfel, iluminarea reflectată poate fi decompusă în două componente: una “pulsatorie” datorită variațiilor rapide în distribuția emitanței suprafețelor (dependentă de modul de discretizare în elemente finite) și o componentă “amortizantă” ce nivelează valorile finale (valoare globală).

Prin exprimarea proporționalității dintre iluminare și lumananță, determinarea punctuală a lumananței devine astfel lesne de realizat (în cazul suprafețelor perfect difuzante); se deschid totodată căi noi de abordare pentru verificarea și determinarea calitativă a soluțiilor lumino tehnice.

5 Aplicații practice ale determinării CPI

Capitolul prezintă direcții de aplicare practică a calculului CPI în activitatea de cercetare și proiectare. Reținem, îndeosebi, *programul de calcul REFLUX*, un software original de proiectare asistată de calculator pentru sistemele de iluminat interior. REFLUX permite studiul separat sau cumulat al mai multor sisteme de iluminat instalate în același interior; corpurile de iluminat pot fi amplasate în orice poziție și pe oricare din suprafețele încăperii.

Programul beneficiază de o interfață grafică ușor de utilizat, de vizualizări grafice ale soluțiilor, precum și de o bibliotecă de fișiere de iluminat ce poate fi extinsă chiar de utilizator.

6 Concluzii

Sunt trecute în revistă principalele considerente teoretice ale calculului SIL și, respectiv, CPI și prezentate ierarhizat contribuțiile originale: determinarea formulei de calcul a CPI, verificarea experimentală și prin calcul a CPI și programul de calcul REFLUX.

Mulțumiri

Autorul mulțumește pe această cale tuturor celor care au ajutat la finalizarea cu succes a tezei.

Mentorului meu spritual, domnul prof. dr. ing. Cornel BIANCHI îi sunt profund recunoscător pentru modul în care m-a îndrumat, susținut și impulsionat pe parcursul elaborării tezei.

Domnului Prof. Dr.H.C. Hans Walter Bodmann îi mulțumesc pentru atenția și sprijinul acordat atât în perioada stagiului meu la Karlsruhe cât și ulterior.

Domnilor prof. dr. ing. Nicolae MIRA și prof. dr. ing. Florin POP le sunt recunoscător pentru sprijinul acordat în fundamentarea teoretică și finalizarea studiului practic al tezei.

Nu în ultimul rând, mulțumesc “co-autorilor morali”, familiei și tuturor celor apropiați care m-au suportat în perioada dificilă a finalizării tezei.