

## **METODA PODZIAŁU STRUMIENIA DO WYZNACZANIA OŚWIETLENIA DZIENNEGO**

ROMANOWSKA Anna <sup>1</sup>

HEIM Dariusz <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> *Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Politechnika Łódzka*

### **SPLIT-FLUX METHOD FOR DAYLIGHTING CALCULATIONS**

Daylighting and electric lighting simulation engine is presented in this paper. Delight engine calculates interior illuminance levels from daylight, and lighting from electric light to meet a desired interior illuminance. Presented engine has been specifically designed to integrate with whole building thermal simulation. Initial model were based on the split-flux method, when the last one used radiosity method for prediction of daylighting distribution in buildings interiors. At the end some remarks about the implication of split-flux method to Energy-10 simulation program is depicted.

#### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono metody obliczeniowe wykorzystywane w symulacjach oświetlenia dziennego, sztucznego i mieszanego. Opisano metody: podziału strumienia oraz bilansu energetycznego stosowane w różnych programach do analiz ciepło-oświetleniowych. Obie metody pozwalają na wyznaczenie poziomu natężenia oświetlenia światłem dziennym i elektrycznym. W przypadku obu metod możliwa jest zintegrowana symulacja ciepło-oświetleniowa budynków. Na koniec zamieszczono kilka uwag praktycznych dotyczących modelowania oświetlenia w programie Energy-10 z wykorzystaniem metody podziału strumienia.

#### **1. WSTĘP**

Metody podziału strumienia i bilansu energetycznego służą do analiz symulacyjnych oświetlenia dziennego i oświetlenia sztucznego w budynkach. Metodami tymi można obliczać poziom natężenia oświetlenia we wnętrzach architektoniczno-budowlanych, z uwzględnieniem rozpraszania przez elementy transparentne oraz odbić od wewnętrznych powierzchni przegród. W wyniku wykorzystania różnych źródeł światła można uzyskać pożądane natężenie oświetlenia we wnętrzach z jednoczesnym oszacowaniem zapotrzebowania na energię elektryczną. Symulacja może być przeprowadzona dla konkretnego punktu w określonym czasie z możliwością uwzględnienia zewnętrznego oświetlenia, korzystając z teoretycznych lub rzeczywistych danych meteorologicznych. Poziom natężenia oświetlenia dziennego może być określony dla pojedynczego punktu lub kilku punktów zdefiniowanych w pomieszczeniu, w celu przeanalizowania rozkładu przestrzennego promieniowania świetlnego.

## 2. METODY OBLICZENIOWE

Prace nad zintegrowanymi metodami obliczeniowymi dla potrzeb analiz energetycznych i analiz oświetlenia rozpoczęto ponad dwadzieścia lat temu. Pierwsze modele do obliczeń rozkładu oświetlenia naturalnego we wnętrzach architektoniczno-budowlanych oparte są na metodzie podziału strumienia i zostały zastosowane m.in. w programie symulacyjnym DOE-2 [4]. Prezentowana metoda podziału strumienia, uwzględnia jedynie uśrednione wartości współczynników odbicia dla elementów wewnętrznych; górnych (sufit, górne powierzchnie ścian) oraz dolnych (podłoga, dolne powierzchnie ścian). Początkowo, model nie uwzględniał rzeczywistych parametrów środowiska zewnętrznego, które zastępowano danymi teoretycznymi. Kolejne jego wersje uwzględniały możliwość wykorzystania rzeczywistych danych meteorologicznych. W przypadku braku takich danych, symulacje oświetlenia mogą być wykonywane dla każdej godziny, wybranego dnia każdego miesiąca, używając teoretycznych warunków dotyczących nieboskłonu przy danej lokalizacji i pozycji słońca na nieboskłonie. Przy takich warunkach uwzględnia się wpływ stopnia zachmurzenia, za pomocą odpowiedniego współczynnika. Jego wartość zawiera się w zakresie od 0,0 (dla bezchmurnego nieba) do 1,0 (dla nieba całkowicie pokrytego chmurami) i jest pomijana, w przypadku korzystania z rzeczywistych danych meteorologicznych. Dane materiałowe dotyczące np. przeszkleń lub wartości emisyjności powierzchni przyjmowane są z baz danych samych programów lub mogą być definiowane indywidualnie przez użytkownika zgodnie z danymi literaturowymi. Liczba zakładanych pozycji słońca stosowana w symulacji jest w zakresie od 1, dla nieboskłonu zachmurzonego, do maksimum 20 możliwych pozycji słońca na bezchmurnym niebie. Pozycja ta jest określana automatycznie na podstawie danych definiujących lokalizację i geometrię budynku. Dla potrzeb zintegrowanych, ciepło – oświetleniowych analiz symulacyjnych całych budynków stworzono moduł oświetleniowy DeLight, którego pierwsza wersja, oparta na metodzie podziału strumienia została zaadoptowana do wielu programów symulacyjnych takich jak np. Energy-10.

Kolejne wersje programu DeLight zostały znacznie udoskonalone w celu dokładnego uwzględnienia przestrzennego rozkładu promieniowania świetlnego. Po pierwsze, aby osiągnąć jak największą dokładność wyników zrezygnowano z metody podziału strumienia zastępując ją metodą bilansu energetycznego. Zastosowany algorytm bazuje na rozwiązaniach opracowanych dla potrzeb programu Superlite opisanego szczegółowo m.in. w pracach [5,6,7]. Oblicza on poziom oświetlenia z uwzględnieniem odbić wewnętrznych osobno od poszczególnych powierzchni. Wymagane parametry niezbędne do analizy to: miejsce usytuowania budynku, współczynniki odbicia dla wewnętrznych i zewnętrznych powierzchni, współczynniki transmisyjności przeszkleń (z uwzględnieniem rozpraszania), dane dotyczące uzupełniającego systemu oświetlenia elektrycznego z uwzględnieniem rozmieszczenia i mocy opraw. Zastosowano także nowy algorytm do analizy rozproszenia światła naturalnego przy przejściu przez elementy pół-przezierne o złożonej strukturze geometrycznej. Nowy algorytm uwzględnia także geometrycznie skomplikowany system oświetlenia/zacienienia przez zewnętrzne systemy półek świetlnych, żaluzji (pionowych i poziomych) oraz szkła pryzmatycznego lub holograficznego. Niniejszą metodę zaadoptowano m.in. dla potrzeb programu Energy-Plus.

Badania prowadzone na modelach w skali rzeczywistej, porównujące obie metody wykazały większą dokładność algorytmu metody bilansu energetycznego nad algorytmem

metody podziału strumienia [8]. Różnice w wynikach otrzymanych obiema metodami, zarówno dla nieba bezchmurnego jak i zachmurzonego, są mniejsze niż 15%, z wyjątkiem punktów usytuowanych bardzo blisko lub daleko od otworu, gdzie dokładniejsze rezultaty otrzymano metodą bilansu energetycznego. Wyniki otrzymane metodą podziału strumienia były w tym przypadku mocno przeszacowane.

Trzecią metodą rozwiązania numerycznego znaną z programów Adeline i Radiance jest metoda wstecznego śledzenia promienia [9]. Metoda ta jest często stosowana w grafice komputerowej i posiada jedną istotną zaletę. Pozwala uwzględnić w analizie jedynie te promienie świetlne, które docierają do punktu obserwacji, nie zaś wszystkie promienie wysyłane przez źródło światła. Ma to aspekt czysto praktyczny ponieważ wpływa na wielokrotne skrócenie czasu trwania obliczeń. Jednak w przypadku analiz oświetlenia dziennego wymaga dokładnych danych wejściowych, dotyczących zarówno rozkładu luminancji na nieboskłonie jak i parametrów związanych z przejrzystością atmosfery.

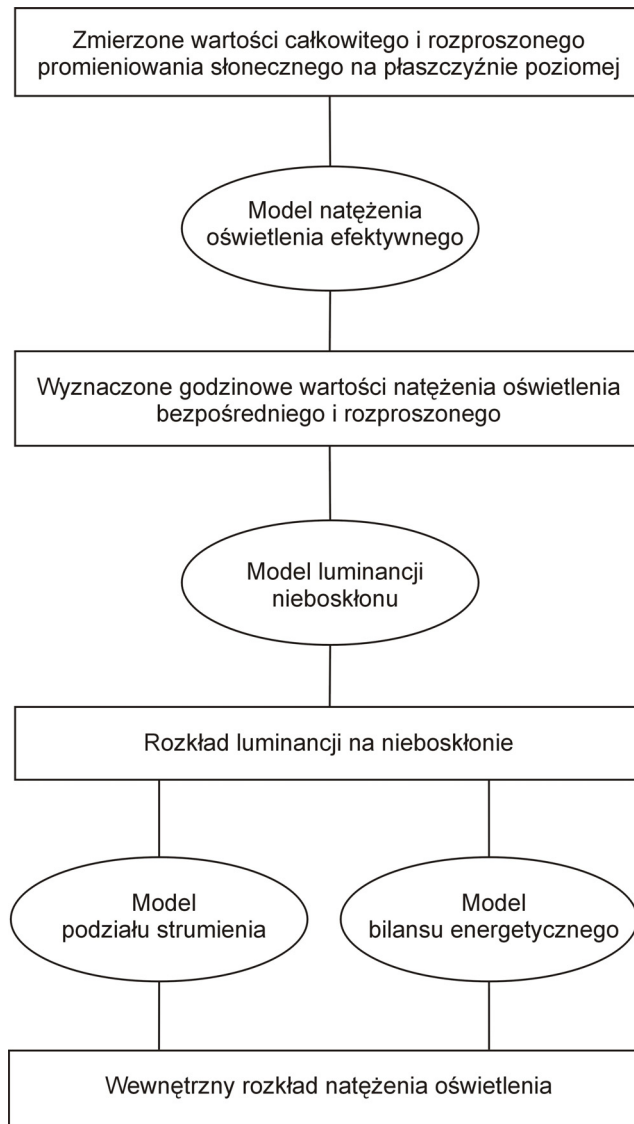
### **3. WARUNKI BRZEGOWE – METODA OKREŚLANIA**

Programy do jednoczesnej analizy ciepło-oświetleniowej budynków korzystają ze wspólnej bazy danych wejściowych np. danych meteorologicznych określających warunki brzegowe dla przegród zewnętrznych. Są to najczęściej standardowe parametry klimatu np. dane Typowego Roku Meteorologicznego lub Roku Referencyjnego. Formaty ww. danych zawierają zazwyczaj wartości temperatur, promieniowania słonecznego, wilgotności względnej oraz kierunku i prędkości wiatru, niezbędnych do analiz energetycznych. Nie zawierają, zaś danych dotyczących wartości natężenia oświetlenia a tym samym rozkładu luminancji na nieboskłonie, które niezbędne są w analizach oświetleniowych. W celu określenia potrzebnych parametrów na podstawie standartowych danych meteorologicznych stosuje się podejście wieloetapowe zaprezentowane graficznie na rysunku 1, wg którego możliwe jest oszacowanie rozkładu luminancji na nieboskłonie na podstawie wartości całkowitego i rozproszonego promieniowania słonecznego na płaszczyźnie poziomej, mierzone w większości stacji meteorologicznych [10].

### **4. METODA PODZIAŁU STRUMIENIA – PROGRAM ENERGY-10**

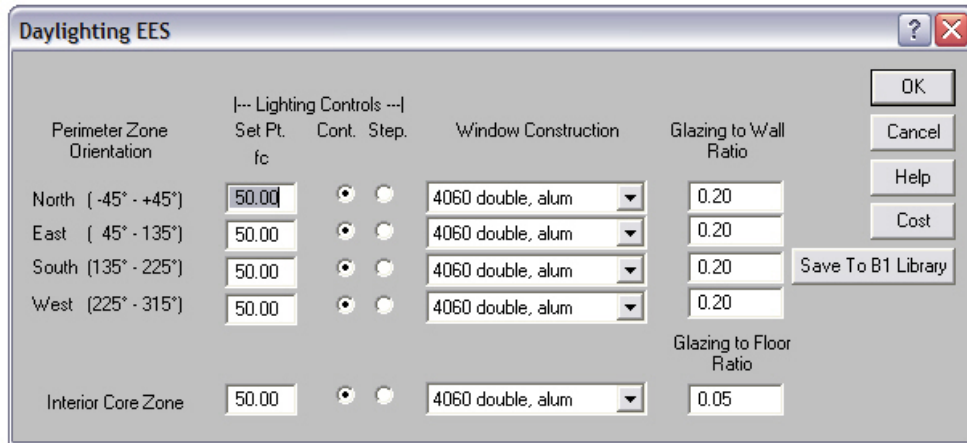
Pierwsza wersja programu DeLight, oparta na metodzie podziału strumienia, zaadoptowana została do programu Energy-10 (rys.2). Program ENERGY-10 służący do projektowania budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię uwzględnia możliwość zastosowania 12 strategii energooszczędnych, mających na celu zmniejszenie zużycia energii w analizowanym budynku [1].

Ze wszystkich strategii energooszczędnych dostępnych w programie, oświetlenie dzienne prawdopodobnie jest strategią najważniejszą i najtrudniejszą w projektowaniu. Podczas projektowania należy zwrócić uwagę na balans promieni światła dziennego we wnętrzu, jednocześnie eliminując snop padający w miejscu pracy, tak by nie oślepił pracujących. Ponadto Energy-10 łączy obliczenia dla oświetlenia dziennego z analizą termiczną budynku. Obliczenia ciepłe program wykonuje metodą symulacyjną, bazując na wielostrefowym modelu sieciowym CNE.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy dla modeli do analiz oświetlenia dziennego.  
 Fig. 1. A schematic diagram of daylight simulation models.

Obliczenia dotyczące oświetlenia naturalnego wykonywane są przy pomocy procedury podziału strumienia, stosowanej także między innymi w programie DOE-2. Metoda ta może być stosowana, gdy źródłem światła dziennego są okna i świetliki. Procedura CNE do obliczeń cieplnych uwzględnia wyniki obliczeń oświetlenia (godzina po godzinie) biorąc pod uwagę zmniejszenie ciepła wytwarzanego we wnętrzu budynku przez źródła światła sztucznego (wewnętrzne zyski ciepła).



Rys. 2. Okno definiowania oświetlenia dziennego w programie ENERGY-10.  
Fig. 2. Daylighting Design Guideline Dialog Box from ENERGY-10.

Jako pierwsze symulowane jest oświetlenie dzienne. Procedura obliczeń odbywa się dwustopniowo, bazując na danych dotyczących budynku.

1 krok – program oblicza i gromadzi współczynniki dotyczące oświetlenia naturalnego: dla światła rozproszonego i bezpośredniej wiązki promieni, dla wszystkich otworów w budynku typowym. Jedna para wartości dotyczy zachmurzonego nieba i pozostałe dotyczą każdej z 20 możliwych pozycji słońca na bezchmurnym nieboskłonie.

2 krok – program oblicza natężenie oświetlenia dla każdej godziny okresu symulacji, w każdej strefie temperaturowej.

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy opisano metodę podziału strumienia, jedną z dwóch stosowaną przy jednoczesnym wyznaczeniu rozkładu oświetlenia dziennego we wnętrzach pomieszczeń i analiz energetycznych. Pokazano jej praktyczne zastosowanie w programie Energy-10 oraz sposób podejścia do określenia warunków brzegowych.

Dodatkowo omówiono podstawowe różnice pomiędzy metodą podziału strumienia a metodą bilansu energetycznego stosowaną w innych programach symulacyjnych.

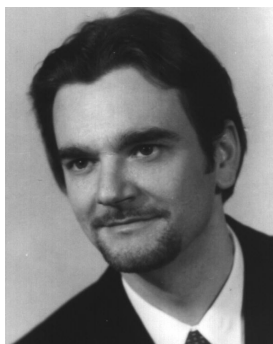
## 6. LITERATURA.

- [1] BALCOMB J.D.: *Using ENERGY-10 to design low energy buildings*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 1999.
- [2] CLARKE J.A., *Energy simulation in building design*, 2nd edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- [3] Lawrie, L.K., F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, C.O. Pedersen, R.K. Strand, R.J. Liesen, D.E. Fisher, M.J. Witte, R.H. Henninger, J. Glazer, and D. Shirey. 2001. "EnergyPlus Engineering Document: The Reference to EnergyPlus Calculations," University of Illinois and Regents of University of California, 2002.

- [4] Winkelmann, F., "Daylighting calculation in DOE-2," LBL-11353, Simulation Research Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 1983.
- [5] Modest, M., "A General Model for the Calculation of Daylighting in Interior Spaces," Energy and Buildings, Vol. 5, pp. 66-79, 1982.
- [6] Selkowitz, S., J.J. Kim, M. Navvab, and F. Winkelmann, "The DOE-2 and SUPERLITE Daylighting Programs," Proceedings of the 7th National Passive Solar Conference, Knoxville, TN, and LBNL, Report No. LBL- 14569, 1982.
- [7] Kim, J.J., Papamichael, K.M., Selkowitz, S. and Spitzglas, M., "Determining Daylight Illuminance in Rooms Having Complex Fenestration Systems," Proceedings of the International Daylighting Conference, 1986, Long Beach, CA, pp. 204-208.
- [8] Winkelmann, F. and S. Selkowitz, "Daylighting simulation in the DOE-2 building energy analysis program," Energy and Buildings, Vol.8, pp. 271-286, 1985.
- [9] Szczepańska E., Heim D., Program Desktop-Radiance do analizy natężenia oświetlenia i luminancji w budynkach, Mat. IX Konferencji Naukowo - Technicznej Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, s.640-647, Łódź, 10-13 czerwiec 2003.
- [10] Vartiainen E., Daylight modeling with the simulation tool DeLight, Engineering Physics, Helsinki University of Technology, 2000.



Dr inż. Anna Romanowska, adiunkt w Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej.  
 Tematyka zainteresowań: modyfikacja materiałów budowlanych - kompozyty o podwyższonej akumulacji ciepła, budownictwo energooszczędne.  
*annaroma@mnc.pl*



Dr inż. Dariusz Heim, adiunkt w Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej.  
 Tematyka zainteresowań: modelowanie i komputerowa symulacja procesów transportu masy i energii w budynkach oraz procesów ciepłno-wilgotnościowych w jego elementach, modelowanie i komputerowa symulacja zintegrowanych systemów energetycznych z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii, budownictwo ekologiczne i architektura bioklimatyczna, oświetlenie architektoniczne i urbanistyczne.  
*darkheim@p.lodz.pl*

---

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007, jako projekt badawczy nr 4 T07E 033 28.