

Przemysław SKRZYPCZAK*
Jacek HAUSER*
Marcin WESOŁOWSKI**

WYKORZYSTANIE PROGRAMU DIALUX DO OKREŚLANIA NATĘŻENIA NAPROMIENIENIA

W artykule przedstawiono propozycję wykorzystania programu Dialux, służącego obliczeniom oświetleniowym, do symulacji radiacyjnego przekazywania ciepła przez promienniki podczerwieni. Przeprowadzono porównanie wyników symulacji dla prostego układu wymiany radiacyjnej otrzymanych z obliczeń teoretycznych oraz z symulacji. Ponadto przedstawiono praktyczne wykorzystanie obliczeń symulacyjnych dokonywanych przy użyciu tego programu w celu wyznaczenia rozkładu natężenia napromienienia dla bardziej skomplikowanych radiacyjnych układów grzejnych.

SŁOWA KLUCZOWE: Dialux, radiacja, promiennik podczerwieni, natężenie napromienienia

1. WSTĘP

Wymiana ciepła pomiędzy ciałami znajdującymi się w przestrzeniach gazowych odbywa się głównie na drodze unoszenia (konwekcyjnego przejmowania ciepła) i promieniowania (radiacyjnej wymiany ciepła) [1, 2].

Radiacyjna wymiana ciepła odbywa się pomiędzy wszystkimi ciałami których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego. Wraz ze wzrostem temperatury ciał promieniujących i najczęściej będących również odbiornikami energii promienistej procentowy udział wymiany ciepła na drodze radiacyjnej ulega zwiększeniu. Skomplikowanie obliczeń analitycznych tej wymiany wynika z konieczności określania współczynników konfiguracji ϕ pomiędzy ciałami. Zależne są one od kształtów, wymiarów, wzajemnego usytuowania i odległości pomiędzy powierzchniami biorącymi udział w wymianie. Z uwagi na to i zwykle przy dużej liczbie elementów biorących udział w wymianie energii promienistej obliczenia stają się bardzo skomplikowane [1, 2, 4, 6]. Skutkiem tego tylko niewielka grupa oprogramowania przeznaczonego do modelowania pól fizycznych umożliwia uwzględnienie radiacyjnej wymiany ciepła między elementami modelu obliczeniowego [5].

* Politechnika Poznańska.

** Politechnika Warszawska.

2. ZAŁOŻENIA UPRASZCZAJĄCE

W pewnej grupie zagadnień, element promieniujący charakteryzuje się dużo wyższą temperaturą niż temperatura otoczenia, tzn. temperatura powietrza i obiektu na który promieniowanie to jest skierowane. Za promiennik podczerwieni uznać można element, dla którego zachowana jest nierówność [6]:

$$\varepsilon_T \sigma (T^4 - T_o^4) > \alpha_k (T - T_o) \quad (1)$$

gdzie: ε_T – emisyjność całkowita, σ – stała Stefana, T_o – temperatura otoczenia, T – temperatura powierzchni emitującej promiennika, α_k – współczynnik konwekcyjnego przejmowania ciepła.

Dodatkowo element promieniujący charakteryzuje się najczęściej wysokim współczynnikiem emisyjności widmowej ε_λ , w szczególności w zakresie promieniowania podczerwonego. W takich przypadkach ciepło z promiennika do powierzchni nagrzewanej jest transportowane prawie wyłącznie na drodze radiacji [1, 2].

Ponadto istnieje pewna grupa elektrycznych promienników podczerwieni (np. kwarcowe promienniki lampowe), których powierzchnia promieniująca jest znacznie mniejsza niż powierzchnia nagrzewana. Wówczas dopuszczalne jest potraktowanie elementu promieniującego tylko jako element czynny, natomiast nagrzewanej powierzchni – tylko jako element bierny nie mający wpływu na moc promienistą wysyłaną przez element promieniujący. Założenie takie w znaczny sposób upraszcza model matematyczny i jest powszechnie stosowane dla promieniowania widzialnego w obliczeniach oświetleniowych. Z uwagi na fakt, iż promieniowanie podczerwone tak samo jak światło jest wydzieloną częścią promieniowania optycznego, podlega zatem tym samym prawom optyki geometrycznej, więc zasadne wydaje się zastosowanie tych samych programów z zadowalającym efektem.

3. CECHY PROGRAMU DIALUX

Program Dialux firmy Dial GmbH należy do grupy programów obliczeniowych służących do wyznaczania parametrów oświetleniowych [3]. Cechuje się on prostym interfejsem graficznym, umożliwia wprowadzanie wielu powierzchni obliczeniowych oraz wielu źródeł światła. Źródło światła cechuje się określonymi wymiarami geometrycznymi oraz daną bryłą światłości. Na uwagę zasługuje fakt nieskomplikowanego tworzenia plików definiujących źródło promieniowania. Analogie pomiędzy wielkościami świetlnymi oraz promienistymi zapisane są w tablicy 1.

W celu modelowania promieniowania źródła światła i radiacyjnego źródła ciepła konieczne jest utworzenie odpowiednio plików fotometrycznych *.ldt lub analogicznych plików radiometrycznych. W pliku radiacyjnego źródła ciepła

określono powierzchnie części czynnej promiennika, strumień promienisty P oraz rozkład natężenia promieniowania I_γ .

Poprawność obliczeń natężenia napromieniania przy wykorzystaniu programu Dialux sprawdzono porównując te obliczenia – dla lambertowskiego rozsyłu promieniowania – z obliczeniami analitycznymi przeprowadzonymi dla prostych układów geometrycznych (zob. p. 4).

Tablica 1. Wielkości świetlne i promieniste oraz ich jednostki

| Wielkość świetlna | Symbol | Jednostka | Wielkość promienista | Symbol | Jednostka |
|-----------------------|----------|---------------------------|--------------------------|--------|---------------------|
| Strumień świetlny | ϕ | [lm] | Strumień promienisty | P | [W] |
| Światłość | I_ϕ | [cd = lm/sr] | Natężenie promieniowania | I | [W/sr] |
| Natężenie oświetlenia | E_ϕ | [lx = lm/m ²] | Natężenie napromienienia | E | [W/m ²] |

Stwierdzenie poprawności ww. wyników natężenia napromienienia uzyskanych przy wykorzystaniu programu Dialux pozwala być pewnym poprawności wartości natężeń napromienienia uzyskanych – z zastosowaniem tego programu – dla innych układów geometrycznych i przy rozsyłach promieniowania ciał rzeczywistych, różniących się mniej lub bardziej od rozsyłu lambertowskiego (zob. p. 5).

4. WERYFKACJA PROGRAMU DIALUX

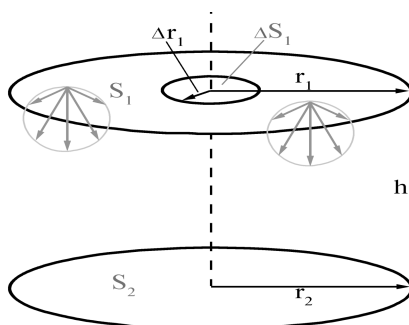
Do celów symulacyjnych utworzono modele promienników kołowych o promieniach r_1 równych 10 mm oraz 1 m, których rozsył intensywności promieniowania ma charakter lambertowski. Przy założeniu, że strumień promienisty P wynosi np. 1000 W, natężenia promieniowania w kierunku normalnym do powierzchni ($I_{\gamma=0}$), zgodnie z równaniem [1, 2]:

$$P = \pi \cdot I_{\gamma=0} \quad (2)$$

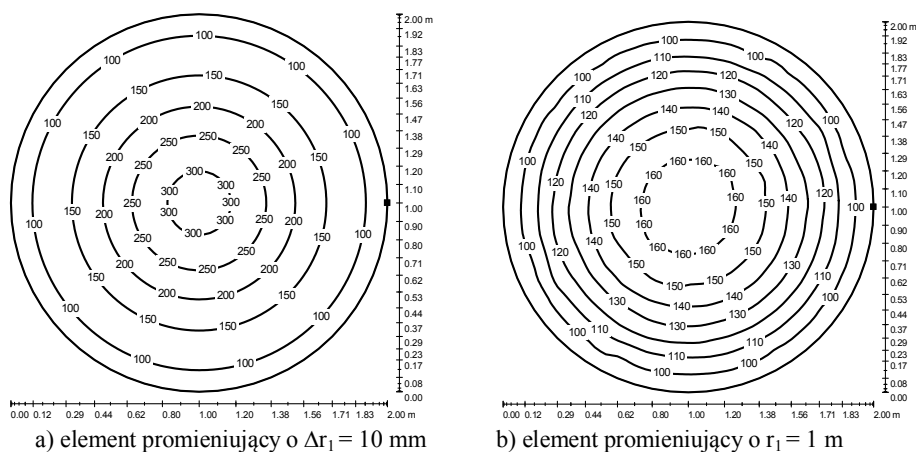
będzie równa $I_{\gamma=0} = 1000/\pi = 318,3$ W/sr.

Powierzchnia S_2 obiektu nagrzewanego w sposób radiacyjny ma promień r_2 równy 1m i umieszczona jest współosiowo i równoległe do promienników o powierzchniach ΔS_1 i S_1 w odległości h równej 1m zgodnie z rysunkiem 1.

Rozkłady natężenia napromienienia na powierzchni S_2 , wyliczone przy pomocy programu Dialux, dla układu z rysunku 1 dla strumieni promienistych $P_1 = 1000$ W wysyłanych z powierzchni promieniujących ΔS_1 i S_1 o promieniach Δr_1 i r_1 równych odpowiednio 10mm i 1m, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Geometria układu obliczeniowego służącego weryfikacji

Rys. 2. Rozkład natężenia napromienienia E_2 [W/m^2] na powierzchni S_2

Średnie wartości: natężeń napromienienia $E_{2(\Delta S_1)}$ i $E_{2(S_1)}$, oraz strumieni promienistych $P_{2(\Delta S_1)} = P_{\Delta S_1-S_2} = E_{2(\Delta S_1)}S_2$ i $P_{2(S_1)} = P_{S_1-S_2} = E_{2(S_1)}S_2$ są równe odpowiednio: $159 W/m^2$ i $125 W/m^2$, oraz $499,5 W$ i $392,7 W$, a stosunki strumieni promienistych $P_{2(\Delta S_1)}/P_1$ i $P_{2(S_1)}/P_1$ wynoszą:

$$\frac{P_{2(\Delta S_1)}}{P_1} = \frac{P_{\Delta S_1-S_2}}{P_1} = 0,4995 \quad i \quad \frac{P_{2(S_1)}}{P_1} = \frac{P_{S_1-S_2}}{P_1} = 0,3927 \quad (3)$$

Analizując uzyskane wartości rozkładów natężenia napromienienia z rysunku 2 (2a i 2b) można stwierdzić, że wraz ze zwiększaniem się stosunku r_1/h ($\Delta r_1/h$) następuje wyraźne zwiększenie równomierności natężenia napromienienia na powierzchni S_2 (zob. tabl. 2).

Przytaczane w literaturze wzory i wykresy opisujące średnie geometryczne współczynniki konfiguracji φ_{1-2} ($\varphi_{S_1-S_2}$, $\varphi_{\Delta S_1-S_2}$), mówią jaka część strumienia promienistego P_1 , wysyłanego z powierzchni 1 (S_1 , ΔS_1), dociera do

powierzchni 2 (S_2). Dla układów geometrycznych przedstawionych na rysunku 1 wzór służący do wyznaczania średniego geometrycznego współczynnika konfiguracji wyniesie [1, 2, 4, 6]:

$$\varphi_{1-2} = \frac{P_{1-2}}{P_1} = \frac{1}{S_1} \int_{S_1} dS_1 \int_{S_2} d\varphi_{d_1, d_2} = \dots = \frac{1}{2} \left[X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right] \quad (4)$$

gdzie:

$$R_1 = \frac{r_1}{h}; \quad R_2 = \frac{r_2}{h}; \quad X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} \quad (5)$$

Wartości tych współczynników, wyliczone ze wzorów (4) i (5) dla dwóch wyżej rozpatrywanych układów geometrycznych z rysunku 1, wynoszą odpowiednio:

$$\varphi_{\Delta S_1-S_2} = \frac{P_{\Delta S_1-S_2}}{P_1} = 0,500 \quad i \quad \varphi_{S_1-S_2} = \frac{P_{S_1-S_2}}{P_1} = 0,382 \quad (6)$$

Tablica 2. Zestawienie wyników symulacji i obliczeń analitycznych

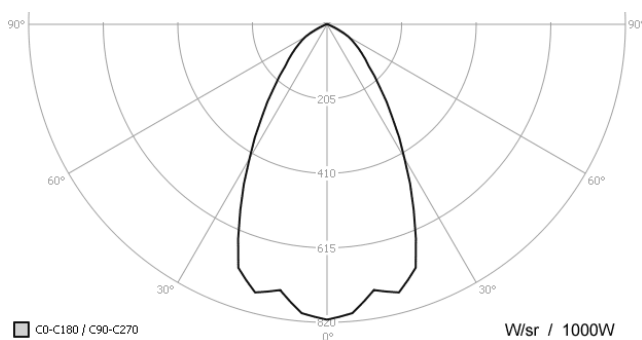
| Wariant (rys.2) | Symulacja (Dialux) | | | | Obliczenia |
|--------------------|--|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | E_{sr} [W/m ²] | E_{max} [W/m ²] | $E_{\text{min}}/E_{\text{sr}}$ | φ_{1-2} (wzór (3)) | φ_{1-2} (wzór (6)) |
| a) | 159 | 318 | 0,501 | 0,4995 | 0,500 |
| b) | 125 | 166 | 0,711 | 0,3927 | 0,382 |

W tablicy 2 przedstawiono wyniki obliczeń uzyskane na drodze symulacji (Dialux) oraz wzorów analitycznych. Porównanie wartości średnich współczynników konfiguracji φ_{1-2} , wyliczonych ze wzorów analitycznych (zob. (6)), z wartościami tych współczynników wyliczonych z wykorzystaniem programu Dialux (zob. (3)), wykazuje identyczność (wariant a) lub bardzo dużą (błąd równy ok. 2,5%) zgodność (wariant b) uzyskanych wyników. Świadczy to o możliwości zastosowania programu Dialux do prawidłowych obliczeń wartości natężenia napromienienia w podobnych układach promienistych, o innych różnych i różnie rozmieszczonych powierzchniach i o znanym i niekoniecznie lambertowskim rozkładzie promieniowania źródła (powierzchni 1 ($S_1, \Delta S_1$)).

5. RZECZYWISTY UKŁAD NAGRZEWANIA PROMIENNIKOWEGO

Do celów symulacyjnych posłużono się promiennikiem o powierzchni promieniującej równej ok. 0,023 m² i o rzeczywistym rozsyle intensywności promieniowania. Pomiarów parametrów promienistych promiennika

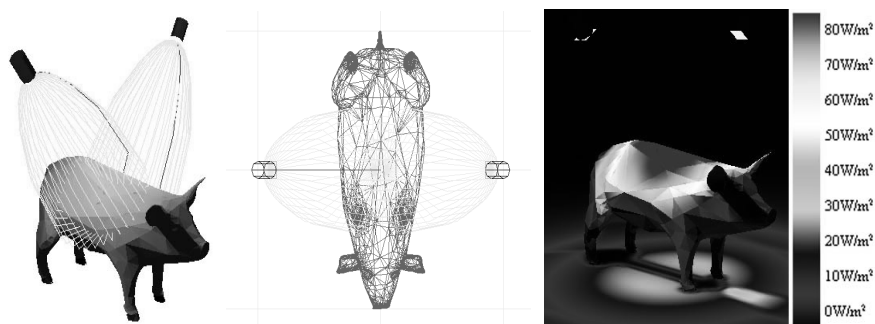
lampowego rubinowego 250 W z wewnętrznym odbłyśnikiem dokonano na radiometrze ramiennym wyposażonym w miernik promieniowania podczerwonego. Na podstawie uzyskanych danych utworzono obrotowo-symetryczną bryłę natężenia promieniowania przedstawioną na rysunku 3. Założono, że strumień promienisty promiennika wynosi 200 W.



Rys. 3. Krzywa rozsyłu intensywności promieniowania w układzie biegunowym dla badanego promiennika lampowego rubinowego

Przedstawiony na rysunku 3 rozsył promieniowania rzeczywistego promiennika lampowego wykorzystano do obliczeń natężenia napromienienia w przypadku praktycznego zastosowania. Promienniki tego typu są często stosowane do ogrzewania zwierząt w gospodarstwach rolnych.

Poniżej przedstawiono przykład obliczeń wykonanych przy użyciu programu Dialux. Promienniki zostały umieszczone na wysokości 2 m ponad podłożem w odległości 1 m od osi symetrii zwierzęcia pod kątem 35°. Na rysunku 4 przedstawiono usytuowanie promienników względem nagrzewanego zwierzęcia oraz uzyskiwane wartości natężenia napromienienia (w W/m^2).



Rys. 4. Obiekt nagrzewany, usytuowanie promienników oraz wyniki symulacji

6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki natężenia napromienienia uzyskane przy wykorzystaniu programu Dialux. Obliczeń dokonano dla dwóch przypadków nieskomplikowanych układów geometrycznych, dla których znane są zależności analityczne do wyznaczania wartości średniego współczynnika konfiguracji. Dokonano porównania uzyskanych wyników oraz potwierdzono ich zgodność. Program Dialux dla części układów w których spełnione są pewne warunki i założenia upraszczające opisane w rozdziale 2 może być stosowany, a uzyskiwane parametry radiometryczne nie odbiegają od uzyskiwanych w sposób analityczny. Programu umożliwia przyjęcie dla powierzchni promieniującej nielambertowskiej bryły natężenia promieniowania. Rozszerza to możliwości zastosowania obliczeń do obszarów, w których obliczenia analityczne są czasochłonne i skomplikowane. Potwierdzeniem są przedstawione w punkcie 5 obliczenia dla układu nagrzewania trzody chlewnej.

LITERATURA

- [1] Hauser J.: Elektrotechnika. Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2006.
- [2] Hering M.: Termokinetyka dla elektryków. WNT, Warszawa 1980.
- [3] <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>.
- [4] Klučnikov A.D., Ivancov G.F.: Teploperedača izlučenjem w ognotechničeskich ustanovkach. Energija, Moskva 1970.
- [5] Przyłucki R.: Wykorzystanie komputerowych technik optymalizacyjnych w projektowaniu wzbudników wielowarstwowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014.
- [6] Sala A.: Radiacyjna wymiana ciepła. WNT, Warszawa 1982.

USE DIALUX PROGRAM TO CALCULATION IRRADIANCE

The article presents the proposal to use the program Dialux, for lighting calculations to simulate the radiative heat transfer by infrared heaters. A comparison of the simulation results for simple radiation system obtained from the theoretical calculations and simulations. In addition, shows the practical use of simulation made using the program in order to determine the distribution of the irradiance for more complex radiative heating systems.