

## METODYCZNE ASPEKTY OBLICZANIA NATĘŻENIA OŚWIETLENIA W SZKLARNI PRODUKCYJNEJ

Sławomir Kurpaska

*Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodykę wyliczenia gęstości oświetlenia powierzchni w szklarni. W oparciu o powszechnie znane zależności oraz typ źródła światła stosując metodę superpozycji obliczono teoretyczne wartości oświetlenia powierzchni. Weryfikację zastosowanej metodyki przeprowadzono w szklarni w której zastosowano wysokoprężne lampy sodowe. Do oceny różnic między wartościami obliczonymi i zmierzonymi zastosowano standardowe mierniki błędów.

**Słowa kluczowe:** gęstość strumienia oświetlenia, luksomierz, wysokoprężne lampy sodowe

### Wstęp

W produkcji szklarniowej w Polsce, a także w krajach o podobnym położeniu geograficznym, w których konieczne jest dostarczanie do obiektu produkcyjnego ciepła, ważną rzeczą jest również dostępność światła, bowiem w myśl znanej zasady Libicha o powodzeniu produkcji decyduje czynnik który pozostaje w minimum. Oprócz dwutlenku węgla zawartego w powietrzu, wody dostępnej dla systemu korzeniowego, obecność światła wpływa na prawidłowy przebieg fotosyntezy roślin. Jest bowiem rzeczą powszechnie znaną, że jednym z czynników decydujących o powodzeniu produkcji jest dostępność dla roślin promieniowania o długości fali świetlnej w zakresie światła fotosyntetycznie czynnego - PAR (380÷ 760 nm). Fotosynteza (a więc wytwarzanie przez roślinę asymilatów) zachodzi w obecności światła pod wpływem dwutlenku węgla i pobieranej przez system korzeniowy roślin wody glebowej. Promieniowanie o takiej długości fali, nazywane (ze względu na porównywalną długość fali świetlnej na którą reaguje oko ludzkie) światłem jest bowiem bezpośrednim źródłem energii dla procesu fotosyntezy. Wynika stąd, że w uprawie roślin w obiektach pod osłonami jednym z czynników determinujących ich prawidłowy dostęp jest natężenie światła. W krajach o porównywalnej z Polską szerokości geograficznej, w miesiącach wiosenno-letnich wzrost i rozwój roślin przebiegają w warunkach dostatecznej intensywności światła. Z kolei, w miesiącach jesiennych, zimowych oraz wczesnowiosennych występuje jego deficyt. Konieczne staje się więc doświetlanie roślin światłem sztucznym o dużej intensywności (rzędu 10 klx) oraz porównywalnym do naturalnego zakresu długości fali. Oprócz zakresu długości fali świetlnej, innym niezmiernie ważnym parametrem warunkującym przydatność sztucznych źródeł światła jest wytwarzanie przez źródło ekstermów natężenia w pobliżu długości optymalnych dla chlorofilu roślin (o długości fali w pobliżu 475 i 675 nm). Wśród obecnie stosowanych sztucznych źródeł wysokoprężna lampa sodowa (High Pressure Sodium) spełnia te warunki. Na podstawie

dostępnej literatury można jednoznacznie stwierdzić, że w eksperymentach badawczych zaobserwowano dodatni wpływ dodatkowego doświetlania roślin na produktywność roślin. I tak, Islam i in. [2005] badali wpływ fotoperiodycznego doświetlania na wzrost i rozwój kwiatów doniczkowych. W konkluzji stwierdzili, że zarówno czas rozpoczęcia doświetlania jak i jego natężenie wywierają istotny wpływ zarówno na wzrost jak ilość i jakość kwiatów badanych roślin. Zheng i in. [2006] badali wpływ doświetlania na procesy fizjologiczne zachodzące w liściach gerbery. W badaniach zastosowano lampy HPS o zmiennej w czasie i kolejności ich uruchamiania. Autorzy stwierdzili statystycznie istotny wpływ tego sposobu doświetlania na procesy fizjologiczne zachodzące w tkankach liści, jednak nie zaobserwowano tego wpływu na końcowy wzrost badanych roślin. Labeke i Dambre [1998] badali wpływ równoczesnego wzbogacania atmosfery szklarni dwutlenkiem węgla oraz doświetlaniem (przy przyjętej arbitralnie granicznej wartości natężenia słonecznego) podczas uprawy Alstromerii. Autorzy zauważyli pozytywny wpływ zarówno zwiększonego stężenia dwutlenku węgla jak i fotoperiodyzmu wywołanego sztucznym doświetleniem na wzrost roślin i jakość kwiatów. Szczegółowe omówienie rozwiązań konstrukcyjnych przy doświetlaniu roślin stosowanych w różnych światowych ośrodkach przedstawiono w przeglądowej pracy [Critten i Bailey 2002]. Również w Polsce liczne prace badawcze (opublikowane w czasopiśmie popularno-naukowym) prowadzone w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu, Instytucie Sadownictwa i Kwaciarstwa w Skierniewicach dowiodły pozytywny wpływ doświetlania w postaci: poprawy pokroju roślin, zwiększeniu plonu oraz poprawie zdrowotności zarówno kwiatów jak i warzyw. Problemem technicznym przy doświetlaniu roślin jest właściwe rozmieszczenie źródeł światła oraz zapewnienie równomierności w strumieniu świetlnym. Analiza tych zagadnień będzie głównym celem pracy.

## Material i metoda

Przedmiotem analizy jest system doświetlania zainstalowany w szklarni. Jako źródła światła zastosowano lampy HPS o pobieranej mocy 650W. Każda lampa wyposażona jest w reflektor kierujący rozsył światła, a jego charakterystykę (w funkcji kąta padania promieni) przedstawiono na rys. 1.

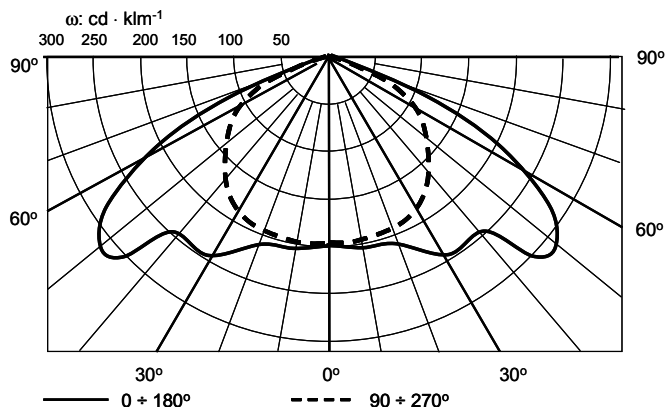
Procedurę obliczeń gęstości strumienia oświetlenia można przedstawić następująco:

- dysponując rodzajem lampy (w analizowanym przypadku wysokoprężna lampa sodowa), ze specyfikacji technicznej należy odczytać wartość strumień świetlny wytwarzany przez lampę. W przypadku braku nieznaności tej wielkości należy uwzględnić, że dla tych lamp z 1W pobranej mocy elektrycznej wytwarzane jest od 108 do 140lm,
- wychodząc z powszechnie znanej zależności należy określić gęstość strumienia świetlnego ( $E_A$ ) docierającego do danego punktu (A) w postaci:

$$E_A = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

gdzie:

- $I$  – natężenie źródła światła [cd];
- $r$  – odległość między źródłem światła a rozpatrywanym punktem [m],
- $\alpha$  – kąt padania promieni świetlnych [°].



Rys. 1. Krzywa rozsyłu światła analizowanej oprawy lampy [www.plantgro.pl]

Fig. 1. Light distribution curve for the analysed lamp fitting [www.plantgro.pl]

Po uwzględnieniu związków trygonometrycznych (wynikających z odległości do wysokości zamontowania źródła światła  $h$ ; wtedy:  $r = h \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ), oświetlenie dowolnego punktu powierzchni oblicza się ze wzoru:

$$E_A = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha \quad (2)$$

gdzie:

- $h$  – jest odległością między źródłem światła a rozpatrywaną powierzchnią [m].
- znając typ oprawy, w zależności od kąta padania promieni świetlnych, oblicza się natężenie źródła światła jako iloczyn odczytanego z wykresu współczynnika  $\omega$  i wyznaczonego strumienia świetlnego, czyli:

$$E_A = \frac{I \cdot \omega}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha \quad (3)$$

- dla większej ilości lamp należy uwzględnić zjawisko oddziaływania sąsiednich strumieni świetlnych wytwarzanych przez poszczególne źródła światła. Stosuje się metodę superpozycji, czyli wzajemnego sumowania wartości poszczególnych strumieni w analizowanych punktach. Szerzej omawiano metodykę przedstawiono w pracy [Kurpaska 2007].

Weryfikację przedstawionej metodyki przeprowadzono w szklarni produkcyjnej. Lampy HPS umieszczone były na wysokości 3,3 m i rozmieszczone w nawach (szerokość 6,4m) w układzie prostokątnym o wymiarze  $3,2 \times 4$  m. Strumień świetlny mierzono w odległości 1,5 m od źródła światła przy pomocy luksomierza L-50. Wybór ten wielkości podyktowany został wysokością uprawianych w szklarni róż.

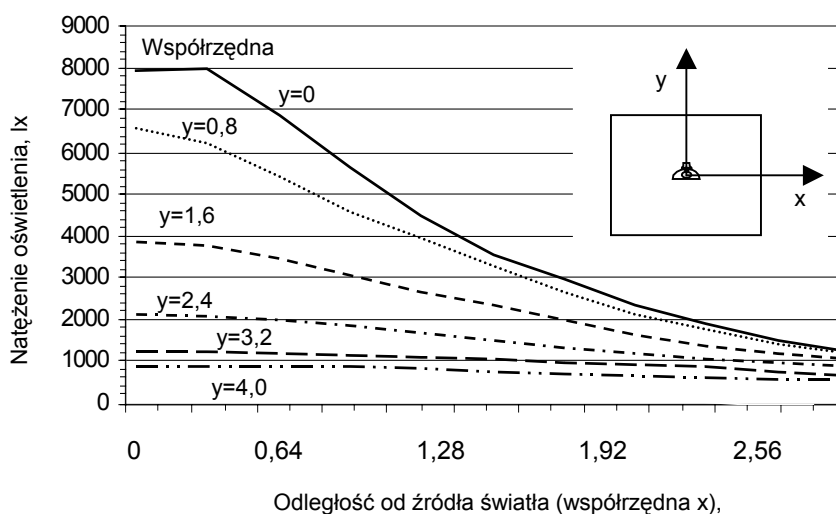
Do oceny błędów między wartością teoretyczną i zmierzoną zastosowano powszechne mierniki w postaci: błędu względnego oraz średniego pierwiastkowego błędu kwadratowego.

## Wyniki i dyskusja

Analizę teoretyczną oraz badania weryfikacyjne przeprowadzono dla lampy typu: GAN 600 AL 230V, dla której współczynnik konwersji pobieranej mocy elektrycznej w strumień świetlny wynosi 138 lm/W.

Na rys. 2 przedstawiono wyniki obliczeń teoretycznych natężenia oświetlenia w zależności od współrzędnych  $x$  i  $y$  dla pojedynczego źródła światła. Jak widać, wraz ze zwiększeniem odległości od źródła światła, natężenie maleje i w zależności od odległości bezwzględne różnice między oświetleniem w miejscach zlokalizowanych bezpośrednio pod źródłem a punktami oddalonymi o maksymalne odległości, różnice te wynoszą ponad 7 klx.

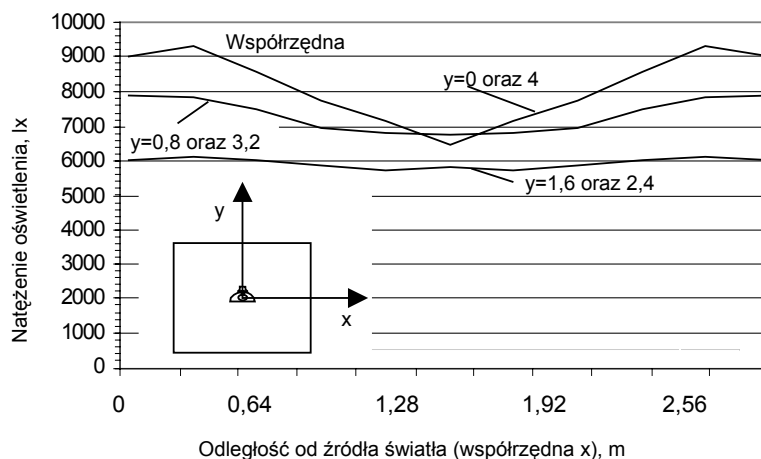
Oczywiście, w badanym obiekcie, z racji wzajemnego oddziaływania źródeł nastąpi w wyniku superpozycji wzajemne nakładanie strumieni światła, co w konsekwencji spowoduje wzrost natężenia oświetlenia.



Rys. 2. Teoretyczne natężenie oświetlenia dla pojedynczego źródła światła

Fig. 2. Theoretical illumination for a single light source

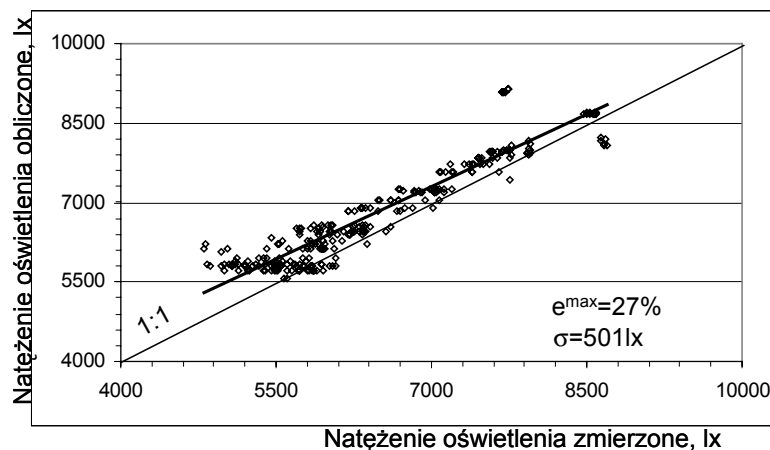
Stąd, na rys. 3 przedstawiono wyniki obliczeń dla wydzielonej płaszczyzny na którą oddziałują analizowane źródła światła rozmieszczone w prostokąt o bokach:  $x = 3,2$  m oraz  $y = 4$  m. W celu zwiększenia przejrzystości prezentowanych zależności, podobnie jak na rys. 2, analizę ograniczono do I ćwiartki układu współrzędnych. Jednak, z racji symetryczności otrzymane wyniki są analogiczne dla poszczególnych ćwiartek układu współrzędnych.



Rys. 3. Teoretyczne natężenie oświetlenia dla źródeł światła w układzie:  $x=3,2$ ,  $y=4$  m  
 Fig. 3. Theoretical illumination for light sources in the following arrangement:  $x=3,2$ ,  $y=4$  m

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że w miejscach oddalonych od osi źródła światła o 1,6 lub 2,4 m oświetlenie powierzchni jest najmniejsze i jego wartość wynosi ok. 6 klx, z kolei w dla  $y=0$  oraz  $y=4$  m (a więc w osi symetrii umieszczonych źródeł światła) natężenie przyjmuje największe wartości (zakres od 6,5 do 9,4 klx) jednak w tych miejscach jest największe zróżnicowanie w natężeniu oświetlenia. Można zauważyć, że największe zakres różnic względnych dla całego zakresu analizowanych punktów płaszczyzny (względem wartości większych) w oświetleniu powierzchni mieści się w granicach od 4% (dla  $y=2$  m) do 38% ( $x=0$  m).

Na rys. 4 przedstawiono porównanie między zmierzonymi i obliczonymi wartościami. Pomiary wykonywano w okresie nocnym, przy zaniku promieniowania słonecznego w efekcie wyeliminowano wpływ dodatkowego oświetlenia powierzchni od promieniowania słonecznego. W związku ze zmniejszeniem strumienia świetlnego emitowanego przez źródła wraz okresem ich użytkowania, na czas pomiarów w badanej nawie szklarni zastosowano nowe źródła światła. Pomiarów dokonywano w trzech powtórzeniach, zaś przyjęte do analizy wielkości są uśrednionymi wartościami. Analizując porównanie między zmierzonymi i obliczonymi wartościami natężenia powierzchni można stwierdzić, zbieżność między tymi wielkościami, bowiem średni błąd kwadratowy wynosi ok. 501 lx, zaś maksymalne różnice między nimi wynoszą 27%. Można więc jednoznacznie stwierdzić, że przedstawiona metodyka prawidłowo opisuje zmienność naświetlenia powodowaną różną lokalizacją geometryczną rozpatrywanych punktów. Analizując, na przedstawionych zależnościach, wartość natężenia oświetlenia można również stwierdzić, że przy takim rozmieszczeniu źródeł światła natężenie jest niewystarczające dla intensywnej produkcji niektórych kwiatów (np. róż), bowiem na podstawie zaleceń uprawowych celowe jest doświetlanie na poziomie rzędu 10 do 12 klx. Zwiększenie naświetlenia można więc uzyskać w dwojaki sposób, albo zwiększyć liczbę źródeł światła lub też instalując w obiekcie źródła o większej intensywności doświetlania. Zagadnienie to zostanie omówione szerzej w następnej pracy.



Rys. 4. Porównanie między zmierzonym i obliczonym natężeniem oświetlenia powierzchni  
 Fig. 4. Comparison between measured and computed surface illumination values

## Wnioski

1. Stwierdzono, że zastosowana metoda do szacowania natężenia oświetlenia cechuje duża zbieżność z wartościami zmierzonymi: średni błąd kwadratowy między tymi wartościami wynosi około 500 lx, zaś maksymalny błąd względny 27%.
2. Maksymalne różnice w natężeniu źródła światła dla pojedynczego źródła w przyjętych do analizy skrajnych odległości wynoszą ponad 7 klx, zaś dla większej liczby źródeł względne różnice mieszczą się w granicach od 4 do 38%.
3. Stwierdzono, że przy tym rozmieszczeniu źródeł światła oraz stosując w badanej szklarni rozpatrywany typ źródeł, natężenie oświetlenia jest niewystarczające w intensywnej produkcji kwiatów.

## Bibliografia

- Critten D.L., Baiely B.J.** 2002. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112. pp. 1-22.
- Islam N., Patil G., Gislerod H.R.** 2005. Effect of photoperiod and light integral on flowering and growth of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Scientia Horticulturae*. 103. pp. 441-451.
- Kurpaska S.** 2007. Szklarnie i tunele foliowe: inżynieria i procesy, PWRiL. Poznań.
- Labeke von M.C., Dambre P.** 1998. Effect of supplementary lighting and CO<sub>2</sub> enrichment on yield and flower stem quality of *Alstroemeria* cultivars. *Scientia Horticulturae*, 74. s. 269-278.
- Zheng Y., Blom T., Dixon M.** 2006. Moving lamps increase leaf photosynthetic capacity but not the growth of potted gerbera. *Scientia Horticulturae*. 107. pp. 380-385.  
<http://www.plantgro.pl>

## **METHODOLOGICAL ASPECTS FOR COMPUTING OF ILLUMINATION INSIDE PRODUCTION GREENHOUSE**

**Abstract.** The paper presents methodology allowing to compute surface illumination density in a greenhouse. Theoretical surface illumination values were computed using the superposition method, on the basis of generally known dependencies and light source type. Applied methodology was verified in the greenhouse, in which high-pressure sodium discharge lamps were used. Standard error meters were employed to evaluate differences between computed and measured values.

**Key words:** illumination flux density, luxmeter, high-pressure sodium discharge lamps

**Adres do korespondencji:**

Sławomir Kurpaska, e-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl  
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków

