

## WPŁYW MODYFIKACJI ROZMIESZCZENIA ŹRÓDŁ ŚWIATŁA NA INTENSYWNOŚĆ DOŚWIETLANIA ROŚLIN W SZKLARNI

Sławomir Kurpaska

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

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono zmianę w natężeniu oświetlenia powierzchni uprawowej szklarni przy zastosowaniu modyfikacji w rozmieszczeniu elementów systemu doświetlania roślin. Jako źródła światła uwzględniono powszechnie spotykane na rynku wysokopiętne lampy sodowe wraz z odbłyśnikiem kierującym rozsył światła. Analizę zmian w oświetleniu przeprowadzono w oparciu o zweryfikowaną metodykę umożliwiającą analizę natężenia źródła światła.

**Słowa kluczowe:** wysokopiętne lampy sodowe, oświetlenie, szklarnia

### Wstęp

Szklarnie zlokalizowane w warunkach niedoboru światła na czas jego deficytu (okres jesienno-wiosenny) muszą być doświetlane przy pomocy sztucznych źródeł światła. Taki sposób poprawy warunków świetlnych w obiekcie jest powszechną praktyką stosowaną przez producentów kwiatów oraz w przygotowaniu rozsady warzyw. Przy niedostatecznej ilości światła następuje nie tylko spowolnienie procesu wzrostu (niewielka fotosynteza) ale również i rozwój jest zaburzony (rośliny mają nadmiernie wydłużone i wiotkie łodygi oraz posiadają zmniejszoną ilość chlorofilu w tkankach). Z kolei mniejsza ilość chlorofilu w tkankach ogranicza intensywność fotosyntezy, nawet przy późniejszej dostępności światła, a tym samym może wystąpić późniejsze ograniczenie produktywności roślin. Rośliny uprawiane w szklarni, a więc w warunkach braku deficytu wody ale za to przy słabym naturalnym nasłonecznieniu, winny posiadać zwiększoną ilość chlorofilu w tkankach liści.

Światło jest bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na przebieg fotosyntezy, jak również wielu innych procesów ważnych dla rozwoju roślin. Przy czym duże znaczenie ma zarówno długość dnia, jak i intensywność naświetlenia. Jednocześnie światło jest jednak w małym stopniu wykorzystywane przez rośliny. Wynika to między innymi z selektywnego jego pochłaniania przez chlorofil (głównie fal widma pomarańczowo-czerwonego i niebiesko-fioletowego). Jeżeli rośliny umieści się w różnych warunkach począwszy od kompletnej ciemności do coraz silniejszego światła, to początkowo słaba fotosynteza nie będzie kompensowała oddychania: przy dalszym zwiększaniu natężenia światła będzie ona coraz bardziej przeważała nad oddychaniem, a w konsekwencji nastąpi rozwój roślin. Niektóre rośliny ten stan, a więc kiedy fotosynteza przekracza oddychanie, osiągają już przy 27 lx,

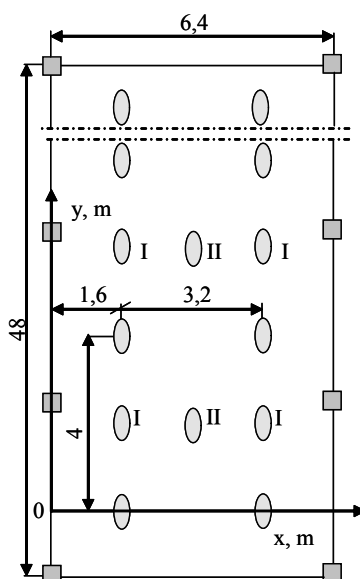
inne dopiero przy ponad 5000 lx. Optimum natężenia światła zależy nie tylko od gatunku uprawianych roślin, ale również i od temperatury otoczenia i stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w szklarni. Zastosowanie sztucznego oświetlenia w obiektach ogrodnich ma dwa zasadnicze cele, a mianowicie: zwiększenie asymilacji dwutlenku węgla oraz przedłużenie dnia. Przy doświetlaniu asymilacyjnym, dla wyrównania światła słonecznego stosuje się sztuczne doświetlanie lampami o dużej intensywności świetlnej. Z kolei, ingerencja w zakresie długości dnia ma na celu kształtowanie kwitnienia, regulowanie terminu owocowania, wpływanie na okres spoczynku zimowego. W tym przypadku, wystarczają nieduże natężenie oświetlenia i zainstalowane moce. Używanie sztucznego oświetlenia do wzmoczenia asymilacji znajduje w praktyce niewielkie zastosowanie, gdyż niezbędne są duże moce elektryczne, które powodują, że ten zabieg jest nieopłacalny, z wyjątkiem specjalnych przypadków takich jak doświetlanie rozsad i tylko wybranych roślin.

Zagadnienie analizy wpływu zróżnicowania na efekty produkcyjne i zmiany w przebiegu procesów fizjologicznych były przedmiotem analiz. I tak, Hao i Papadopoulos [1999] przeanalizowali wpływ sztucznego doświetlania ogórków uprawianych w szklarni pokrytej zróżnicowanym pokryciem. W konkluzji stwierdzono, że niezależnie od rodzaju pokrycia obiektu, zwiększenie natężenia światła, pozytywnie oddziałuje na zawartość chlorofilu w liściach, wzrasta również tempo fotosyntezy i przyrost masy w liściach (owocach) oraz prowadzi do zwiększenia tempa wzrostu roślin. Nie stwierdzono z kolei zależności między terminem plonowania a rodzajem pokrycia (analizowano: pojedyncze i podwójne szkło, podwójną folię oraz poliwęglan). Kitaya i in. [1995] badali wpływ zmiennego ukierunkowanego doświetlania roślin uprawianych w warunkach *in vitro* na morfologię tkanek oraz ich rozwój, stwierdzając statystyczne zróżnicowanie badanych wielkości między oświetleniem bez ukierunkowania docierającego światła w porównaniu ze światłem ukierunkowanym. Ferentinos i in. [2000] w swoich badaniach wykazali konieczność wzajemnie sprzężonego sterowania dozowaniem dwutlenku węgla oraz sztucznego doświetlania sadzonej rośliny (sałata) uprawianej w szklarni. W oparciu o opracowany model wzrostu badanej rośliny (uwzględniający zmianę koncentracji dwutlenku węgla w wyniku wentylacji obiektu) znaleźli zalecane natężenie oświetlenia wewnątrz szklarni. Pozytywny wpływ doświetlania roślin zaobserwowano również w przypadku roślin ozdobnych [Labeke i Dambre, 1998; Pettersen i in. 2007; Treder 2003]. W badaniach zauważono zależność przewodności listowia dla pary wodnej oraz, że ilość wymaganych składników pokarmowych dostarczanych w pożywce ściśle zależy od ilości światła. Ponadto zaobserwowano, że im wyższe stężenie dwutlenku węgla w powietrzu wewnątrz szklarni, tym wymagane jest wyższe natężenie doświetlania. Demeres i in. [1998] porównywali wpływ doświetlania pomidorów światłem ciągłym i przerywanym na efekty produkcyjne zauważając, że światło przerywane pozytywniej wpływa na efekty produkcyjne niż światło ciągłe. Jak wynika z przytoczonego przeglądu literatury ważnym czynnikiem plonotwórczym w uprawie pod osłonami jest zapewnienie odpowiedniej gęstości oświetlenia. Przedstawione w pracy [Kurpaska 2008] wyliczenia wskazują poprawność zastosowanej metody. Porównując uzyskane wartości oświetlenia z wymaganiami roślin (rzędu 10 do 12 klx) można stwierdzić, że jest ono niewystarczające.

Stąd głównym celem pracy jest przeanalizowanie rozwiązań technicznych umożliwiających zwiększenie natężenia oświetlenia powierzchni szklarni.

## Material i metoda

Przedmiotem rozważań jest system oświetlenia zainstalowany w szklarni wielonawowej typu Venlo o szerokości nawy 6,4 m.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia źródeł światła w nawie szklarni  
Fig. 1. Diagram showing layout of light sources in greenhouse aisle

W szklarni na wysokości 3,3m zainstalowany jest system oświetlenia schematycznie zaznaczony na rys. 1. Dodatkowo zaznaczono graficznie przyjęty do analizy układ współrzędnych. Źródłami światła są wysokoprężne lampy sodowe HPS o strumieniu świetlnym równym 90 klm rozmieszczone w prostokąt  $4 \times 3,2$  m.

W celu zwiększenia natężenia oświetlenia powierzchni, przeanalizowano trzy rozwiązania:

- w miejscu istniejących źródeł światła o mocy o strumieniu świetlnym równym 90klm, zainstalowane zostaną lampy o poborze mocy 750 W oraz strumieniu świetlnym 104 klm,
- w obecnym systemie rozmieszczenia źródeł światła zainstalowane zostaną dodatkowe źródła o strumieniu 90 klm (oznaczenie I na rys. 1), lub umieszczone zostaną na przecięciu przekątnych istniejących źródeł (oznaczenie II): dodatkowymi źródłami światła są lampy HPS o strumieniu 90 klm. We wszystkich lampach zainstalowane są reflektory kierujące rozsył światła. Charakterystykę rozsyłu światła (w funkcji kąta padania promieni) w oparciu o [www.plantgro.pl] przedstawiono w pracy [Kurpaska 2008].

Wyliczenia natężenia oświetlenia przeprowadzono w oparciu o zweryfikowaną metodykę [Kurpaska 2008]. W skrócie, obliczenia natężenia oświetlenia z wykorzystaniem tej metody można przedstawić następująco:

- znając wartość strumienia świetlnego, oraz dysponując krzywą rozsyłu światła przez reflektor lampy oblicza się natężenie źródła światła w danym punkcie oświetlanej powierzchni szklarni,
- stosując metodę superpozycji otrzymanych wyników otrzymuje się końcową wartość oświetlenia wyszczególnionych punktów zlokalizowanych na przyjętej oświetlanej powierzchni.

Otrzymany wynik natężenia oświetlenia (lx) można również wyrazić w innych jednostkach natężenia między którymi dla sztucznego doświetlania istnieje związek:

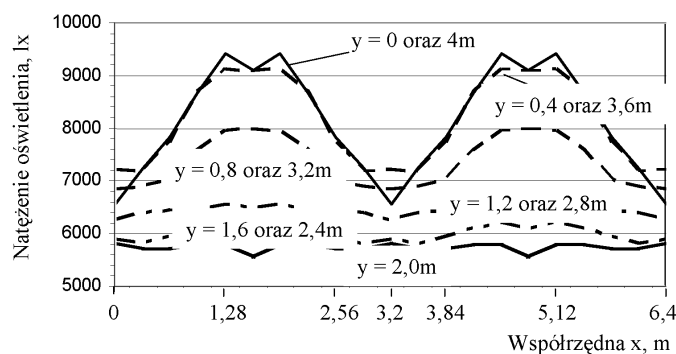
$$1 \text{ klx} \cong 11,7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \cong 2,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Wyrażenie natężenia oświetlenia w jednostce lx (luksach) odnosi się przy pomiarze oświetlenia za pomocą luksomierza, z kolei w jednostce  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (mikroEinsteiny) przy pomiarze fitofotometrem, zaś w jednostce  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  przy pomocy pyranometru.

Wszystkie wyliczenia przeprowadzono dla powierzchni odległej od źródła światła o 1,5 m. Przyjęta odległość od źródła światła jest konsekwencją współczesnych metod uprawy roślin w szklarni.

## Wyniki i dyskusja

Na rys. 2 przedstawiono przebieg teoretycznego natężenia oświetlenia dla istniejącego systemu doświetlania.

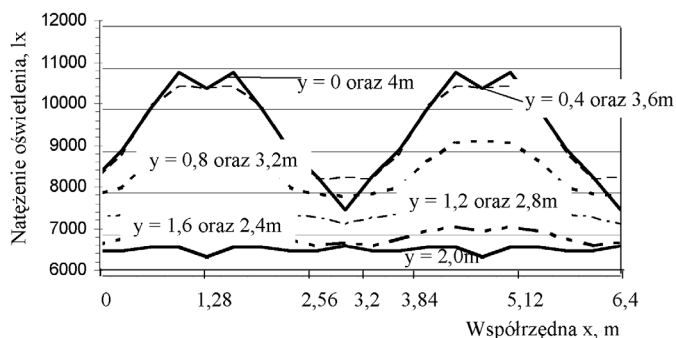


Rys. 2. Natężenie oświetlenia dla źródeł światła w istniejącym systemie

Fig. 2. Illumination for light sources in an existing system

Jak widać, w istniejącym systemie występuje znaczne zróżnicowanie w oświetleniu powierzchni: zakres zmian mieści się w granicach od 5,5 do 9,4 klx. Ponadto, występują znaczne różnice w oświetleniu dla obydwu przyjętych osi współrzędnych.

Zmianę w natężeniu oświetlenia dla wariantu I (zamiana istniejących źródeł światła na źródła o strumieniu 104klm) przedstawiono na rys. 3.

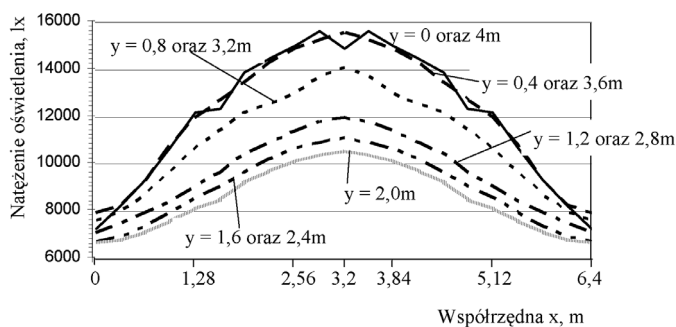


Rys. 3. Natężenie oświetlenia dla źródeł światła w istniejącym systemie przy zamianie źródeł światła

Fig. 3. Illumination for light sources in an existing system at light sources swap

Można zauważyć, że występują porównywalne względne różnice w oświetleniu (w obydwu kierunkach), natomiast zakres zmian w naświetleniu mieści się w granicach od 9,5 do 10,9 klx. Średnia wartość oświetlenia przy zastosowaniu źródeł światła o zwiększonym strumieniu wzrosła z ok. 7 do 8,1 klx. Oczywiście zauważona poprawa w oświetleniu niesie za sobą zwiększenie o ok. 13% zapotrzebowania na moc elektryczną. Przyjmując rzeczywistą powierzchnię analizowanego obiektu równą 1,8 ha wymagane jest zwiększenie mocy na potrzeby oświetlenia do ponad 1 MW mocy pobieranej energii elektrycznej co wymaga uzgodnień z właściwym urzędem elektroenergetycznym.

Dla drugiego wariantu modyfikacji systemu doświetlenia (istniejące źródła o strumieniu 90klm uzupełnione dodatkowymi lampami o tym samym strumieniu), obliczoną wartość natężenia oświetlenia przedstawiono na rys. 4.

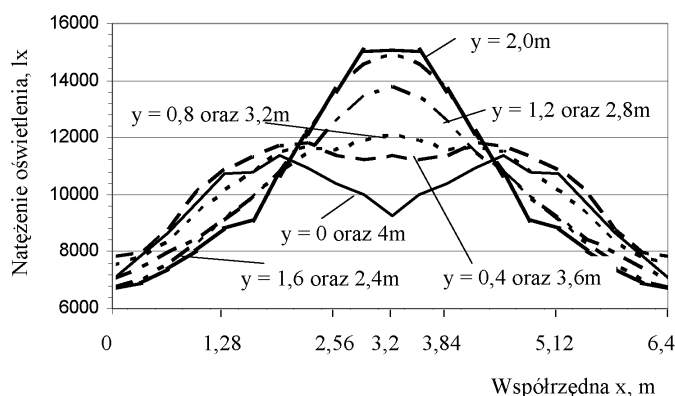


Rys. 4. Natężenie oświetlenia dla źródeł światła w wariantcie I (w osi zainstalowanych źródeł znajdują się dodatkowe źródła)

Fig. 4. Illumination for light sources in variant I (additional light sources are present in the axis of the installed sources)

Jak widać występują zróżnicowania w natężeniu oświetlenia w zakresie od 6,6 do 15,6 klx. Największa gęstość strumienia oświetlenia występuje w osi umieszczenia źródeł światła (dla  $x=0$  oraz  $x=3,2$  m), gdzie natężenie zmienia się od 7,3 do 15,6 klx, z kolei w osi symetrii pomiędzy źródłami ( $x=1,6$ m) natężenie zmienia się od 6,6 do 10,5 klx. Oczywiście poprawę oświetlenia w rozpatrywanym wariantcie (uzyskanej w wyniku zwiększenia liczby źródeł światła) powoduje zwiększenie o 50% zapotrzebowania na moc elektryczną. Analizując uzyskane wartości można jednoznacznie stwierdzić, że ten wariant nie jest najlepszym rozwiązaniem gdyż nastąpił wzrost średniej wartości oświetlenia (zamontowanie dodatkowych źródeł o tej samym strumieniu świetlnym) z ok. 7 do 10,5 klx jednak kosztem zwiększenia o 50% zapotrzebowania na moc elektryczną.

Alternatywnym rozwiązaniem (w stosunku do omawianego wariantu) jest rozmieszczenie dodatkowych źródeł światła w osi symetrii pomiędzy istniejącymi źródłami (wariant II- rys. 1).



Rys. 5. Natężenie oświetlenia dla źródeł światła w wariantcie II (źródła światła w osi symetrii istniejących źródeł)

Fig. 5. Illumination for light sources in variant II (light sources in the symmetry axis of the existing sources)

Analizując otrzymane przebiegi graficzne można zauważyć, że zainstalowanie dodatkowych źródeł w tym wariantcie powoduje, że zakres zmian natężenia oświetlenia mieści się w granicach 6,6 do 15 klx, zaś średnia wartość gęstości oświetlenia wynosi ok. 10 klx. Zarówno największa jak i najmniejsza wartość oświetlenia występuje w osi symetrii istniejących źródeł. Rozmieszczenie w tym wariantcie dodatkowych źródeł wymaga zwiększenia mocy elektrycznej o 25%.

Podsumowując uzyskane przebiegi można stwierdzić, że w celu zwiększenia istniejącego natężenia oświetlenia najkorzystniej jest umieścić źródła w osi pomiędzy istniejącym rozmieszczeniem elementów systemu doświetlającego. Wymagane jest jednak zamontowanie dodatkowych elementów podtrzymujących źródło światła które niewątpliwie ograniczy dostęp światła naturalnego. Jednak minimalizując przekrój tych elementów (np. w postaci linki) można to rozwiązanie polecić praktyce ogrodniczej.

## Wnioski

1. Zwiększenie strumienia mocy świetlnej istniejących źródeł światła powoduje zwiększenie średniego świetlenia z 7 do 8,1klx.
2. Zamontowanie w systemie oświetlenia dodatkowych źródeł światła umieszczonych wzdłuż istniejących źródeł powoduje zwiększenie średniego natężenia o 3,5klx; z kolei przy dodatkowych źródłach w osi symetrii pomiędzy istniejącymi źródłami powoduje wzrost średniego oświetlenia o 3klx.
3. Uwzględniając zapotrzebowanie mocy elektrycznej i oświetlenie, najbardziej racjonalne jest umieszczenie dodatkowych źródeł w osi symetrii pomiędzy istniejącymi źródłami światła.

## Bibliografia

- Demers D.A., Dorais M., Chris H., Wien C.H., Gosselin A.A.** 1998. Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Scientia Horticulturae* 74, 295-306.
- Ferentinos K.P., Albright L. D., Ramani D.V.** 2000. Optimal light integral and carbon dioxide concentration combinations for lettuce in ventilated greenhouses. *J. of Agric. Engineering Research*, 77(3), s. 309- 315.
- Hao X., Papadopoulos A.P.** 1999. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber *Scientia Horticulturae* 80, s. 1-18.
- Kitaya Y., Fukuda O., Kozai T., Kirdmanee C.** 1995. Effects of light intensity and lighting direction on the photoautotrophic growth and morphology of potato plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, 62, s. 15- 24.
- Kurpaska S.** 2008. Metodyczne aspekty obliczania natężenia oświetlenia w szklarni produkcyjnej. *Inżynieria Rolnicza* (przesłane do Redakcji).
- Labeke van M.Ch., 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
- Pettersen R.I., Moe R., Gislserod H.R.** 2007. Growth of pot roses and post-harvest rate of water loss as affected by air humidity and temperature variations during growth under continuous light. *Scientia Horticulturae* 114, s. 207- 213
- Treder J.** 2003. Effects of supplementary lighting on flowering, plant quality and nutrient requirements of lily 'Laura Lee' during winter forcing. *Scientia Horticulturae* 98, s. 37-47

## **THE IMPACT OF LIGHT SOURCES LAYOUT MODIFICATION ON PLANT LIGHT EXPOSURE INTENSITY IN A GREENHOUSE**

**Abstract.** The paper presents the change in the illumination of greenhouse cultivated area resulting from modification in layout of plant light exposure system elements. Commonly available in the market high-pressure sodium discharge lamps with a reflector directing light distribution were taken into account as light sources. The analysis of changes in lighting was carried out on the basis of verified methodology allowing to analyse light source illumination intensity.

**Key words:** high-pressure sodium discharge lamps, lighting, greenhouse

**Adres do korespondencji:**

Sławomir Kurpasa; e-mail: [rtkurpas@cyf-kr.edu.pl](mailto:rtkurpas@cyf-kr.edu.pl)  
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków