

# Nowoczesne systemy doświetlania roślin oparte o najnowsze osiągnięcia technologii SSL LED

dr inż. WOJCIECH GRZESIAK<sup>1)</sup>, mgr inż. ADAM BIEŃKOWSKI<sup>1)</sup>, mgr inż. MAREK ŻUPNIK<sup>2)</sup>,  
dr hab. inż. RENATA WOJCIECHOWSKA<sup>3)</sup>, dr inż. ANNA KOŁTUN<sup>3)</sup>,  
prof. dr hab. inż. SŁAWOMIR KURPASKA<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Instytut Technologii Elektronowej, Oddział w Krakowie, <sup>2)</sup> PXM S.C. Danuta i Marek Żupnik, Kraków

<sup>3)</sup> Wydział Ogrodniczy, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, <sup>4)</sup> Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Światło jest czynnikiem niezbędnym dla prawidłowego funkcjonowania roślin, determinuje wielkość oraz jakość plonu. Niedobór światła skutkuje zawsze zmniejszeniem intensywności fotosyntezy, co przekłada się na słabszy wzrost roślin [1]. Oprócz funkcji troficznych, światło pełni również rolę czynnika morfogenetycznego, wpływając na przykład na wydłużanie pędów, wybarwienie liści, kwitnienie, czy proces starzenia [2]. Ponadto, w istotny sposób modyfikuje wartość biologiczną, która ma duże znaczenie dla konsumenta roślin. Wykazano na przykład, że warunki świetlne podczas uprawy mają duży wpływ na redukcję azotanów oraz zawartość związków o charakterze prozdrowotnym w częściach użytkowych różnych gatunków warzyw [3]. Niemal w każdym aspekcie oddziaływania można precyzować, które zakresy długości fal świetlnych oraz jaka intensywność napromienienia niezbędne są do wywołania określonych procesów fizjologicznych. Wykorzystując tę wiedzę, w szklarniowych uprawach ogrodniczych od dziesięcioleci stosuje się odpowiednie doświetlanie światłem sztucznym. Wynika to z faktu, że w warunkach klimatycznej Polski, jak i w wielu innych regionach strefy umiarkowanej rośliny skazane są na niedobór światła. Problem ten pojawia się jesienią, zimą oraz wczesną wiosną [4]. Proces doświetlania roślin jest przedmiotem licznych badań naukowych, publikacji oraz wdrożeń w produkcji ogrodniczej. Do doświetlania stosuje się najczęściej nisko- i wysokoprężne lampy sodowe. Ich skuteczność świetlna jest bardzo wysoka i wynosi 90...135 lm/W, a typowy czas życia 12000 godz. [5]. Zaletą ich, w wyniku zastosowania ekranów odbłyśnikowych jest doskonały rozsył strumienia świetlnego, natomiast wadami duża ilość energii elektrycznej, która zamieniana jest na ciepło oraz brak możliwości regulacji ich charakterystyk spektralnych. Dynamiczny rozwój technologii SSL LED (*Solid-State Lighting Light-Emitting Diode*) spowodował, że lampy sodowe są i będą coraz częściej wypierane przez źródła światła na niej oparte. Teza ta znajduje potwierdzenie w raportach i prognozach stowarzyszenia OIDA [6]. Wynika z nich, że technologia SSL już niedługo wyprze wszystkie inne technologie oświetleniowe. Bazując na tej tezie i wcześniejszych pracach prowadzonych w ITE oraz Instytucie Fizjologii Roślin PAN w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R02 049 02 – pt. „Innowacyjny system programowanego doświetlania roślin ogrodniczych diodami elektroluminescencyjnymi zasilanymi z autonomicznej instalacji fotowoltaicznej” [8–14], postanowiono tematycznie kontynuować. Do współpracy zaproszono firmę PXM, mającą wieloletnie doświadczenie w opracowaniach i produkcji komercyjnych systemów oświetleniowych, opartych o technologie SSL LED oraz Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, dysponujący nowoczesnymi obiektami szklarniowymi oraz bogatą wiedzą z zakresu fizjologii i doświetlania roślin.

Dla przeprowadzenia prac wstępnych opracowano i wykonano pierwszy system składający się z trzech lamp różniących się głównie charakterystykami spektralnymi oraz niezbędnemu systemowi zasilania zarządzania strumieniem i widmem

światła. W systemie zastosowano najnowsze (wprowadzone do sprzedaży w ostatnich kilkunastu miesiącach) osiągnięcia renomowanych firm w zakresie technologii SSL LED. System ten zainstalowano w szklarni należącej do Wydziału Ogrodniczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie i tam poddano go wnikliwej analizie oraz wykonano pierwsze badania eksperymentalne. Docelowo planuje się ewentualne działania korygujące i znaczną jego rozbudowę. Przeprowadzone pomiary charakterystyk spektralnych, liczności fotonów oraz rozsyłu strumienia świetlnego wykazały pełną przydatność systemu w produkcji ogrodniczej, zwłaszcza roślin rozetowych.

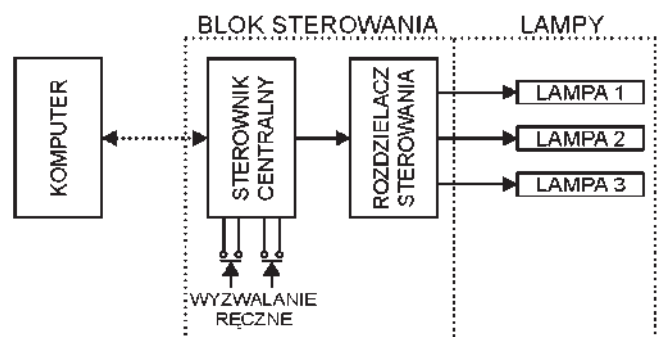
## Opis systemu

Zaprojektowany i wykonany system składa się z dwóch zasadniczych części: lamp i bloku sterowania (rys. 1).

Rola zaznaczonego na rysunku komputera ogranicza się wyłącznie do ustawienia parametrów pracy systemu. Po jego odłączeniu system funkcjonuje całkowicie niezależnie wg przygotowanego wcześniej algorytmu.

System został zaprojektowany w sposób umożliwiający indywidualne sterowanie jasnością każdej lampy, a w przypadku lamp emitujących światło niebieskie i czerwone również indywidualne sterowanie intensywnością natężenia każdego koloru. Dzięki takiemu rozwiązaniu można na potrzeby eksperymentu wydzielić różne grupy upraw i doświetlać je w tym samym czasie światłem o różnych charakterystykach spektralnych. W prezentowanym systemie zastosowano tylko 3 lampy, ale docelowo można tę liczbę zwiększyć do 512 niezależnie sterowanych obwodów oświetlenia, czyli 512 grup lamp 1-kolorowych, 256 grup lamp 2-kolorowych lub 170 grup lamp 3-kolorowych, itd.

Zaimplementowane oprogramowanie pozwala w pełni zautomatyzować proces doświetlania, poprzez między innymi zdefiniowanie godzin włączania i wyłączania lamp lub powiązanie tych funkcji ze wschodami i zachodami słońca. W tym przypadku wystarczy podanie długości i szerokości geograficznej miejsca instalacji oraz ewentualnego opóźnienia lub



Rys. 1. Schemat blokowy systemu  
Fig. 1. Block diagram of the system

przyspieszenia reakcji systemu. Proces sterowania doświetlaniem odbywa się całkowicie płynnie. Procesy załączania i wyłączenia mogą trwać od 0,1 sekundy do 1,5 godziny. Ilość włączeń i wyłączeń w ciągu doby oraz czas doświetlania są praktycznie nieograniczone.

Zastosowany system umożliwia podłączenie również innych urządzeń zewnętrznych, jak np. czujników oświetlenia. Dzięki temu można niezależnie od zaprogramowanych czasów automatycznie włączyć doświetlanie w wyjątkowo pochmurny dzień lub zrezygnować z doświetlania podczas wyjątkowo jasnego popołudnia. Jest to funkcja niezwykle istotna w aspekcie oszczędności energii elektrycznej i efektywności doświetlania.

Modułowa konstrukcja systemu (rys. 2) pozwala na łatwą jego instalację w typowych rozdzielniach elektrycznych o odpowiedniej klasie szczelności (w przypadku upraw szklarniowych jest to IP65).



Rys. 2. Rozdzielnia ze sterownikami  
Fig. 2. Switching table with drivers

Sterowanie lampami odbywa się za pomocą protokołu cyfrowego DMX-512 zdefiniowanego przez USITT (*United States Institute for Theatre Technology*) [15]. Jest on obecnie najlepszym i powszechnie stosowanym protokołem sterowania oświetleniem.

Jak wcześniej wspomniano, drugą część systemu stanowią lampy LED. Każda z nich zawiera po 2 × 24 diody LED o mocy ok. 1 W. Lampy te różnią się charakterystykami spektralnymi emitowanego światła (rys. 3). Lampa PXM E/R+B została wyposażona w diody niebieskie (450 nm) i czerwone (660 nm), lampa PXM R/R+B w diody niebieskie (445 nm) i czerwone (635 nm) natomiast lampa PXM R/W w diody białe o temperaturze barwowej 3500K.

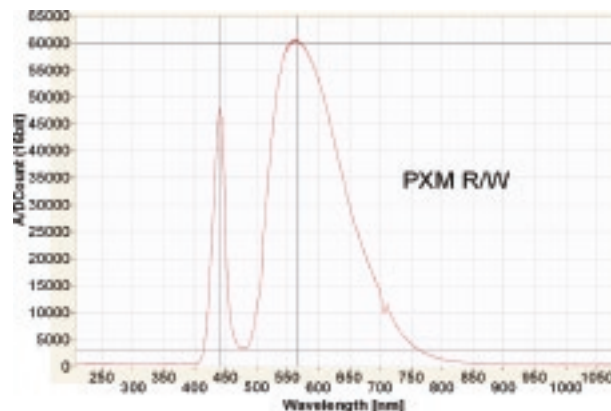
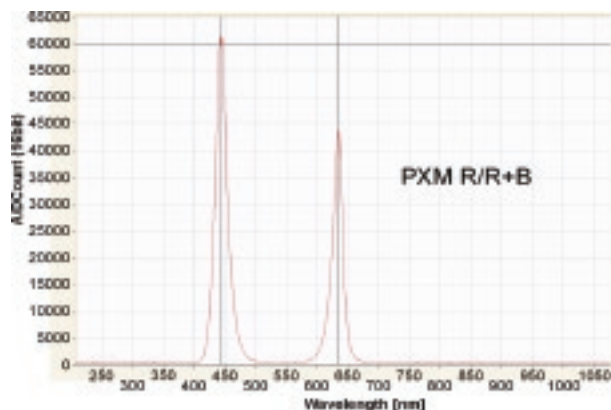
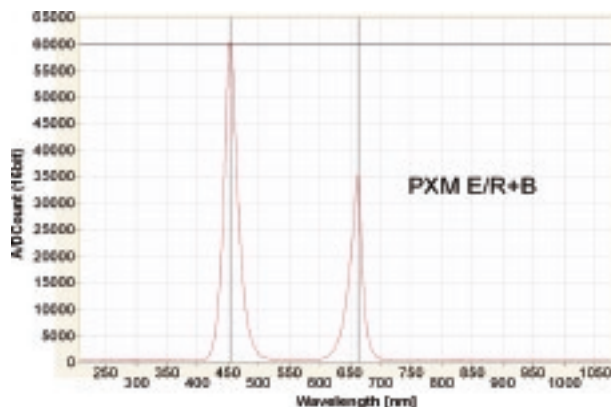
Przeprowadzone pomiary wykazały, że liczności fotonów zmierzone w odległości 0,5 m i przy kącie rozsyłu strumienia światła 25° wynoszą odpowiednio:

- dla lampy PXM E/R+B od 100 do 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- dla lamp PXM R/R+B i PXM R/W od 250 do 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Wewnątrz każdej lampy umieszczono układy elektroniczne sterujące jasnością diod LED oraz niezbędne moduły zasilania.

Ze względu na szczególnie trudne warunki pracy (możliwa bardzo wysoka wilgotność, wysoka temperatura, czy też bezpośredni kontakt z wodą z układów zraszania roślin) w opisywanym systemie zostały zastosowane niezawodne i sprawdzone w wielu innego typu instalacjach oprawy firmy PXM [7]. Wszystkie oprawy posiadają potwierdzoną certyfikatem klasę szczelności IP65 oraz, co szczególnie ważne w środowisku charakteryzującym się dużymi wahaniami temperatur – układ wyrównywania ciśnienia.

Dodatkową zaletą zastosowanych lamp są małe rozmiary ich pionowego rzutu (65 x 1000 mm), dzięki czemu lampy nie ograniczają dostępu światła słonecznego (rys. 4).



Rys. 3. Charakterystyki spektralne lamp zastosowanych w systemie doświetlania roślin  
Fig. 3. Spectral characteristics of lamps used in systems for plants irradiation



Rys. 4. Wygląd zewnętrzny zastosowanych lamp  
Fig. 4. The lamps used

Ponieważ zgodnie z danymi katalogowymi producentów diod LED [16] ich żywotność jest silnie uzależniona od temperatury złącza, w lampach zastosowano pasywne układy chłodzenia, które skutecznie niwelują negatywny wpływ wysokiej temperatury szklarni na żywotność diod LED.

Poza wspomnianą wcześniej unikalną cechą emisji ściśle określonych charakterystyk spektralnych, zastosowanie lamp LED pozwala na uzyskanie wymiernych korzyści proekologicznych i ekonomicznych. Wstępne wyniki badań oraz dane literaturowe pozwalają na stwierdzenie, że ilość energii elektrycznej potrzebna do osiągnięcia porównywalnego z zastosowaniem lamp sodowych efektu jest ok. 10 razy mniejsza. Ten wynik przekłada się zarówno na bezpośrednie oszczędności w opłatach za zużyta energię, jak i na redukcję kosztów wynikającą ze zmniejszenia przekrojów zasilających kabli czy też wielkości stacji transformatorowej.

Na rysunku 5 pokazano wygląd stanowiska badawczego z zainstalowanym systemem doświetlania roślin.

## Wstępne wyniki eksperymentu

Do eksperymentu wybrano rozspinkę warzywną (*Valerianella locusta*), której częścią jadalną są liście, tworzące rozetę. Jest to roślina o atrakcyjnych walorach smakowych i prozdrowotnych. Zawiera np. nie tylko duże ilości kwasu askorbinowego i foliowego, ale także nienasycone kwasy tłuszczowe, w tym omega-3 [17]. Nasiona rozspinki wysiano w połowie stycznia b.r., a doświetlanie uzupełniające prowadzono od 1 lutego do początku marca. Celem badań wstępnych było określenie wpływu światła emitowanego przez opisany powyżej system trzech lamp typu SSL LED o mocach 60 VA każda oraz przez lampę sodową SON Agro 600VA na wzrost, intensywność fotosyntezy, fluorescencję chlorofilu oraz poziom barwników asymilacyjnych i kwasu askorbinowego w liściach rozspinki. Rośliny kontrolne nie były doświetlane.

Po 20 dniach doświetlania roślin, średnia długość blaszek liściowych była największa pod lampą PXM R/W (70,6 mm), w następnej kolejności pod sodową, R/R+B oraz E/R+B. Natomiast największą szerokość blaszek liściowych stwierdzono pod lampą sodową (22,6 mm), a najmniejszą pod E/R+B (18,7 mm). Po miesiącu doświetlania nie stwierdzono istotnych różnic w intensywności fotosyntezy mierzonej w ciągu dnia pomiędzy kombinacjami (ok.  $7 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Interesujące, że wieczorem w liściach oświetlonych lampą sodową, R+R/B i R/W fotosynteza przebiegała podobnie



Rys. 5. Stanowisko badawcze w szklarni Wydziału Ogrodniczego UR

Fig. 5. Research site in the greenhouse of the Faculty of Horticulture

(ok.  $6 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). W przypadku E/R+B fotosynteza była najniższa ( $3,2 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), co wynikało z najniższego natężenia napromienienia roślin w tym obiekcie. Niemniej zawierały one najwięcej kwasu askorbinowego ( $51,04 \text{ mg } 100\text{g}^{-1} \text{ św.m.}$ ) i barwników asymilacyjnych. Wyraźną stymulację syntezy barwników w stosunku do pozostałych obiektów obserwowano także w kombinacji z użyciem lampy R/R+B. Parametry pomiaru fluorescencji chlorofilu, a pod lampami LED osiągały bardzo dobre wartości, wskazujące na sprawne funkcjonowanie systemu fotosyntetycznego PSII. W przyszłości dopracowania wymagałoby zwiększenie mocy lampy E/R+B celem uzyskania lepszych parametrów nie tylko jakościowych, ale także wzrostowych roślin. Dodatkową atrakcją eksperymentu była różnobarwność liści obserwowana po zapadnięciu zmroku podczas doświetlania lampami w systemie SSL LED, co mogłoby zostać wykorzystane w doświetlaniu i iluminacji roślin ozdobnych.

## Literatura

- [1] Matysiak B.: Doświetlanie roślin ozdobnych. *Hasło Ogrodnicze*, 07/2004, ss. 20–22.
- [2] Eberhard Schaefer, Ferenc Nagy.: *Photomorphogenesis in Plants and Bacteria. Function and Signal Transduction Mechanism*. 3rd Edition, Springer, 2006, pp. 662.
- [3] Wojciechowska R., Siwek P.: The effect of shading on nitrate metabolism in stalks and blades of celery leaves. (*Apium graveolens* L. var. dulce), *Folia Horticulturae*, 18/2, 2006, 25–35.
- [4] Kurpaska S.: Metodyczne aspekty obliczania natężenia oświetlenia w szklarni produkcyjnej, *Inżynieria Rolnicza*, 10(108), 137–143.
- [5] Kurpaska S.: Technika doświetlania roślin. *Hasło Ogrodnicze*, 07/2004, ss. 12–14.
- [6] Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination” An Oida Technology Roadmap Update 2002, website [http://lighting.sandia.gov/lightingdocs/OIDA\\_SSL\\_LED\\_Roadmap\\_Full.pdf](http://lighting.sandia.gov/lightingdocs/OIDA_SSL_LED_Roadmap_Full.pdf)
- [7] Witryna internetowa: [www.pxm.pl](http://www.pxm.pl)
- [8] Grzesiak W., Cież M., Nowak S., Zaraska W., Dubert F., Czyczyło-Mysza I.: Application of PV Powered High Intensity LED's for Supplementary Irradiation of Horticultural Plants. *Proc. of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, May 7–12.2006, Hilton Waikoloa Village, Waikoloa, Hawaii, pp. 2400–2403.
- [9] Grzesiak W., Cież M., Nowak S., Skwarek A., Dubert F., Czyczyło-Mysza I., Skoczowski A.M.: High Brightness Leds Supplied from Autonomous PV Installation in Proecological Irradiation Systems for Plants Cultivation. *22th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Fiera Milano, Italy, 3–7.09.2007, pp. 3288–3291.
- [10] Grzesiak W., Cież M., Nowak S., Maj T., Początek J., Skwarek A., Wittek K., Dubert F., Czyczyło-Mysza I., Skoczowski A.M.: The Modern Proecological SSL-LED+PV System for Supplementary Irradiation of Plants. *Proc. of the 31th Int. Conference and Exhibition IMAPS - Poland 2007*, Rzeszów-Kraciszyn, Poland, 23–26.09.2007, pp. 291–294.
- [11] Grzesiak W., Maj T., Początek J.: Porównanie własności aplikacyjnych oświetleń żarowego i LED-owego. *VII Krajowa Konferencja Elektroniki, Darłówko Wschodnie*, 02–04.06.2008, pp. 473–478.
- [12] Grzesiak W., Maj T., Początek J.: Porównanie własności aplikacyjnych oświetleń żarowego i LED-owego. *Elektronika*, 11/2008, ss. 230–233.
- [13] Grzesiak W., Cież M., Koprowski J.: The Influence of Assembly Technology on Exploitation Parameters of Power SSL-LEDs. *Proc. of the 32nd International Microelectronics and Packaging IMAPS-CPMT Poland Conference*, Warszawa-Pułtusk, Poland, 21–24.09.2008, p. 36/CD.
- [14] Skoczowski A., Czyczyło-Mysza I., Skwarek A., Pilarski J., Grzesiak W., Nowak S.: Impact of Light Spectral Composition and Ozone Fumigation on Chlorophyll Content Changes and Optical Properties of Broccoli Leaves. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 2010, z.545, ISSN 0084-5477, pp. 357–373.
- [15] ANSI E1.11 – USITT DMX512-A Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories
- [16] Witryna internetowa: [www.philipslumileds.com](http://www.philipslumileds.com)
- [17] Wierzbička B.: *Mniej znane rośliny warzywne*. WUWM, 2002, Olaszyn.