

PROGRAMOWALNY SYSTEM DOŚWIETLANIA ROŚLIN ZBUDOWANY W OPARCIU O TECHNOLOGIĘ SSL LED*

Marek Żupnik

PXM Marek Żupnik sp. k. w Krakowie

Wojciech Grzesiak

Instytut Technologii Elektronowej, Oddział w Krakowie

Renata Wojciechowska

Katedra Fizjologii Roślin, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Sławomir Kurpaska

Instytut Inżynierii Rolniczej i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Dynamiczny rozwój technologii SSL LED (Solid-State Lighting Light-Emitting Diode) oraz znaczny wzrost cen energii elektrycznej w ostatnich latach spowodowały większe zainteresowanie źródłami światła opartymi o tę technologię. Równocześnie unikalne właściwości diod LED, polegające na możliwości doboru odpowiedniej charakterystyki spektralnej emitowanego światła, stworzyły możliwości wpływania na rozwój roślin przy pomocy odpowiedniego doboru składowych widma. W artykule opisano kompletny system przeznaczony do doświetlania roślin. Omówiono wybrane zagadnienia związane z konstrukcją opraw oświetleniowych oraz z inteligentnym systemem sterowania, umożliwiającym implementację zaawansowanych algorytmów doświetlania, w tym zależności czasowych.

Słowa kluczowe: technologia SSL LED, sterowanie oświetleniem, charakterystyka spektralna lampy, doświetlanie roślin, oszczędność energii elektrycznej

Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych czynników środowiskowych, gwarantujących wzrost i rozwój roślin, jest światło. Z punktu widzenia wymagań rośliny istotna jest zarówno ilość światła (liczba zaabsorbowanych fotonów), jak i jego jakość (charakterystyka spektralna). W naszej strefie klimatycznej w okresie niedoboru naturalnego napromieniowania pojawia

* Praca realizowana w ramach projektu badawczego nr 2011/01/B/NZ9/00058 finansowanego przez NCN (2011–2014). System zgłoszono w Urzędzie Patentowym pod numerem P.397612.

się konieczność doświetlania szklarniowych upraw ogrodnich światłem sztucznym. Najczęściej stosowane lampy sodowe emitują głównie światło barwy żółtej, które w procesach fotosyntezy i morfogenezy roślin jest mało skuteczne. Uzasadnione jest zatem poszukiwanie bardziej efektywnych dla wzrostu i rozwoju roślin źródeł, emitujących przede wszystkim promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie światła niebieskiego i czerwonego. Możliwości takie daje zastosowanie do doświetlania roślin technologii SSL LED (Solid State Lighting Light Emitting Diodes) [Morrow 2008]. W szklarni Wydziału Ogrodniczego UR przeprowadzono w roku 2011 kilka wstępnych eksperymentów z użyciem lamp wykonanych w technologii SSL LED, opracowanej i wykonanej przez autorów niniejszej pracy. W doświadczeniu z rozponką stwierdzono korzystny wpływ światła LED na badane parametry fotosyntezy [Grzesiak i in. 2009, 2011], natomiast w eksperymencie z begonią obserwowano intensywniejsze kwitnienie roślin (badania będą powtórzone w bieżącym roku i ich wyniki zostaną opublikowane). W ostatnich latach na świecie obserwuje się wzrost zainteresowania badaczy wykorzystaniem technologii SSL LED do doświetlania uzupełniającego roślin w uprawach szklarniowych, dających zadowalające rezultaty [Trouwborst i in. 2010; Wright 2011]. Prowadzono też badania wskazujące, że światło LED niebieskie i czerwone może wpływać korzystnie na wartość biologiczną warzyw liściowych [Urbanoviciute i in. 2009].

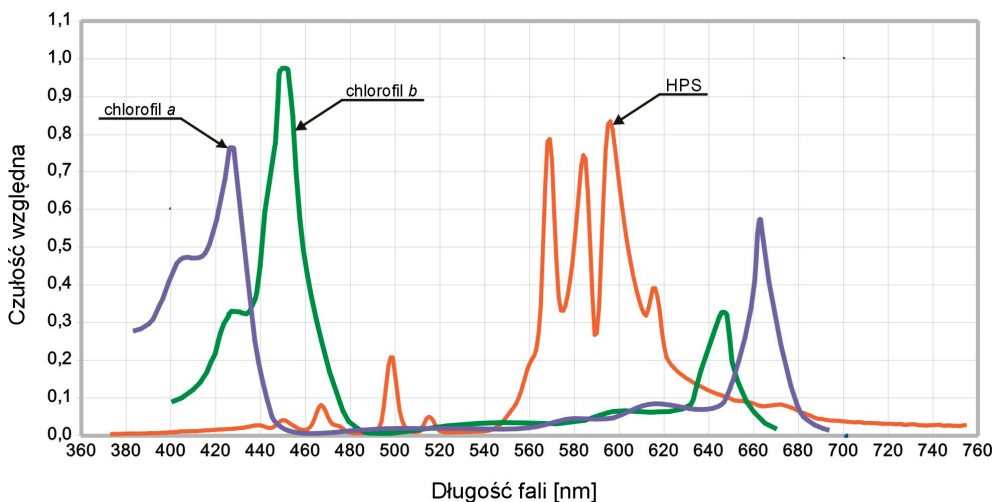
W Polsce opublikowano niewiele badań z zakresu zastosowania światła LED-owego w ogrodnictwie szklarniowym. Przedstawiony w niniejszej pracy system zrealizowany z zastosowaniem technologii SSL LED zostanie wykorzystany w szklarni Wydziału Ogrodniczego do badań w latach 2012–2014 w ramach realizacji projektu badawczego, finansowanego przez NCN. Pozytywna ocena projektu świadczy o wadze i aktualności podjętego tematu, a jego realizacja może w przyszłości przyczynić się do powstania opracowań lub projektów wdrożeniowych dla praktyki ogrodniczej w Polsce.

Na potrzeby opisanego wcześniej eksperymentu na początku roku 2011 została zaprojektowana i wykonana pierwsza wersja lampy wykorzystującej technologię SSL LED. Dzięki zebranych doświadczeniom została skonstruowana kolejna wersja lampy, uwzględniająca wymagania roślin. Wprowadzane zmiany wynikały zarówno z zebranych doświadczeń jak i bardzo szybko postępującego rozwoju technologii SSL LED.

Poniżej przedstawiono w sposób syntetyczny zasady właściwego sposobu wykonywania pomiarów porównawczych lamp, bazujących na różnych technologiach źródeł światła.

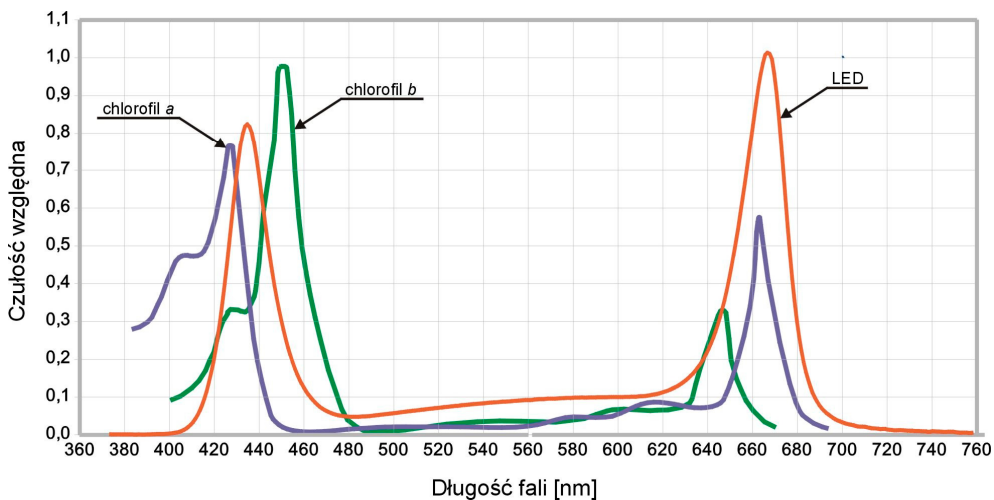
W praktyce produkcyjnej, najbardziej rozpowszechnionym źródłem światła, stosowanym do doświetlania upraw, jest lampa wysokoprężna HPS (High Pressure Sodium), natomiast najczęściej stosowanym przyrządem pomiarowym jest fitofotometr monitorujący intensywność oświetlania roślin światłem w widmie PAR (Photosynthetically Active Radiation). Przy jego pomocy można dokonać prawidłowego pomiaru ilości emitowanych fotonów zarówno przez wspomnianą wcześniej lampę HPS jak i przez lampę, w której źródłem światła są diody LED. Jednak porównywanie tak odczytanych wartości prowadzi do błędnych wniosków i nie pozwala właściwie ocenić, która lampa doświetli rośliny w bardziej efektywny sposób. Na rysunku 1 pokazano wyraźnie, że większość emitowanego przez lampę HPS światła leży poza obszarem najbardziej efektywnej absorpcji rośliny, natomiast pokazana na rysunku 2 charakterystyka spektralna lampy LED z tym obszarem pokrywa się prawie idealnie. Ponieważ lampy HPS mają znacznie większą moc niż lampy LED, pomiar wykonany dla obu lamp fitofotometrem pokaże większą intensywność stru-

mienia fotonów dla lampy HSP niż dla lampy LED, mimo że efekty doświetlania lampą LED ze względu na dużo większą zgodność z długością fali odpowiadającą absorpcji rośliny.



Źródło: HPS - pomiary własne, pozostałe opracowane na podstawie [Taiz i in. 2011]

Rys. 1. Charakterystyka spektralna lampy HPS oraz krzywe absorpcji chlorofilu a i b
Fig. 1. Spectral characteristic of the HPS lamp and "a" and "b" chlorophyll absorption curves



Źródło: LED - pomiary własne, pozostałe opracowane na podstawie [Taiz i in. 2011]

Rys. 2. Charakterystyka spektralna lampy LED oraz krzywe absorpcji chlorofilu a i b
Fig. 2. Spectral characteristic of the LED lamp and "a" and "b" chlorophyll absorption curves

Pomimo tego, że od wielu lat na całym świecie prowadzone są badania nad skutecznością doświetlania roślin za pomocą diod LED, a nawet niektórzy producenci oferują gotowe rozwiązania komercyjne, to jednak jeszcze wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi. Szczególnie interesującymi wydają się być następujące zagadnienia:

- wpływ na fotosyntezę proporcji światła niebieskiego i czerwonego na różnych etapach rozwoju rośliny,
- stosowanie oświetlenia impulsowego,
- wprowadzenie dodatkowego światła białego i ewentualny wpływ jego temperatury barwowej na fotosyntezę,
- znaczenie koloru zielonego, dalekiej czerwieni oraz ultrafioletu.

Odpowiedzi na te pytania mogą przynieść jedynie badania prowadzone przy użyciu odpowiedniego sprzętu. Dlatego na potrzeby takich właśnie eksperymentów został zaprojektowany i zbudowany całkowicie innowacyjny system doświetlania roślin lampami LED, który charakteryzuje się przede wszystkim możliwością bardzo szerokiej parametryzacji emitowanego światła w zakresie poziomów udziału poszczególnych składowych widma oraz dowolnego definiowania zależności czasowych funkcjonowania poszczególnych lamp.

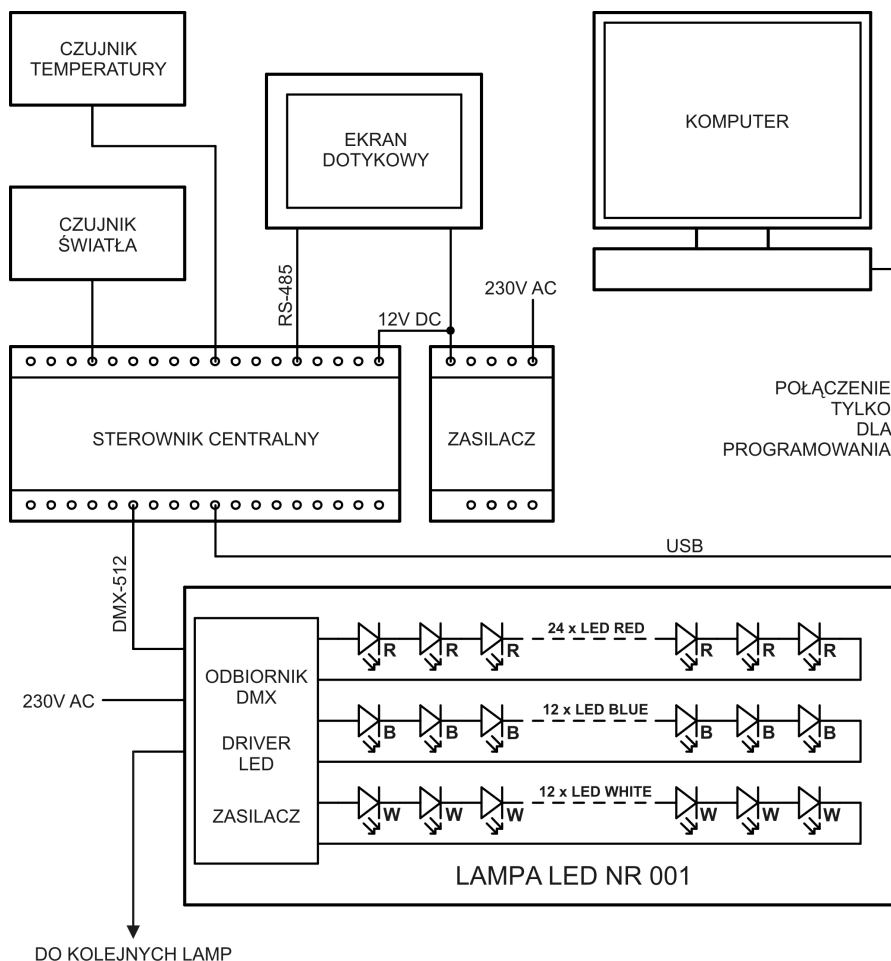
Opis systemu

System składa się z części sterującej i podłączonego do niej szeregu lamp zawierających diody LED (rys. 3). Dzięki modułowej konstrukcji system może być stosowany zarówno do prostych jak i rozbudowanych [0]instalacji.

Rola komputera ogranicza się wyłącznie do umożliwienia zaprogramowania parametrów pracy systemu. Po jego odłączeniu zarządzanie całością przejmuje sterownik centralny i system funkcjonuje samodzielnie według przygotowanego wcześniej algorytmu.

System umożliwia indywidualne sterowanie strumieniem świetlnym w zakresie żądanej długości światła w pojedynczej lampie. Dzięki takiemu rozwiązaniu można na potrzeby eksperymentu wydzielić różne grupy upraw i doświetlać je w tym samym czasie światłem o różnych charakterystykach spektralnych. Jeden kontroler może zarządzać maksymalnie od 128 do 170 grupami lamp (jedną grupę stanowią lampy emitujące światło o takiej samej długości fali w tym samym czasie).

Zaimplementowane oprogramowanie pozwala w pełni zautomatyzować proces doświetlania, poprzez między innymi zdefiniowanie godzin załączania i wyłączenia lamp lub powiązanie tych funkcji ze wschodami i zachodami słońca. W tym przypadku wystarczy podać długość i szerokość geograficzną miejsca instalacji oraz ewentualne opóźnienie lub przyspieszenie reakcji systemu w odniesieniu do czasu wschodu lub zachodu słońca. Proces sterowania doświetlaniem może odbywać się całkowicie płynnie. Czas załączania i wyłączenia każdej lampy może być definiowany w zakresie od 0,1 sekundy do 1,5 godziny. Ilość załączeń i wyłączeń w ciągu doby oraz czas doświetlania są praktycznie nieograniczone. Możliwe jest również stosowanie oświetlania impulsowego o długości trwania błysku od 0,1 sekundy i czasie przerwy pomiędzy błyskami do ponad godziny.



Źródło: opracowanie własne

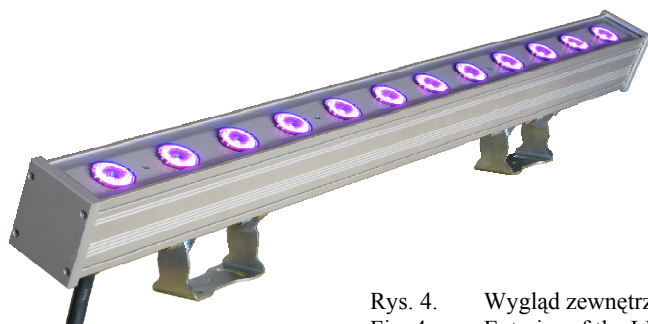
Rys. 3. Schemat blokowy systemu
Fig. 3. Block diagram of the system

Zastosowany system umożliwia również podłączenie innych urządzeń zewnętrznych, mających wpływ na proces doświetlania – na przykład czujnika światła dziennego. Dzięki temu można niezależnie od zaprogramowanych czasów automatycznie sterować pracą urządzenia, zależnie od warunków świetlnych na zewnątrz szklarni. Jest to funkcja niezwykle istotna w aspekcie oszczędności energii elektrycznej i efektywności doświetlania. Podobnie dzięki możliwości podłączenia czujnika temperatury, można programowo uzależnić algorytm sterownia doświetleniem od temperatury zewnętrznej. Do bezpośredniego zarządzania systemem można wykorzystać dotykowy panel LCD lub sterowanie bezprzewodowe.

Dodatkową zaletą modułowej konstrukcji systemu jest łatwość jego instalacji w typowych obudowach rozdzielni elektrycznych o odpowiedniej klasie szczelności (w przypadku upraw szklarniowych jest to IP65).

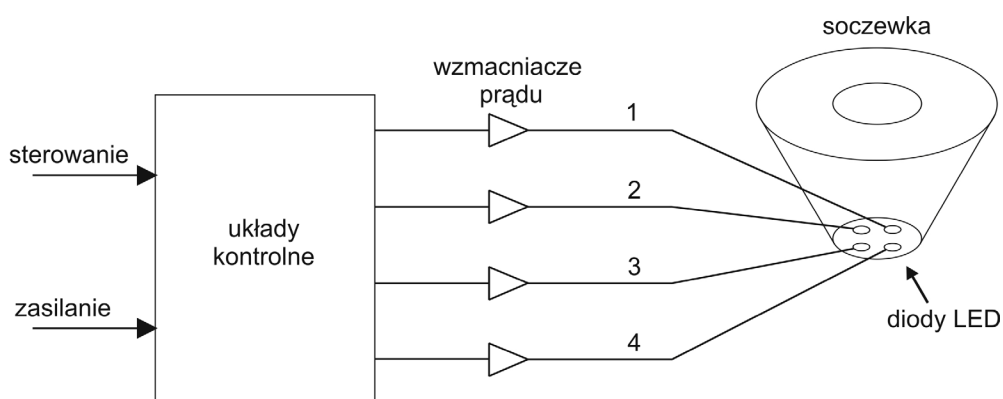
Sterowanie lampami odbywa się za pomocą protokołu cyfrowego DMX-512 zdefiniowanego przez USITT (United States Institute for Theatre Technology). Jest on obecnie najlepszym i powszechnie stosowanym protokołem sterowania oświetleniem o bardzo wysokiej odporności na zakłócenia.

Każda z lamp (rys. 4) zawiera 12 soczewek. Pod każdą soczewką umieszczono 4 diody LED (rys. 5). W omawianym wykonaniu są to diody: niebieska, biała neutralna i dwie czerwone. Wszystkie diody jednego koloru w jednej lampie są wspólnie sterowane. Dzięki takiemu rozwiązaniu docierająca do rośliny wiązka światła jest jednorodna i zapewnia oświetlenie każdej jej części światłem o takiej samej charakterystyce spektralnej.



Rys. 4. Wygląd zewnętrzny lampy LED
Fig. 4. Exterior of the LED lamp

Źródło: zdjęcie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Schemat blokowy lampy LED
Fig. 5. Block diagram of the LED lamp

Ze względu na konieczność ograniczenia mocy całej lampy przy jednoczesnym maksymalnym wykorzystaniu energii każdego koloru, w układzie mikroprocesorowym sterującym każdą lampą zastosowano algorytm dopasowujący moc wyjściową lampy do parametrów sterowania.

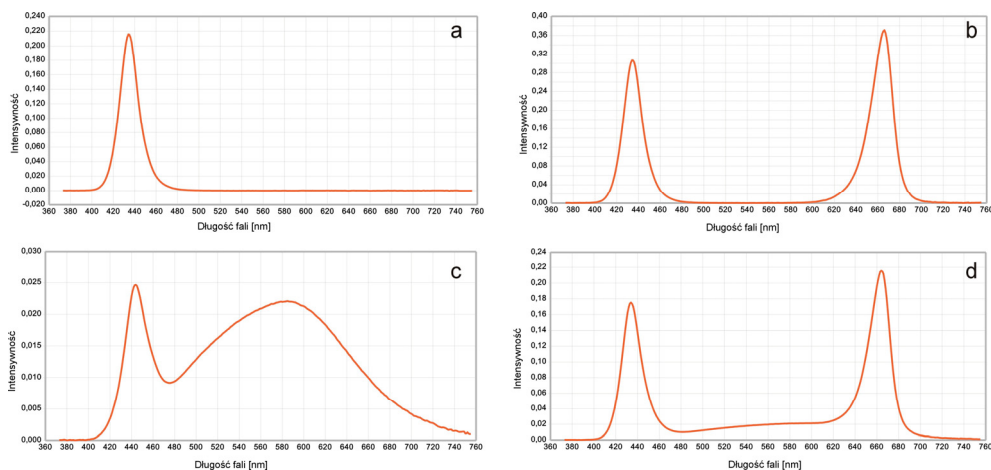
W obecnym wykonaniu lampa może emitować światło:

- czerwone o długości fali 665 nm,
- niebieskie o długości fali 435 nm,
- białe o temperaturze barwowej 4500 K.

Proporcje poszczególnych składowych mogą być podczas procesu doświetlania dowolnie zmieniane. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe charakterystyki spektralne emitowanego przez lampę światła w zależności od poziomu sterowania:

- rysunek 6 a - 100% światło niebieskie.
- rysunek 6 b - 100% światło niebieskie i czerwone.
- rysunek 6 c - 100% światło białe.
- rysunek 6 d - 100% światło białe i po 50% światło niebieskie i czerwone.

Przytoczone powyżej wartości procentowe odnoszą się wyłącznie do sterowania. Układ mikroprocesorowy przelicza te wartości na odpowiednie prądy zasilania diod LED.



Źródło: pomiary własne

Rys. 6. Przykładowe charakterystyki spektralne uzyskane w opisywanym systemie
Fig. 6. Examples of spectral characteristics obtained in the described system

Podsumowanie

Dzięki zastosowaniu obudowy liniowej o wymiarach 70×80×1000 mm lampa w bardzo małym stopniu przesłania światło słoneczne. Obudowa wykonana została w klasie szczelności IP65, co pozwala na instalowanie jej w bardzo wilgotnym środowisku, występującym

w szklarni. Maksymalny pobór mocy pojedynczej lampy w obecnym wykonaniu nie przekracza 60 VA, dzięki czemu lampa nagrzewa się tylko o 20 stopni powyżej temperatury otoczenia.

Jak wcześniej wspomniano, od lutego 2011 w szklarni Wydziału Ogrodniczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie prowadzone są badania nad wpływem doświetlania światłem emitowanym przez diody LED na rozwój roślin. Na rysunku 7 pokazano trzy stanowiska badawcze doświetlane lampami o różnych charakterystykach spektralnych.

Ze względu na zbyt małą ilość zastosowanych lamp przeprowadzone doświadczenia nie wykazały jednoznacznie, jaka liczba lamp LED zastępuje jedną lampę HPS, a w konsekwencji na obecnym etapie nie można dokładnie określić oszczędności energetycznych wynikających z zastosowania lamp LED. Szacuje się, że jest to co najmniej 50%, ale dokładnych danych dostarczą dopiero badania, które rozpoczną się jesienią roku 2012 i będą przeprowadzane na 24 lampach LED rozmieszczonych w 6 grupach.



Źródło: zdjęcie własne

Rys. 7. Stanowiska badawcze w szklarni Wydziału Ogrodniczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

Fig. 7. Test benches in the greenhouse of the Faculty of Horticulture at the University of Agriculture in Cracow

Bibliografia

- Grzesiak W., Nowak S., Początek J., Skwarek A., Kurpaska S., Dubert F., Skoczowski A., Czyczyło-Mysza I.** (2009): Zastosowanie diod LED w systemach doświetlania roślin wyzwaniem na dzisiaj i na jutro. *Elektronika*, 10, 73-77.
- Grzesiak W., Bieńkowski A., Żupnik M., Wojciechowska R., Kolton A., Kurpaska S.** (2011): Nowoczesne systemy doświetlania roślin oparte o najnowsze osiągnięcia technologii SSL LED. *Elektronika*, 6, 137-139.
- Morrow R.C.** (2008): LED lighting in Horticulture. *HortScience*, 43(7), 1947-1950.
- Taiz L., Zeiger E.** (2011): *Plant Physiology*, 5th Ed. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, 126-131.
- Trouwborst G., Oosterkamp J., Hogewoning S.W., Harbinson J., van Ieperen W.** (2010): The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum*, 138(3), 289-300.
- Urbanaviciute A., Samuoliene G., Brazaityte A., Duchovskis P., Karkeliene R., Sliogeryte K., Zukauskas A.** (2009): The effect of light quality on nutritional aspects of leafy radish [online], [dostęp luty 2012], Dostępny w Internecie: [http://sodininkyste-darzininkyste.lsdil.lt/straipsniai/28/28\(1\)_16.pdf](http://sodininkyste-darzininkyste.lsdil.lt/straipsniai/28/28(1)_16.pdf).
- Wright M.** (2011): Precise LED wavelengths spur plant growth. *LEDsmagazine.com*, April/May.
- Żupnik M.**: Oświetlacz roślin i sposób sterowania oświetlaczem. Zgłoszenie patentowe P.397612.

THE APPLICATION OF SSL LED TECHNOLOGY IN PROGRAMMABLE PLANT LIGHTING SYSTEMS

Abstract. The dynamic development of the SSL LED technology (Solid-State Lighting Light-Emitting Diode) and a significant increase in electricity prices in recent years has led to a greater interest in light sources based on this technology. At the same time the unique properties of LEDs which include the selection of an appropriate spectral characteristics of the emitted light opened up tremendous opportunities to influence the development of plants with the proper selection of spectral components. This paper describes a complete system designed for plant lighting. It discusses some issues related to the design of luminaires and an intelligent control system enabling the implementation of advanced lighting algorithms, including advanced timing.

Key words: SSL LED technology, light control system, spectral characteristics of the lamp, plant lighting, energy saving

Adres do korespondencji:

Wojciech Grzesiak; e-mail: grzesiak@ite.waw.pl
Instytut Technologii Elektronowej
Oddział w Krakowie
ul. Zabłocie 39
30-701 Kraków