

Lucyna HEMKA
Maciej RAFAŁOWSKI

SYMULATOR ŚWIATŁA SŁONECZNEGO PRZEZNACZONY DO BADAŃ OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

STRESZCZENIE *W artykule zaprezentowano lampę wyladowczą metalohalogenową 1000 W, o tak dobranym składzie chemicznym plazmy wyladowania i warunkach prowadzenia procesu wyladowczego, aby jej względny rozkład widmowy odpowiadał rozkładowi widmowemu światła słonecznego na poziomie morza w strefie umiarkowane. Lampa pracująca z elektronicznym układem stabilizacyjno – zapłonowym wysokiej częstotliwości, przeznaczona jest do oceny wydajności ogniw fotowoltaicznych.*

Słowa kluczowe: *promieniowanie słoneczne, symulator światła słonecznego, ogniwa fotowoltaiczne, rozkłady widmowe, współczynnik masy powietrza (AM)*

1. WSTĘP

Jedną z bardziej pręźnie rozwijającą się dziedziną związaną z odnawialnymi źródłami energii jest gałąź przemysłu zajmująca się wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego czyli energetyka słoneczna. Od początku XXI wieku rozwija się w tempie około 40% rocznie. Dziedzina nauki zajmująca się przetwarzaniem światła słonecznego na energię elektryczną przy wykorzystaniu typowych zjawisk fizycznych nazwana została fotowoltaiką. Elektrownie słoneczne fotowoltaiczne to nowoczesna alternatywa dla energetyki konwencjonalnej. Spośród odnawialnych źródeł energii technologia fotowoltaiczna uchodzi za najbardziej ekologiczną, ponieważ jest najczystszy

prof. dr hab. inż. Maciej RAFAŁOWSKI
e-mail: wmrafal@gmail.com

Wyższa Szkoła Pozarnictwa,
ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa

dr Lucyna HEMKA
e-mail: l.hemka@iel.waw.pl

Instytut Elektrotechniki,
ul. M. Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa

źródłem pozyskiwania energii. Na koniec 2006 roku na całym świecie zainstalowano 1 581 MW paneli fotowoltaicznych a skumulowana moc wynosiła 6 890 MW. Pięć lat później w roku 2011 zainstalowane zostało aż 27 650 MW baterii słonecznych a moc skumulowana urosła do 67 350 MW. Liderem w mocy zainstalowanych paneli fotowoltaicznych są Niemcy (24 700 MW mocy paneli słonecznych). W związku z tym, że fotowoltaika obecnie rozwija się bardzo dynamicznie i należy przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości będzie coraz powszechniej stosowana, pojawiają się liczne problemy związane z jej praktycznym zastosowaniem m.in. pojawia się kwestia wiarygodnych, standaryzowanych badań parametrów eksploatacyjnych ogniw fotowoltaicznych.

2. PODSTAWY FOTOWOLTAIKI

Ogniwo fotowoltaiczne, jest to urządzenie przekształcające promieniowanie słoneczne bezpośrednio w elektryczność. Zjawisko to nosi nazwę efektu fotowoltaicznego. Prawie 95% wszystkich ogniw wykonanych jest z krystalicznego krzemu. Zasada działania ogniwa fotowoltaicznego polega na wykorzystaniu półprzewodnikowej złącza typu $p-n$, w którym pod wpływem fotonów, o energii większej niż szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika, elektrony przemieszczają się do obszaru n , a dziury do obszaru p . Takie przemieszczenie ładunków elektrycznych powoduje pojawienie się różnicy potencjałów, czyli napięcia elektrycznego. Z reguły na pojedynczym ogniwie napięcie to nieznacznie przekracza 0,5 V i 2 W mocy, dlatego aby uzyskać bardziej użyteczne napięcie i większą moc, ogniwa są łączone. Z połączenia od kilku do kilkunastu, a czasem nawet kilkudziesięciu ogniw uzyskujemy moduł (panel), którego napięcie wynosi 12 V, a moc nie przekracza 80 W. Coraz częściej spotyka się również panele o napięciu 24 V i więcej, których moc może przekraczać nawet 200 W (rys. 1).



Rys. 1 Przykładowe ogniwo fotowoltaiczne

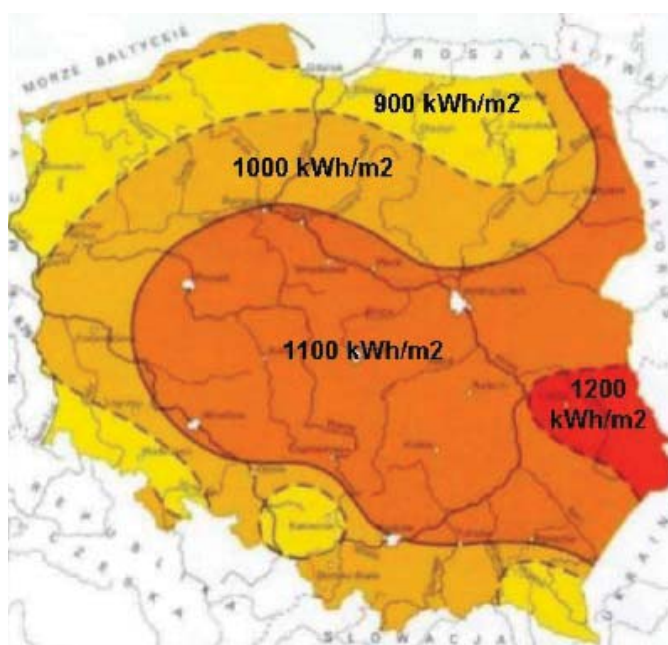
3. PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

Do górnych warstw atmosfery Ziemi dociera promieniowanie słoneczne o natężeniu napromieniowania $1366,1 \text{ W/m}^2$ (stała słoneczna). Oznacza to, że całkowita moc docierająca do atmosfery wynosi około 174 petawatów. Około 30% tej mocy jest odbijane natychmiast w kosmos, a kolejne 20% jest pochłaniane przez atmosferę. Do powierzchni Ziemi dociera około 89 petawatów, co oznacza średnio około 180 W/m^2 . Moc ta nie jest

rozmieszczona równomiernie: obszar oświetlony światłem padającym prostopadle z góry może otrzymać do 1000 W/m^2 , natomiast obszary, na których trwa noc, nie otrzymują bezpośrednio nic. Po uśrednieniu cyklu dobowego i rocznego najwięcej energii otrzymują obszary przy równiku, a najmniej obszary okołobiegunowe. Sumaryczna energia, jaka dociera do powierzchni Ziemi w ciągu całego roku, wynosi od 600 kWh/m^2 w krajach skandynawskich do ponad 2500 kWh/m^2 w centralnej Afryce. Szacuje się, że wszystkie istniejące na Ziemi złoża węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego zawierają łącznie około 430 ZJ energii, co odpowiada energii jaka dociera ze Słońca do Ziemi w ciągu 56 dni.

3.1. Promieniowanie słoneczne w Polsce

Wiele osób zadaje sobie pytanie, jakie są możliwości wykorzystania energii słonecznej w klimacie polskim. Często można spotkać się z opinią, że „w Polsce nie ma słońca”. Jest to oczywistym przekłamaniem, gdyż Polska posiada jedne z najlepszych warunków do wykorzystywania energii słonecznej w naszej części Europy. Średnioroczne natężenie napromieniowania słonecznego jest oczywiście różne w poszczególnych regionach kraju i waha się ono od 900 kWh/m^2 do 1200 kWh/m^2 , co widać na mapce opracowanej na podstawie danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (rys. 2)



Rys. 2. Natężenie promieniowania słonecznego w poszczególnych regionach Polski

Zasoby słoneczne Polski są podobne do istniejących w Niemczech, Czechach czy Francji, gdzie fotowoltaika rozwija się niezwykle prężnie. Średnie roczne nasł-

necznienie w Polsce wynosi około 1100 kWh/m^2 . Rozkład promieniowania słonecznego jest nierównomierny w cyklu rocznym. Około 80% rocznego nasłonecznienia przypada na okres wiosenno-letni. Ponadto w każdym rejonie występują okresowe zmiany nasłonecznienia. W Polsce roczna średnia suma nasłonecznienia wynosi 1600 godzin. Ale np.: w Warszawie roczna suma napromieniowania (energii promieniowania słonecznego padającej na płaszczyznę poziomą o powierzchni 1 m^2) wynosi 1025 kWh/m^2 . Oznacza to, iż z systemu o nominalnej mocy 1 kW można w Polsce w optymalnych warunkach uzyskać około 900–950 kWh energii elektrycznej rocznie. Ilość uzyskanej energii zależy od usytuowania systemu, nachylenia oraz warunków pogodowych.

4. AIR MASS (AM)

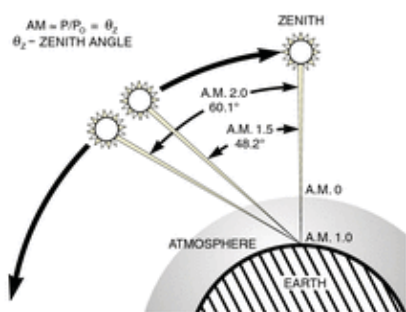
Do charakterystyki widma promieniowania słonecznego po przejściu przez warstwę atmosfery stosowany jest współczynnik masy powietrza (AM), który określa długość drogi optycznej przez atmosferę Ziemi w stosunku do długości drogi pionowo w górę, czyli w zenicie. Jest on powszechnie używany do scharakteryzowania wydajności ogniw słonecznych w standardowych warunkach. Dla długości drogi promieniowania w atmosferze, pod kątem w stosunku do normalnej współczynnik masy powietrza wyraża się wzorem:

$$AM = \frac{L}{L_0} \approx \frac{1}{\cos z}$$

gdzie

L_0 – jest długością drogi w zenicie (tj. prostopadle do powierzchni ziemi) na poziomie morza;

z – to kąt zenitalny w stopniach.



Rys. 2.

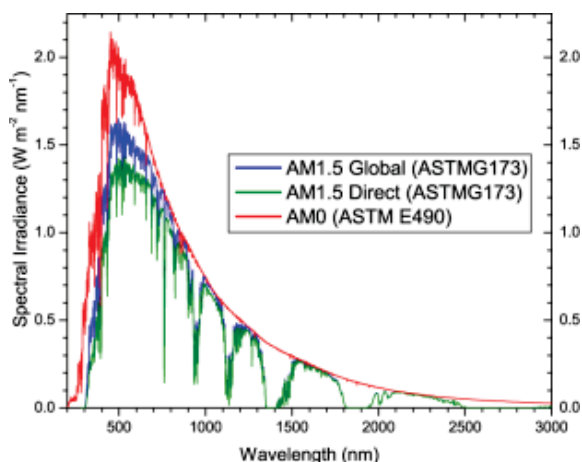
Ilość masy powietrza jest więc uzależniona od położenia Słońca na niebie, a zatem zależy od pory dnia i pory roku oraz szerokości geograficznej.

Poza atmosferą ziemską w przestrzeni kosmicznej Air Mass wynosi 0 ($AM = 0$) a średnia wartość promieniowania słonecznego w tym obszarze wynosi 1367 W/m^2 (tzw. stała słoneczna). Ogniwa słoneczne wykorzystywane do zastosowań kosmicznych, np.: na satelitach telekomunikacyjnych zazwyczaj charakteryzuje się przy użyciu AM_0 . Widmo słoneczne po przejściu

w atmosferze do poziomu morza przy słońcu w zenicie jest określone, z definicji, jako „ AM_1 ”. ($AM_1 (= 0^\circ)$ i $AM_{1,1} (= 25^\circ)$). Jest ono używane do szacowania wydajności

ogniw słonecznych w rejonach równikowych i tropikalnych. Oczywiście panele słoneczne działają nie tylko przy słońcu w zenicie. Jeżeli promienie słoneczne padają pod kątem do powierzchni Ziemi, to efektywna grubość warstwy atmosfery będzie większa. Najbardziej powszechnie stosowany jest współczynnik AM 1,5 określający widmo słoneczne w umiarkowanych szerokościach geograficznych, ponieważ największe na świecie skupiska ludności, a więc i ilość instalacji solarnych znajdują się na tych obszarach geograficznych. Dla parametrów wynoszących AM = 1,5, gęstości mocy promieniowania słonecznego 1000 W/m^2 i temp. modułu PV lub kolektora wynoszącej 25°C określono międzynarodowy standard STC (Standard test Conditions). Standard ten precyzyjnie określa norma IEC 60904-3 (1989) część III [1].

Rys. 3. Widmo promieniowania słonecznego na poziomie morza w umiarkowanej strefie klimatycznej oraz w przestrzeni kosmicznej



5. SYMULATOR ŚWIATŁA SŁONECZNEGO

Do badania parametrów ogniw słonecznych służy m.in. symulator światła słonecznego (sztuczne słońce). Jest to urządzenie, które zapewnia oświetlenie w przybliżeniu odpowiadające naturalnemu światłu słonecznemu. Jakość światła słonecznego symulatora jest badana w zakresie trzech następujących kategorii [2, 1, 4]:

- Dopasowanie widmowe;
- Powierzchniowa jednorodność;
- Czasowa stabilność.

Klasyfikacja symulatora słonecznego opisana jest za pomocą jednej z trzech klas (A, B lub C) dla każdej z trzech kategorii – widmowego dopasowania, przestrzennej jednorodności i stabilności czasowej. Każdy symulator jest oceniany trzema literami w kolejności: widmowe dopasowanie np.: B, jednorodność natężenia oświetlenia na płaszczyźnie badań np. B i stabilność czasowa np. A (symulator kategorii BBA).

Ad. 1. Dopasowanie widmowe

Przedmiotem niniejszego opracowania jest dopasowanie widmowe symulatora słonecznego, które jest określone przez odchylenie od odniesieniowego widma promieniowania AM 1,5 (IEC 60904-3). Stopień dopasowania rozkładu widmowego symulatora światła słonecznego do charakterystyki AM 1,5 sprawdza się dla sześciu przedziałów w zakresie widmowym 400 – 1100 nm. Procent całkowitego promieniowania dla 6 przedziałów długości fali przedstawiono w tabeli 1, natomiast stopień zaklasyfikowania symulatora ze względu na dopasowanie widmowe w tabeli 2.

TABELA 1

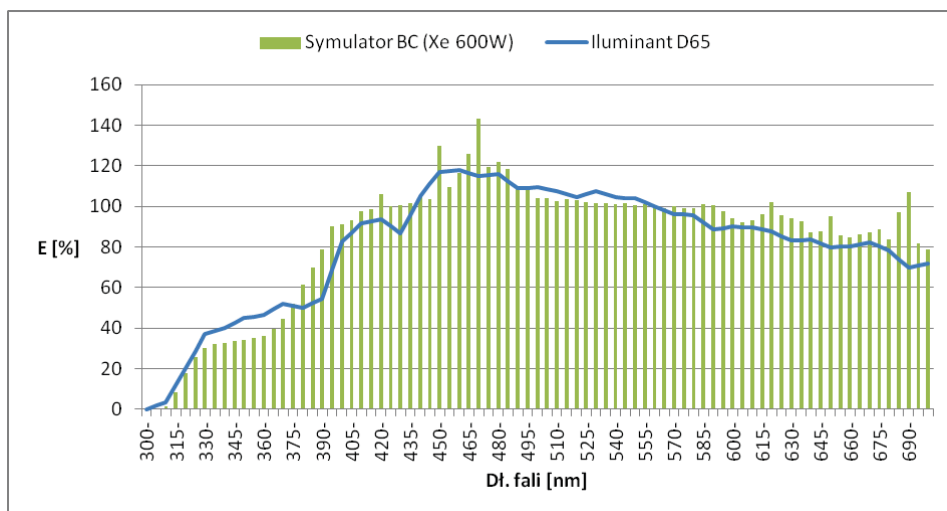
	Zakres dl. fal [nm] (przedziały widmowe)	Procentowy udział przedziału widmowego w stosunku do całkowitego promieniowania w zakresie 400 nm – 1100 nm
1	400 – 500	18,4%
2	500 – 600	19,9%
3	600 – 700	18,4%
4	700 – 800	14,9%
5	800 – 900	12,5%
6	900 – 1100	15,9%

TABELA 2

Klasa	Dopasowanie widmowe dla wszystkich sześciu przedziałów przedstawionych w tab. 1
A	0,75 – 1,25
B	0,6 – 1,4
C	0,4 – 2,0

6. SYMULATOR ŚWIATŁA SŁONECZNEGO Z WYSOKOPRĘŻNEJ LAMPY WYŁADOWCZEJ METALOHALOGENKOWEJ

Sztucznym źródłem światła, powszechnie stosowanym w symulatorze światła słonecznego jest wysokoprężna lampa ksenonowa [7]. Jak można zauważyć na rysunku 4 przebieg jej rozkładu widmowego znacznie odbiega od przebiegu widma promieniowania słonecznego w strefie umiarkowanej (AM1,5). W celu uzyskania optymalnego dopasowania widmowego symulator musi być wyposażony w dodatkową optykę (zestaw filtrów) umożliwiającą odpowiednie ukształtowanie charakterystyki widmowej. Stwarza to liczne problemy w procesie eksploatacji standardu oraz znacznie podnosi koszt jego wykonania i skalowania.



Rys. 4. Rozkład widmowy lampy ksenonowej wysokoprężnej

Dlatego też, w Zakładzie Techniki Świetlnej i Promieniowania Optycznego Instytutu Elektrotechniki podjęto próbę wykonania standardu AM1,5 z wysokoprężnej lampy wyładowczej metalohalogenkowej 1000 W o charakterystyce widma promieniowania maksymalnie zbliżonej do charakterystyki światła słonecznego na poziomie morza w strefie umiarkowanej. Lampy wyładowcze domieszkowane związkami metali ze względu na swoje właściwości fizyko-chemiczne i techniczne stwarzają duże możliwości kształtowania ich charakterystyk widmowych, ponieważ procesy prowadzące do emisji promieniowania z łuku lampy wyładowczej w znacznym stopniu mogą być sterowane i kontrolowane przez konstruktora lampy. Wynika to zarówno z zasad konstrukcji lampy, ilościowego i jakościowego napełnienia jarznika jak i metody prowadzenia procesu wyładowczego [10, 11]. Możliwość stosowania przy konstruowaniu lampy kombinacji różnorodnych domieszek chemicznych tworzących napełnienie jarznika [5], zmiana warunków wyładowania oraz możliwość stosowania specyficznej optyki (powłoki naniesione na ścianki jarznika lub balonu zewnętrznego o zróżnicowanym współczynniku transmisji) daje możliwość wpływania w znacznym stopniu na ostateczny kształt widma emisyjnego. Z punktu widzenia projektanta lampy wyładowczej o tak ściśle sprecyzowanych wymaganiach emisyjnych jak symulatory światła słonecznego niezwykle istotne jest, poza możliwie dogłębną analizą procesów fizykochemicznych w plazmie, zoptymalizowanie konkretnych parametrów technicznych urządzenia [5, 6, 8, 10]. Tutaj można do nich zaliczyć:

1. Warunki konstrukcyjne lampy
 - wymiary zewnętrzne, kształt i materiał bańki zewnętrznej;
 - wymiary, kształt, oraz materiał elektrod;
 - wymiary jarznika (długość i szerokość).

2. Zmianę warunków wyładowania, które realizuje się poprzez:

- zmianę ilości energii elektrycznej dostarczonej do jarznika lampy;
 - zmianę wymiarów gabarytowych jarznika;
 - zastosowanie układu stabilizacyjno – zapłonowego wysokiej częstotliwości.
3. Napełnienie chemiczne (skład halogenków) jarznika – ilość i jakość wprowadzonych atomów metali.

Ad. 1. Do celów realizacji symulatora światła słonecznego przyjęto opracowaną i sprawdzoną w wyniku wieloletnich doświadczeń, budowę lampy wyładowczej 1000 W o zoptymalizowanych parametrach konstrukcyjnych (rys. 5)



Rys. 5. Lampa wyładowcza wysokoprężna – metalohalogenkowa 1 kW

Ad. 2. Lampa była skalowana na temperaturę barwową 6000 K [3]. Do celów stabilizacji parametrów łuku wyładowczego skonstruowano specjalny elektroniczny układ stabilizacyjno – zapłonowy wysokiej częstotliwości. Układ został wyposażony w ręczny regulator napięcia i częstotliwości. Zmieniając odpowiednio wartości napięcia i częstotliwości, uzyskiwano wymaganą temperaturę barwową (napięcia zasilające 220 V, częstotliwość 30 kHz).

Ad. 3. Podstawową rolę w kształtowaniu charakterystyki widmowej przyszłego symulatora odegrał dobór właściwego napełnienia chemicznego jarznika lampy, który realizowano przez [5, 9]:

- dobór metali spełniających warunki dotyczące halogenków tworzących napełnienie jarznika lampy wyładowczej;
- oraz teoretyczną analizę linii spektralnych każdego metalu pod względem:
 - prawdopodobieństwa przejścia i sił oscylatorów,
 - rodzaju linii;
- symulację numeryczną docelowego rozkładu widmowego.

Teoretyczną analizę kombinacji składu halogenkowego jarznika lampy oparto na symulacji numerycznej widma emisyjnego powstającego w efekcie zastosowania różnorodnych kombinacji związków metali spełniających wymagania dla halogenków. Analizę rozpoczęto od wyboru z układu okresowego Mendelejewa metali, które:

1. spełniały wymagania dotyczące związków halogenkowych;
2. były dostępne na rynku.

Następnie wprowadzono do arkusza kalkulacyjnego programu **Excel** wartości natężenia napromienienia wybranych metali co 1 nm w przedziale długości fal 400 – 700 nm.

Wartości natężenia napromienienia przyjęto takie jak podano w tablicach linii spektralnych, których autorzy badali emisję promieniowania wszystkich pierwiastków układu okresowego w obszarze długości fal od 200 do 800 nm. Posługiwali się przy tym pomiarami spektrometrycznymi linii emisyjnych metali wprowadzanych do otwartego łuku, powstającego między miedzianymi elektrodami o średnicy 5 mm leżących w odległości 3 mm od siebie. Do elektrod przyłożono prąd stały o natężeniu równym 10 A. Uzyskane linie widmowe powstawały w wyżej opisanych warunkach wyładowania i były dla nich charakterystyczne.

Po wprowadzeniu wszystkich linii rozpatrywanego atomu do arkusza kalkulacyjnego, przeprowadzono ich analizę pod względem rodzaju linii (linie optycznie szerokie rezonansowe i nieresonansowe i linie optycznie wąskie) oraz prawdopodobieństwa przejścia i sił oscylatorów.

W wyniku wyżej opisanej analizy teoretycznej przyjęto jako podstawową domieszkę napełnienia jarznika jodki metali ziem rzadkich (lantanowce) [5]. Takie założenie jest zrozumiałe z punktu widzenia oddziaływania na kształt widmowego rozkładu energii promienistej przyszłej lampy, ponieważ lantanowce wyróżniają się spośród innych metali układu okresowego tym, iż atomy ich posiadają dużą ilość poziomów niskoenergetycznych, charakteryzujących się niskimi potencjałami wzbudzenia. Jako domieszki zastosowano jodki ceru i gadolinu, czyli te lantanowce, których widma teoretyczne były najbardziej zbliżone do widma założonego.

W analizie teoretycznej składu chemicznego lampy o wymaganym kształcie rozkładu widmowego uwzględniono również wpływ na warunki emisyjne plazmy metali alkalicznych (zapobieganie zbytniemu przewężeniu się łuku wyładowania). Rolę tę w plazmie wyładowania przyszłej lampy miał pełnić jodek cezu. Następnie w Pracowni Lamp Wyładowczych Instytutu Elektrotechniki wykonano serię modelową lamp, którą poddano badaniom widmowym na spektrometrze.

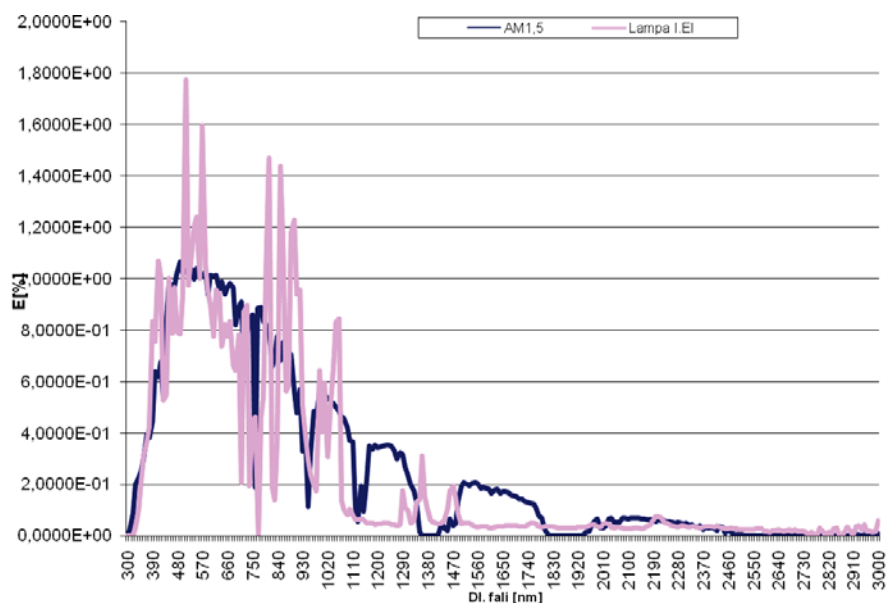
Po uzyskaniu wyników badań spektralnych i pomiarze parametrów elektrycznych lamp, przeprowadzono następne eksperymenty mające na celu optymalizację warunków wyładowania łuku (dobór optymalnej częstotliwości i napięcia zasilającego), pozwalające uzyskać zadowalające rozkłady widma emisji w z góry określonym przedziale długości fal (400÷1100 nm) oraz o temperaturze barwowej 6000 K.

W efekcie uzyskano lampę metalohalogenkową 1000 W o rozkładzie widmowym przedstawionym na rysunku 8 Na podstawie uzyskanych wyników badań spektrometrycznych określono kategorię symulatora w obszarze dopasowania widmowego [1]. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Przedział długości fal [nm]	Widmo symulatora w przedziale dł. fal [%]/Widmo odniesienia w przedziale dł. fal [%]	Kategoria
400 – 500	1,011	A
500 – 600	1,18	A
600 – 700	0,86	A
700 – 800	0,72	B
800 – 900	1,23	A
900 – 1100	1,09	A

Z uzyskanych danych wynika, że otrzymany z wysokoprężnej lampy wyładowczej symulator w zakresie dopasowania widmowego jest klasy B.

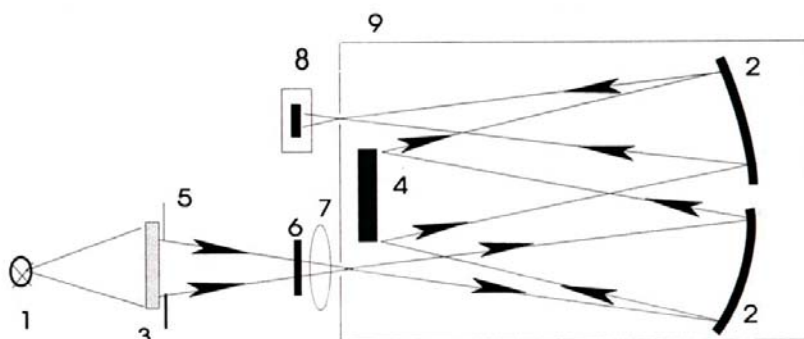


Rys. 8. Rozkłady widmowe symulatora światła słonecznego skonstruowanego w IEL i standardu IEC

7. METODYKA BADAŃ

Podstawowym narzędziem pomiarowym w prezentowanych tu badaniach używanym do wyznaczenia charakterystyk widmowych lamp wyładowczych, był jednoko-

morowy siatkowy spektrometr „Monospek 600” (rys. 7). Za podstawę procedury pomiarowej przyjęto metodę badań porównawczych tzn. porównywano uzyskany rozkład widmowy lampy badanej ze znanym rozkładem widmowym lampy wzorcowej. Zależnie od planowanych efektów pomiarowych był to albo wzorec rozkładu widmowego (pomiar energetyczny) albo iluminant A (pomiar barwowy) [3]. Uzyskiwane bezpośrednio z pomiarów wyniki wartości fotoprądu w zależności od długości fali podlegały dalszej komputerowej obróbce matematycznej za pomocą programu „Kolor 03”.



Rys. 7. Schemat stanowiska spektrometrycznego Monospek 600:

(1 – źródło światła badane lub wzorcowe, 2 – zwierciadła wklęsłe, 3 – element rozpraszający, 4 – siatka dyfrakcyjna, 5 – diafragma, 6 – filtr optyczny, 7 – soczewka, 8 – odbiornik promieniowania – fotopowielacz, 9 – obudowa monochromatora)

8. PODSUMOWANIE

Uzyskana w wyniku prac badawczych w Instytucie Elektrotechniki lampa wyładowcza metalohalogenkowa 1000 W przeznaczona do symulatora światła słonecznego uzyskała kategorię B w klasie dopasowania widmowego. Lampa została wyskalowana z elektronicznym układem stabilizacyjno – zapłonowym specjalnie skonstruowanym do pracy z tego typu lampami wyładowczymi. Cały układ, lampa + elektroniczny stabilizator, wyposażony dodatkowo w element optyczny (odbłyśnik) kształtujący wiązkę świetlną, mogą z powodzeniem wchodzić w skład symulatora światła słonecznego wysokiej kategorii.

LITERATURA

1. PN-EN 60904- 3 Zasady pomiaru fotowoltaicznych elementów słonecznych (PV) przeznaczonych do zastosowań naziemnych z wykorzystaniem wzorca widma promieniowania słonecznego.
2. PN-EN 60904-2 Wymagania dla elementów wzorcowych do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego.

3. PN-91/E-04042/03 Pomiary promieniowania optycznego. Pomiary kolorymetryczne. Metody wyznaczania charakterystyk widmowych i kolorymetrycznych źródeł światła.
4. PN-EN 60904-9 Wymagania dla symulatorów promieniowania słonecznego.
5. Corliss Ch. H., Bozman W.: Prawdopodobieństwa przejść i siły oscylatorów 70 pierwiastków, Wydawnictwo Mir, Moskwa, 1978.
6. Grotrian W.: Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen, Berlin, 1992.
7. Hemka L., Łukasiak R, Piotrowski L.: Opracowanie i wykonanie symulatora światła dziennego D65 dla potrzeb pomiarów kolorymetrycznych, zadanie nr 500/7030/29 z działalności statutowej Instytutu Elektrotechniki, 2004.
8. Kordus A.: Plazma, Właściwości i zastosowania w technice, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1985.
9. Landsberg G.S. „Tablice linii spektralnych” Moskwa 1977;
10. Lochte – Holtgreven W.: Plasma diagnostics, Ed. North-Holland, Amsterdam; Interscience (Wiley), New York, 1968.
11. Waymouth John F.: Electric discharge lamps, Wyd. Energija, Moskwa, 1977.

Rękopis dostarczono dnia 26.03.2015 r.

SUNLIGHT SIMULATOR FOR PHOTOVOLTAIC CELL RESEARCH

L. HEMKA, M. RAFAŁOWSKI

ABSTRACT *This article presents 1000 W metal halide discharge lamp. The chemical composition of the plasma discharge and the discharge process conditions have been chosen so that the relative spectral distribution of the lamp was in line with the solar spectrum at sea level in the temperate zone. The lamp working with a electronic ballast – high-frequency ignition, is designed to assess the performance of photovoltaic cells.*

Keywords: *solar, solar simulator, photovoltaic cells, spectral distributions, the coefficient of air mass (AM)*