

Marcin LEGIERSKI, Piotr MICHAŁEK

REALIZACJA I ZASTOSOWANIE SZYBKIEGO GONIOFOTOMETRU DO POMIARÓW PRZESTRZENNYCH ROZSYŁÓW ŚWIATŁOŚCI PRZEDNICH LAMP SAMOCHODOWYCH

W artykule opisano stanowisko do szybkich pomiarów rozsyłków światłości przednich świateł samochodowych zbudowane w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. Zaprezentowano schemat szybkiego goniofotometru zbudowane w oparciu o kontroler National Instruments CompactRIO 9035 oraz sterowniki silników krokowych NI P70530 pozwalające na realizację płynnego ruchu.

Omówiono parametry techniczne stanowiska oraz przykładowe wyniki badań.

WSTĘP

Przestrzenne rozsyły światłości są podstawowym parametrem świateł samochodowych i lamp drogowych. Na podstawie zmierzonych światłości oraz w oparciu o odpowiednie normy i regulaminy ocenia się czy dane urządzenie świetlnooptyczne może zostać wykorzystane w różnego typu pojazdach poruszających się na drogach Unii Europejskiej.

Pomiary brył fotometrycznych układów świetlnooptycznych realizuje się z użyciem zespołu głowicy fotometrycznej i goniometru. Do pomiarów przestrzennych rozsyłków światłości stosuje się różne konfiguracje goniofotometrów [1,2]: fotometry ramienne, wykorzystujące ruchome zwierciadło czy też do pomiarów lamp samochodowych w geometrii kątów H i V. Badania światłości przeprowadza się punktowo na wcześniej określonej siatce pomiarowej, posiadającej nawet kilkaset tysięcy punktów pomiarowych. Z tego względu analiza zróżnicowanych i wąskich rozsyłków światłości (na przykład przednich świateł drogowych lub mijania) z użyciem klasycznego goniofotometru może trwać aż kilkadziesiąt godzin. Stąd też poszukuje się metod alternatywnych lub modyfikuje się klasyczne rozwiązania goniofotometrów w celu poprawy ich parametrów pomiarowych i skrócenia czasu badań przestrzennych rozsyłków światłości. Coraz częściej do badań brył fotometrycznych wykorzystuje się matrycowe mierniki luminancji [3,4]. Wtedy ekran transmisyjny lub odbiciowy oświetlany jest przez układ świetlnooptyczny, a jego luminancja mierzona jest przez matrycowy miernik luminancji w czasie często mniejszym niż dwie sekundy. Dalej obliczane są rozkłady światłości z uzyskanej mapy luminancji oraz parametrów geometrycznych układu [3]. Metoda choć niezwykle szybka i wydajna, wymaga ekranu o stałym monochromatycznym współczynniku odbicia lub transmisji, a rozkłady światłości mierzone są w wąskim przedziale kątów ze względu na ograniczone wymiary ekranu pomiarowego i jego odległość od badanego obiektu. Pojawiają się nawet rozwiązania hybrydowe [5] z zastosowaniem goniometru, ekranu transmisyjnego oraz matrycowego miernika luminancji. Wówczas podobnie jak w goniofotometrze klasycznym pomiary wykonuje się na określonej siatce pomiarowej, jednak pojedynczy pomiar mapy luminancji dla danych kątów goniometru zawiera setki tysięcy punktów pomiarowych mierzonych przez pojedyncze piksele

matrycy miernika. Trudno jest jednak zbudować wspomniane wyżej stanowisko tak, aby odległość między ekranem, a środkiem świetlnym badanego obiektu wynosiła 25 m, która jest wymogiem koniecznym dla pomiarów przednich świateł drogowych i mijania (regulaminy nr 112 i 113 EKG ONZ).

Inną metodą pozwalającą na uzyskanie quasi-ciągłych rozkładów światłości w jednej osi jest tak zwany pomiar goniofotometrem „on the fly” (równoczesny pomiar światłości z obrotem stolika goniometru). Stanowiska takie są znacznie prostsze w aplikacji do pomiarów przednich świateł samochodowych ze względu na mniejsze wymiary oraz brak drogich i trudno dostępnych ekranów pomiarowych, które muszą się charakteryzować stałym monochromatycznym współczynnikiem transmisji (lub odbicia). Wyzwaniem jest tutaj synchronizacja urządzeń pomiarowych i sterujących, a także zastosowanie jak najwyższej częstotliwości próbkowania fotometru aby ominąć problem z „rozmyciem” wyników pomiarowych.

1. OPIS STANOWISKA

Schemat urządzenia badawczego do szybkich pomiarów światłości lamp samochodowych przedstawiono na rysunku 1. Jako bazę do budowy stanowiska wykorzystano klasyczny goniometr do pomiarów w geometrii H-V (lamp samochodowych) z szybkim fotometrem o częstotliwości próbkowania do 10 kHz opisanym w artykule [6]. Stanowisko pomiarowe umieszczone jest w ciemni fotometrycznej, odległość pomiarową 25 m zapewnia tunel fotometryczny. Główny program wykonawczy napisany w środowisku LabVIEW został osadzony na kontrolerze National Instruments CompactRIO 9035 działającym w czasie rzeczywistym. Wyposażony jest on w procesor 1,33 GHz Dual-Core, 1 GB DRAM, FPGA Kintex 7-70T, interfejs USB, Ethernet oraz EtherCAT. Program pomocniczy z interfejsem użytkownika znajduje się na komputerze PC komunikującym się z kontrolerem NI 9035 za pośrednictwem sieci LAN. Program wysyła do sterownika NI 9035 informacje o parametrach pomiarowych, a po zakończeniu badań zapisuje wyniki oraz generuje wykresy. Pomiar napięcia głowicy fotometrycznej realizowany jest z użyciem karty NI 9215 z wbudowanym przetwornikiem analogowo-cyfrowym 16 bit. Karta NI 9215 jest połączona i zsynchronizowana sprzętowo z kontrolerem CompactRIO.

Silniki krokowe goniometru obsługiwane są przez sterowniki NI P70530 umożliwiające sterowanie z poziomu goniometru (przyciski ręczne do regulacji kąta H i V) oraz z poziomu programu za pośrednictwem modułów sterowania silnikami krokowymi NI 9512. Moduły połączone są sprzętowo z układem NI 9144 realizującym polecenia głównego kontrolera NI cRIO 9035. Komunikacja kontrolera cRIO 9035 z NI 9144 oraz 16-bitowymi enkoderami optycznymi realizowana jest poprzez interfejs EtherCat w technologii „master-slave”.

Parametry pomiarowe widoczne w panelu użytkownika na komputerze PC takie jak częstotliwość próbkowania fotometru (zakres pomiarowy), prędkość obrotu stolika goniometru, rozdzielczość kątowa wyników czy uśrednianie (wygładzanie uzyskanych wyników) przesyłane są do głównego programu wykonawczego przy użyciu zmiennych współużytkowych (ang. shared variables). Główny program w oparciu o zadane parametry generuje tablicę kątów w osi V, a następnie realizuje pomiar światłości w kolejnych płaszczyznach V z równoczesnym obrotem stolika goniometru w osi H tak jak to pokazano na rysunku 2. Pomiar napięcia na głowicy fotometrycznej może być realizowany z częstotliwościami próbkowania od 200 Hz do 10 kHz, a wyzwolenie pomiaru każdej próbki napięcia wyzwala pomiar kąta obrotu stolika goniometru w postaci współrzędnej H. Światłości dla kątów H i V obliczane są zgodnie ze wzorem [7]:

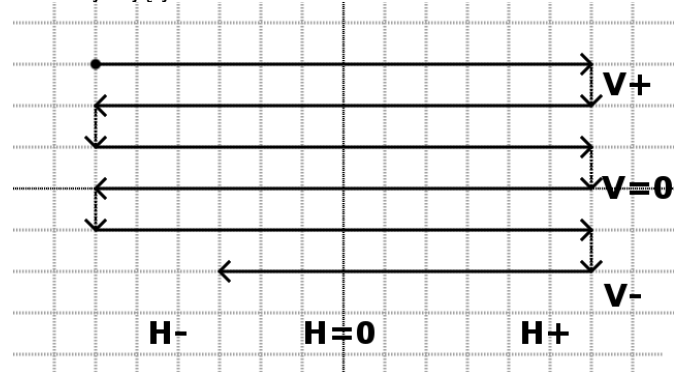
$$I(H, V) = E \times r^2, \quad (1)$$

- przy czym:
- E – natężenie oświetlenia proporcjonalne do napięcia zmierzonego na głowicy fotometru ,
- r – odległość fotometru od środka układu świetlnego.

Zmierzone światłości w osi kąta H są uśredniane kątowo oraz wyodrębniane z krokiem kątowym zadany przez użytkownika.

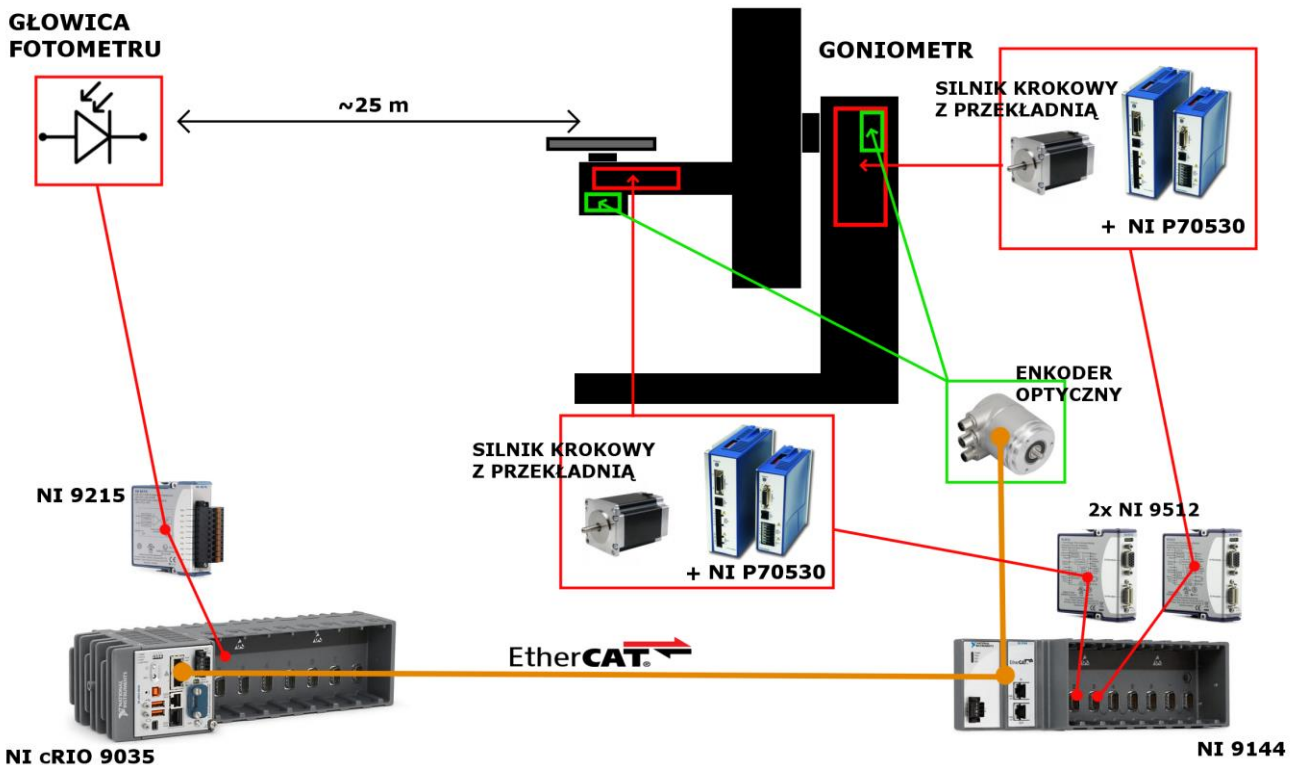
Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż zastosowane sterowniki NI P70530 posiadają funkcję „wygładzania” prędkości silników

krokowych przez co wyeliminowano pulsacje prędkości podczas obrotu goniometru które mogłyby wprawiać w drgania badane urządzenia świetlne oraz zastosowano łagodne rozpędzanie obydwu osi goniometru. Każdy z dwóch wspomnianych sterowników został oddzielnie zaprogramowany dla każdego z silników krokowych o wartościach momentów trzymających 8,7 Nm dla silnika w osi V oraz , 0,4 Nm w osi H. Dodatkowo zastosowanie przekładni kątowych o przełożeniu 25:1 wraz z silnikami krokowymi zwiększa precyzję nastaw kątów oraz momenty sterujące goniometrem. Sterowniki NI P70530 samoistnie adaptują się do zastosowanego silnika krokowego przez pomiar charakterystyk danego silnika krokowego, jednak przed auto adaptacją niezbędne jest wprowadzenie jego parametrów podstawowych takich jak prąd znamionowy czy moment trzymający.



Rys. 2. Sposób pomiaru na siatce pomiarowej w geometrii H-V

Prędkość obrotu stolika goniometru można dowolnie zmieniać w zakresie od 0,36°/s do 50°/s. Parametr ten należy dostosować do wybranego zakresu oraz zadanej rozdzielczości kątowej w osi kąta H w zależności od źródła światła, gabarytów badanego obiektu oraz rozsyłu światła. Przy prędkości kątowej stolika do 10°/s możliwe jest uzyskanie wykresów światłości z dokładnością pomiaru kąta nie

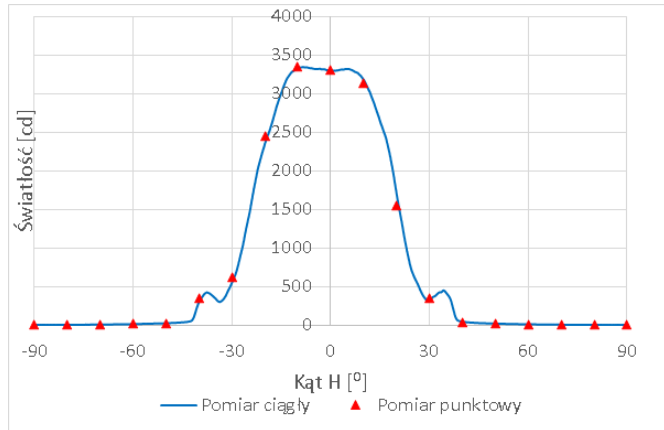


Rys. 1. Schemat stanowiska do szybkich pomiarów światłości

mniejszą niż $0,05^\circ$. Po zakończeniu badań automatycznie generowane są wykresy światłości (przykład na rysunku 3).

2. WYNIKI PORÓWNAŃ

W celu weryfikacji uzyskiwanych wyników, dwukrotnie przeprowadzono pomiary wykresów światłości lampy dla tych samych kątów H i V goniofotometrem klasycznym oraz mierzącą światłość z równoczesnym obrotem stolika gonioimetru w osi kąta H (rysunek 4).



Rys. 4. Pomiary światłości dwoma metodami tego samego urządzenia świetlnego

Pomiary przeprowadzono w ciemni fotometrycznej stabilizowanej temperaturowo (temperatura przy pomiarach: 25°C). Odległość pomiaru wynosiła 25 m.

Niepewność względna rozszerzona obydwu metod dla poziomu ufności około 0,95 dla rozkładu normalnego i $k=2$ wynosi 4,3%.

Uzyskano zgodne wyniki pomiarów dwoma metodami. Dodatkowo wykonano pomiar rozsyłów światłości przednich świateł mijania i drogowych przy użyciu omawianego w artykule układu pomiarowego. Przykładowy rozsył światłości przedniego światła drogowego z rozdzielczością kątową $0,1^\circ$ w dwóch osiach zobrazowano na rysunku 3 (ponad 321 tysięcy punktów pomiarowych). Czas pomiaru wyniósł 3 godziny i 50 min (dla prędkości kątowej $7^\circ/\text{s}$). Pomiary

światła mijania w przedziale kątowym kąta H od -60° do 60° oraz kąta V od -30° do 30° z rozdzielczością $0,2^\circ$ zrealizowano w czasie 3 godzin i 20 minut.

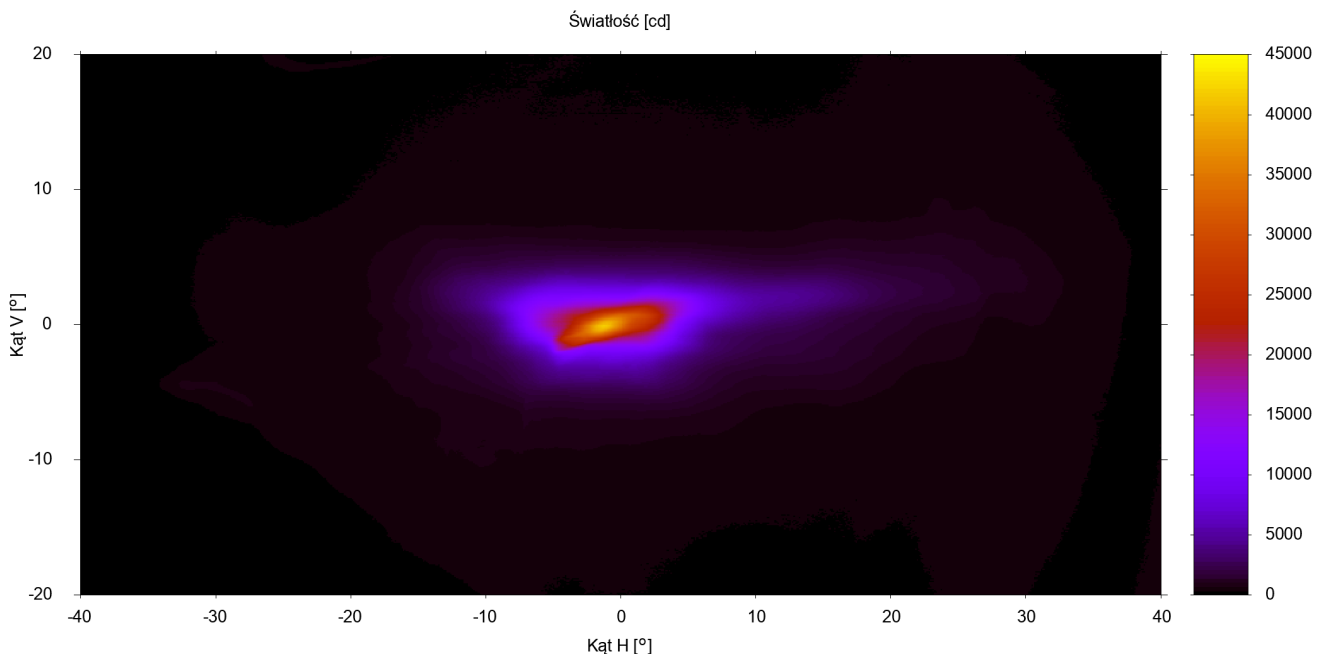
PODSUMOWANIE

Zbudowane stanowisko do szybkich pomiarów światłości przednich świateł samochodowych pozwala na pomiar jednej funkcji oświetlenia lub sygnalizacji lampy w czasie nie przekraczającym 4 godziny, co z użyciem klasycznego goniofotometru trwałoby około 90 godzin (przy założeniu że pomiar jednego punktu na siatce pomiarowej trwa 1 s). Synchronizacja urządzeń podrzędnych z platformą National Instruments CompactRIO pozwoliła uzyskać zbieżne wyniki pomiarów przeprowadzone klasycznym i szybkim goniofotometrem. Wyniki są także zgodne dla różnych prędkości stolika gonioimetru i wszystkich częstotliwości próbkowania fotometru.

Uzyskano następujące parametry techniczne stanowiska:

- zakres kąta V od -110 do 110 stopni,
- zakres kąta H od -175 do 175 stopni,
- enkodery optyczne jednoobrotowe o rozdzielczości 16 bit,
- dokładność pomiaru kąta H i V: $\pm 0,022^\circ$,
- powtarzalność nastawy kąta: $\pm 0,03^\circ$,
- możliwość zadania dowolnej prędkości skanowania dla osi H w przedziale od $0,36^\circ/\text{s}$ do $50^\circ/\text{s}$,
- „łagodne rozpędzanie i hamowanie” osi H i V gonioimetru,
- redukcja pulsacji prędkości obrotu silników krokowych,
- zsynchronizowanie skanowania w osi H oraz akwizycji danych z fotometru dają możliwość uzyskania rozdzielczości kątowej lepszej niż wynikająca z dokładności zastosowanych enkoderów,
- częstotliwości próbkowania sygnału świetlnego od 200 Hz do 10 kHz,
- odległość fotometryczna 25 m,
- masa badanego obiektu do 40 kg.

Maksymalna prędkość obrotu stolika goniofotometru zbudowanego stanowiska podczas pomiaru „on the fly” jest porównywalna z prędkościami komercyjalnych rozwiązań goniofotometrów dostępnych na rynku. Jednak badania światłości z wysokimi prędkościami obrotowymi stolika gonioimetru mogą powodować chłodzenie bada-



Rys. 3. Przykładowy rozsył światłości samochodowych przednich lamp drogowych

nego urządzenia świetlnego. Efekt ten może być zauważony przede wszystkim w układach świetlnych zbudowanych w oparciu diody LED, które osiągają wysoką temperaturę względem otoczenia i nie może być on pominięty podczas szybkich pomiarów światłości. Słuszność wcześniejszego stwierdzenia można poprzeć faktem, iż zmiana temperatury otoczenia może być przyczyną względną zmianą strumienia nawet o 1,5% na 1°C, co sprawdzono w warunkach laboratoryjnych.

Stanowisko może być wykorzystywane również do pomiarów innych urządzeń świecących wymagających dużej odległości pomiaru oraz szybkiej rejestracji sygnału świetlnego. Do tej grupy należą specjalne lampy ostrzegawcze, oraz lampy przeszkodowe, które wymagają pomiaru światłości efektywnej.

BIBLIOGRAFIA

1. CIE 70-1987 Technical Report; The measurement of absolute-luminous intensity distributions, Photocopy Edition 2008
2. Żagan W. *Podstawy techniki świetlnej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
3. Legierski M., Michalek P. (2016), *Zastosowanie matrycowego miernika luminancji do pomiarów przestrzennego rozsyłu światłości lamp i opraw*, "Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe" 12/2016
4. Legierski M., Michalek P. (2017), *Praktyczne aspekty zastosowania matrycowego miernika luminancji do pomiaru charakterystyk optycznych na przykładzie optycznych odplaszaczy zwierząt*, "Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe" 6/2017
5. Legierski M., Michalek P., Automated system for measurement of luminous intensity distributions with imaging photometer, Proceedings LuxEuropa 2017, Ljubljana, Slovenia, September 18-20,
6. Domagała D., Michalek P., „Pomiary fotometryczne błyskowych urządzeń sygnalizacyjnych i ostrzegawczych przy użyciu szybkiego fotometru”, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe* 6/2016, s. 1042-1045 (ISSN 1509-5878)
7. CIE 70-1987 Technical Report; The measurement of absolute-luminous intensity distributions, Photocopy Edition 2008

Application of fast goniophotometer measurement system for front driving and passing beam car lights

This paper describes "on the fly" goniophotometer realized in BOSMAL Research and Development Institute Ltd. Diagram of measuring system using National Instruments CompactRIO 9035 and stepper motor drive NI 90530 that reduce vibrations caused by stepper motors rotation were presented. Technical parameters and tests results were shown.

Autorzy:

mgr inż. **Marcin Legierski** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., E-mail: Marcin.Legierski@bosmal.com.pl

mgr inż. **Piotr Michalek** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., E-mail: Piotr.Michalek@bosmal.com/pl