

Przemysław TABAKA

WPŁYW KIERUNKU OŚWIETLANIA POWIERZCHNI NA BRYŁĘ FOTOMETRYCZNA

STRESZCZENIE *Pełne dane dotyczące właściwości refleksyjnych materiałów zawiera bryła fotometryczna światłości (lub luminaacji) światła odbitego od powierzchni rozpatrywanego materiału przy jednoznacznie zdefiniowanej geometrii wiązki świetlnej padającej. Taką bryłę można wyznaczyć za pomocą stanowiska pomiarowego, którego geometrię przedstawiono w niniejszej publikacji. Stanowisko to nadaje się do pomiarów zarówno próbek materiałów odbłyśnikowych, jak i innych stosowanych np. w projektowaniu wystroju wnętrz. Pomiarom poddano płaską próbkę kwadratową z rzeczywistego materiału wykorzystywanego w produkcji opraw oświetleniowych. Dla danego kierunku oświetlenia otrzymuje się jedną bryłę fotometryczną. Kształt bryły zmienia się wraz ze zmianą kąta padania światła, co można zaobserwować na zamieszczonych rysunkach.*

Słowa kluczowe: odbłyśnik, światłość, kąt padania światła, bryła fotometryczna

1. WSTĘP

Jednym z głównych zadań każdej oprawy oświetleniowej jest przekształcenie bryły fotometrycznej źródła światła tak, aby wysyłany przez nie strumień świetlny wykorzystany był w możliwie maksymalnym stopniu. Można to

mgr inż. Przemysław TABAKA
e-mail: przemyslaw.tabaka@p.lodz.pl

Politechnika Łódzka
Instytut Elektroenergetyki

osiągnąć przez zmianę biegu promieni świetlnych w wyniku interakcji ich z materią. Strumień świetlny padający na dowolny materiał, ogólnie rzecz biorąc może zostać odbity od jego powierzchni, przepuszczony lub pochłonięty przez nią. Na ogół w naturze występują równocześnie co najmniej dwa z wymienionych zjawisk – odbicie i pochłanianie w przypadku ciał nieprzeświecalnych. Nie ma bowiem w przyrodzie ciał doskonale odbijających, czy też ciał doskonale pochłaniających. Natomiast w przypadku materiałów przeświecalnych, czy też przezroczystych wystąpi dodatkowo trzecie zjawisko – przepuszczanie, a z nim związane odchylenie biegu promieni (załamanie).

Załamanie światła jest podstawowym zjawiskiem na którym opiera się funkcjonowanie soczewek i pryzmatów. Dzięki odpowiednio zaprojektowanym kloszom pryzmatycznym można np. zmienić rozkład kątowy światłości źródła światła w wybranych strefach przestrzeni. Takie klosze można spotkać np. w oprawach oświetlenia zewnętrznego (starszej generacji), czy w reflektorach samochodowych. W obu tych przypadkach elementami wpływającymi na kształt bryły fotometrycznej jest odbłyśnik wraz z kloszem. Z uwagi jednak na to, że obecnie w procesie projektowania większości opraw oświetleniowych, głównym czynnikiem wpływającym na zmianę kierunku biegu promieni świetlnych (a co za tym idzie, formułowanie rozkładu przestrzennego światła) jest odbicie światła od odbłyśnika, główna uwaga zatem zostanie skupiona na tym zjawisku kontaktu światła z powierzchnią.

2. KLASYFIKACJA ODBICIA ŚWIATŁA OD POWIERZCHNI

W technice świetlnej, wg przyjętego nazewnictwa wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje odbić światła: kierunkowe, rozproszone i kierunkowo-rozproszone czyli mieszane. Kierunkowe tzn. teoretycznie – idealne. Każde inne to już będzie kierunkowo-rozproszone. Rozproszone natomiast tzn. równomiernie rozproszone. Występuje jeszcze czwarty rodzaj specyficznego odbicia, a mianowicie odbicie współdrożne.

Teoretycznie rzecz biorąc podział odbicia światła na kierunkowe (idealne), rozproszone (idealne) i każde pośrednie – czyli kierunkowo-rozproszone jest najprostszym skutecznym rozwiązaniem. Rzeczywistość jednak nie jest idealna, bo ani kierunkowe (idealne), ani rozproszone (idealne) nie występuje. W praktyce (stosując się do przedstawionego podziału) oznaczałoby to, że mamy do czynienia wyłącznie z jednym rodzajem odbicia – mieszanym, a więc takim jakie wykazują wszystkie rzeczywiste materiały, bo przecież nawet najle-

piej wypolerowane lustro rozprasza jednak pewną część strumienia świetlnego, natomiast powierzchnie matowe – odbijające w sposób dyfuzyjny, wykazują pewną kierunkowość. A zatem taki podział wydaje się być troszkę niepraktyczny. Można by zatem zrobić subpodział odbicia kierunkowo-rozproszonego na – z przewagą kierunkowego i na – z przewagą rozproszonego. Ale to z kolei wymagałoby ustalenia pewnej granicy podziału. Z uwagi jednak na brak jakichkolwiek przesłanek gdzie taką granicę postawić, taki podział wydaje się bezzasadny.

W literaturze angielskojęzycznej można zaobserwować wyraźne rozróżnienie odbicia idealnego od rzeczywistego i tak np. w przypadku odbicia kierunkowego bez rozproszenia, odpowiadające prawom optyki geometrycznej, nazwano je „specular mirror” (z ang. odbicie lustrzane) – jako typ odbicia idealnego, natomiast w przypadku odbicia kierunkowego z pewnym rozproszeniem – „specular glossy” co należy rozumieć jako odbicie z połyskiem (czyli przykład odbicia kierunkowego rzeczywistego).

Jeśli chodzi o odbicie rozproszone, to i w tym przypadku można by dokonać podziału na idealne i rzeczywiste, z uwagi na to, że odbicie rozproszone w polskiej normie wymienione jest dwa razy (raz jako rozproszone i drugi jako równomiernie rozproszone).

3. SPOSOBY OKREŚLANIA WŁAŚCIWOŚCI ŚWIATŁOTECHNICZNYCH MATERIAŁÓW

Projektując układ optyczny oprawy oświetleniowej kluczowe znaczenie mają właściwości światłotechniczne danego materiału. W zależności od celu jaki się chce osiągnąć należy zastosować odpowiedni materiał. O właściwościach odbłyśnika decyduje nie tylko kształt ale właściwości materiału z jakiego został wykonany. Elementy optyczne w oprawach oświetleniowych wykonywane są z różnego rodzaju materiałów: z metali, szkła, tworzyw sztucznych. We wszystkich przypadkach odbicie promienia świetlnego zależeć będzie od rodzaju powierzchni. Każda z powierzchni zbudowana jest z atomów których odpowiednie ułożenie określa jej właściwości, charakteryzujące zachowanie się światła na nią padającego. Istotny jest także stan powierzchni rozpatrywany zarówno w ramach mikro- i makrostruktury.

Cechy światłotechniczne materiałów stosowanych do budowy układów optycznych opraw oświetleniowych nie są dokładnie znane. Opisywane są one za pomocą różnych wielkości fizycznych tj.: krzywe wskaźnikowe rozpraszania (światłości lub luminancji), wskaźnik rozpraszania, połówkowy kąt rozsyłu wiązki

światłej i inne. Żadna z wymienionych wielkości w pełni nie odzwierciedla rzeczywistych właściwości badanych materiałów. Dodatkowo przyjmuje się założenie (przy podawaniu poszczególnych wielkości), że rozpatrywana próbka materiału odbłyśnikowego jest oświetlana wiązką świetlną z kierunku normalnego. Wiadomo jednak, że wraz ze zmianą kąta oświetlenia próbki, cechy refleksyjne materiałów będą ulegały zmianom; przy małych kątach padania światła – nieznacznie, przy dużych gwałtownie.

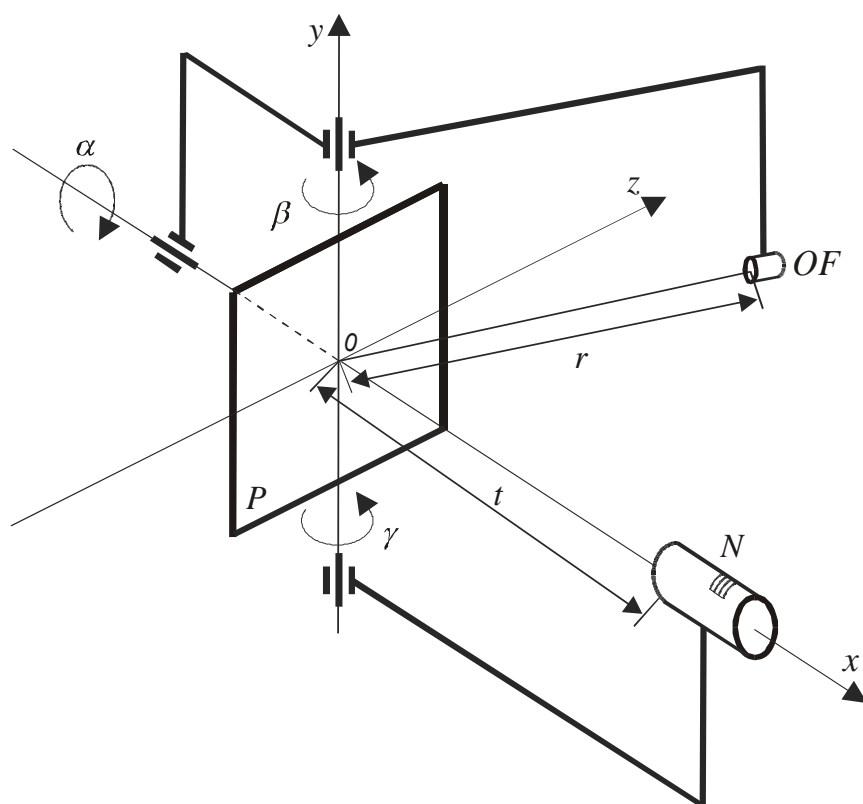
Strumień świetlny w oprawach oświetleniowych pada na powierzchnię odbłyśnika pod różnymi kątami, dlatego też istnieje potrzeba poznania pełnych cech światłotechnicznych stosowanych materiałów.

Pełne dane dotyczące właściwości refleksyjnych materiałów zawiera bryła fotometryczna światłości (lub luminancji) światła odbitego od powierzchni rozpatrywanego materiału przy jednoznacznie zdefiniowanej geometrii wiązki świetlnej padającej. W celu przeanalizowania rozsyłu światła odbitego w funkcji kąta padania światła należałoby wykonać odpowiednie stanowisko pomiarowe. Stanowisko takie zostało zbudowane dzięki czemu pojawiły się realne możliwości przeprowadzenia unikalnych pomiarów bryły fotometrycznej światła odbitego próbek materiałów odbłyśnikowych, bądź innych stosowanych np. w projektowaniu wystroju wnętrz.

4. OPIS GEOMETRII STANOWISKA POMIAROWEGO DO POMIARÓW BRYŁY FOTOMETRYCZNEJ ŚWIATŁA ODBITEGO

Badaną próbkę P umieszcza się w początku układu współrzędnych $Oxyz$. Oświetla się ją projektorem N zamocowanym na ruchomym ramieniu w pewnej, znanej odległości t , tak jak pokazano na rys. 1. W ten sposób istnieje możliwość oświetlenia powierzchni analizowanej próbki z różnych kierunków – w płaszczyźnie poziomej xz wokół osi y (kąt γ). Światło odbite fotometrowane jest głowicą luksomierza OF zamocowaną na końcu krótszego ramienia, o długości r . Głowica ma możliwość zmiany położenia w płaszczyźnie xz (kąt β). Dodatkowo płaszczyznę wzdłuż której ona się porusza można obracać wokół osi x (kąt α). A zatem za zmianę położenia OF odpowiadają dwa kąty α i β dzięki czemu oświetloną próbkę z dowolnego kierunku można sfotometrować w całej półprzestrzeni, uzyskując w ten sposób bryłę fotometryczną światła odbitego.

Umownie przyjęto, że kąty α i β przyjmują wartości z przedziału $\langle -90^{\circ}, +90^{\circ} \rangle$ przy czym wartości ujemne odnoszą się do kątów mierzonych zgodnie z ruchem



Rys. 1. Schemat kinematyczny stanowiska do wyznaczenia bryły fotometrycznej światła odbitego

wskazówek zegara odpowiednio dla α od osi z do y (patrząc z tyłu próbki), natomiast dla β od x do z . Dla $\alpha = \beta = 0^\circ$ krótsze ramię z głowicą fotometryczną leży wzdłuż osi x .

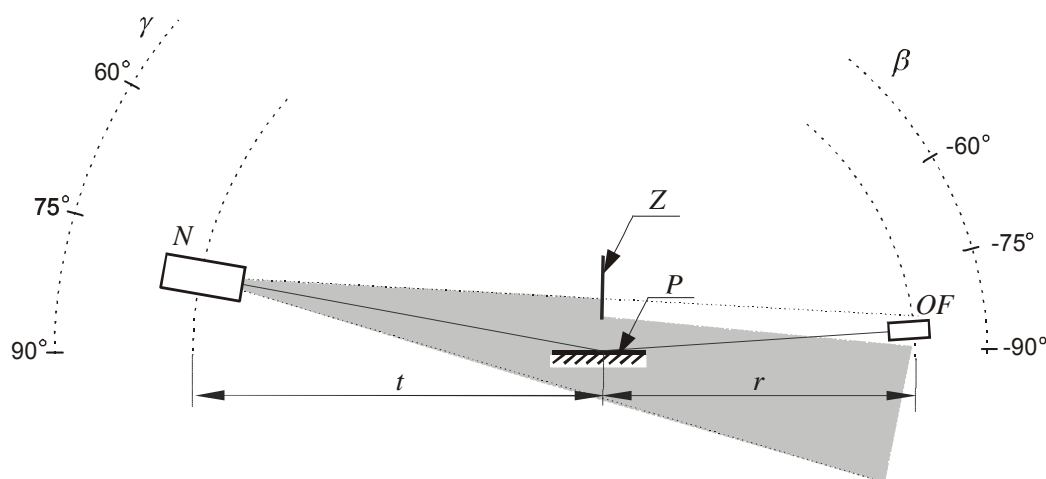
5. POMIARY LABORATORYJNE

5.1. Specyfika pomiarów

Wszystkie pomiary przeprowadzono (w zupełnych ciemnościach) przy wyłączonym oświetleniu w laboratorium. Dla odwzorowania bryły fotometrycznej światła odbitego wykonano szereg pomiarów, w celu wyznaczenia zbioru krzywych światłości, odpowiadających przecięciom półprzestrzeni szeregiem płasz-

czynn przechodzących przez oś poziomą (oś x) i nachylonych względem siebie o kąt $\Delta\alpha$. Ilość płaszczyzn w których należy przeprowadzić pomiar zależy od faktury badanej próbki. Istotne znaczenie przy określaniu przedziału kąta α ma także kierunek oświetlenia – kąt γ .

Pomiar światła odbitego od badanego materiału odbywał się za pomocą luksomierza przystosowanego do współpracy z komputerem. Komunikacja pomiędzy komputerem a jednostką sterującą jest dwukierunkowa, tzn. przyrząd zarówno wysyła dane jak również może być sterowany przez komputer. Niestety wszystkie nastawy położenia poszczególnych ramion stanowiska odbywały się ręcznie, co spowodowało wydłużenie czasu pomiarów.



Rys. 2. Ilustracja sposobu wprowadzenia zasłonki dla dużych wartości kątów γ i β

Ustawienie ramienia naświetlacza można zmieniać w zakresie od 0° do 90° . Przy dużych kątach β i γ zasłała potrzeba wprowadzenia zasłonki Z (rys. 2), którą umieszczono w płaszczyźnie xy , w pobliżu powierzchni próbki. Zadaniem jej było zasłonięcie strumienia świetlnego wychodzącego z projektora aby nie wpadał do głowicy fotometrycznej.

5.2. ZAKRES POMIARÓW

Pomiarom poddano płaską próbkę kwadratową o boku 60 mm z rzeczywistego materiału wykorzystywanego w produkcji opraw oświetleniowych. Wykonana ona została z blachy aluminiowej o grubości 0,35 mm. Powierzchnia próbki była gładka, nieco zmatowana. Próbkę nadano symbol B13.

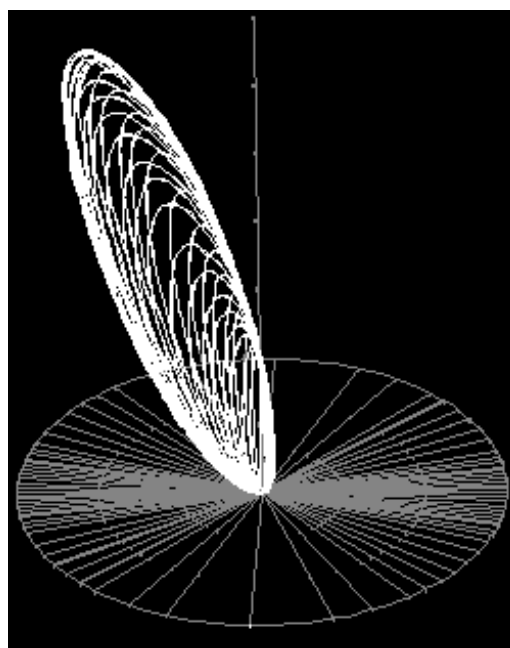
Dla danego kąta γ otrzymuje się jedną bryłę fotometryczną. Kształt bryły zmienia się wraz ze zmianą kąta padania światła. Pomiary przeprowadzono dla następujących wartości kąta $\gamma = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$ i 85° .

5.3. Wizualizacja rezultatów pomiarów

Dokonano szeregu pomiarów dla wybranych wartości kąta γ . I tak np. w przypadku próbki B13 dla $\gamma = 20^\circ$ pomiary wykonano dla kilkudziesięciu płaszczyzn z krokiem kątowym co 2° (kąt β). W wyniku nałożenia na siebie i obrócenia dookoła osi pionowej poszczególnych krzywych światłości o odpowiedni kąt α (tab. 1) uzyskano bryłę fotometryczną jak na rys. 3.

Linie rozmieszczone na okręgu, u podstawy bryły, są śladami przecięć półprzestrzeni szeregiem płaszczyzn, w których dokonano pomiaru światłości.

Przedstawienie bryły w takiej postaci jak na rys. 3 jest dość czasochłonne, dlatego też uzyskane wyniki z pomiarów zostały przeliczone w celu sprawnego przedstawienia ich w przestrzeni trójwymiarowej (w programie Matlab).



Rys. 3. Wizualizacja rezultatów pomiarów w programie AutoCad próbki B13 dla $\gamma = 20^\circ$

TABELA 1

Wartości kąta α dla których przeprowadzono pomiary próbki B13 (przy $\gamma = 20^\circ$)

Lp	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
α	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	15°	17°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°
	90°	-2°	-4°	-6°	-8°	-10°	-12°	-15°	-17°	-20°	-25°	-30°	-35°	-40°	-45°	-50°	-60°	-70°

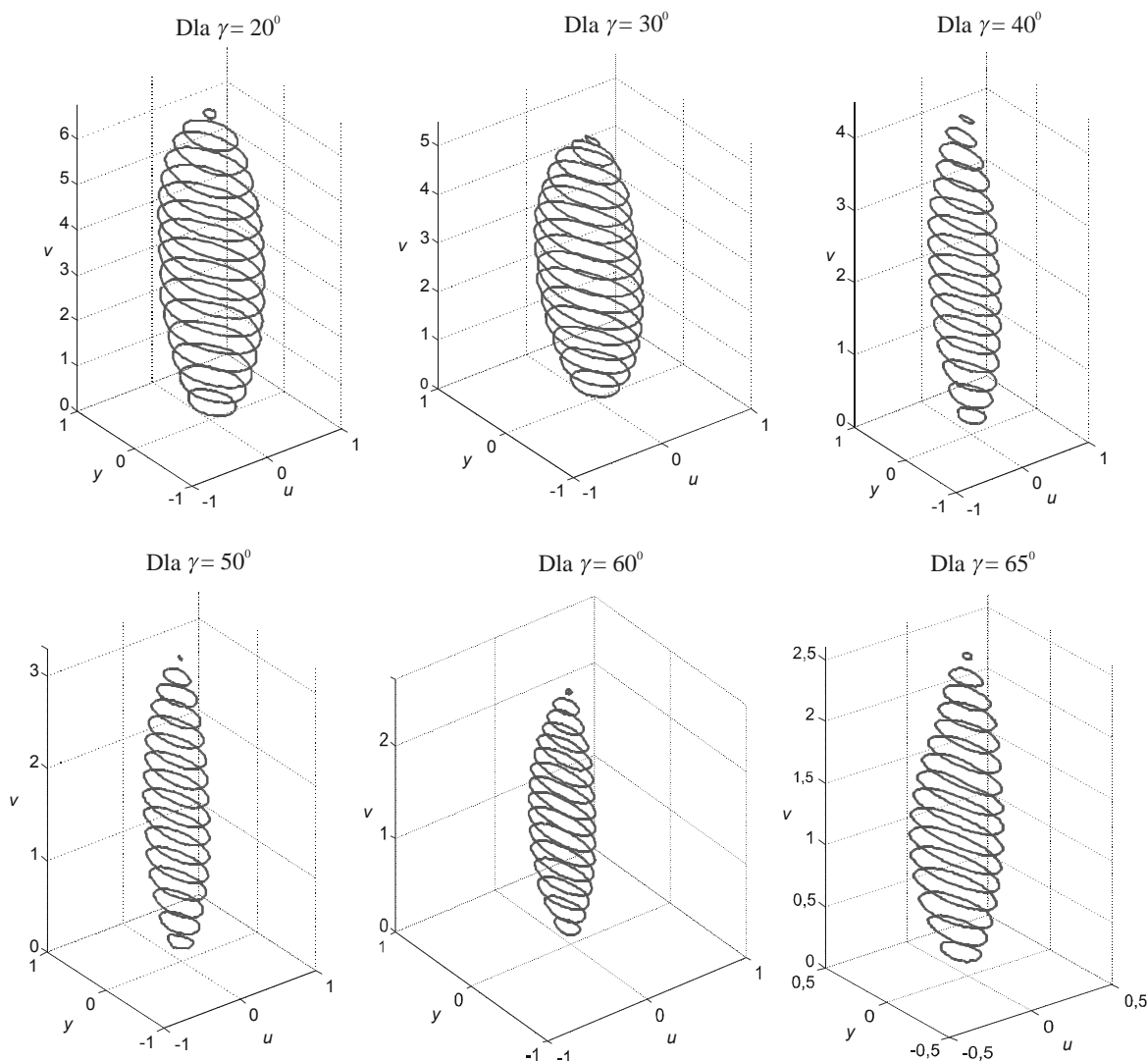
Przeliczenia polegały po pierwsze – na zmianie układu współrzędnych ze sferycznego na kartezjański.

W celu przeanalizowania rozkładu przestrzennego światła odbitego, wydaje się, że najdogodniejszym sposobem obserwacji poszczególnych brył (dla różnych wartości kąta γ) będzie obserwowanie jej z kierunku leżącego wzdłuż

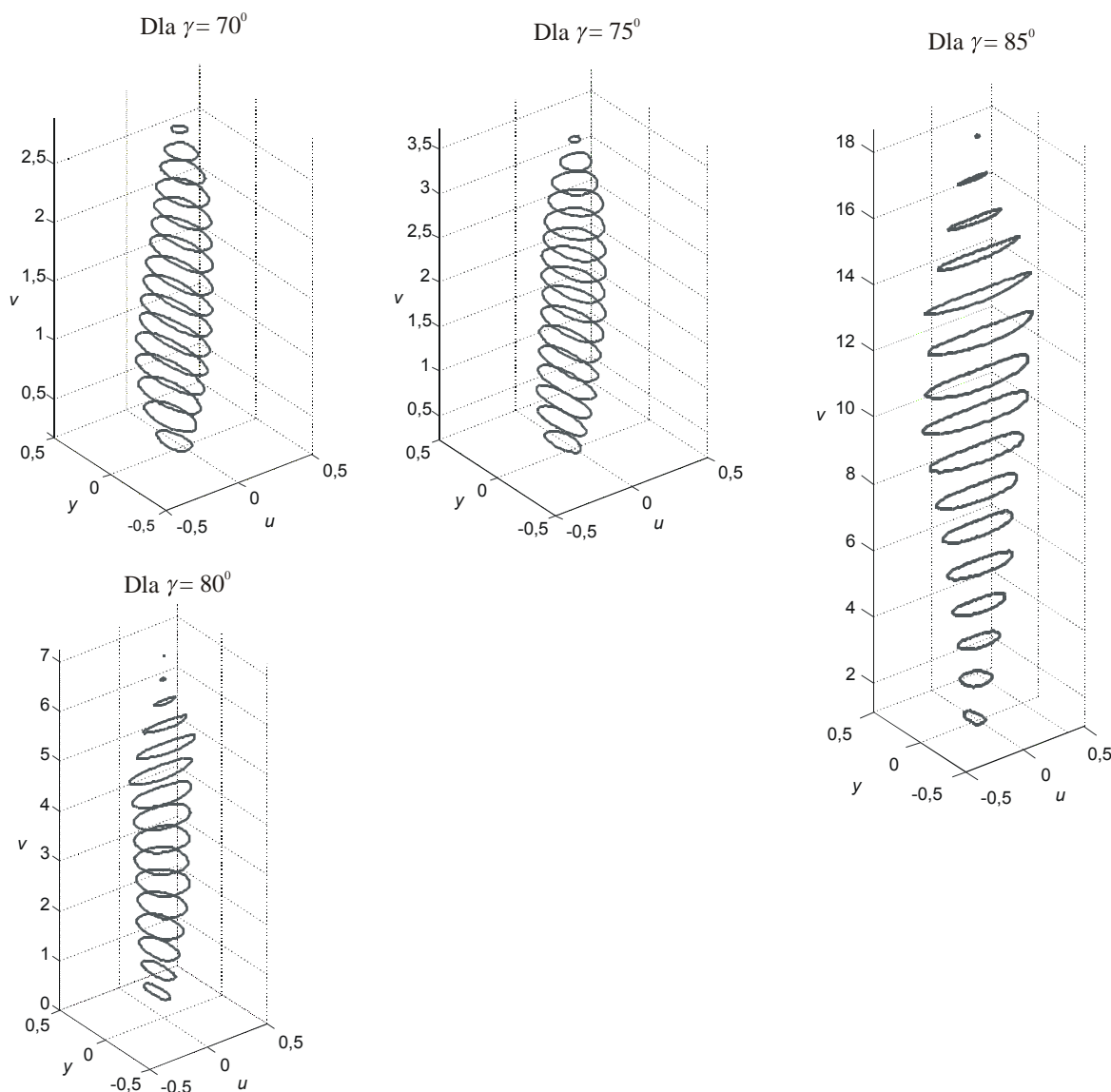
wartości osiowej. A zatem drugi etap przeliczeń sprowadził się do transformacji układu współrzędnych polegającego na obrocie układu xyz wokół osi pionowej y o kąt γ . Otrzymano więc zatem nowy układ kartezjański vyu (oś x po obrocie o kąt γ nazwano v , a oś $z - u$).

Tak otrzymaną bryłę, można teraz np. pociąć szeregiem płaszczyzn wzajemnie równoległych względem siebie. W ten sposób otrzymano zbiór punktów, które po połączeniu utworzą izokandele. Umownie przyjęto, że każdą z brył przecięto 16-stoma płaszczyznami. Większa liczba płaszczyzn tnących – poziomicy, ograniczyłaby czytelność rysunków.

Bryły fotometryczne światła odbitego w postaci poziomic od powierzchni analizowanej próbki, dla wybranych kierunków oświetlenia, przedstawiają rys. 4a i 4b. Z uwagi na konieczność przedstawienia rysunków jako czarno-białych zamieszcze-



Rys. 4a. Bryły fotometryczne światła odbitego dla wybranych kierunków oświetlenia $\gamma = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 65^\circ$

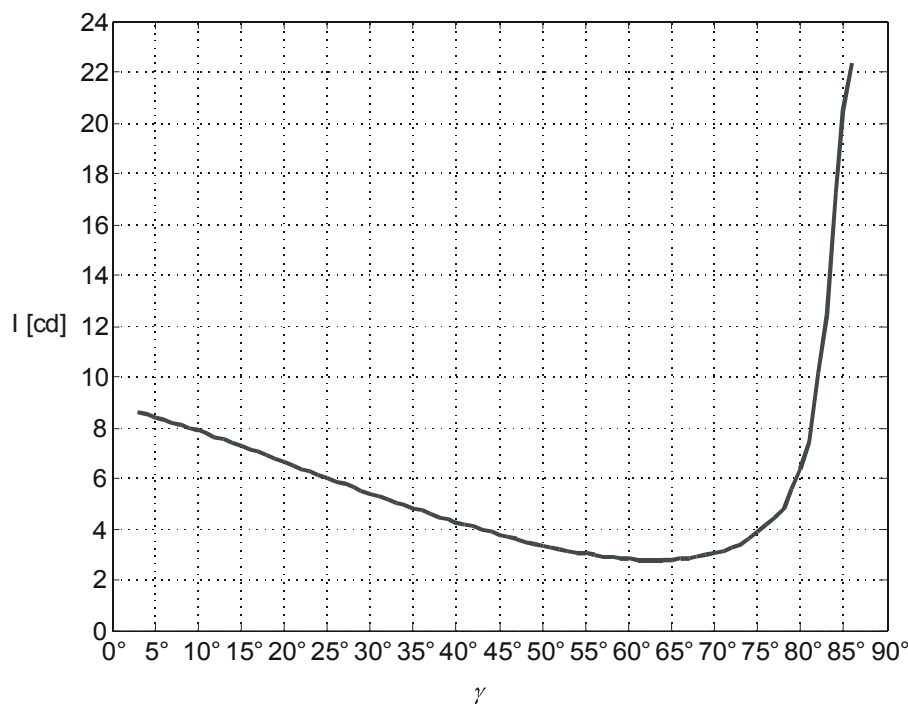


Rys. 4b. Bryły fotometryczne światła odbitego dla wybranych kierunków oświetlenia $\gamma = 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$ i 85°

nie legendy wraz z wartościami liczbowymi dla poszczególnych poziomów okazało się bezzasadne. Wartości liczbowe podane na osiach są w kandelach – jednostce światłości.

Na rysunku 5 przedstawione zostały wyniki z pomiarów wyłącznie wartości maksymalnych światłości pozwalające prześledzić sposób „wydłużania się” bryły fotometrycznej. Pomiar przeprowadzone zostały w przedziale kątowym $3^\circ - 86^\circ$ z krokiem co 1° . W przedziale od 3° do ok. 60° , wraz ze wzrostem kąta γ , coraz mniejszy strumień świetlny pada na próbkę, co powoduje stopniowe zmniejszanie się światłości maksymalnej. Przy dużych kątach γ (powyżej 75°)

cechy próbki zbliżają się do powierzchni zwierciadlanej i wtedy światłość gwałtownie wzrasta. A zatem światłość maksymalna w funkcji kąta γ nie może być przyjęta jako wartość stała.



Rys. 5. Wartości maksymalne światłości dla $\gamma = -\beta$ (przy $\alpha = 0^\circ$)

LITERATURA

1. Dybczyński W., Oleszyński T., Skonieczna M.: Projektowanie opraw oświetleniowych. Rozprawy naukowe nr 39, Białystok 1996
2. PN-90/E-01005 Technika świetlna, Terminologia
3. Sawicki D., Symulacja wpływu właściwości odbijających odbłyśnika na figurę jasnych punktów reflektora, Technika świetlna' 2004, XIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa, Warszawa 3-5 listopada 2004
4. Tabaka P., Gabryjelski Z.: Stanowisko do wyznaczania bryły fotometrycznej światła odbitego, Przegląd Elektrotechniczny, nr 03/2006, str. 74-75

Rękopis dostarczono, dnia 05.03.2007 r.

Opiniował: **prof. dr hab. inż. Władysław Dybczyński**

INFLUENCE OF THE DIRECTION
OF SURFACE ILLUMINATION
ON LUMINOUS INTENSITY DISTRIBUTION

Przemysław TABAKA

ABSTRACT *Complete data regarding the reflex characteristics of the materials present the luminous intensity distribution of light reflected by the surface of the material under study with the unequivocally defined geometry of falling light beam. Such distribution can be elaborated by means of measurement stand which layout is presented in the paper. The stand is useful for the measurement studies of both the reflex materials samples and others, used i.e. in room decoration. Measurements have been performed with the flat square sample of real material utilized in luminaires production. For each direction of illumination a single luminous intensity distribution is obtained. The shape of the distribution is varying while the light entrance angle changes what can be observed in figures.*