

Komputerowe projektowanie urządzeń samochodowej techniki światlnej

JANUSZ W. MAZUR, JAROSŁAW WILK

Politechnika Warszawska

Metody obliczeń świetlnych i projektowania, związane z oprawami oświetlenia ogólnego, nie wymagały rozważań o złożonych bryłach światłości. Wyznaczano zatem teoretyczne parametry rozsyłu o podstawowym znaczeniu dla oświetlanej przestrzeni. W przypadku oświetlenia samochodowego rozsył światłości projektorów ma bardzo istotny wpływ na jakość widzenia i w konsekwencji na bezpieczeństwo ruchu na drogach. Opracowano, zatem kilka metod projektowania, przy wykorzystaniu technik komputerowych, pozwalających na precyzyjne modelowanie układów optyczno-świetlnych projektorów, na etapie tworzenia koncepcji oraz modeli teoretycznych. Artykuł poświęcono opisowi podstawowych metod obliczeń tak złożonych układów, jakie są stosowane w technice samochodowej.

1. Wstęp

Wymagania świetlne dotyczące samochodowego oświetlenia przedniego pojazdów są duże, związane z zapewnieniem właściwego oświetlenia drogi przed pojazdem. Dotyczą one także zabezpieczenia się przed zbyt agresywnym oświetleniem, które mogłoby ograniczyć widzialność innym uczestnikom ruchu drogowego, a w szczególności kierowcom pojazdów jadącym z przeciwka oraz pieszym. Problemy, zatem które stoją przed konstruktorami oświetlenia przedniego, to ustalenie kompromisu między wymaganiami różnych uczestników ruchu na drogach. W tym celu konstruktorzy oświetlenia poszukują nowych form przestrzennych projektorów, które zapewniłyby możliwie dużą różnorodność w zakresie modelowania pożądaných brył światłości. Niezwykle trudno jest nadać projektorom oświetleniowym kształt, który spełniałby wymagania świetlne. Tworzywa sztuczne wytrzymujące wysokie temperatury zapewniają możliwość modelowania struktur bardziej złożonych. Istnieją jednak ograniczenia wynikające z niekorzystnego wpływu emitowanego przez źródła nadfioletu na jakość powierzchni odbijającej odbłyśników w trakcie okresu eksploatacji.

W odbłyśnikach klasycznych kierowanie strumieniem świetlnym sprowadzało się głównie do znaczącej roli szyby rozpraszającej, której jakość elementów optycznych była trudna do realizacji. Obecnie poszukiwania idą w kierunku nadania odpowiedniego kształtu odbłyśnikowi. Szyba projektora przestaje być ważnym elementem optycznym i degradowana jest do roli prostej osłony. Zmienia się również podejście

do projektowania. Powstają złożone systemy oparte o wielo-powierzchniowe odbłyśniki, których obliczenia metodami klasycznymi nie są możliwe. Opracowano zatem kilka metod pozwalających na symulacyjne modelowanie teoretyczne układów projektorów. Złożoność konstrukcji i wymagań świetlnych określają ten problem jako otwarty. Doskonalenie metod i tworzenie nowych umożliwi wiarygodne rozwiązywanie problemów technicznych przy projektowaniu projektorów oświetleniowych w drodze symulacyjnej, bez konieczności stosowania metody wielokrotnego eksperymentu z modelami fizycznymi, co ograniczy czas i koszty realizacji projektów.

2. Wymagania dotyczące rozsyłu światłości samochodowych urządzeń oświetleniowych

2.1. Asymetryczne światła mijania z żarówkami konwencjonalnymi

Natężenie oświetlenia

Wymagania świetlne dotyczące projektorów określone są w postaci ograniczeń, od góry i od dołu, poziomów natężenia oświetlenia. Oceniane są one na specjalnym ekranie pomiarowym symulującym przestrzeń przed pojazdem. Ekran pomiarowy ISO umieszczony jest w odległości 25 m od badanego projektora. Rozmieszczenie punktów i stref pomiarowych jest zunifikowane w oparciu o regulamin ECE.

Wymagania powyższe dotyczą światła uzyskanego z pojedynczego projektora i zależą od rodzaju zastosowanego w układzie optyczno-świetlnym projektora źródła światła. Z uwagi na intensywny rozwój samochodowych źródeł światła pominięto projektory z żarówkami konwencjonalnymi typu R2, które zostały skutecznie wyparte przez źródła halogenowe i wyładowcze. Wymagany poziom natężenia oświetlenia jest zależny od możliwości uzyskania odpowiednio wysokiej luminancji żarnika lub łuku źródła światła stosowanego w projektorze.

W celu uzyskania relatywnie dobrego oświetlenia przestrzeni przed pojazdem określa się wymagane poziomy natężenia oświetlenia w punktach charakterystycznych i strefach pomiarowych ekranu pomiarowego. Należy stwierdzić, iż są to wymagania podstawowe, które nie zapewniają pełnej analizy rozkładu wiązki świetlnej projektora. Dla projektorów z lampami wyładowczymi ekran został wyraźnie poszerzony, co dowodzi o niezaprzeczalnych zaletach tego typu źródeł światła stosowanych w technice samochodowej. Projektory z lampami wyładowczymi mogą zapewnić rozsyły światłości o znacznie szerszej wiązce świetlnej, a więc doświetlającej pobocza drogi.

Granica światła i cienia

Dla projektorów światła mijania wymagania przewidują wyraźną linię rozdzielającą część oświetloną i nieoświetloną ekranu pomiarowego. Linia ta zwana granicą światła i cienia powinna stanowić poziomą linię prostą po lewej stronie ekranu, a więc linię o współrzędnej $v = 0$ do osi $v-v$ oraz linię pod kątem 15° względem osi poziomej $h-h$ odchyloną w górę, po prawej stronie ekranu. Dla projektorów z zastosowaniem innych źródeł światła niż konwencjonalne, linia graniczna między dużym i niskim poziomem natężenia oświetlenia jest nieco inna niż w przypadku światła z żarówką

konwencjonalną. Powinna ona tworzyć na ekranie wyraźną linię rozdzielającą części ekranu: oświetloną i nieoświetloną światłem mijania, umożliwiającą dokładne ustawienie projektorów do pomiarów.

2.2. Światła drogowe z żarówkami halogenowymi

Światłość i natężenie oświetlenia projektorów

Światłość maksymalna zespołu świateł drogowych, świecących jednocześnie, nie powinna być większa niż 225 kcd. Wymaganie to uważa się za spełnione, jeżeli suma liczb cechowania umieszczonych na projektorach nie przekracza 75. Liczba cechowania jest informacją o maksymalnej światłości projektora. Jeżeli projektor nie ma liczby cechowania, przyjmuje się wartość 10, jeżeli ma zastosowaną żarówkę konwencjonalną (gdy jest zastosowana żarówka halogenowa), wtedy przyjmuje się wartość 20.

Liczbę cechowania L_c , wyznacza się na podstawie wzoru:

$$L_c = \frac{I_m}{3} = 0,208 E_m, \quad (1)$$

gdzie:

I_m – maksymalna światłość światła drogowego, [kcd].

E_m – maksymalne natężenie oświetlenia, [lx].

Liczba cechowania wyznaczona z powyższego wzoru powinna być zaokrąglona do jednej z wartości: 7,5; 10; 12,5; 17,5; 20; 25; 27,5; 30; 37,5; 40; 45; 50.

Pomiarów rozkładu natężenia oświetlenia świateł drogowych dokonuje się na ekranie pomiarowym do świateł mijania. Ekran umieszczony jest również w odległości 25m od badanego projektora. Pomiar natężenia oświetlenia realizowane są na osi $h - h$ ekranu, podobnie jak dla projektorów z żarówkami konwencjonalnymi.

Badania wykonuje się podobnie jak w przypadku świateł drogowych z żarówkami konwencjonalnymi. Punkt zerowy ekranu (przecięcie osi $h - h$ i $v - v$) ma jednak większą tolerancję położenia niż w poprzednim przypadku. Może on zawierać się w obszarze izoluks określonych poziomem 80% wartości maksymalnego natężenia oświetlenia. W przypadku projektorów, które są źródłem światła mijania i drogowego równocześnie, natężenie oświetlenia nie powinno przekraczać 16-krotnej wartości natężenia oświetlenia światła mijania mierzonego w punkcie 75R ekranu pomiarowego.

Dokładność powyższych wymagań jest nieco ograniczona, albowiem wymagania dopuszczają, aby punkt zerowy ekranu pomiarowego mieścił się w obszarze krzywej izoluks (krzywej o jednakowym poziomie natężenia oświetlenia) o wartości 90% największego natężenia oświetlenia. Minimalne natężenie oświetlenia uzyskane z projektorów o średnicy mniejszej niż 160 mm, przeznaczone do wytwarzania świateł drogowych i mijania pojazdów, których prędkość jest ograniczona ze względów konstrukcyjnych do 40 km/h.

W oparciu o wymagania określone Regulaminem 98 ECE, wysiłki konstruktorów zmierzają do otrzymania możliwie jak najlepszych parametrów spełniających ustalenia brzegowe norm przedmiotowych, a w szczególności do:

- doskonalenia parametrów elektrycznych i świetlnych sprzętu i urządzeń oświetleniowych,
- tworzenia systemów adaptacyjnych, dostosowujących oświetlenie samochodowe drogi do panujących na niej warunków chwilowych.

W zakresie samochodowego sprzętu i urządzeń oświetleniowych, w ostatnich latach nastąpił intensywny rozwój. Jest to związane głównie z potrzebą konstrukcji urządzeń energooszczędnych i bardziej efektywnych w sferze oświetlenia drogi. Potrzeba rozwoju sprzętu oświetleniowego dotyczy zatem:

- samochodowych źródeł światła,
- samochodowych projektorów oświetleniowych,
- samochodowych lamp sygnałowych.

Oświetleniowe samochodowe systemy adaptacyjne, wykorzystując aktualne zdobyte techniki w zakresie elektromechatroniki, globalnych systemów nawigacji, systemów mikroprocesorowych i pomiarowych, pozwalają w zdecydowany sposób poprawić jakość oświetlenia drogi i jej otoczenia podczas jazdy nocą, przyczyniając się do poprawy bezpieczeństwa.

3. Modelowanie i obliczenia świetlne układów optyczno-świetlnych samochodowych projektorów oświetleniowych

3.1. Metody odbić elementarnych i testu promienia odwrotnego

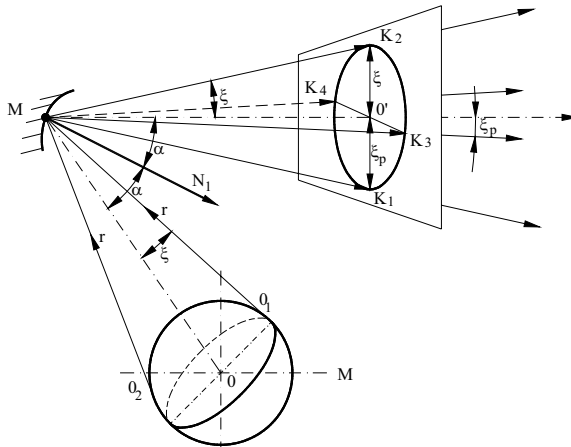
Światłość projektora w dowolnym kierunku określonym kątami α i β , zgodnie z teorią „odbić elementarnych”, można zapisać analitycznie jako iloczyn rzutu powierzchni jego jasnej części, widzianej z danego kierunku, i luminancji tej powierzchni [1], [2]. Ogólnie światłość układu optyczno-świetlnego urządzenia oświetleniowego w danym kierunku α, β możemy wyrazić wzorem:

$$I(\alpha, \beta) = \int_S L(M_i, \alpha, \beta) dS(\alpha, \beta) \cos \delta(M_i, \alpha, \beta) \quad (2)$$

gdzie:

- $L(M_i, \alpha, \beta)$ – luminancja punktu M_i , charakterystycznego dla testowanej, elementarnej części powierzchni S odbłyśnika),
- S – powierzchnia odbłyśnika
- $\delta(M_i, \alpha, \beta)$ – kąt między promieniem testującym elementarny wycinek powierzchni odbłyśnika $S(\alpha, \beta)$ a normalną do tej powierzchni w punkcie M_i ,
- α, β – kąty definiujące kierunek promieni testujących.

Aby wyznaczyć obszar powierzchni urządzenia emitującego promienie świetlne w danym kierunku przestrzeni, należy znaleźć wszystkie punkty tej powierzchni świecące w tym kierunku. Problem poszukiwania punktów można rozwiązać, jeśli wiązkę wyemitowaną traktować się będzie jako zbiór nieskończonej liczby elementarnych wiązek światła, których wierzchołki znajdują się na punktach powierzchni emitującej światło. W tym celu zdefiniowano pojęcie *odbicia elementarnego* OE. Na rysunku 1 przedstawiono ilustrację definicji *odbicia elementarnego* wiązki świetlnej po emisji ze źródła światła i odbiciu od powierzchni odbijającej odbłyśnika. Odbicie elementarne OE to wiązka promieni świetlnych wypromieniowanych w przestrzeń z punktu powierzchni urządzenia optycznego (elementu projektora znajdującego się najbliżej obserwatora). Tak, więc wiązka promieni OE zawiera się w pewnej bryle stożkowej, której wierzchołek znajduje się w punkcie emitującym promienie świetlne na zewnątrz układu optycznego. Ze względu na to, że wielkości kątowe rozmiarów i kształtów odbić elementarnych znacznie zmieniają się dla różnych części urządzenia optycznego, powierzchnię rozważanego odbicia elementarnego dzieli się na szereg stref, co pozwala przyjąć założenie, że w obrębie każdej strefy rozmiary i kształt OE można uważać za jednakowe.



Rys. 1. Ilustracja odbicia elementarnego OE dla dowolnej powierzchni odbijającej i kulistego źródła światła.

Fig. 1. Illustration of elementary reflection OE for any mirror surfaces and spherical source of light.

W tym przypadku cała świecąca część urządzenia optyczno - świetlnego składa się z jasnych fragmentów stref, i równanie całkowe (2) można, przy założeniu pewnych przybliżeń, przekształcić do postaci sumy:

$$I(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^{i=n} L(M_i, \alpha, \beta) \Delta S_i(\alpha, \beta) \cos \delta(M_i, \alpha, \beta) \quad (3)$$

gdzie:

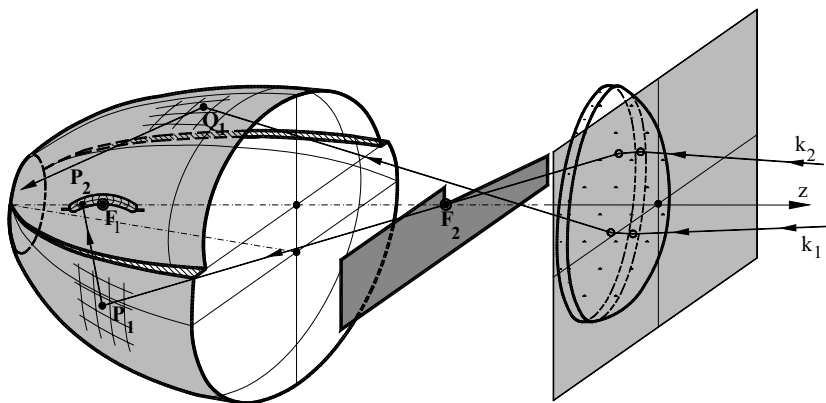
- ΔS_i – powierzchnia elementarna dyskretyzowanego elementu odbłyśnika,
 n – liczba testowanych punktów należących do elementarnych powierzchni odbłyśnika.

Układy o nieskomplikowanej budowie, w szczególności układy złożone z odbłyśników paraboloidalnych z żarnikami w postaci skrętek walcowych są możliwe do obliczeń, przy wcześniejszych ustaleniach analitycznych linii konturowej tzw. figury jasnych punktów. Problemy zaczynają się jednak wówczas, gdy mamy do czynienia z układami o złożonej strukturze. Szczególnie dotyczy to układów wyposażonych w szyby rozpraszające o bardzo złożonej budowie elementów optycznych załamujących promienie świetlne. Rozpatrzenie tych zagadnień, uwzględniających zachodzące w wielu elementach optycznych zjawiska odbicia, załamania i dyspersji powoduje, iż zaproponowane metody analityczne stają się mało przydatne w finalnym rozwiązywaniu zagadnień świetlnych w takich układach. Proponuje się zatem zastosowanie metody przydatnej do praktycznego modelowania urządzeń świetlnych.

Metoda oparta o teorię *odbić elementarnych* oraz *figur jasnych punktów* zmierza do graficznego wyznaczania kształtu i powierzchni figur jasnych punktów, niezbędne w procesie modelowania komputerowego. Rozwijając zagadnienie, przedstawione zostaną zjawiska fizyczne oraz opis analityczny metody, również w zastosowaniu do innych układów optyczno-świetlnych, możliwych do wykorzystania w urządzeniach i systemach samochodowych projektorów i lamp sygnałowych [3, 4].

Analityczne wyznaczanie *figur jasnych punktów* jest zagadnieniem skomplikowanym, szczególnie w przypadku, gdy mamy do czynienia ze złożonymi bryłami poszczególnych elementów układów optyczno-świetlnych projektorów oświetleniowych. Metoda graficznego wyznaczania *figur jasnych punktów*, w sposób szybki oraz z dokładnością wystarczającą dla praktyki projektowej, oparta jest na teście promieniami odwrotnymi. W metodzie tej analizowany jest bieg elementarnego promienia odwrotnego poczynszy od obserwatora, poprzez soczewkę i dalej w kierunku odbłyśnika. Na rysunku 2 przedstawiono zasadę wyznaczania figury jasnych punktów, punktów, które biorą aktywny udział w tworzeniu światłości układu urządzenia świetlnego w określonym kierunku.

Analizując bieg promieni świetlnych o wektorach kierunkowych \mathbf{k}_1 oraz \mathbf{k}_2 możemy zaobserwować, iż jeden z nich – \mathbf{k}_2 , po przejściu przez wszystkie elementy układu optyczno-świetlnego urządzenia z odbłyśnikiem odbijającym w sposób kierunkowy, trafia w łuk lampy wyładowczej typu D. Promień \mathbf{k}_1 po przejściu podobnej drogi w konsekwencji omija łuk świetlny. Możemy zatem powiedzieć, że punkt P_1 znajdujący się na powierzchni odbłyśnika $F(x, y, z)$, i obserwowany z kierunku \mathbf{k}_2 , widziany jest jako jasny, co oznacza, że promień ten trafił w powierzchnię świecąca łuku lampy w punkcie $P_2(x_2, y_2, z_2)$ o luminancji L_i . Analizując bieg promienia \mathbf{k}_1 można stwierdzić, iż punkt Q_1 na odbłyśniku obserwowany z tego kierunku widziany jest jako ciemny. Punkt ten nie będzie wpływał na wielkość światłości układu w tym kierunku.



Rys. 2. Ilustracja testu promienia odwrotnego w układzie modelowanego projektora.

Fig. 2. Inverse ray test illustration in the modeling projector system.

W celu wyznaczenia *figury jasnych punktów* z danego kierunku obserwacji należy dokonać analizy możliwie dużej liczby punktów odbłyśnika. W tym celu dokonujemy dyskretyzacji jego otworu wyjściowego, na jednakowe pola elementarne, np. w postaci prostokątów o wymiarach Δx , Δy . Przyjmując stosunkowo dużą liczbę pól elementarnych rzutu powierzchni odbłyśnika na płaszczyznę otworu wyjściowego można uzasadnić, przyjęte w metodzie, uproszczenie o przybliżonej równości elementarnych pól na odbłyśniku oraz pól będących ich rzutami na płaszczyźnie otworu wyjściowego odbłyśnika. Przyjmując założenie, że punkt będący środkiem geometrycznym pola elementarnego ma takie same własności świetlne jak całe pole możemy dokonać analizy jasnych punktów odbłyśnika o skończonej ilości. Liczba dyskretyzowanych pól odbłyśnika ma wpływ na dokładność dalszych obliczeń.

W oparciu o metodę „testu promienia odwrotnego” ustalone są punkty „jasne” – odbłyśnika biorące udział w tworzeniu światłości oraz punkty „ciemne” – nie biorące udziału w tworzeniu światłości w określonym kierunku fotometrowania układu. Dokonując analizy powierzchni odbłyśnika wyznaczane są również poziomy luminancji punktów jasnych z kierunku \mathbf{k}_2 , a w konsekwencji światłość układu w tym kierunku (patrz rys. 2). Istnieje zatem problem określenia poziomu luminancji na powierzchni łuku świetlnego lampy, która ma zasadniczy wpływ na wielkość światłości układu. W odniesieniu do lamp wyładowczych przedmiotem modelowania powinien być łuk świetlny, który powstaje podczas procesu wyładowania między elektrodami lampy. Kształt tego łuku opisano powyżej przy pomocy wycinka powierzchni toroidalnej.

W celu określenia szczegółowego kierunków analizowania układu projektora wprowadza się zasadę identyfikacji kierunków w układzie współrzędnych biegunowych (α, β) [5].

Układ taki umożliwia rozpatrywanie indywidualnego kierunku α , przy przyjęciu zadanej półpłaszczyzny fotometrowania układu β .

Dyskretyzacja powierzchni optycznych jest koniecznym krokiem w tworzeniu metod numerycznych bazujących na metodzie testu promieni odwrotnych. Ponieważ

powierzchnia jest dzielona na elementarne pola, to błąd obliczeń zależy od zastosowanej interpolacji numerycznej i zastosowanych metod całkowania.

Po wyznaczeniu rozkładu luminancji *figury jasnych punktów* można zapisać zależność podobnie jak we wzorze (3), lecz odnosząc się do jednego kierunku α w określonej płaszczyźnie β oraz uwzględniając fakt zmniejszenia luminancji FJP o współczynnik odbicia kierunkowego odbłyśnika.

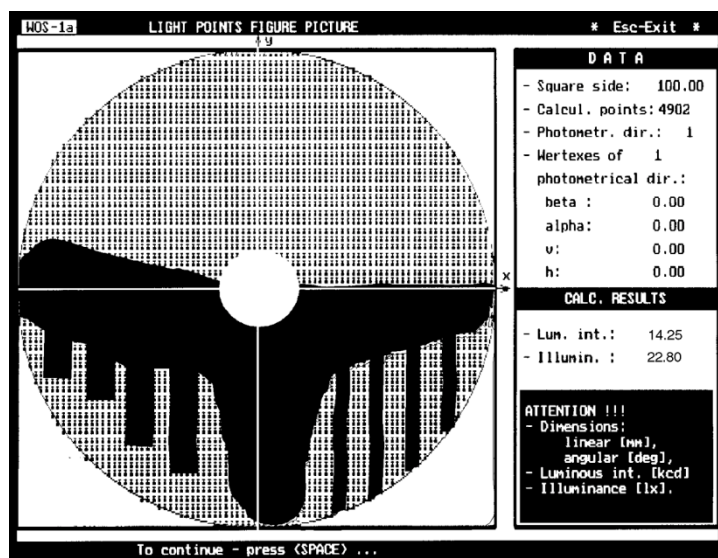
W dalszych obliczeniach należy również uwzględnić, poza zjawiskiem odbicia, zjawisko załamania promieni świetlnych na elementach optycznych szyby oraz, jeżeli wymagana dokładność obliczeń jest szczególnie duża, także wpływ dyspersji heterochromatycznego rodzaju światła.

W obliczeniach numerycznych układów optyczno-świetlnych omawianej metody można wyróżnić kilka etapów:

- opis rozkładu luminancji i geometrii źródła światła,
- matematyczny opis powierzchni optycznych układu,
- matematyczny opis toru promienia odwrotnego, w tym normalnych do powierzchni i macierzy odbić,
- parametryzacja i dyskretyzacja powierzchni optycznych odbłyśnika,
- sprawdzenie, czy promień odwrotny zawiera się w wiązce odbicia elementarnego,
- wyznaczanie graficzne obrazu *figury jasnych punktów*,
- ustalanie luminancji elementarnych pól *figury jasnych punktów*,
- obliczenia światłości układu w określonym kierunku fotometrowania.

Algorytm wyznaczania luminancji punktów podobny jest do metod stosowanych w telewizji – określa się luminancję kolejno wszystkich komórek w kolejnych rzędach.

Ustalanie punktów jasnych odbłyśnika, z danego kierunku fotometrowania, odbywa się w drodze analizy matematycznej promieni testujących, przechodzących kolejno przez poszczególne elementy optyczne projektora. Promień padający na soczewkę ulega w niej załamaniu, zgodnie z prawem załamania, padający na powierzchnię odbłyśnika ulega odbiciu, zgodnie z prawem odbicia. Uwzględniając zjawiska fizyczne, przy przejściu promienia od oka obserwatora do łuku źródła światła, wyznaczamy punkty jasne odbłyśnika z danego kierunku oraz jego luminancję. Taka procedura pozwala wyznaczyć światłość układu z danego kierunku zgodnie z zależnością (3). Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy widok *figury jasnych punktów* wyświetlanej w programie obliczeń świetlnych projektorów samochodowych REF-WP, opracowanym w Politechnice Warszawskiej.



Rys. 3. Komputerowy obraz figury jasnych punktów z określonego kierunku fotometrowania układu projektora.

Fig. 3. Computer generated illustration of figure of bright points from defined photometrical direction of projector.

Jak widać na rysunku 3 *figura jasnych punktów* może mieć kształt bardzo złożony. Jest wiele czynników, które mają na to bezpośredni wpływ. Do nich należą przede wszystkim: kształt źródła światła, kształt powierzchni odbłyśnika, kierunek obserwacji, a także złożony charakter elementów optycznych szyby rozpraszającej projektora.

Dla każdego elementarnego pola *figury jasnych punktów* określany jest poziom luminancji powierzchni elementarnej źródła światła (żarnika, łuku lampy wyładowczej lub świecącej powierzchni półprzewodnika typu LED). Z punktu widzenia analitycznego może to być problem bardzo złożony. Analizując jednak zagadnienie w wymiarze geometrycznym, przy obecnej technice komputerowej sumowanie luminancji poszczególnych elementów *figury jasnych punktów* jest nieskomplikowane i pozwala w szybki i niezawodny sposób wyznaczyć wynikową światłość układu projektora w określonym kierunku fotometrowania wg następującej zależności:

$$I(\alpha) = \frac{S \cdot 10^{-6}}{(n_1 + 1)(n_2 + 1)} \rho \sum_{i=1}^k (L_i \tau_i) \quad (3a)$$

gdzie:

- $I(\alpha)$ – światłość układu optyczno-świetlnego projektora, [cd],
- L_i – luminancja testowanego elementu $dS(\alpha, \beta)$ z kierunku, [cd/m^2],
- S – suma elementarnych pól należących do *figury jasnych punktów*,
- $(n_1 + 1)(n_2 + 1)$ – liczba testowanych punktów należących do *figury jasnych punktów*,
- ρ – współczynnik odbicia od powierzchni odbłyśnika,

- τ – współczynnik przepuszczania dla określonego promienia testującego, po przejściu przez element optyczny szyby rozpraszającej,
- k – liczba promieni testujących,
- α – analizowany kierunek obserwacji projektora w określonej półpłaszczyźnie fotometrowania β ,
- β – kąt określający półpłaszczyznę fotometrowania układu projektora.

Zaproponowany model matematyczny samochodowych projektorów oświetleniowych pozwolił opracować narzędzia komputerowe umożliwiające obliczenia świetlne tego typu układów. Przyjęte modele umożliwiają przyjmowanie bezwzględnych wartości luminancji w dowolnym zakresie zgodnie z przyjętymi procedurami. Modelowanie układu i przyjęta metoda obliczeń świetlnych pozwala projektantom w szybki sposób realizować swoje projekty konstrukcyjne, wykorzystując najnowsze osiągnięcia w zakresie istniejącego sprzętu oświetleniowego.

3.2. Obliczenia świetlne metodą Monte Carlo

Metodą często wykorzystywaną w procesie modelowania samochodowych urządzeń świetlnych jest metoda oparta na symulacji probabilistycznej. Metoda ma zastosowanie w projektowaniu układów o odbiciu kierunkowym lub rozproszonym. Oparta jest ona na bezpośrednim modelowaniu matematycznym obiektu i jego funkcji fizycznych. Możemy imitować rozchodzenie się promieniowania ze źródła światła w kierunku powierzchni docelowej lub przestrzeni zewnętrznej w urządzeniach oświetleniowych. Główne zalety metody Monte Carlo to:

- uzyskiwanie w jednym cyklu obliczeń całej bryły fotometrycznej,
- możliwość przerywania obliczeń w dowolnym momencie i uzyskania po małej liczbie losowań (stosunkowo krótkim czasie obliczeń) mniej dokładnych ale nadal poprawnych wyników umożliwiających ocenę podstawowych właściwości układu,
- możliwość naturalnego zwiększania dokładności obliczeń poprzez wydłużanie czasu ich trwania,
- duża uniwersalność metody – możliwość stosowania do obliczeń różnorodnych układów optyczno-świetlnych.

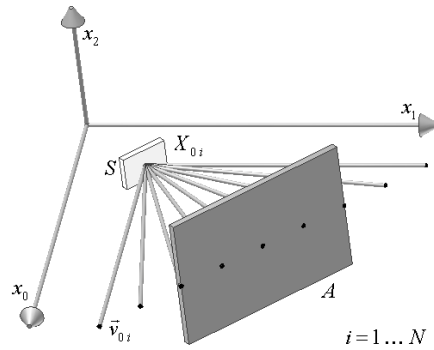
Zastosowana w metodzie Monte Carlo metoda matematycznej symulacji emisji światła opiera się na probabilistycznej reprezentacji zmiennych fotometrycznych. Na przykład: strumień świetlny padający na mały wycinek powierzchni A jest wprost proporcjonalny do prawdopodobieństwa P_A trafienia w tę powierzchnię przez promienie wychodzące z układu.

Jeśli przyjmujemy oznaczenia:

- Φ_S – strumień świetlny emitowany przez źródło światła S ,
- Φ_A – strumień świetlny padający na mały wycinek powierzchni A ,
- P_A – prawdopodobieństwo trafienia losowego promienia w powierzchnię A ,

wtedy możemy zapisać: $\Phi_A = P_A \cdot \Phi_S$.

Problem wyznaczenia natężenia oświetlenia w danym punkcie ekranu fotometrycznego określonego przez współrzędne h, v , reprezentowany przez wycinek powierzchni A sprowadza się do znalezienia prawdopodobieństwa P_A (patrz rys. 4).



Rys. 4. Promienie trafiające w małą powierzchnię A.

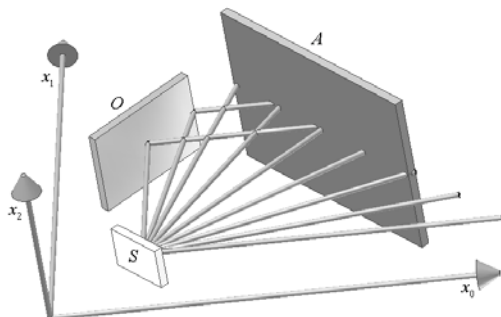
Fig. 4. The rays hitting small surface A.

Ponieważ strumień świetlny emitowany przez źródło światła Φ_S jest znany, po wyznaczeniu prawdopodobieństwa P_A będzie można wyznaczyć strumień świetlny padający na mały wycinek powierzchni A . Promieniowanie emitowane ze źródła światła jest reprezentowane przez zbiór Z_A dyskretnych porcji strumienia świetlnego (promieni światła).

Rozważmy jeden promień $\{X_{0i}, \vec{v}_{0i}\}$ z puli losowo wybranych promieni należących do zbioru Z_A ($i = 1 \dots N$). Ma on na początku wagę $w_i = 1$, następnie śledzimy jego bieg w przestrzeni. Ma on ściśle określony początek X_{0i} i kierunek \vec{v}_{0i} .

Można wyznaczyć miejsce trafienia promienia np. w odbłyśnik O , osłonkę żarówki, szybę rozpraszającą lub inne elementy optyczno-świetlne projektora. Jeśli promień trafi w odbłyśnik O to możemy (przy założeniu odbić kierunkowych) wyznaczyć promień odbity od odbłyśnika O . Po odbiciu od powierzchni odbłyśnika waga promienia zmieni się w zależności od współczynnika odbicia: $w_i = w_{i \text{ początkowe}} \cdot \rho$. Jeśli po kolejnych odbiciach promień trafi w mały wycinek powierzchni A , wtedy zapamiętywana jest ostateczna wartość wagi w_i promienia (patrz rys. 5). Inaczej mówiąc, po odbiciu

od powierzchni (np. odbłyśnika) waga promienia w_i zmniejsza się odpowiednio do współczynnika odbicia.



Rys. 5. Promienie trafiające w małą powierzchnię A po odbiciu od odbłyśnika.

Fig. 5. The rays hitting small surface A after reflecting from the reflector.

Po przebadaniu trajektorii wszystkich wygenerowanych losowo promieni obliczana jest wartość prawdopodobieństwa:

$$P_A = \frac{I}{N} \cdot \sum_{i=1}^N w_i \quad (4)$$

Podobnie wyznaczamy pozostałe wartości fotometryczne. Na przykład oszacowana średnia luminancja ma wartość:

$$E_A = \frac{\Phi_s}{\Delta A \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N w_i \quad (5)$$

gdzie: ΔA jest polem powierzchni małego wycinka powierzchni A .

Natężenie oświetlenia w wybranym kącie bryłowym $\Delta\Omega(\alpha, \beta)$ możemy obliczyć ze wzoru:

$$I(\alpha, \beta) = \frac{\Phi_s}{\Delta\Omega(\alpha, \beta) \cdot N} \cdot \sum_{i=1}^N w_i \quad (6)$$

Proces obliczeń świetlnych projektorów samochodowych z wykorzystaniem metody Monte Carlo składa się z następujących etapów:

- losowe generowanie promieni ze źródła światła,
- wyznaczanie drogi losowo wygenerowanych promieni,
- obliczanie sum wag promieni spełniających żądane warunki.

W zależności od przyjętych założeń upraszczających zjawiska fizyczne i analityczny opis biegu promienia w badanym układzie można z odpowiednią dokładnością wyznaczyć parametry świetlne analizowanego układu. Oczywiście ustalenie współ-

czynników wag dla poszczególnych zjawisk fizycznych w układzie jest niezmiernie trudne. Od ich jakości zależy ostateczny wynik prowadzonych obliczeń.

Największą zaletą metody Monte Carlo jest fakt, iż do rozważań analitycznych bierzemy pod uwagę wyłącznie promienie aktywne świetlnie w danym kierunku fotometrycznego układu projektora. Dlatego czas obliczeń może być znacznie skrócony. Największym problemem w stosowaniu metody Monte Carlo może być losowe wybieranie zmiennych niezależnych opisujących dany promień. Aby zapewnić jak największą dokładność należałoby wykonać albo bardzo dużo losowań, albo zastąpić losowanie wyborem zmiennych według algorytmów zapewniających równomierne rozłożenie punktów wyjścia promieni na całym żarniku i kierunków wyjścia w całym kącie bryłowym. Istotną wadą metody są trudności w wiarygodnym oszacowaniu współczynników wag, co przy złożonych systemach optyczno-świetlnych ma bardzo duże znaczenie.

3.3. Metoda projektowania układu projektora w oparciu o poszukiwanie funkcji odwrotnej

Metoda polega na dochodzeniu do konstrukcji w oparciu o analizę wymagań kryterialnych, określających zakładane parametry optyczno-świetlne projektora. Można zatem stwierdzić, iż jest to metoda, która stanowi dla projektanta najbardziej istotny toku powstawania konstrukcji, o z góry zadanych parametrach świetlnych. Ustalając wymagania o charakterze oświetleniowym, proponuje się konstruktorom metodę, która prowadzi do wyznaczenia wielkości konstrukcyjnych projektora, zapewniających realizację wymagań kryterialnych.

Założono, że dana jest metoda oceny jakości projektora zdefiniowana poprzez wybór określonego zestawu wartości kryterialnych.

Niech: $K_z = [\vec{E}, \vec{I}, \vec{L}, \dots]$ oznacza wybrany zestaw wartości kryterialnych projektora samochodowego składających się na przykład z wymaganych:

- rozkładu natężenia oświetlenia na ekranie fotometrycznym,
- rozsyłu światłości,
- rozkładu luminancji na drodze.

Mając dany zestaw wartości kryterialnych, należy określić funkcję celu: $E: K_z \rightarrow \mathfrak{R}^+$ służącą do oceny jakości projektora, czyli określającą ilościowo jak dany projektor różni się od pożądanego. Im mniejsza wartość funkcji celu, tym projektor bliższy jest pożądanemu. Prawidłowo zdefiniowana funkcja celu umożliwia porównanie dwóch zestawów wartości kryterialnych. Na przykład, jeżeli jest spełnione: $E(K_0) < E(K_1)$ to oznacza to, że zestaw wartości kryterialnych K_0 jest bliższy pożądanemu od zestawu wartości kryterialnych K_1 .

W procesie obliczeń dodatkowo założono, że projektant określa rodzaj modelu pożądanego projektora. Znajomość modelu projektora umożliwia w sposób jednoznaczny obliczanie zestawu wartości kryterialnych na podstawie wybranych parametrów. Jeżeli założymy, że model projektora jest opisany zbiorem parametrów:

$$\vec{p} = [p_0, p_1, p_2, \dots, p_{pn}] \in D_p, \quad (7)$$

gdzie: D_p jest zbiorem wszystkich dopuszczalnych zbiorów parametrów, wówczas operację wyznaczania zestawu wartości kryterialnych można zapisać następująco:

$$K_z = K(\vec{p}) \quad (8)$$

Zależność (8) oznacza, że dla każdego zbioru parametrów można wyznaczyć zestaw wartości kryterialnych. Operacja wyznaczania zestawu wartości kryterialnych polega zwykle na obliczeniu rozkładu natężenia oświetlenia na ekranie fotometrycznym, rozsyłu światłości, rozkładu luminancji na drodze tak, aby możliwe było wyznaczenie funkcji celu.

Mając funkcję celu możemy porównać dwa projektory zdefiniowane parametrami \vec{p}_0 oraz \vec{p}_1 . Jeżeli $E(K(\vec{p}_0)) < E(K(\vec{p}_1))$, wtedy projektor zdefiniowany parametrami \vec{p}_0 jest lepszy od projektora zdefiniowanego parametrami \vec{p}_1 .

Głównym celem projektanta jest wyznaczenie zestawu parametrów \vec{p}_s modelowanego projektora tak, aby uzyskać akceptowalne rozwiązanie dla zadanej granicznej wartości funkcji celu ρ_{\max} . Inaczej mówiąc, dla zbioru akceptowalnych zestawów parametrów:

$$D_{ps} = \{\vec{p} \in D_p : \rho_{\max} \geq E(K(\vec{p})) \geq \rho_{\min} \geq 0\} \quad (9)$$

wyznaczamy projektor o akceptowalnym zestawie parametrów $\vec{p}_s \in D_{ps}$.

Możemy także wyznaczyć zestaw parametrów optyczno-światlnych projektora tak, aby był on jak najbardziej zbliżony do oczekiwanych, czyli zminimalizować funkcję celu, tak aby spełniona była zależność:

$$\forall \vec{p} \in D_p : E(K(\vec{p})) \geq E(K(\vec{p}_s)) = \rho_{\min} \geq 0 \quad (10)$$

Projektant powinien brać pod uwagę fakt, że poszukiwany zbiór akceptowalnych zestawów parametrów może okazać się zbiorem pustym.

Globalną funkcję celu będzie stanowił dla nas zbiór pożądaných parametrów geometrycznych i światlnych układu optyczno-światlnych projektora, zgodny z przyjętymi założeniami wymagań kryterialnych.

Zakładamy, że mamy daną wielowarstwową sieć perceptronową o wejściach \vec{p} oraz wyjściach K , działanie sieci dla zadanych danych wejściowych określane jest następująco:

$$\vec{p} = N(K, w) \quad (11)$$

gdzie w oznacza wartości wag neuronów sieci. Zakłada się, że dane są sygnały wyjściowe ciągu uczącego:

$$\hat{p} = \{\vec{p}_0, \vec{p}_1, \dots, \vec{p}_N\} \quad (12)$$

oraz wartości wejściowe ciągu uczącego wyznaczone z modelu projektora:

$$\hat{K} = K(\hat{p}) = \{K(\vec{p}_0), K(\vec{p}_1), \dots, K(\vec{p}_N)\} \quad (13)$$

Uczenie sieci polega na wyznaczeniu wag w tak, aby zminimalizować funkcję celu sieci neuronowej dla wszystkich próbek uczących:

$$\|N(K(\vec{p}_k), \vec{w}) - \vec{p}_k\| = \min \quad (14)$$

Po procesie uczenia sieci wyznaczamy wzorcowy zestaw parametrów kryterialnych spełniających nasze oczekiwania: $\rho_{\max} \geq E(K_S)$.

Następnie podejmujemy próbę wyznaczenia parametrów \vec{p}_S modelowanego projektora dla wybranego zestawu wartości kryterialnych K_S w sposób następujący: $\vec{p}_S = N(K_S, \vec{w})$, następnie sprawdzamy, czy uzyskane rozwiązanie jest zadowalające obliczając funkcję celu:

$$\rho_S = E(K(\vec{p}_S)) \quad (15)$$

Jeżeli wartość funkcji celu jest za duża i rozwiązanie nie jest akceptowalne $\rho_S \geq \rho_{\max}$, wtedy powtarzamy proces uczenia dodając otrzymane wartości $K(\vec{p}_S)$ oraz \vec{p}_S do ciągu uczącego i proces powtarzamy. Oczywiście może się okazać, że dla danego modelu projektora w ogóle nie jest możliwe uzyskanie akceptowalnego rozwiązania, to znaczy, że zbiór akceptowalnych zestawów parametrów jest zbiorem pustym, wtedy dla uzyskania akceptowalnego rozwiązania konieczna jest zmiana modelu projektora [6].

Określenie składowych kryterialnych

Podstawową kwestią przy projektowaniu układów optyczno-światlnych jest weryfikacja, czy zaprojektowany układ spełnia nasze wymagania. Jeżeli parametry optyczno-światlne układu nie spełniają naszych oczekiwań, to projektowanie układu nie jest zakończone i należy kontynuować pracę nad poprawieniem układu lub jego przeprojektowaniem. Jeżeli uzyskane wyniki spełniają już nasze wymagania, to prace projektowe można zakończyć, alternatywnie można dalej kontynuować prace nad poprawieniem układu i uzyskaniem jeszcze lepszych rezultatów. Projektant dysponuje pełną gamą metod oceny jakości układów optyczno-światlnych. Część z tych metod ma charakter zaleceń, część realizuje się poprzez badania świetlne, są także ilościowe metody oceny, które dają się zapisać w postaci zależności matematycznych. Uwzględnienie ilościowych metod oceny w programach wspierających prace inżynierskie umożliwia projektantom szybką weryfikację tworzonych układów.

Korzystając z automatycznych metod projektowania mamy także istnieć możliwość oceny, czy zaprojektowany układ już spełnia nasze wymagania, czy jeszcze nie i proces poszukiwania rozwiązania należy kontynuować. Ponadto jest bardzo pożąda-

ne, aby można było porównywać układy i ocenić, który z nich jest lepszy (bliższy oczekiwanemu). Do oceny układu mają zastosowanie metody ilościowe mające postać funkcji celu podającej wynik w postaci liczbowej. Przyjmuje się, że im mniejsza wartość funkcji celu, tym układ jest lepszy (bliższy naszym oczekiwaniom).

Funkcja celu konstruowana jest na bazie wartości kryterialnych. Wartości kryterialne same w sobie nie oceniają jakości rozwiązania, ale na ich podstawie można takiej oceny dokonać. Funkcja celu służy do oceny, jak dane wartości kryterialne odbiegają od pożądaných i jest superpozycją kilku składowych funkcji celu, odzwierciedlających spełnianie norm homologacyjnych i eksploatacyjnych oraz będących odzwierciedleniem dokładniejszych rozszerzonych metod oceny projektora, takich jak np.:

- zastrzone wymagania w zakresie rozsyłu światłości w przekrojach warstwicowych,
- metoda punktowa dla wybranych kierunków preferowanych,
- metoda zasięgu widzenia.

Jeżeli przyjmiemy oznaczenie na poszczególne składowe funkcji celu:

$$\vec{E}(K_z) = [w_1 \cdot E_1(K_z), w_2 \cdot W_2(K_z), \dots] \quad (16)$$

możemy zatem zapisać:

$$E(K_z) = \|\vec{E}(K_z)\| \quad (17)$$

gdzie przyjęto następujące oznaczenia:

- $E_k(K_z)$ – składowe funkcji celu,
- w_k – wagi poszczególnych składowych,
- $\|\ \|\$ – norma sumująca poszczególne składowe.

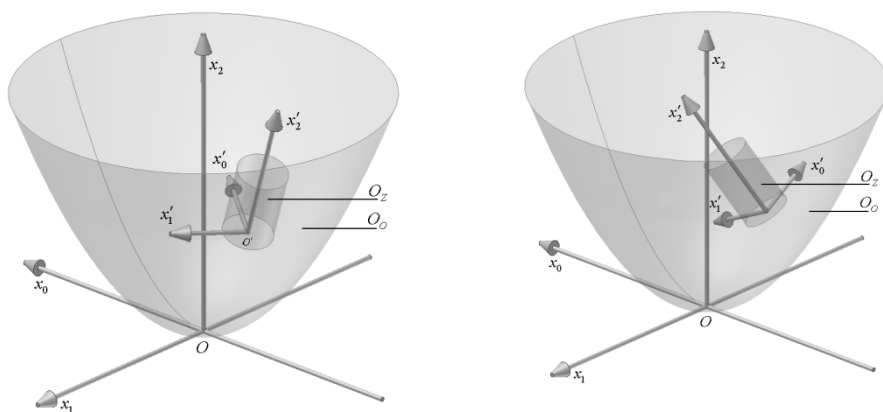
Przykładem składowej funkcji celu może być równomierność natężenia oświetlenia na drodze. Zakładając, że jedną z wartości kryterialnych jest natężenie oświetlenia na wybranym fragmencie powierzchni: $E : S \rightarrow \mathfrak{R}$, gdzie $S \subset \mathfrak{R}^2$ opisuje powierzchnię na przykład na drodze przed jadącym pojazdem, to wartość średnią natężenia oświetlenia definiuje zależność:

$$E_{\text{sr}} = \frac{\int_S E(s) ds}{\int_S ds} \quad (18)$$

Jeżeli wartości natężenia oświetlenia dane są w sposób dyskretny, wtedy wartość średnią natężenia oświetlenia należy obliczyć w sposób numeryczny.

4. Modelowanie odbłyśników niekonwencjonalnych - o powierzchni opisanej w sposób dyskretny

Każdy element modelu układu optyczno-świetlnego definiujemy w oddzielnym lokalnym układzie współrzędnych kartezjańskich, dlatego zmieniając parametry lokalnego układu współrzędnych kartezjańskich (przesuwając go lub obracając nim), zmieniamy położenie wybranego elementu układu optyczno-świetlnego. Jeżeli lokalny układ współrzędnych kartezjańskich jest wspólny dla kilku elementów – wtedy jednocześnie zmieniamy położenie wszystkich wybranych elementów. Umożliwia to grupowanie elementów w zespoły i łatwą zmianę parametrów całych zespołów układów optyczno - świetlnych. W przykładzie przedstawiono globalny układ współrzędnych kartezjańskich $Ox_0x_1x_2$, który zawiera powierzchnię O_0 oraz lokalny układ współrzędnych kartezjańskich $O'x'_0x'_1x'_2$, który zawiera powierzchnię O_z . Modyfikując położenie układu współrzędnych $O'x'_0x'_1x'_2$, modyfikujemy jednocześnie położenie powierzchni O_z (rys. 6) [7].



Rys. 6. Modyfikacja układu współrzędnych.
Fig. 6. Modification of the coordinate system.

Aby zwiększyć elastyczność tworzenia modelu układu optyczno-świetlnego zakłada się, że każdy lokalny układ współrzędnych kartezjańskich $Ox_0x_1x_2$, może (rekurencyjnie) zawierać w sobie następny lokalny układ współrzędnych kartezjańskich $O''x''_0x''_1x''_2$. Inaczej mówiąc, każdy lokalny układ współrzędnych kartezjańskich może zawierać zero, jeden lub więcej lokalnych układów współrzędnych kartezjańskich. Jednocześnie każdy lokalny układ współrzędnych kartezjańskich może zawierać zero, jeden lub więcej elementów optyczno-świetlnych modelowanego układu. Zastosowanie lokalnych układów współrzędnych daje możliwość grupowania elementów w zespoły i poprzez zmianę kilku parametrów lokalnego układu zmieniamy położenie

wszystkich zawartych rekurencyjnie w układzie elementów. Dodatkowo możemy tworzyć biblioteki gotowych zespołów elementów i umieszczać je dowolnie w tworzonym modelu. Definiowanie powierzchni odbłyśnika polega na określeniu zbioru wycinków powierzchni elementarnych. Powierzchnia odbłyśnika jest sumą wszystkich zdefiniowanych powierzchni elementarnych. Zakłada się, że użytkownik definiuje dwa rodzaje powierzchni elementarnych:

- wycinek powierzchni zdefiniowanej w lokalnym układzie współrzędnych,
- powierzchnię łączącą dwa łuki, będące krawędziami powierzchni określonej w lokalnym układzie współrzędnych

Aby zdefiniować powierzchnię elementarną należy najpierw zdefiniować lokalny układ współrzędnych, ponieważ wszystkie powierzchnie definiuje się w lokalnych układach współrzędnych kartezjańskich.

Zakłada się, że dany jest zbiór punktów przestrzeni \mathfrak{R}^3 definiujących powierzchnię dyskretną:

$$B = \{X_k = [x_{k0}, x_{k1}, x_{k2}] \in \mathfrak{R}^3 : k = 1, 2, \dots, n\} \quad (19)$$

Dodatkowo zakładamy, że każdy punkt jest wierzchołkiem co najmniej jednego trójkąta lub czworokąta. Mamy, zatem zbiór indeksów definiujących kolejne wierzchołki trójkątów:

$$T_t = \{T_{ti} = (k_{0i}, k_{1i}, k_{2i}) : 1 \leq k_{0i} \leq n, 1 \leq k_{1i} \leq n, 1 \leq k_{2i} \leq n, i = 1 \dots n_t\} \quad (20)$$

oraz zbiór indeksów definiujących kolejne wierzchołki czworokątów:

$$T_c = \{T_{ci} = (k_{0i}, k_{1i}, k_{2i}, k_{3i}) : 1 \leq k_{0i}, k_{1i}, k_{2i}, k_{3i} \leq n, i = 1 \dots n_c\} \quad (21)$$

Każda trójka indeksów $T_{ti} \in T_t$ wyznacza współrzędne trójkąta:

$$W_t = \{W_{ti} = (W_{k_{0i}}, W_{k_{1i}}, W_{k_{2i}}) : (k_{0i}, k_{1i}, k_{2i}) = T_{ti} \in T_t, i = 1 \dots n_t\} \quad (22)$$

a każda czwórka indeksów $T_{ci} \in T_c$ wyznacza współrzędne czworokąta:

$$W_c = \{W_{ci} = (W_{k_{0i}}, W_{k_{1i}}, W_{k_{2i}}, W_{k_{3i}}) : (k_{0i}, k_{1i}, k_{2i}, k_{3i}) = T_{ci} \in T_c, i = 1 \dots n_c\} \quad (23)$$

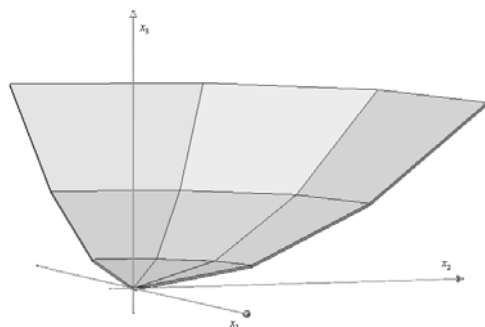
Dla każdego $i = 1 \dots n_t$ znamy współrzędne trójkąta, więc możemy wyznaczyć funkcję \vec{f}_{ti} wraz z dziedziną D_{ti} określoną następującym wzorem:

$$F_t = \{(\vec{f}_{ti}, D_{ti}), i = 1 \dots n_t\}.$$

Dla każdego $i = 1 \dots n_c$ znając współrzędne czworokąta możemy wyznaczyć funkcję \vec{f}_{ci} wraz z dziedziną D_{ci} określoną wzorem: $F_c = \{(\vec{f}_{ci}, D_{ci}), i = 1 \dots n_c\}$.

Jeżeli przyjmiemy oznaczenie $F_{tc} = F_t \cup F_c$, to mając zbiór punktów pozostaje zdefiniowanie lokalnego układu współrzędnych kartezjańskich – jednego dla wszyst-

kich powierzchni należących do zbioru F_{tc} . Na rysunku 7 przedstawiono powierzchnię opartą o dyskretne wycinki trójkątne i czworokątne.



Rys. 7. Powierzchnia odbłyśnika projektora oparta o dyskretne wycinki trójkątne i czworokątne.

Fig. 7. The surface of the projector reflector is formed by the triangles and rectangles.

Modelowany układ optyczno-świetlny rozważanego projektora samochodowego można opisać jako zbiór różnego rodzaju powierzchni. Każda z nich jest zdefiniowana w lokalnym układzie współrzędnych: $O_b = \{S_b^i : i = 1, 2, \dots, N_b\}$.

Aby zdefiniować powierzchnię należy określić lokalny układ współrzędnych oraz podać funkcję $\vec{f}(e_0, e_1) : D \rightarrow \mathcal{R}^3$ opisującą kształt powierzchni wraz z dziedziną funkcji $D \subset \mathcal{R}^2$ „wycinającą” interesujący nas jej fragment. Można przyjąć, że definiowanie wielokąta ograniczającego jest równoważne definiowaniu dziedziny D . Przedstawiono koncepcję modelu odbłyśnika opartego o zbiory powierzchni elementarnych oraz powierzchni łączących. Stanowią one podstawę modelu samochodowego projektora oświetleniowego.

5. Podsumowanie

Przedstawione metody obliczeń świetlnych samochodowych projektorów oświetleniowych pokazują, iż zagadnienie jest złożone i wynika głównie ze złożoności kryteriów projektowania. Kryteria te oparte o wymagania świetlne nakazują projektować urządzenia, które będą spełniać wymagania zarówno dla pojazdów poruszających się po drogach, jak również nie będą przyczyną ograniczenia jakości widzenia dla innych użytkowników ruchu drogowego.

Takie wymagania dotyczą przede wszystkim projektorów światła mijania. Te przeciwstawne wymagania stanowią o trudności modelowania wiązek świetlnych o złożonym kształcie. Metody obliczeń polegające na wyznaczaniu podstawowych wielkości, jak: światłość maksymalna, rozwartość wiązki świetlnej, są oczywiście nie przydatne w procesie projektowania samochodowych urządzeń oświetleniowych. Należy stwierdzić, iż współczesne metody obliczeniowe, oparte o techniki komputerowe,

stworzyły podstawy do opracowania metod specjalistycznych. Polscy specjaliści mają w tym zakresie znaczące osiągnięcia, które zostały przybliżone w niniejszej pracy.

Literatura

- [1] MAZUR J. W.: *Modelowanie urządzeń samochodowej techniki świetlnej*. Wyd. Inst. Technologii Eksploatacji, Radom 2002.
- [2] MAZUR J.: *Teoretyczny model samochodowego projektora oświetleniowego z odbłyśnikiem elipsoidalnym o symetrii obrotowej*. Archiwum Elektrotechniki PAN, Tom XVIII, Zeszyt 4, s. 705-719. Warszawa 1994.
- [3] MAZUR J.: *Light distribution calculations of the vehicle headlamps with MPL discharge source of light*. Archiwum Elektrotechniki PAN, Nr 3, vol. XLVII. PWN. Warsaw, Poland 1998.
- [4] KUSCH O.: *Computer – aided optical design of illuminating and irradiating devices*. “Aslan” Publishing House, Moskwa 1993.
- [5] MAZUR J. W.: *Modelling and calculations of FF automotive ellipsoidal asymmetrical headlamps with MPXL discharge lamps*. SAE Transaction 2003, Detroit 2003.
- [6] MAZUR J., WILK J.: *Simulated calculation method for determining the geometric parameters of automotive headlamps*. Przegląd Elektrotechniczny Nr 5/2007. Warszawa 2007.
- [7] WILK J.: *Discrete model of vehicle reflector. Dyskretny model odbłyśnika samochodowego - in Polish*. Dissertation in Warsaw University of Technology. Warsaw, Poland 2004.

Computer designing of automotive lighting technology devices

S u m m a r y

The methods of optical calculations related to general optical settings do not require consideration of complex blocks of light. There was been determining the theoretical parameters of the light distribution standing the basis meaning for the illuminated space. In the case of the lighting of the vehicle, the light distribution of the reflectors is very important for the quality of vision and implicates the safety of the traffic on the roads. Using computational techniques, many calculation methods have been developed which enables to make models of the light-optical systems precisely in conceptual and preparing theoretical models phases. This paper concentrates on describing the complex systems applied in automotive techniques.