

REFLEKTORY ŚWIATEŁ MIJANIA A MOŻLIWOŚCI OCENY PRZESZKÓD DROGOWYCH PRZEZ KIEROWCĘ PODCZAS JAZDY W NOCY

TOMASZ TARGOSIŃSKI¹, YANDAN LIN²

Instytut Transportu Samochodowego
Fudan University Shanghai

Streszczenie

Światła mijania są najczęściej używane ze względu na warunki ruchu drogowego. Z powodu konieczności ograniczenia oślnienia światła te mają podzieloną wiązkę świetlną na dwie części: dolną czyli „światło”, która ma za zadanie prawidłowo i możliwie daleko oświetlić drogę i górną czyli „cień” której zadaniem jest sygnalizowanie obecności na drodze pojazdu znajdującego się w ruchu. Światła te powinny być precyzyjnie ustawione w celu uzyskania maksymalnego zasięgu oświetlanej drogi przy ograniczonym oślnieniu.

Minimalne wymagania dotyczące światel mijania zawarte są w przepisach homologacyjnych i eksploatacyjnych. Przyjmując zakres dopuszczalnych tolerancji ustawienia określonych w regulaminie Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ nr 48 zasięg oświetlanej drogi może zmieniać się od 20 m do 200 m. Uwzględniając tolerancje eksploatacyjne ustawienia światel przedział zmian jest jeszcze większy. Natomiast wartości parametrów fotometrycznych wiązki świetlnej w pobliżu drogi są pochodną tych wymagań oraz parametrów fotometrycznych rzeczywistych reflektorów zainstalowanych na pojeździe oraz rzeczywistego ustawienia światel.

W przypadku eksploatacji samochodu ważny jest rzeczywisty zasięg oświetlenia drogi ze względu na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Jest on także istotny w przypadku potrzeby rekonstrukcji wypadków. W artykule przeanalizowano czynniki wpływające na zasięg oświetlenia drogi jako podstawowy czynnik zauważenia przeszkód z uwzględnieniem pomiarów i obliczeń dla rzeczywistych reflektorów spotykanych na pojazdach oraz możliwych wartości pochylenia i odchylenia wiązki świetlnej. Przedstawiono także wnioski wynikające z oceny obecnego stanu przepisów i stosowanych technologii.

Słowa kluczowe: światła mijania, oświetlenie drogi, bezpieczeństwo ruchu drogowego

1. Wstęp

Statystyki wypadków pokazują, że ryzyko wypadku w okresie świtu, zmierzchu i po zapadnięciu zmroku jest ok. 2-krotnie większe niż w ciągu dnia. Co więcej ryzyko śmierci

¹ Instytut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, e-mail: tomasz.targosinski@its.waw.pl, tel. 22 438 51 57

² Fudan University Shanghai, 220 Handan Road, Shanghai 200433, China, e-mail: ydlin@fudan.edu.cn

gdy już dojdzie do wypadku jest ok. 4-krotnie większe niż za dnia. Znacząca liczba tych wypadków to najechanie na pieszego lub przeszkodę. Natomiast w statystykach przyczyny są podobne jak za dnia: wymuszenie pierwszeństwa, nadmierna prędkość, alkohol itp. Przyczyny wypadków określone przez specjalistów w postaci wad oświetlenia zajmują znikome miejsce. Wynika to z tego, że czynnik bezpieczeństwa związany z oświetleniem jest trudny do jednoznacznej oceny i weryfikacji. Funkcjonuje przekonanie, że jeżeli pojazd miał ważne badania techniczne w chwili wypadku to wystarczająco dobrze świecił drogę, a więc odpowiedzialny jest człowiek, który nie „dostosował prędkości do warunków ruchu” lub inny pozatechniczny czynnik. Szczegółowa analiza konkretnych wypadków w nocy może jednak wskazywać, że właściwości oświetlenia pojazdu mogą odgrywać znaczącą rolę, szczególnie rzeczywisty zasięg oświetlanej drogi odpowiedzialny za wystarczające wczesne zauważenie przeszkód. Dlatego oświetlenie pojazdów słusznie uważane jest jeden z ważniejszych elementów zapewnienia czynnego bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Określenie „reflektory samochodowe”, zwane też czasami światłami „głównymi”, lub „projektorami” samochodowymi będzie tu używane w znaczeniu oprawy oświetleniowej służącej do wysyłania odpowiedniej wiązki światła (mijania, drogowego, przeciwmgłowego itd.) w kierunku drogi przed pojazdem. Są to:

- Światła drogowe – używane w warunkach braku na drodze pojazdów poprzedzających i nadjeżdżających z przeciwka;
- Światła mijania używane w pozostałych sytuacjach;
- Światła przeciwmgłowe przednie w przypadku występowania złych warunków atmosferycznych.

Ponadto mogą być stosowane rozwinięte wersje tych światel tj. adaptacyjne światła mijania (AFS) i automatyczne oraz adaptacyjne światła drogowe (ADB).

2. Wypadki w nocy

Co jakiś czas opinia publiczna dowiadyuje się wypadkach drogowych z ofiarami śmiertelnymi, które mają miejsce po zapadnięciu zmierzchu. Ogólnodostępne informacje medialne są zwykle dość ogólne. Poniżej przedstawiono kilka przykładów.

26.12.2013 r. do wypadku drogowego doszło w miejscowości Promna Kolonia na trasie numer 7 w kierunku do Warszawy. Pod rozpędzone auto wpadł 45 - letni mężczyzna. Następnie przejechało po nim aż pięć kolejnych aut. Do wypadku doszło ok. godziny 17:00, a więc po zapadnięciu zmierzchu. Nie wiadomo skąd mieszkaniec jednej z pobliskich miejscowości znalazł się w miejscu, gdzie jechał sznur rozpędzonych samochodów. Pieszy został najpierw potrącony przez samochód Audi Q7, a potem przejechany przez kolejne samochody. Szczątki pieszego rozrzucone były na odcinku 200 metrów.[1]

Na drodze nr 51 na odcinku Olsztyn - Olsztynek 23.01.2014 r. doszło do wypadku, w którym ranna została jedna osoba. Do wypadku doszło około godz. 7:00 rano (przed wschodem słońca) w pobliżu miejscowości Miodówko. Ze wstępnych informacji wiadomo, że

VW Passat uderzył w tył naczepy samochodu ciężarowego, który stał na pasie drogowym. Ciężarówka miała awarię. W wypadku ciężko ranny został 41-letni kierowca samochodu osobowego. [2]

Okolo godziny 23:00 dn. 24.07.2014 r. doszło do wypadku w miejscowości Jadowniki (woj. małopolskie). Ze wstępnych ustaleń wynika, że samochód osobowy Fiat Panda najpierw uderzył w przechodzące przez jezdnię dziki. W efekcie pojazd znalazł się na przeciwnym pasie ruchu i zderzył czołowo z samochodem ciężarowym. Na miejscu zginęły trzy osoby, które podróżowały samochodem osobowym, w tym kobieta w ciąży (łącznie 4 osoby). [3]

18.08.2014 r. ok. godz. 22:30 kobieta została przejechana przez dwa (lub trzy?) samochody osobowe. Wyniki sekcji zwłok wskazują, że przyczyną śmierci kobiety było potrącenie. Z relacji świadków wynika, że w miejscu tragedii wcześniej stał samochód. Świadek opowiedział o samochodzie i kilku osobach, które stały obok auta i wyglądały na zdenerwowane. Możliwe, że kierowca tego auta potrącił lub również najechał na leżącą na jezdni kobietę. Obrażenia wskazują, że zanim kobieta została przejechana przez dwa auta, szła, a potem została potrącona. Ze wstępnych ustaleń wynika, iż kierująca Renault Laguną na łuku drogi została oślepiona światłami jadącego z przeciwka samochodu. Wtedy najechała na leżącą na ziemi osobę zahaczając ją zderzakiem. Po chwili jadący za Laguną kierowca Rovera widząc całe zdarzenie usiłował ominąć leżącą na jezdni osobę, ale uderzył kobietę zderzakiem. Kierowcy zatrzymali się na miejscu zdarzenia. Oboje byli trzeźwi. Ofiara wypadku ubrana była w ciemne spodnie jeansowe, ciemnobrązowy sweter, kamizelkę skóropodobną (przód, tył z materiału), czarne buty. Zdarzenie miało miejsce w pobliżu skrzyżowania. Obok jezdni, oddzielony trawnikiem, znajdował się chodnik i ścieżka rowerowa. [4]

W tego typu wypadkach, które wydarzyły się po zmroku, kluczowym problemem jest to, że kierujący nie zauważyli odpowiednio wcześniej osób (obiektów), gdy droga była oświetlona jedynie reflektorami samochodowymi. Z warunków ruchu wynika, że najczęściej mogą być używane światła mijania, stąd zasięg oświetlenia drogi światłami mijania ma decydujące znaczenie. Działają też dodatkowe czynniki związane z percepcją wzrokową takie jak sposób i stopień odbijania światła przez obiekt (kolor ubrania pieszego, posiadanie lub brak elementów odbłaskowych, ich właściwości i sposób noszenia, kolor futra zwierząt, rozmiary zwierzęcia), stan wzroku kierującego, oraz możliwość ewentualnego olśnienia (oślepienia).

Częstokroć w przypadku takich wypadków współistnieją dodatkowe okoliczności, jak ta czy np. pieszy znalazł się w miejscu, w którym kierujący tego nie oczekiwał (np. mógł mieć takie przesłanki na drodze ekspresowej), ale nie będziemy ich tutaj analizować.

3. Aspekty prawne

Gdy wypadek już się wydarzy powstaje problem ustalenia osób (lub czynników) odpowiedzialnych za zdarzenie i określenie konsekwencji tj. jak ukaranie winnych, kwestie ubezpieczenia, odszkodowania dla ofiar itd.

Przy rekonstrukcji wypadków, w których znaczenie ma widoczność w świetle reflektorów istotnych jest kilka elementów. M. in.:

- Prędkość z jaką porusza się pojazd.
- Konieczność używania odpowiednich świateł „oświetlających”: tj. drogowych, mijania lub przeciwmgłowych przednich odpowiednio do sytuacji na drodze.
- Stan techniczny świateł.

Jeżeli wszystkie powyższe czynniki są adekwatne do sytuacji, to – przynajmniej teoretycznie – nie powinno dojść do wypadku. Oczywiście przy założeniu, że nie pojawią się inne okoliczności, jak np. niespodziewane wtargnięcie pieszego przed nadjeżdżający pojazd, zaśnięcie kierującego itd. Jeżeli jednak przyjrzeć się bliżej trzem powyższym elementom to można zauważyć, stosunkowo złożoną sytuację, w której prędkość i droga zatrzymania pojazdu powinny być mniejsze niż odległość z której kierujący zauważy i rozpozna przeszkodę oświetlona światłami własnego pojazdu w danych warunkach (właściwości świateł i obiektu). Sytuacja ta jest trudna do prostych i jednoznacznych rozstrzygnięć.

Warto mieć w świadomości dane, które mówią, że przy prędkości 70 km/h w ok. 90% przypadków droga zatrzymania (wraz z czasem reakcji kierującego) na drodze pozamiejskiej w nocy jest dłuższa od odległości widzenia.

Prędkość jest zawsze bardzo istotnym czynnikiem, ze względu na to, że zarówno możliwość zatrzymania pojazdu przed przeszkodą jak i skutki zderzenia zawsze są funkcją prędkości. Jednak kryteria zachowania bezpiecznej prędkości są dużo bardziej skomplikowane.

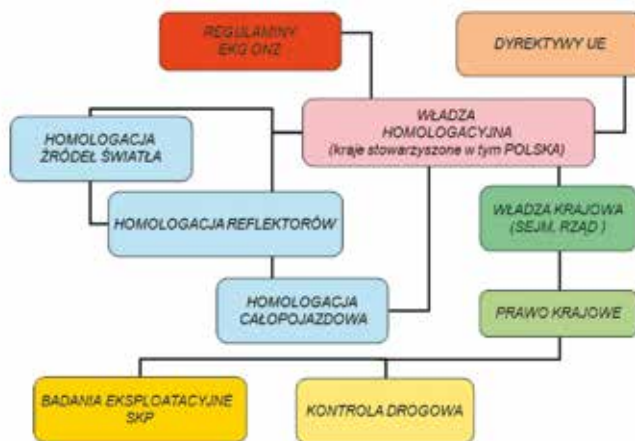
Kierujący jest zobowiązany do dostosowania prędkości do warunków drogowych [5]. W praktyce może się kierować przepisami określającymi dopuszczalną prędkość na danej kategorii drogi oraz odczuciem, że prędkość jest adekwatna do zasięgu widoczności i bezpieczna. To zwykle efekt osobistego doświadczenia, bo w trakcie kursów nauki jazdy nie są podawane żadne jednoznaczne kryteria, z których mogłaby wynikać konkretna wartość liczbowa bezpiecznej prędkości. Jedyne wartości liczbowe określone w przepisach [6] to minimalne odległości na jakie światła mijania (40 m) i drogowe (100 m) powinny oświetlać drogę przy dobrej przejrzystości powietrza. Jak zostanie dalej pokazane rzeczywiste wartości tej odległości są w istocie bardzo różne i zależą m.in. od właściwości i stanu konkretnych reflektorów danego pojazdu. Jeżeli ustawodawca nie ogranicza dopuszczalnych prędkości w nocy w sposób szczególny w stosunku do dnia, a na reflektory samochodowe (podobnie jak na hamulce) nakłada określone wymagania techniczne, które są okresowo kontrolowane, to kierujący może domniemywać, że przy rozwijaniu dozwolonej prędkości powinien móc zobaczyć przeszkodę wystarczająco wcześniej aby zdążyć przed nią zatrzymać pojazd. Aby zweryfikować takie ogólne podejście do powyższego zagadnienia warto przeanalizować zagadnienie właściwości oświetlających reflektorów i zasięgu drogi nimi oświetlanej oraz możliwości zauważenia i rozpoznania przeszkód.

Oczywiste jest, że najlepsze, choć zróżnicowane w zależności od pojazdu i konstrukcji technicznej, oświetlenie drogi zapewniają światła drogowe. Jednak możliwość ich użycia jest mocno ograniczona, ze względu na warunki ruchu, który rzadko jest taki, że nie występują w zasięgu świateł oczy innych użytkowników dróg, którzy bezpośrednio lub pośrednio (lusterka wsteczne pojazdów) są narażeni na olśnienie.

W przypadku używania jedynie świateł przeciwmglowych przednich można zauważyć, że poprawiają one widoczność w stosunku do świateł mijania jedynie przy bardzo gęstej mgle. To oznacza skądinąd konieczność bardzo zdecydowanego ograniczenia prędkości w związku z brakiem możliwości dostrzegania czegokolwiek w większej odległości nawet – poniżej 30 km/h. Także praktyczne skutki ewentualnych wypadków przy takich prędkościach będą relatywnie niewielkie, tym bardziej, że zasięg oświetlanej drogi będzie ograniczony mgłą, a nie właściwościami świateł. Ponadto sytuacje kiedy występuje bardzo gęsta mgła, przy której światła przeciwmglowe mogą być optymalnym oświetleniem są stosunkowo rzadkie w klimacie Polski. Inną kwestią jest to, że aby światła przeciwmglowe przednie dały zauważalne polepszenie widoczności podczas gęstej mgły w stosunku do świateł mijania powinny być bardzo precyzyjnie ustawione.

Z powyższego wynika, że zdecydowana większość ruchu drogowego po zapadnięciu zmierzchu odbywa się przy wykorzystaniu świateł mijania, dlatego będą one głównym elementem naszego zainteresowania, a rozstrzygnięcie jakiego rodzaju świateł w danych okolicznościach powinien używać kierujący najczęściej nie nastęrczy większych wątpliwości. W przypadku nieuprawnionego użycia świateł drogowych może mieć miejsce oślepienie, przy czym co do zasady dotyczy ono innych uczestników ruchu. Stąd jeżeli ktoś nieprawidłowo użył tych świateł i to doprowadziło do zdarzenia drogowego, to najczęściej pozostanie niezidentyfikowany, bo odjechał, nie zauważając zdarzenia, które rozgrywa się zwykle chwilę później pomiędzy innymi uczestnikami ruchu. Natomiast problematyczne jest udowodnienie takiego nieprawidłowego użycia świateł drogowych przez oślepionych tymi światłami. Z tych samych powodów trudne jest wykazanie oślepienia np. źle ustawionymi światłami mijania lub wyposażonymi w niewłaściwe źródło światła.

Ważnym prawnym aspektem są wymagania techniczne stawiane światłom i sposób zapewnienia ich spełnienia. Na rys. 1. przedstawiono zarys struktury tworzenia i stosowanie wymagań prawnych dotyczących reflektorów samochodowych.



Rys. 1. Struktura wymagań dotyczących reflektorów samochodowych

Generalnie funkcjonują dwa poziomy regulacji:

- Homologacyjny, któremu muszą odpowiadać podzespoły i całe pojazdy produkowane w wytwórniach.
- Eksploatacyjny, dotyczący warunków, które muszą spełniać lampy na pojazdach aby było one dopuszczone okresowo do eksploatacji, m in. poprzez badanie w stacjach kontroli pojazdów.

Oba te systemy, choć ściśle powiązane, odmiennie definiują wymagania. Wymagania homologacyjne obowiązujące w Polsce i pozostałych krajach Unii Europejskiej oparte są o system regulaminów homologacyjnych Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ [7]. W przypadku reflektorów samochodowych dotyczą trzech poziomów konstrukcyjnych: źródeł światła [8, 9, 10], reflektorów [11, 12, 13, 14] oraz zamocowania ich na pojeździe wraz z wymaganiami ustawienia początkowego i poziomowania [15, 16].

Pierwotnie wymagania homologacyjne dla reflektorów (światel mijania i drogowych) zostały zdefiniowane w zależności od stosowanego źródła światła. W Regulaminie nr 1 EKG ONZ (Reg. Nr 1) [17] określono wymagania dla reflektorów z klasyczną niskonapięciową żarówką dwuwłóknową, jedyną dostępną w tamtym czasie (1958 r.). Kilkanaście lat później dla reflektorów z halogenową żarówką jednowłóknową wymagania określono w [18], a dla reflektorów z halogenową żarówką dwuwłóknową w [19]. W latach 90-tych XX w. wprowadzono kolejne rozwiązanie w postaci reflektorów z gazowym wyładowczym źródłem światła (pot. „ksenony”), dla którego wymagania homologacyjne zawarte są w [12]. Na tym etapie do legalnego użytkowania na pojazdach dopuszczone zostały aż trzy różni jakościowo rozwiązania bez żadnych dodatkowych wymagań użytkowych (np. dopuszczalna prędkość w nocy). W pierwszej dekadzie XXI w. dokonano kolejnych zmian w odpowiedzi na rozwój techniczny. Tzw. „stare” wymagania zawarte w Reg. Nr 1, 8 i 20 scalono w [11] definiując 2 klasy wymagań A i B odpowiadające w przybliżeniu starym regulaminom dla żarówek zwykłych i halogenowych. Równolegle funkcjonuje [14] określający wymagania dla światel z symetryczną wiązką światel mijania, które mogą być stosowane w motocyklach. Kolejne zmiany to dopuszczenie do stosowania i wprowadzenie wymagań dla adaptacyjnych światel mijania (AFS) [13], a w ostatnich latach automatycznych oraz adaptacyjnych światel drogowych [13]. Te ostatnie mogą stanowić pewien przełom w filozofii oświetlenia drogi, choć jakość i precyzja definiowania wymagań i możliwość ich weryfikacji budzi wiele wątpliwości i można spodziewać się kolejnych niejednoznaczności w miarę rozwoju rynku tego rodzaju oświetlenia.

Źródła światła, które wg pierwotnych założeń miały być wymienne zostały skatalogowane w [8] (żarówki), [9] (gazowe lampy wyładowcze) i [10] (wymienne źródła światła LED). Ponadto możliwe jest konstruowanie reflektorów z niewymiennymi źródłami światła.

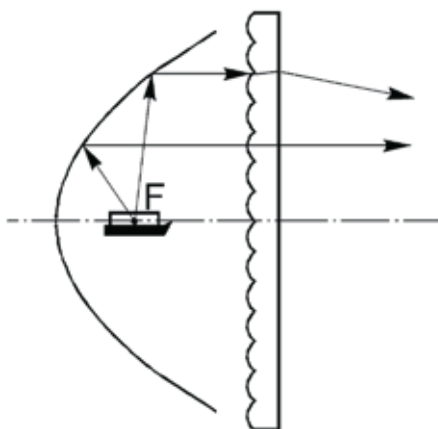
System eksploatacyjnego zapewnienia jakości światel (mijania) sprowadza się do ich ustawienia za pomocą przyrządu optycznego przy wykorzystaniu wzrokowej obserwacji granicy światła i cienia (GSC), która powinna być asymetryczna, tj wznosić się ku górze po prawej stronie. Kształt GSC został zdefiniowany w wymaganiach homologacyjnych, natomiast w warunkach badania eksploatacyjnego nie ma kryteriów jakości GSC. Nie są także badane właściwości wiązki świetlnej, poza jednopunktowym pomiarem światłości światel drogowych. W efekcie nie można odmówić dopuszczenia do ruchu pojazdu, jeżeli jego

reflektory świecą, ale nie wykazują ewidentnych nieprawidłowości zauważalnych wzrokiem, np. skorodowany odbłyśnik, silnie zmatowiały klosz.

4. Rozwój konstrukcji reflektorów samochodowych

Współczesne konstrukcje reflektorów samochodowych wykazują bardzo duże zróżnicowanie. Jak wspomniano wyżej możliwe jest stosowanie różnorodnych źródeł światła, a tylko w przypadku żarówek występuje kilkanaście kategorii możliwych do zastosowania w reflektorach, przy czym żarowe halogenowe źródła światła są nadal rozwijane. Najpopularniejsze żarówki halogenowe H7 dominują na rynku, drugie miejsce zajmują dwuwłóknowe żarówki H4. Wytwórcy źródeł wyładowczych także oferują kolejne kategorie. Oprócz „klasycznych” lamp D2S i D2R (35W/3000lm) pojawiły się źródła 25W/2000lm oraz źródła z zespoloną przetwornicą wysokiego napięcia [9]. Planowane jest wprowadzenie źródeł wyładowczych o zmiennej mocy do zastosowania w nowej generacji reflektorów bixenonowych.

Z historycznego punktu widzenia współczesna koncepcja reflektorów samochodowych powstała przed II Wojną Światową, ale pierwszego powszechnego uregulowania prawnego na rynku europejskim doczekała się w 1958 roku właśnie w ramach systemu EKG ONZ. Szczegółowy, dość prosty z technicznego punktu widzenia, sposób sformułowania wymagań został dostosowany do ograniczonych wówczas możliwości technologii wykonania reflektorów jak i metod ich badania. Żarówki dysponowały stosunkowo niewielkim strumieniem świetlnym ok. 500lm. Odbłyśniki wykonywano w kształcie paraboloidy obrotowej. Zasadę działania takiego reflektora przedstawiono na rys. 2., a przykładowe wykonanie na fot. 1.



Rys. 2. Paraboloidalna konstrukcja reflektora światła mijania. Żarówka z przesłonką - pokazano jedynie żarnik światła mijania

Konstrukcja paraboloidalna posiadała tę zaletę, że ze źródła światła (krótki żarnik żarówki niskonapięciowej) formowana była wiązka świetlna zbliżona do równoległej, nawet przy położeniu żarnika nieznacznie odchylnym od ogniskowego. Ponadto wytworzenie takiego odbłyśnika nie nastęczało trudności poprzez tłoczenie blaszanej kształtki na formie, której zarys uzyskiwano w wyniku obrotu wycinka paraboli. Taka formę następnie metalizowano. Stosunkowo proste były też obliczenia odbłyśników, co nie było bez znaczenia w czasach, gdy nie istniały relatywnie tanie i szybkie komputery. Ryflowany szklany klosz ze zbliżonymi do pryzmatycznych elementami rozpraszającymi światło ostatecznie kształtował wiązkę świetlną.

Reflektory tego typu, charakterystyczne, okrągłe lub ścięte prostokątne, spotykane jeszcze dzisiaj, przez wiele lat były jedyną dostępną konstrukcją i mocno utrwaliły wyobrażenie jak wygląda i działa reflektor samochodowy (fot.1.).



Fot.1. Przykład paraboloidalnej konstrukcji reflektora samochodowego

GSC była uzyskiwana przez zastosowanie przesłonki na żarniku odcinającej dolną część strumienia świetlnego. W żarówce zastosowano drugi żarnik bez przesłonki, znajdujący się dokładnie w ognisku optycznym, który umożliwiał wytworzenie światła drogowych.

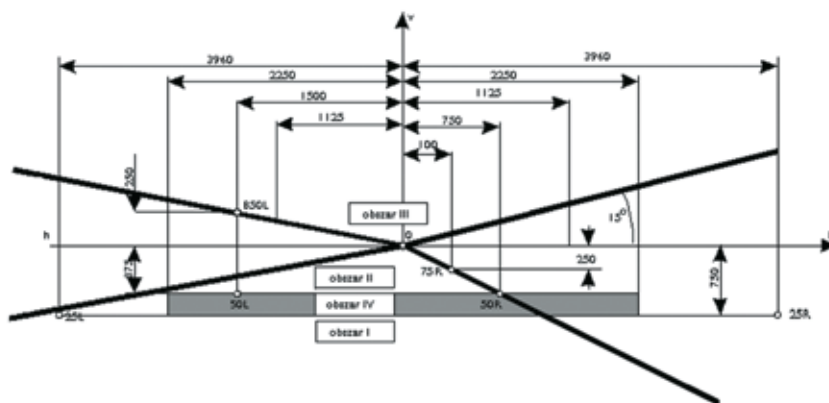
Swoboda kształtowania bryły fotometrycznej była ograniczona koniecznością rozproszenia części strumienia światła w kierunku poziomym oraz skierowania znacznej jego części w miejsce oczekiwanego maksimum światłości (okolice punktów homologacyjnych 50R i 75R). Strumień świetlny żarówek ograniczony technologicznie oraz energetycznie, dodatkowo był zmniejszony przesłonką służącą do odcięcia dolnej części strumienia świetlnego, który bez tego zabiegu po odbiciu od dolnej części odbłyśnika byłby wysyłany w kierunku oczu kierowców nadjeżdżających z przeciwka (powyżej horyzontu).

Ponieważ konstrukcja paraboloidalna miała wiele ograniczeń, a rozsył strumienia świetlnego był przewidywalny przyjęto, że sprawdzenie kilku punktów i obszarów charakterystycznych powinno zapewnić minimalne wartości oświetlenia w całym interesującym obszarze. To radykalne uproszczenie modelu matematycznego urządzenia oświetlającego, spełniającego jednak stosunkowo złożone zadanie, spowodowało daleko idące konsekwencje wiele lat później. Dodatkowym uzasadnieniem takiego wyboru były możliwości

pomiarowe ówczesnej aparatury. Fotoogniwo (np. selenowe) musiało mieć stosunkowo duże rozmiary (średnica rzędu 60 mm) w celu uzyskania wystarczającej czułości i korekty charakterystyki widmowej. Było przesuwane ręcznie na tle ekranu „pomiarowego” odległego od reflektora o 25m oświetlanego wiązką światła wysyłaną przez reflektor.

Zastosowane rozwiązanie miało istotną zaletę: pojedynczy uniwersalny reflektor z żarówką dwuwłóknową wytwarzał dwa rodzaje świateł (drogowe i mijania). Podział na światła drogowe i mijania stał się więc obowiązującą zasadą, której podstawą było ograniczenie wysyłania światła w obszarze, w którym mogły się znaleźć oczy uczestników ruchu narażone na ośnienie. Ze współczesnej perspektywy widać, że nie jest to rozwiązanie doskonałe i doczekało się następcy o zmienionej filozofii w postaci adaptacyjnych świateł mijania (AFS) i drogowych (ADB), których zasadą jest oświetlanie całego przestrzeni przed pojazdem za wyjątkiem miejsc, gdzie automatyczny czujnik (kamera z oprogramowaniem) wykryje (pośrednio) obecność oczu narażonych na ośnienie.

Wymagania fotometryczne dla świateł mijania zostały pierwotnie sformułowane dla ekranu prostopadłego do osi optycznej reflektora i warunków idealizowanych: pojedynczy reflektor zamocowany na wysokości 75 cm z płaszczyzną GSC (wyznaczoną przez poziomą część linii GSC) pochyloną w dół o 1%, linie odpowiadają prostoliniowemu odcinkowi drogi przed pojazdem. (Rys 3.).



Rys. 3. Układ punktów i obszarów ekranu pomiarowego dla świateł mijania [17]

Wymagania fotometryczne określono dla kilku punktów oraz całościowo dla wybranych obszarów ekranu. Spełnienie tych stosunkowo nieskomplikowanych wymagań dawało znaczące przesłanki oczekiwanego oświetlenia drogi, gdyż rozkład światłości był ograniczony i przewidywalny. Jeżeli udało się spełnić minimalne wymagania dotyczące oświetlanych miejsc, to nie pozostawało zbyt wiele strumienia świetlnego do dyspozycji.

Istotną wadą konstrukcji paraboloidalnej było to, że stosunkowo duża ilość światła była kierowana w obszar I, pomimo że nie była tam potrzebna, kosztem obszarów bliższych horyzontu, oświetlających drogę w większych odległościach.

Udoskonaleniem paraboloidalnej konstrukcji odbłyśnika było późniejsze wprowadzenie konstrukcji "dwuparaboloidalnej" (fot. 2.), która stała się prekursorem dla konstrukcji FF (ang. Free Form – swobodne pola).



Fot. 2. Reflektor „dwuparaboloidalny”

Dość oczywistą zasadą przyjętą od początku było stosowanie w reflektorach samochodowych wymiennych żarówek, które po pewnym czasie użytkowania (kilkaset godzin) przepalały się. Wymiennosc żarówek wymagała zachowania powtarzalności parametrów reflektora co, biorąc pod uwagę dużą precyzję przy kształtowaniu wiązki świetlnej, narzucało powtarzalność parametrów żarówek i ich pozycjonowanie w reflektorze. Zdefiniowano ich parametry geometryczne: rozmiary żarnika i położenie względem elementów ustalających położenie żarówki [8]. Dla żarówek wykorzystywanych do badania reflektorów podczas homologacji, podano bardzo precyzyjne wymagania „wzorcowe”. Dla żarówek masowej produkcji określono tolerancje kilkakrotnie większe od wzorcowych.

„Podwójne” tolerancje to kolejny pomysł dostosowany do „konstrukcji” reflektorów. Sposób formułowania wymagań oraz normowane parametry techniczne reflektorów i żarówek dostosowano do konkretnego rozwiązania technicznego. Przyjęto więc zasadę wymagań powiązanych „z konstrukcją”. Zasada powiązania wymagań „z właściwościami” jest bardziej pożądana, z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, bo w przypadku zmian konstrukcji czy pojawienia się nowych rozwiązań technologicznych nie prowadzi do paradoksu, że nowsze rozwiązania technologiczne spełniające „stare” wymagania mogą mieć wyraźnie gorsze, a czasem nieprzewidywalne właściwości.

Jednak pierwotnie nie oczekiwano takich skutków a regulacje prawne tego zagadnienia umożliwiały wytwarzanie żarówek i reflektorów. Trudno było bowiem dotrzymać „wzorcowych” tolerancji przy masowej produkcji albo wykonać reflektor, który z żarówką masowej produkcji spełniałby wymagania homologacyjne. W praktyce duże rozmiary odbłyśników paraboloidalnych powodowały, że odchyłki wiązki świetlnej w reflektorach masowej produkcji były z grubsza przewidywalne i niezbyt duże. Odchylenie wiązki świetlnej kompensowano ustawieniem całego reflektora, co stało się podstawą eksploatacyjnego „ustawiania światła”. To jednak nie przywracało całkowicie warunków badania homologacyjnego.

Przy zmniejszeniu rozmiarów reflektorów i zastosowaniu nowych „nieparaboloidalnych” konstrukcji problem tolerancji geometrycznych żarówek potrafi mieć znaczący wpływ na jakość i właściwości wiązki świetlnej w warunkach eksploatacyjnych i może znacząco pogarszać jego parametry oświetleniowe. Ponieważ nie jest to w żaden sposób sprawdzane więc umyka świadomości użytkowników świateł.

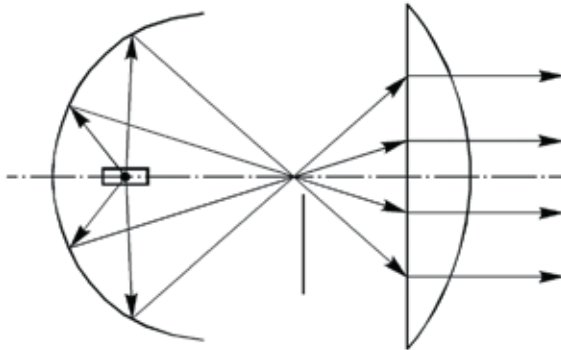
Mylące jest to, że obowiązujący system homologacyjnych wymagań fotometrycznych dla pionowego ekranu wydaje się obiektywnie odzwierciedlać „właściwości” reflektora jako że nie zawiera żadnych bezpośrednich odniesień do konstrukcji. Te odniesienia są natomiast ukryte w postaci wyboru układu współrzędnych (pionowy ekran) niewielu punktów pomiarowych i relatywnie dużych obszarów, które przetransformowane do powierzchni drogi nie odzwierciedlają rzeczywistego oświetlenia obiektów na drodze. Taki sposób definiowania do chwili obecnej budzi wiele niezrozumienia, także wśród specjalistów. Tym bardziej, że ze względu na czas użytkowania systemu homologacji - ponad 50 lat - wielu specjalistów „wychowało” się na takim systemie i traktuje go jako oczywisty, nie zastanawiając się jak powstał i jakie potrzeby spełniał na początku oraz jaki model matematyczny reprezentuje.

Do czasów obecnych konstrukcja reflektorów samochodowych przeszła znaczącą ewolucję, związaną z postępowaniem technologicznym. Dotyczy to zastosowania nowych, wydajniejszych źródeł światła oraz nowych metod projektowania i wytwarzania elementów kształtujących wiązkę światła, które pozwoliło nawet na kilkakrotny wzrost efektywności wykorzystania strumienia świetlnego źródła światła. Proces ten trwa i w przyszłości można spodziewać się jego dalszego rozwoju.

Pierwszym krokiem zmian było zastosowanie do oświetlenia reflektorowego żarówek halogenowych. Znacznie większy strumień świetlny przy podobnej mocy, mniejsze rozmiary i większa trwałość powodowały, że żarówka halogenowa była dużo lepszym źródłem światła możliwym do wykorzystania w reflektorze samochodowym. Pierwotnie zastosowano ją do sprawdzonej praktycznie konstrukcji paraboloidalnej z żarówką dwuwłóknową H4. Oświetlenie drogi poprawiło się zauważalnie. Pojawił się też problem – silniejsze oślnienie, które zostało stopniowo zaakceptowane, ale też zmniejszyło powszechne reagowanie na to zjawisko. Dziś bowiem wielokrotnie rzadziej spotyka się wzajemne sygnalizowanie oślnienia w warunkach drogowych niż miało to miejsce w przeszłości i większe tolerowanie oślepiania. Żarówki halogenowe rozpowszechniły się i obecnie są najpopularniejszym źródłem światła posiadając wiele niekwestionowanych zalet przy niskiej cenie.

Obowiązujący do tej pory Reg. Nr 1 [17, 11] dla żarówek „tradycyjnych” z mniejszymi wymaganiami pozostał nadal obowiązujący jako równoległa możliwość. Był to początek formalnej zgody na dwie różne jakościowo klasy reflektorów, które, w świetle obowiązującego prawa, na takich samych zasadach można było montować na pojeździe.

Wraz z postępowaniem technologicznym w ciągu następnych lat opracowano kolejne rozwiązania żarówek halogenowych jednowłóknowych i reflektorów. Poprawiono efektywność wykorzystania światła. Uzyskano to poprzez nową, „elipsoidalną”, konstrukcję reflektorów składającą się z odbłyśnika w kształcie elipsoidy obrotowej oraz soczewki skupiającej działającej podobnie do projektora obrazów (rys.4., fot. 3.).



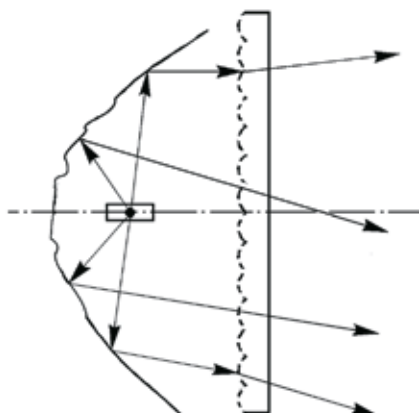
Rys. 4. Zasada optycznej konstrukcji elipsoidalnej reflektora



Fot. 3. Przykład reflektora elipsoidalnego

GSC jest w tym przypadku uzyskiwana przy pomocy metalowej przesłonki umieszczonej w pobliżu ogniska optycznego. Tego typu konstrukcja wymaga pojedynczego źródła światła (żarówka jednowłóknowa, lampa wyladowcza) i pierwotnie była przewidziana do wytwarzania światła mijania. Z czasem w reflektorach ksenonowych przy tej konstrukcji zastosowano ruchomą przesłonkę tworząc „zespolony” reflektor światła mijania i drogowego tzw. „biksenon”. W kolejnych latach rozwinięto konstrukcję FF (z ang. Free Form) (Rys. 5.).

Dzięki rozwojowi techniki komputerowego obliczania i modelowania powierzchni odbłyśników i wzrostowi mocy obliczeniowej komputerów stał się możliwy rozwój konstrukcji FF, w której sposób kształtowania wiązki świetlnej może być zupełnie dowolny. Jest ograniczony jedynie możliwościami budowy form wtryskowych odbłyśników i rozmiarami reflektora oraz inwencją twórczą projektanta. W konstrukcji tej, przy wykorzystaniu żarówki jednowłóknowej, zarówno górna jak i dolna część odbłyśnika może kierować światło na drogę poniżej horyzontu, co skutkuje znacznie bardziej efektywnym wykorzystaniem strumienia



Rys. 5. Zasada optycznej konstrukcji FF (ang. Free Form) reflektora

światelnego źródła światła. Stało się możliwe zdecydowanie silniejsze oświetlenie obszarów odległych od pojazdu na wprost, a także skierowanie wiązki światła bardziej na prawo i lewo od osi pojazdu, a przez to lepsze oświetlenie poboczy i zakrętów. Konstrukcja ta jest stosowana także przy wykorzystaniu tradycyjnych żarówek dwuwłóknowych (H4). Pozwala na bardziej optymalne skierowanie światła niż konstrukcja paraboloidalna.

Istotną cechą konstrukcji FF jest to, że nie ma żadnych ogólnych zasad opisujących powierzchnię odbłyśnika. Jest on kształtowany tak aby uzyskać końcowy rozsył wiązki świetlnej zaplanowany przez konstruktora. Dlatego zarówno wygląd zewnętrzny tego typu reflektora jak i charakterystyki świetlne mogą się znacznie różnić pomiędzy poszczególnymi rozwiązaniami. Możliwe są konstrukcje z płaskorównoległym (przejrzystym) kloszem. Spotyka się też (rzadziej) konstrukcje z ryflowaną szybą przednią. Przykładowe reflektory wykonane w technologii FF przedstawiono na fot. 4. i 5.



Fot. 4. Przykład konstrukcji reflektora samochodowego w technologii FF z żarówką dwuwłóknową H4. „Fasetowa” struktura odbłyśnika



Fot. 5. Przykład konstrukcji reflektora samochodowego w technologii FF z żarówką jednowłóknową. „Płynna” struktura odbłyśnika

Technika FF wkroczyła także do konstrukcji elipsoidalnej, gdzie odbłyśnik obecnie nie jest już elipsoidą, a soczewka także może być asferyczna lub przyjmować specjalne, nieregularne kształty, zwłaszcza w połączeniu z diodami LED.

Pomimo rozwoju konstrukcji reflektorów i żarówek halogenowych wymagania homologacyjne pozostały niezmienione. To oznacza, że współczesne reflektory świateł mijania dysponują wielokrotnie większym potencjałem w zakresie oświetlenia drogi niż ich poprzednicy, ale konstruktorzy nowoczesnego reflektora nie są zobligowani przepisami do jego optymalizowania. Dlatego wykorzystanie tego potencjału nie jest ani wymagane ani kontrolowane. Przy silnym wpływie stylistów na wygląd zewnętrzny pojazdów i polityce oszczędności kosztów na rynku dostępne są reflektory wyglądające bardzo podobnie, natomiast zdecydowanie różniące się właściwościami. Bywa tak np. w przypadku zamienników oryginalnych reflektorów. Możliwe jest także, że reflektory znacznie różniące się wyglądem i technologią wykonania mogą mieć podobne właściwości. Jedynym weryfikowanym kryterium – poza wewnętrznymi standardami niektórych producentów oryginalnych podzespołów – pozostaje spełnienie minimalnych wymagań homologacyjnych.

Konstrukcja elipsoidalna i jej odmiany pozwoliły znacznie zmniejszyć rozmiary reflektora, a ponadto uzyskać bardzo wyraźną i regularną GSC, co stało się ważnym argumentem na rzecz takiego rozwiązania, przy bardzo nieprecyzyjnym sposobie definicji GSC. Natomiast konstrukcja ta, zwłaszcza przy najprostszych realizacjach, posiada istotne mankamenty. Ze względu na aberrację chromatyczną jednosoczewkowego układu projekcyjnego reflektory takie mogą wysyłać w okolicy GSC światło barwne np. niebieskie, czerwone czy pomarańczowe, które to barwy są zarezerwowane dla określonych, innych celów sygnalizacyjnych. Ponieważ zapisy regulaminowe dostosowane były do konstrukcji paraboloidalnej metoda sprawdzania barwy oparta została na całkowaniu strumienia świetlnego. Nie diagnozuje więc opisanego problemu.

Podobny problem dotyczy oślnienia. Kryterium oślnienia jest – zgodnie z obowiązującymi wymaganiami – natężenie oświetlenia. Jednak o skali odczuwania oślnienia decyduje

nie tylko natężenie oświetlenia na oku kierowcy ale także kontrast widocznej powierzchni lampy, który jest powiązany zarówno z jej rozmiarami jak i luminancją. Na etapie opracowywania wymagań homologacyjnych konstrukcja paraboloidalna miała stosunkowo dużą powierzchnię klosza pokrytą elementami rozpraszającymi i zbliżoną do równoległej wiązkę świetlną wychodzącą z powierzchni reflektora. Tak więc luminancja obserwowanej powierzchni lampy była stosunkowo niska i równomierna oraz była prostą funkcją natężenia oświetlenia. W przypadku konstrukcji elipsoidalnej, gdzie średnica otworu wyjściowego jest rzędu 5 cm (w stosunku do ok. 20 cm – dla pierwotnej konstrukcji paraboloidalnej) poziom luminancji wzrasta kilku- kilkunastokrotnie. Dodatkowo „ostra” GSC podczas pokonywania wzniesień i przy kołysaniu pojazdu powoduje dokuczliwy efekt migotania, często barwnego. Efekty luminancyjne dla reflektorów FF są nieprzewidywalne i zależą od rozmiarów i ukształtowania powierzchni odbijającej światło (por. fot. 4. i fot. 5.).

Pojawienie się kolejnego, jeszcze bardziej wydajnego źródła światła (początek lat 90-tych XX wieku) – tj. wyładowczej lampy ksenonowej – spowodowało kolejne zmiany wymagań homologacyjnych, podobnie jak w przypadku wprowadzenia żarówek halogenowych. Aby ograniczyć oślnienie wprowadzono dodatkowo obowiązkowe układy automatycznego poziomowania i mycia szyb reflektorów. Światła ksenonowe dominują nad halogenowymi w zakresie oświetlenia drogi z powodu jeszcze większego strumienia świetlnego będącego do dyspozycji (3000 lm w stosunku do 1000÷1500 lm dla żarówek halogenowych). Kryteria oceny homologacyjnej nowego produktu [12] zostały opracowane na zasadach bardzo zbliżonych do tych istniejących. A więc zasięg oświetlanej drogi nie zwiększył się radykalnie z powodu niezmiennych warunków poziomowania GSC. Zwiększono jedynie liczbę punktów pomiarowych i podwyższono wymagane wartości fotometryczne. Natomiast stało się możliwe szersze oświetlenie drogi w bliższych odległościach od pojazdu co wpłynęło na komfort wzrokowy kierowców. Rynek zaakceptował to rozwiązanie pomimo dość wysokiej ceny, głównie do samochodów wyższej klasy.

Kolejnymi krokami rozwoju reflektorów było wprowadzenie na przełomie pierwszej i drugiej dekady XXI w. najpierw adaptacyjnych świateł mijania (AFS), a później automatycznych i adaptacyjnych świateł drogowych (ADB) [13], których istotą jest dostosowywanie wiązki świetlnej do warunków ruchu. Ponieważ wiązka świateł adaptacyjnych powinna dostosowywać się automatycznie do zmieniających się warunków poruszania pojazdu zostały zdefiniowane klasy i mody pracy. Ponadto określono funkcję świateł „zakrętowych” (ang. „bending mode”).

W [13] określono szczegółowo wiele elementów nowego systemu, jednak podstawowe założenia konstrukcji wymagań fotometrycznych dla świateł mijania nadal pozostały niezmienione w stosunku do poprzednich regulaminów.

W zakresie źródeł światła nowoczesnym rozwiązaniem są źródła światła LED emitujące światło barwy białej, uzyskiwane poprzez pobudzenie do świecenia luminoforu za pomocą półprzewodnikowego źródła światła monochromatycznego barwy niebieskiej lub ultrafioletowej. Najnowsze z nich to tzw. światła „laserowe” których zasada działania jest identyczna jak białych diod LED, natomiast różnica polega na tym, że emiter światła pobudzającego luminofor jest laserem półprzewodnikowym i może być fizycznie oddalony od luminoforowego emitera światła białego, co ułatwia odprowadzanie ciepła i pozwala na zwiększenie luminancji emitera przy zmniejszeniu jego wymiarów.

Podstawowe konstrukcje reflektorów wykorzystujących diody LED są podobne jak w przypadku żarówek, a więc odbłyśnikowa konstrukcja FF oraz konstrukcja quasi-elipsoidalna. Jednak możliwe jest zastosowanie innych rozwiązań, np. układów „wielokrotnych” małych „reflektorków” komponowanych w różnych konfiguracjach. Ponieważ diody LED emitują światło w półsfery, w odróżnieniu od żarówek i lamp wyładowczych emitujących je dookoła, możliwe stało się wykorzystanie prostszych i mniejszych gabarytowo układów optycznych np. odbłyśników działających pod kątem 90° w stosunku do osi diody LED oraz pojedynczych plastikowych soczewek sferycznych i asferycznych lub skomplikowanych układów optycznych wykorzystujących odbicie i załamanie światła wykonywanych z jednego kawałka odpowiednio ukształtowanego przezroczystego tworzywa sztucznego, z możliwością wykorzystania także elementów światłowodowych. W przypadku źródeł światła LED możliwe jest kształtowanie wielokrotnych, powtarzalnych układów o małych gabarytach, jak też układów projekcyjnych z wykorzystaniem matryc diod LED lub kombinacji obu tych możliwości m. in. do realizowania funkcji adaptacyjnych. Stąd możliwa jest bardzo duża różnorodność kształtów i układów takich reflektorów, a przez to osiąganie oryginalnego i zróżnicowanego wyglądu zewnętrznego pojazdu. Jest to obecnie bardziej kwestia wyobraźni i koncepcji stylistów niż możliwości technicznych czy właściwości reflektora, które od dawna przestały być powiązane z konstrukcją czy źródłem światła.

Technologia LED dała stylistom niewyczerpane źródło inspiracji i narzędzie kształtowania wyglądu zewnętrznego pojazdu. Z drugiej strony pozostawienie stosunkowo prosto sformułowanych i niewielkich liczbowo wymagań fotometrycznych skutkuje tym, że ze względów oszczędności kosztów, miejsca i energii oraz problemów z odprowadzaniem ciepła z elementów półprzewodnikowych, wiele z oferowanych „nowocześnie wyglądających” rozwiązań reflektorów samochodowych LED ma parametry znacznie gorsze od niedrogich rozwiązań halogenowych.

Oddzielnym problemem pozostaje problem starzenia się współczesnych reflektorów. O ile żarówki halogenowe aż do momentu przepalenia świecą w dość stały sposób, to lampy wyładowcze i diody LED stopniowo tracą skuteczność w sposób niezauważalny dla użytkownika, a moment konieczności ich wymiany na nowe łatwo może zostać przeoczony lub zignorowany zwłaszcza w świetle reklam producentów mówiących, że ich czas życia równy jest dłuższy niż pojazdu.

5. Zróżnicowane właściwości oświetlenia reflektorowego

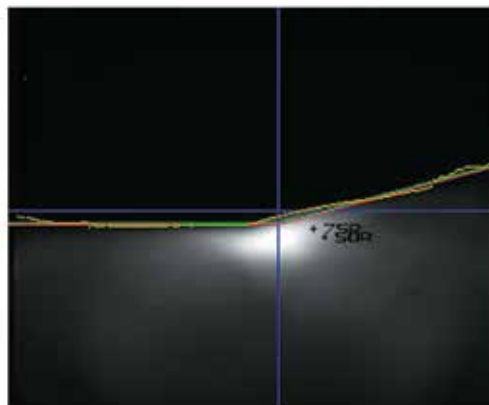
W wyniku procesu rozwoju technologii i wymagań normatywnych obecnie funkcjonują cztery podstawowe grupy kryteriów dotyczących świateł realizujących to samo zadanie w ruchu drogowym, tj. świateł mijania [11, 12, 14] i dwie nowe kategorie świateł adaptacyjnych [13]. W ramach każdej grupy możliwe jest skonstruowanie świateł o znacząco różnym rozsyle światłości. Renomowane firmy zajmujące się konstrukcją i produkcją samochodowych urządzeń oświetleniowych oferują realizacje reflektorów o dobrych właściwościach, z punktu widzenia jakości oświetlenia drogi. Chociaż jakość

ta jest często rozumiana subiektywnie. Przy ocenie jakości reflektorów najpierw trzeba znaleźć odpowiedź na pytanie, czy wiązka świetlna powinna sięgać dalej czy być szersza. To przekłada się na dwa dość proste, ale przeciwstawne kryteria, tzn. zasięg oświetlenia drogi i szerokość wiązki świetlnej. Jednocześnie do pojazdów tańszych lub o skomplikowanych, modnych, kształtach nadwozi mogą być instalowane reflektory nieznacznie przekraczające minimalne wymagania homologacyjne. Podobny efekt dotyczy zamienników dostarczanych przez konkurujących wytwórców. W efekcie po drogach poruszają się pojazdy, których reflektory, choć są przeznaczone do tego samego celu, a nawet wyglądające bardzo podobnie mogą oświetlać drogę w sposób istotnie różny. Kluczowe jest w tym przypadku to, że ani wygląd zewnętrzny, ani zastosowane źródło światła, ani cechy konstrukcyjne nie przesądzają o jakości i właściwościach konkretnego reflektora. W każdej technologii jest bowiem możliwość uzyskania dużej efektywności, a jednocześnie dokonywanie subiektywnych wyborów, które obszary i w jaki sposób będą oświetlone.

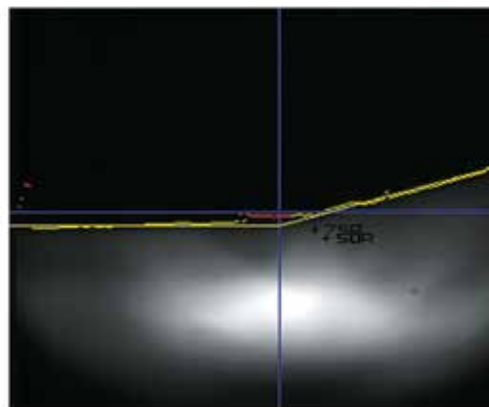
Zauważmy, że skutkiem tego może się zdarzyć, że kierowca pojazdu wyposażonego w „najsłabszy” rodzaj świateł, które też najmniej oślepiają, widzi najgorzej, a ponadto może być znacznie silniej oślepiany światłami wyższych generacji. Nie ma żadnych ograniczeń w stosowaniu różnych rodzajów świateł, jak choćby to najprostsze aby dopuszczalną prędkość pojazdu w nocy skorelować z właściwościami (generacją homologacyjną) świateł.

Na właściwości światła reflektorów w warunkach eksploatacyjnych wpływa także jakość wymiennych żarówek oraz wyładowczych (ksenonowych) źródeł światła. Wkrótce ten problem może dotyczyć także wymiennych źródeł światła LED, choć rozrzuty pomiędzy egzemplarzami reflektorów tego samego typu wyposażonych w niewymienne LED-y mogą także być znaczne. Wspomniana wyżej standaryzacja źródeł światła [8, 9, 10] i podział na wzorcowe i masowej produkcji przetrwał pomimo rewolucji w technologii wytwarzania reflektorów. O ile wpływ tolerancji żarówek masowej produkcji był w pierwszych konstrukcjach w pewnym zakresie przewidywalny i możliwy do częściowego skorygowania poprzez ustawienie reflektorów, o tyle w obecnych, bardzo skomplikowanych reflektorach wpływ ten nie jest kontrolowany. Zależy od wrażliwości konkretnej konstrukcji na tolerancje położenia geometrycznego i kształt emitera światła, np. żarnika żarówki.

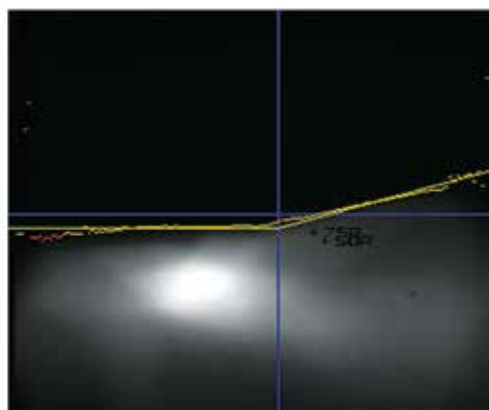
Konstrukcje elipsoidalne z reguły mają niewielki odbłyśnik, a więc ich wrażliwość na odchylenie położenia żarnika może być znaczna. Ponadto kształtowanie GSC dokonywane jest za pomocą przesłonki umieszczonej w torze biegu promieni świetlnych. W efekcie skutkiem odchyłek geometrycznych położenia żarnika żarówki może być znaczne odchylenie maksimum światłości od środka układu współrzędnych wyznaczonego położeniem GSC jak też istotne zmniejszenie wartości natężenia oświetlenia. Przykłady przedstawiono na rys. 6, 7 i 8.



**Rys 6. Wizualizacja GSC i wiązki świetlnej reflektora elipsoidalnego z żarówką wzorcową.
Maksimum światłości bliskie punktom 75R i 50R**



Rys 7. Wizualizacja GSC i wiązki świetlnej reflektora z rys. 6. z przypadkową żarówką masowej produkcji



Rys 8. Wizualizacja GSC i wiązki świetlnej reflektora z rys. 6. z przypadkową żarówką masowej produkcji inną niż dla rys. 7

W przypadku konstrukcji FF wpływ odchyłki położenia żarnika żarówki na rozkład światłości jest zdecydowanie trudniejszy do przewidzenia – zależy od konkretnego sposobu ukształtowania odbłyśnika, często powoduje zniekształcenie GSC utrudniając prawidłowe ustawienie. W przypadku reflektorów z diodami LED sytuacja jest analogiczna. W konstrukcjach o stosunkowo dużych gabarytach źródło światła LED zwykle ma niewielkie w stosunku do odbłyśnika rozmiary. Stąd rozsył wiązki świetlnej reflektora może być bardziej powtarzalny. Natomiast w układach z wieloma miniaturowymi odbłyśnikami czy soczewkami ten wpływ może być zauważalny, a nawet znaczący.

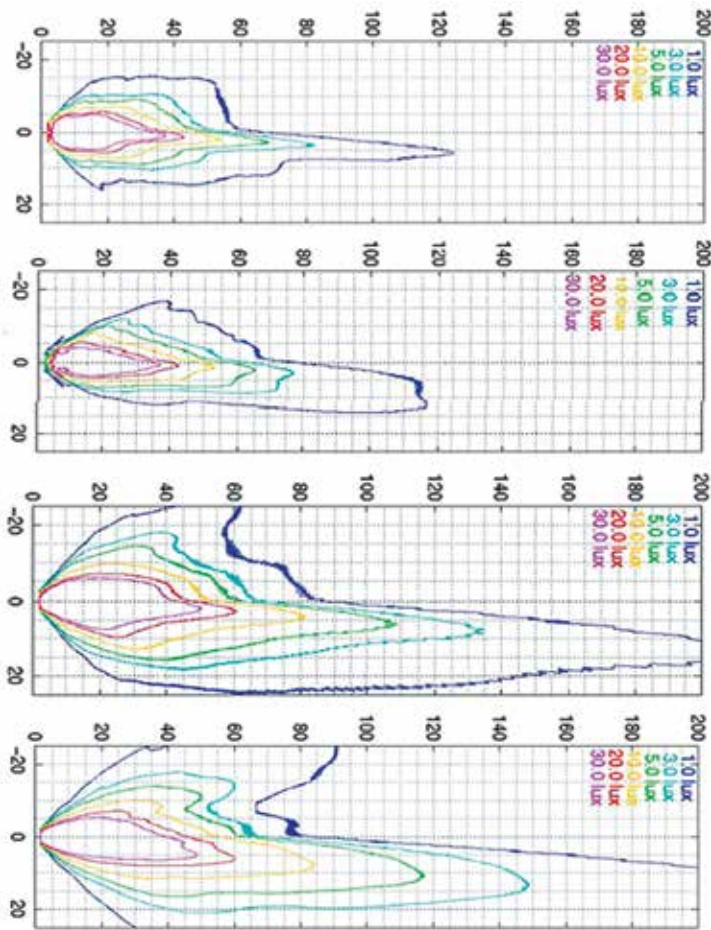
Warto zauważyć, że aby spełnić minimalne wymagania homologacyjne wystarczy w obszary określone w regulaminie homologacyjnym wyemitować strumień świetlny o wartości poniżej 200 lm. Żarówki halogenowe dysponują strumieniem od 1000 do 1500 lm. Oznacza to, że sprawność świetlna reflektora nie musi być zbyt wysoka, a jeżeli jest duża to sposób wykorzystania strumienia świetlnego wcale nie musi być optymalny.

Ponieważ brakuje innych, lepszych narzędzi i metod porównawczych używane są schematyczne porównania, zwłaszcza odniesione do źródła światła lub konstrukcji. Np. reflektor z żarówką H4 ze względu na budowę i strumień świetlny z pewnością nawet optymalnie zaprojektowany i wykonany będzie miał słabsze parametry od optymalnie skonstruowanego reflektora z żarówką H7. To jednak jeszcze nie oznacza, że każdy reflektor z żarówką H7 będzie lepszy od każdego z żarówką H4, choć prawdopodobieństwo takiej sytuacji jest znaczne. Natomiast w obiegowej opinii reflektor z żarówką H4 będzie gorszy. Co ciekawe, że ze względów stylistycznych w wielu droższych modelach pojazdów używane są żarówki H4.

Na rys.9. przedstawiono wykresy izoluksów pionowego natężenia oświetlenia na powierzchni drogi dla czterech różnych, fabrycznie nowych, homologowanych, nominalnie ustawionych reflektorów.

Można zauważyć zdecydowane różnice zarówno w zasięgu poszczególnych izoluksów w kierunku na wprost oraz w szerokości wiązki. Jednak przy obecnym systemie ocen reflektory te będą uważane za równoważne pod względem jakości jako posiadające homologację. Jak łatwo zauważyć ich właściwości znacząco się różnią, szczególnie w zasięgu i szerokości poszczególnych izoluksów. Jednak, co charakterystyczne, praktycznie wszystkie nieco na lewo od osi pojazdu wykazują zbliżony zasięg: dla izoluksy 1lx od ok. 55 m do 80 m i dla izoluksy 3lx od 45 m do 65 m. Wynika to obecności poziomego odcinka GSC i określonych wymagań zawartych w regulaminach homologacyjnych w zakresie ograniczenia oślnienia. Różnice są także pochodną różnic w wysokości zamocowania reflektorów. Ponadto w warunkach eksploatacyjnych dodatkowo będą podlegać wpływom ustawienia i poziomowania wynikającym m.in. ze zmian obciążenia pojazdu.

W praktyce istnieje potrzeba oceny i porównań oświetlenia zarówno na etapie wyboru przez nabywcę jak i dla celów technicznych, w tym do rekonstrukcji wypadków. Aby wiarygodnie ocenić jakość oświetlenia drogi, szczególnie zasięg, konieczne jest posiadanie wielu informacji. Szczegółowe charakterystyki wiązki świetlnej są podstawowymi danymi. Można je uzyskać poprzez badania fotogoniometryczne wykonywane w laboratoriach homologacyjnych i laboratoriach producentów oświetlenia. Badanie takie wymaga



Rys 9. Przykładowe wykresy izoluksów na powierzchni drogi przed pojazdem dla czterech różnych, homologowanych zespołów reflektorów (odległości w metrach od przodu i od osi podłużnej pojazdu) Ustawienie reflektorów nominalne. (Źródło: CIE TC4-45)

wymontowania reflektora z pojazdu, jest relatywnie czasochłonne i kosztowne, natomiast będzie pokazywać charakterystyki konkretnego reflektora wyposażonego w konkretny egzemplarz żarówki. W przypadku oceny reflektora po wypadku jest to mało atrakcyjna oferta zarówno z powodu ceny, ale także dlatego, że najczęściej reflektor jest uszkodzony lub zniszczony. Dodatkowym, istotnym czynnikiem wpływającym na zasięg oświetlanej drogi jest ustawienie reflektorów na pojeździe, a które może być trudne do zweryfikowania.

Alternatywą do laboratoryjnych badań fotogoniometrycznych jest wykorzystanie „Analizatora światła” [20] (fot. 6.), który pozwala na bardzo szybki pomiar (czas pomiaru poniżej 1 minuty) zarówno charakterystyk wiązki świetlnej jak i bardzo precyzyjny pomiar ustawienia wszystkich rodzajów światła.



Fot. 6. Widok „Analizatora świateł”

Pomiar dokonywany jest na pojeździe, bez wymontowywania lampy, a jego koszt jest niski.

6. Zasięg oświetlenia drogi

Zasięg oświetlenia drogi to pojęcie dość ogólne. Intuicyjnie jest to odległość prostoliniowego odcinka drogi na którym kierujący powinien zobaczyć w światłach reflektorów obiekty istotne dla bezpieczeństwa takie jak piesi, rowerzyści, zwierzęta, wyrwy w nawierzchni itp.

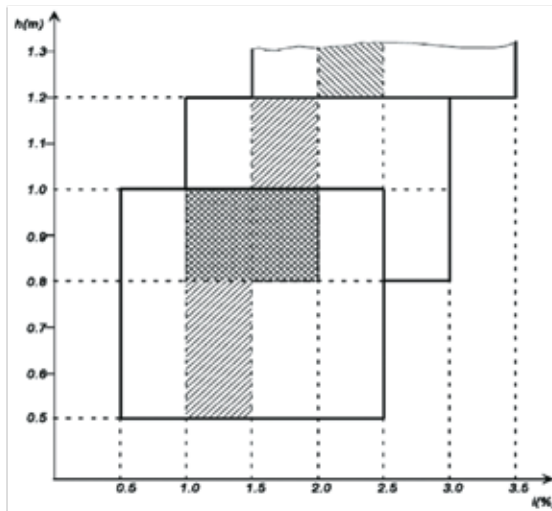
Ocena zasięgu widoczności w przypadku oświetlenia drogi reflektorami to złożone zagadnienie. Aby obiekt został zauważony, a następnie rozpoznany musi mieć minimalną jasność (luminancję), a także kontrast w stosunku do tła, większy od kontrastu progowego. W warunkach nocnych dla obiektów na drodze w dużej odległości od pojazdu z dobrym przybliżeniem można przyjąć, że tło jest czarne, chociaż czasem posiada pewną luminancję pochodzącą od rozproszonego światła reflektorów, odległych latarni, nieboskłonu itp.

Łatwo zauważyć, że o widoczności obiektu decyduje współczynnik odbicia światła i natężenie oświetlenia światła padającego na obiekt wpływające na jego luminancję czyli jasność oraz ew. kontrast w stosunku do otoczenia (które w warunkach nocnych jest zwykle ciemne). Istotne są także rozmiary kątowe obiektu postrzegane przez kierującego, które są funkcją rozmiarów geometrycznych i odległości. Ponieważ natężenie oświetlenia maleje – podobnie jak rozmiary kątowe – z kwadratem odległości to dodatkowo wpływa na warunki oceny oświetlenia. Nie bez znaczenia jest dystrybucja światłości wiązki świetlnej w kierunku poziomym. Droga rzadko jest idealnie prosta, występują łuki i zakręty. Stąd

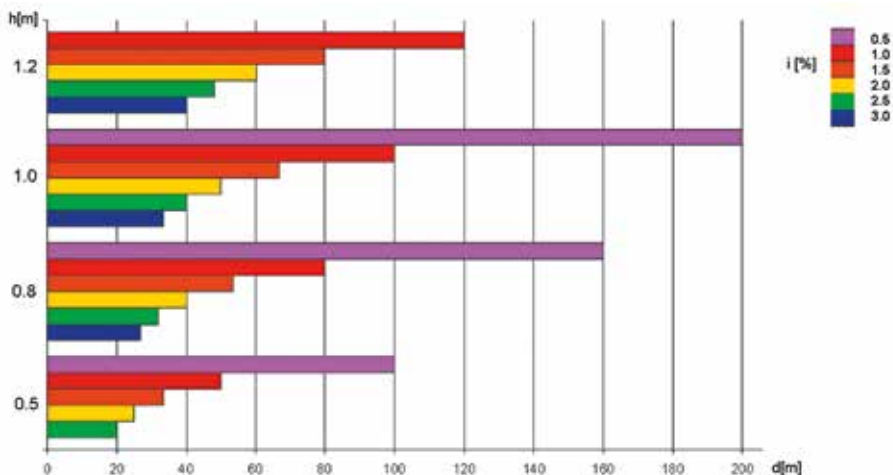
inaczej będzie postrzegany obiekt na wprost, a inaczej znajdujący się na prawym czy lewym łuku drogi, w zależności od indywidualnych różnic w rozsyłe światłości. Także dynamiczne charakterystyki układów adaptacyjnych będą miały istotny wpływ na zasięg tych światel.

Obiekty mogące znaleźć się na drodze mają zróżnicowane i nie do końca przewidywalne rozmiary oraz współczynnik odbicia światła. Pieszy może być ubrany zarówno w jasną jak i czarna odzież. Dlatego modelowanie matematyczne, choć możliwe, jest dosyć skomplikowane i nie daje jednoznacznych rezultatów. Więc przyjmuje się prostsze, empiryczne modele. Na wartość luminancji obiektu ma wpływ współczynnik odbicia światła oraz właściwości oświetlające wiązki świetlnej reflektorów, czyli pionowe natężenie oświetlenia. Przyjęto posługiwanie się wartościami określonej izoluksy natężenia oświetlenia, jako umożliwiającej progowe zauważenie modelowego obiektu. Zwykle jest to wystarczające przybliżenie, w szczególności w odniesieniu do sposobu definiowania wymagań homologacyjnych dla reflektorów samochodowych [19]. Wartości natężenia oświetlenia przyjęto umownie na poziomie 1 lx i 3lx [19]. W przypadku światel mijania posiadających wyraźną granicę światła i cienia w jej pobliżu występuje silny pionowy gradient natężenia oświetlenia, a wartości natężenia oświetlenia określają regulaminy homologacyjne [11, 12, 13, 14]. Tak więc powyżej GSC w odległości kilkudziesięciu metrów od pojazdu wartości natężenia oświetlenia przy powierzchni drogi gwałtownie maleją i na pewno nie przekroczą 1lx, natomiast poniżej GSC te wartości będą większe i szybko rosnące w dół wiązki (w przekroju pionowym), a więc przy zbliżaniu się do pojazdu (por. rys. 9). Dlatego przyjęto uproszczenie, że dla obszarów bliższych niż punkt przecięcia GSC z powierzchnią jezdni oświetlenie będzie wystarczające aby uwidocznić przeszkodę.

Zgodnie z Reg. Nr 48 [15] pochylenie światel mijania może zmieniać się z obciążeniem i powinno być utrzymane w przedziałach określonych na rys. 10.



Rys 10. Ustawienie początkowe reflektorów światel mijania (obszar zakreskowany) i tolerancje poziomowania przy zmianach obciążenia pojazdu. "h" - wysokość zamocowania reflektora nad powierzchnią drogi, "i" - pionowe pochylenie GSC [15]



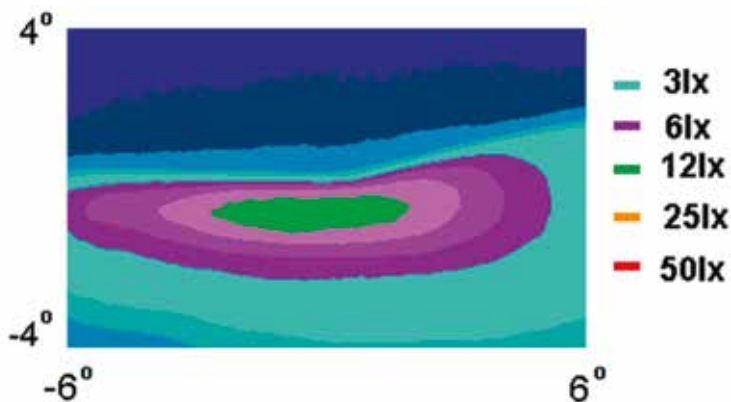
Rys 11. Zakresy oświetlenia drogi. "h" – wysokość zamocowania reflektora nad powierzchnią drogi, "i" – pochylenie poziomego odcinka GSC, "d" odległość przecięcia płaszczyzny GSC z powierzchnią drogi

Łatwo zauważyć, że najmniejsze wartości zasięgu oświetlanej drogi według powyższej definicji wynikające z wymagań homologacyjnych zaczynają się od ok. 20 m, zwłaszcza dla nisko zamocowanych reflektorów samochodów osobowych. Natomiast maksymalne wartości sięgają 200 m. Jednak dla rzeczywistych reflektorów pojawia się wpływ prawa odwrotności kwadratów, które wartości nominalne natężenia oświetlenia nawet rzędu $20 \div 40$ lx w odległości 25 m redukuje do ok. 0,5 lx dla odległości 200 m. W praktyce tak znaczny zasięg oświetlonej drogi możliwy jest jedynie dla reflektorów o bardzo dużych światłościach tuż pod GSC. Jednak przyjęte wcześniej uproszczenie w celu oszacowania zasięgu minimalnego pozostaje użyteczne.

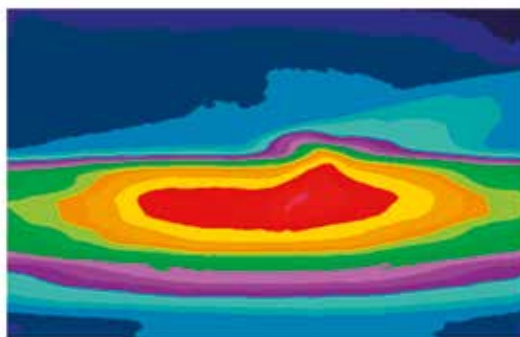
Powyższa sytuacja dotyczy nominalnych warunków homologacyjnych, a więc nowego pojazdu przy „idealnym” ustawieniu świateł. W warunkach eksploatacji pojazdu dodatkowo dochodzą czynniki związane z niedokładnością urządzeń do ustawiania świateł, odchyłkami parametrów reflektorów i żarówek masowej produkcji, starzeniem się lampy itp. Tolerancje ustawienia świateł mijania zgodnie z wymaganiami dla kontroli okresowej [21] wynoszą w kierunku pionowym 0,3% do góry i 0,5% do dołu. Dokładność przyrządów do ustawiania świateł podawana przez ich producentów wynosi ok. $\pm 0,3\%$ nie licząc niedokładności poziomowania stanowiska pomiarowego i wydaje się, że jest to optymistyczne oszacowanie (dla „Analizatora świateł” lepiej niż $\pm 0,1\%$). W efekcie pochylenie prawidłowo ustawionych świateł mijania może być o 0,8% niższe niż określone przez producenta, a wynikające z wymagań homologacyjnych. Dla nominalnej wartości pochylenia wynoszącej -1,0% oznacza skrócenie zasięgu do ok. 56 % jego pierwotnej wartości.

Poniżej zobrazowano dla przykładu rzeczywiste parametry oświetlenia drogi dla trzech wyselekcjonowanych reflektorów.

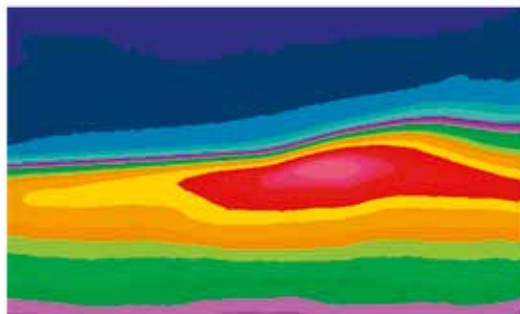
Rzeczywiste reflektory reprezentują bardzo zróżnicowane charakterystyki świetlne. Natomiast poniższe, arbitralnie wybrane, przykłady ukazują jedynie pewne modelowe „skrajne” sytuacje. Pierwszy z reflektorów ma parametry zbliżone do minimalnych wymaganych (choć nieco lepsze w kierunku poziomym na prawo od osi pojazdu). Drugi jest przypadkiem szczególnym. Ma relatywnie duży strumień świetlny, jest wykonany w technologii LED, natomiast nie jest to konstrukcja optymalna, gdyż maksimum światłości jest



Rys. 12. Rozkład natężenia oświetlenia na pionowym ekranie dla reflektora nr 1



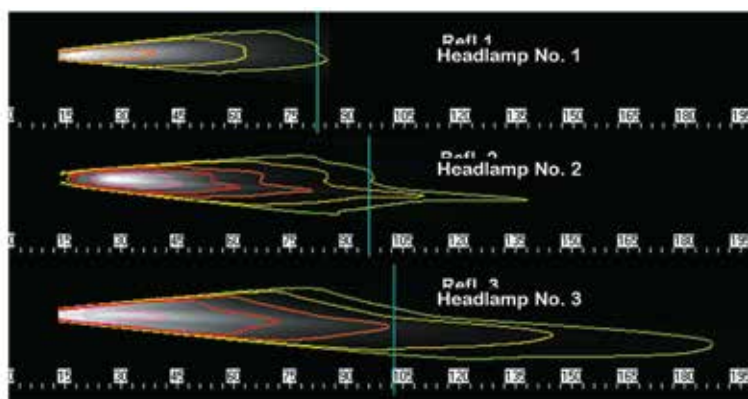
Rys. 13. Rozkład natężenia oświetlenia dla reflektora nr 2



Rys. 14. Rozkład natężenia oświetlenia dla reflektora nr 3

przesunięte w dół poniżej GSC, a asymetria po prawej stronie jest nieznaczna, co powoduje tylko niewielki wzrost zasięgu po prawej stronie. Trzeci reflektor ma parametry, które można uznać za bardzo wysokie w skali możliwości obecnych technologii. Rozkłady natężenia oświetlenia dla pionowego ekranu w odległości 25 m przedstawiono odpowiednio na rys. 12, 13 i 14. Uzyskano je za pomocą pomiaru „Analizatorem świateł”.

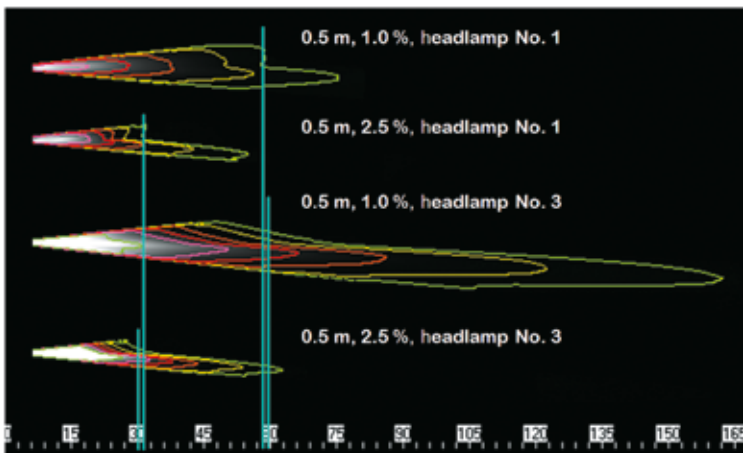
Na rys. 15. przedstawiono zasięg oświetlenia drogi dla powyższych reflektorów w postaci izoluksów pionowego natężenia oświetlenia przy powierzchni drogi przy optymalnych warunkach ze względu na oświetlenie drogi: wysokość zamocowania reflektorów 100 cm, pochylenie -1,0%.



Rys 15. Rozkład pionowego natężenia oświetlenia na powierzchni drogi. Izoluksy od 1lx (zielona)

Zaznaczono zasięg dla izoluksy 1lx (kolor zielony) po lewej stronie osi pojazdu. Wartości te są zbliżone i zawierają się pomiędzy 80 a 100 m. Dla kolejnej izoluksy 3lx (kolor żółty) rozpiętość jest nieco większa. Jeżeli chodzi o maksymalne zasięgi po prawej stronie są one znacznie bardziej zróżnicowane. W przypadku reflektora nr 1 praktycznie tak sam jak dla lewej strony, w przypadku reflektora nr 3 prawie dwukrotnie większy. Szerokość wiązek, jak łatwo zauważyć, wykazuje także znaczne zróżnicowanie.

Znacznie ciekawsze efekty uzyskano w przypadku przyjęcia najbardziej niekorzystnych warunków dopuszczonych wymaganiami homologacyjnymi, tj. zamocowania reflektora na najniższej dopuszczalnej wysokości wynoszącej 0,5 m i pochylenia GSC -2,5% [15] oraz dla porównania przy wartości nominalnej -1%. Przedstawiono to dla dwóch reflektorów nr 3 i nr 1 na rys. 16.



Rys 15. Rozkład pionowego natężenia oświetlenia na powierzchni drogi dla najniższego zamocowania reflektorów

Można zauważyć, że po lewej stronie zasięg jest zbliżony dla obu reflektorów i zmienia się dwukrotnie w zakresie dopuszczalnych tolerancji pochylenia. Natomiast w przypadku maksymalnych wartości po prawej stronie zasięg przy najwyższym pochyleniu (-1,0%) różni się w zależności od ukształtowania wiązki świetlnej ok. 2,5 krotnie. Jednak przy minimalnym dopuszczalnym pochyleniu (-2,5%) [15] zasięg zarówno dla reflektora o minimalnych jak i maksymalnych charakterystykach wiązki świetlnej są prawie takie same i wynoszą ok. 50-60 m dla izoluksy 1lx.

7. Podsumowanie

Zasięg oświetlenia drogi za pomocą świateł mijania niezależnie od trudności definicyjnych i zależności od właściwości obiektu i wzroku może zmieniać się w bardzo szerokim zakresie w przypadku dozwolonych obowiązującymi wymaganiami homologacyjnymi parametrów fotometrycznych i instalacyjnych reflektorów. Jest on zależny zarówno od strumienia świetlnego źródła światła jak i od indywidualnych cech konstrukcyjnych reflektora, które w praktyce są bardzo zróżnicowane. W praktyce eksploatacyjnej nie podlega natomiast żadnej weryfikacji pomiarowej. Bardzo duży wpływ ma także wysokość zamocowania reflektorów i aktualne pochylenie wiązki świetlnej. Dodatkowym czynnikiem pogarszającym sytuację jest mała dokładność ustawiania świateł za pomocą bardzo prostych optycznych przyrządów.

Stąd szacowanie zasięgu oświetlonej drogi i próby oceny z jakiej odległości kierujący mógł zobaczyć ewentualną przeszkodę są obecnie w praktyce bardzo utrudnione, jeżeli w ogóle możliwe. Zwłaszcza gdy po zdarzeniu drogowym reflektory są zniszczone. Odnoszenie się do nominalnych rozkładów izoluksów na powierzchni drogi, udostępnianych czasami

np. przez producentów, nie jest miarodajne gdyż rzeczywiste wartości mogą różnić się wielokrotnie zarówno z powodu rzeczywistych wartości ustawienia, zużycia czy zabrudzenia reflektorów, zainstalowanych zamienników reflektorów, zainstalowanych konkretnych żarówek masowej produkcji, zmian pochylenia związanych z obciążeniem pojazdu, ustawieniem ręcznego korektora pochylenia itp. Stosowanie orientacyjnych „uniwersalnych” wykresów jest niewłaściwe, gdyż jak pokazano powyżej rzeczywiste rozkłady natężenia oświetlenia przy powierzchni drogi mogą bardzo znacznie różnić się między sobą.

Biorąc pod uwagę wyniki badań statystycznych rzeczywistego ustawienia świateł pojazdów znajdujących się w eksploatacji przeprowadzonych przez autora w ramach działań „Inicjatywy na rzecz dobrych świateł samochodowych” Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie [22] można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że blisko połowa z nich ma światła, które nie zapewniają wystarczającej widoczności w większości typowych warunków poruszania się po drodze. Także znaczący odsetek świateł wywołuje oślnienie i może być przyczyną wielu zdarzeń drogowych jak choćby opisanych na początku niniejszego opracowania.

Jedynym wiarygodnym sposobem weryfikacji jakości oświetlenia po zdarzeniu drogowym jest pomiar nieuszkodzonych reflektorów na pojeździe np. za pomocą „Analizatora świateł”, przy zachowaniu warunków takich jak w chwili zdarzenia – w szczególności rozkładu obciążenia na pojeździe i ustawienia ręcznego korektora pochylenia świateł. W praktyce spełnienie tych warunków jest możliwe jedynie wyjątkowo, gdy zderzenie nie spowodowało uszkodzenia ani zmiany ustawienia świateł.

Remedium na opisaną sytuację są istotne zmiany w systemie wymagań dotyczących oświetlenia pojazdów, m in. zawężenie tolerancji poziomowania reflektorów (np. wprowadzenie obowiązku automatycznego, dynamicznego poziomowania wszystkich reflektorów) oraz precyzyjne ustawianie i pomiar rozkładu wiązki świetlnej podczas kontroli określonego stanu technicznego, najlepiej z rejestracją wyników pomiarów. Taki zarejestrowany pomiar mógłby być miarodajnym odniesieniem pozwalającym na późniejsze analizy w razie wypadku podczas którego reflektory uległy uszkodzeniu.

Trzeba natomiast zauważyć, że paradoksalnie zarówno technologia wytwarzania reflektorów jak i możliwości ich badania są na takim etapie rozwoju, że oświetlenie reflektorowe pojazdów mogłoby zapewnić bezpieczne podróżowanie w nocy z dopuszczalnymi obecnie prędkościami w przeważającej większości sytuacji drogowych.

Literatura

- [1] <http://www.echodnia.eu/apps/pbcs.dll/article?AID=/20131226/POWIAT0201/131229485>
- [2] <http://olsztyn.wm.pl/187400,Wypadek-pod-Olsztynem-Auto-quotwbilo-siequot-w-ciezarowke.html#axzz2rDUkibqD>
- [3] <http://raportdrogowy.interia.pl/aktualnosci/news-tragiczny-wypadek-w-jadownikach-zginela-rodzina,nld,1473747,th,77697526>
- [4] <http://www.gazetalubuska.pl/apps/pbcs.dll/article?AID=/20140820/POWIAT23/140829972>
- [5] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. *Prawo o ruchu drogowym* z późn. zm.

- [6] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia* (Dz. U. z 2003 r. Nr 32, poz. 262) z późn. zm.
- [7] *Agreement concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions.* Geneva, 1958.
- [8] *Uniform provisions concerning the approval of filament lamps for use in approved lamp units on power-driven vehicles and of their trailer,s.* UN ECE Regulation No 37.
- [9] *Uniform Provisions Concerning the Approval of Gas-Discharge Light Sources for Use in Approved Gas-Discharge Lamp Units of Power-Driven Vehicles.* UN ECE Regulation No 99.
- [10] *Uniform provisions concerning the approval of light emitting diode (LED) light sources for use in approved lamp units on power-driven vehicles and their trailers.* UN ECE Regulation No 128.
- [11] *Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicle Headlamps Emitting an Asymmetrical Passing Beam or a Driving Beam or Both and Equipped with Filament Lamps and/or Light-Emitting Diode (LED) Modules.* UN ECE Regulation No 112.
- [12] *Uniform Provisions Concerning The Approval of Motor Vehicle Headlamps Equipped With Gas-Discharge Light Sources.* UN ECE Regulation No 98.
- [13] *Uniform Provisions Concerning the Approval of Adaptive Front Lighting Systems (AFS) for Motor Vehicles.* UN ECE Regulation No 123.
- [14] *Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting a symmetrical passing beam or a driving beam or both and equipped with filament lamps.* UN ECE Regulation No 113.
- [15] *Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regard to the Installation of Lighting and Light-Signalling Devices.* UN ECE Regulation No 48.
- [16] *Uniform provisions concerning the approval of category L3 vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices.* UN ECE Regulation No 53.
- [17] *Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing beam and/or a driving beam and equipped with filament lamps of categories R2 and/or H51.* UN ECE Regulation No 1.
- [18] *Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing beam or a driving beam or both and equipped with halogen filament lamps (H1, H2, H3, HB3, HB4, H7, H8, H9, H1R1, H1R2 and/or H11).* UN ECE Regulation No 8.
- [19] *CIE 188 Technical Report: Vehicle Headlighting Systems Photometric Performance – Method of Assessment.* 2010.
- [20] TARGOSIŃSKI, T.: *Analizator plamy świetlnej reflektorów samochodowych - nowa jakość w badaniach eksploatacyjnych pojazdów.* Przegląd Elektrotechniczny, R. 90, NR 1/2014
- [21] *Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 czerwca 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach.*
- [22] http://www.swiatla.its.waw.pl/Wyniki_akcji_badania_swiatel,3462.html