POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ACADEMIC JOURNALS
No 92 Electrical Engineering 2017

DOI 10.21008/j.1897-0737.2017.92.0023

Przemysław SKRZYPCZAK*
Maria ZANDEK*
Krzysztof MACIOŁEK*

WYKORZYSTANIE POLARYZACJI ŚWIATŁA W CELU OGRANICZENIA OLŚNIENIA W RUCHU DROGOWYM

Artykuł powstał na postawie doświadczeń zdobytych podczas realizacji pracy inżynierskiej współautora artykułu. Opisuje ideę wykorzystania polaryzacji świateł mijania pojazdu w celu ograniczenia olśnienia wśród innych użytkowników ruchu drogowego. Zakreślono podstawy teoretyczne fizyki zjawiska polaryzacji, możliwości jej implementacji w układach rzeczywistych. Przedstawiono wykonane badania laboratoryjne układów polaryzacyjnych, dokonano analizy uzyskanych wyników wraz z odniesieniem do podstaw teoretycznych. Przeprowadzono testy, w warunkach rzeczywistych w ruchu drogowym z realizacji omawianej idei. Całość poparto uzyskanymi, dzięki komputerowym metodom obrazowania, rozkładami luminancji obserwowanego przez kierującego pojazdem otoczenia i reflektorów innych pojazdów. Potwierdzono słuszność zakładanej tezy, iż wykorzystanie polaryzacji może w istotny sposób ograniczyć widoczną dla obserwatora luminancję powierzchni uprzednio olśniewającą – reflektora pojazdu.

SŁOWA KLUCZOWE: światła mijania, polaryzacja światła, ograniczenie olśnienia

1. WPROWADZENIE

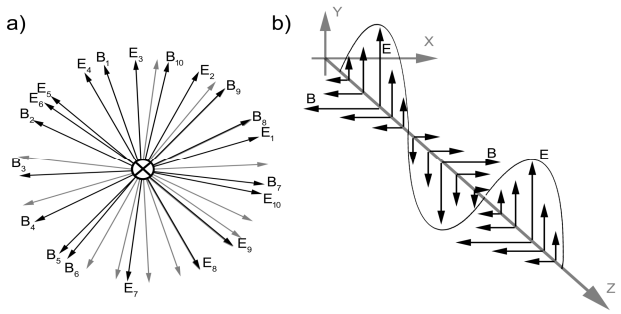
1.1. Światło jako fala elektromagnetyczna

Promieniowania z zakresu widzialnego, potocznie określane jako światło, zgodnie z teorią klasyczną jest falą elektromagnetyczną poprzeczną. Kierunki drgań wektorów pola elektrycznego są prostopadłe do kierunku ruchu fali (rys. 1) oraz wektora pola magnetycznego. W ogólnym przypadku kierunki – wskazy wektorów są nieuporządkowane, skierowane we wszystkich kierunkach wokół osi ruchu falki – biegu promienia świetlnych w ujęciu fizyki korpuskularnej.

Jeśli kierunek drgań poprzecznych utrzymuje się w jednej płaszczyźnie, lub zostanie wymuszony, to falę taką (światło) określamy jako spolaryzowaną liniowo. Zjawisko polaryzacji światła występuje w wielu materiałach krystalicznych wykazujących anizotropię właściwości optycznych między innymi: szpat islandzki, turmalin, cyrkon, w których to wiązka światła załamując się i rozdwa-

* Politechnika Poznańska.

jając tworzy wiązkę zwyczajną i nadzwyczajną. Wiązki te są spolaryzowane liniowo i wzajemnie prostopadle. Ponadto pewne związki chemiczne, np. jednosiarczan chininy wykazuje silne właściwości polaryzacyjne – poprzez przepuszczanie wiązki światła spolaryzowanej tylko w jednej osi.

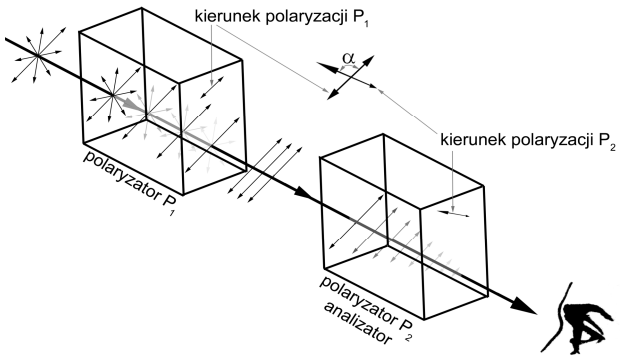


Rys. 1. Wektory elektryczne (E) i magnetyczne (B) w wiązce światła monochromatycznego: a) widok od czoła fali niespolaryzowanej, b) widok przestrzenny wektorów spolaryzowanych [3, 10]

Najbardziej rozpowszechnioną obecnie metodą produkcji materiałów polaryzacyjnych jest osadzenie cząsteczek o strukturze łańcuchowej na elastycznej warstwie plastycznej, którą następnie poddaje się procesowi rozciągania. Otrzymywana wówczas płaszczyzna, o strukturze równoległych względem siebie cząsteczek wykazuje właściwości polaryzacji światła (przepuszczania) w kierunku zgodnym z kierunkiem rozciągania.

W przypadku skierowania wiązki światła niespolaryzowanego na polaryzator P_1 otrzymujemy wiązkę spolaryzowaną liniowo zgodnie z kierunkiem polaryzacji P_1. Wiązka następnie padając na polaryzator P_2 zostaje przepuszczona w stopniu zgodnie z prawem Malusa i ze wzorem (1) [3, 10].

$$I = I_m \cos^2 \alpha \tag{1}$$



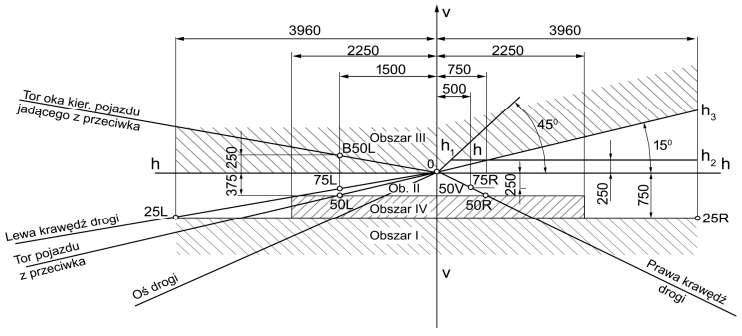
Rys. 2. Wiązka światła niespolaryzowanego padająca na polaryzator i analizator [3, 10]

1.2. Układy świetlne pojazdów – wymagania dotyczące świateł

Pojęcie świateł pojazdu, dotyczy całej gamy urządzeń świetlnych, których zadaniem jest zarówno oświetlenie drogi przed pojazdem, zapewnienie widoczności na drodze jak i oświetlenie wnętrza pojazdu i sygnalizacja. Skupiając się na światłach służących oświetleniu drogi przed pojazdem, rozważyć należy zarówno światła drogowe jak i mijania. Z uwagi na uwarunkowania prawne zawarte m.in. w rozporządzeniu ministra infrastruktury [1], układami świetlnymi, których można używać po zmroku w przypadku poruszania się po drodze innych uczestników ruchu drogowego są tylko światła mijania. Z samego założenia zatem, tylko ten rodzaj świateł można uznać charakteryzujący się dużą jaskrawością i potencjalnie niekorzystny w aspekcie olśnienia innych kierowców.

Budowa reflektorów samochodowych oparta jest o podstawowe elementy takie jak: obudowa, odbłyśnik lub inny układ optyczny, szyba gładka lub wewnętrznie ryflowana oraz źródło światła [2]. Właściwie zaprojektowany reflektor, wykonany z wysokiej jakości materiałów powinien spełniać przez cały swój okres użytkowania zadanie oświetlenia drogi zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach i rozporządzeniach [1, 6, 7]. Ponadto dokonywana jest corocznie kontrola podczas okresowego przeglądu pojazdu, także w zakresie układów świetlnych, podczas której sprawdzane jest, czy uzyskiwane są właściwe poziomy natężenia oświetlenia. „Do ustawiania świateł wykorzystywana jest wzrokowo postrzegana granica światła i cienia" [8], co budzi uzasadnione kontrowersje co do dokładności takiego zabiegu. Ponadto wnioskowane jest, aby w tym celu wykorzystywać analizator plamy świetlnej reflektorów [8].

Poniżej na rysunku 3 oraz w tabeli 1 przedstawiono wytyczne dotyczące wartości pionowego natężenia oświetlenia dla asymetrycznych świateł mijania obowiązujące przy ruchu prawostronnym w państwach Unii Europejskiej. Pomiarów na tablicy dokonuje się dla pojedynczego reflektora z odległości 25m, zaznaczone punkty pomiarowe stanowią perspektywiczny rzut prostego odcinka drogi o szerokości 6m [5, 6, 7].



Rys. 3. Ekran pomiarowy reflektorów asymetrycznych [5, 6, 7]

Tabela 1. Wymagane wartości pionowego natężenia oświetlenia świateł mijania w punktach ekranu pomiarowego [5, 6, 7]

Oznaczenie punktu na ekranie	Natężenie oświetlenia E dla reflektora z żarówką typu	
	H1, H2, H3	H4
	lx	
B50L	E ≤ 0,3	E ≤ 0,4
75L	E ≤ 12	E ≤ 12
75R	E ≥ 12	E ≥ 12
50L		E < 15
50R	E ≥ 12	E ≥ 12
50V	E ≥ 6	E ≥ 6
25L	E ≥ 2	E ≥ 2
25R	E ≥ 2	E ≥ 2
Wszystkie punkty obszaru III	E ≤ 0,7	E ≤ 0,7
Wszystkie punkty obszaru IV	E ≥ 3	E ≥ 3
Wszystkie punkty obszaru I	E ≤ 2 x E50R*	E ≤ 2 x E50R*

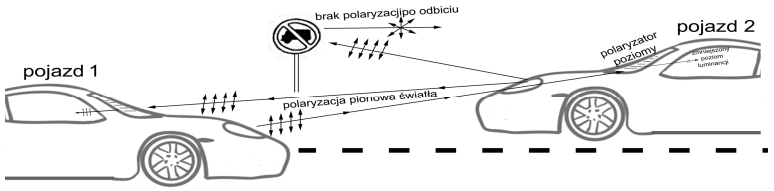
*rzeczywista wartość natężenia oświetlenia zmierzona w punkcie 50R

Przedstawione wartości pionowego natężenia oświetlenia w założeniu powinny zapewnić widoczność powierzchni drogi przez kierowcę na odległości 40 m przed pojazdem, przy jednoczesnym ograniczeniu olśnienia kierowców jadących z naprzeciwka. Zauważyć należy, że stanowią one kompromis pomiędzy wyżej wymienionymi zadaniami. Ponadto nie jest uwzględniana luminancja powierzchni klosza reflektora, który na skutek procesów starzeniowych może ulegać zmatowieniu, powodując niewielkie zmiany w granicy światła i cienia oraz znaczne zwiększenie się luminancji reflektora [4]. Wzrost luminancji wynika także, z technologii stosowanych źródeł światła i układów optycznych. Miniaturyzacja elementów reflektorów, przy najczęściej zwiększających się strumieniach świetlnych w nowszych typach reflektorów skutkuje uzyskiwaniem bardzo dużych wartości luminancji, co zostało przedstawiona w rozdziale 2.2.

1.3. Idea ograniczenia olśnienia poprzez polaryzację

Z uwagi na mogące zachodzić, zjawiska (opisane w punkcie 1.2), skupiono się na możliwości ograniczenia olśnienia kierowców poprzez zastosowanie układów polaryzujących. Światło emitowane przez reflektor jest polaryzowane pionowo, natomiast na szybach przednich samochodów umieszczana została powłoka polaryzująca poziomo. Światło emitowane z reflektorów, po odbiciu od obiektów, jezdni itp. ponownie staje się w znacznej większości przypadków ponownie niepolaryzowane. W skutek czego, istnieje możliwość właściwej obserwacji i interpretacji wszystkich obiektów infrastruktury drogowej. Natomiast strumień świetlny emitowany z reflektora spolaryzowanego, który bezpośrednio trafiłby do oka obserwatora zostaje w znacznej części pochłonięty przez

przednią szybę samochodu obserwatora. Uzyskiwany jest w ten sposób efekt ograniczenia olśnienia kierowców od światła bezpośrednio pochodzącego ze spolaryzowanego reflektora samochodowego. Opisaną ideę obrazuje rysunek 4.



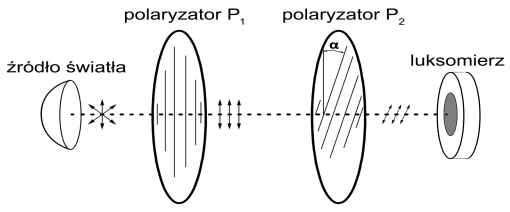
Rys. 4. Zobrazowanie idei ograniczenia olśnienia poprzez polaryzację

Z uwagi na ograniczenia ustawowe dotyczące możliwości umieszczania na przedniej szybie samochodu folii, której współczynnik przepuszczania jest większy niż 80%, konieczne jest zastosowanie polaryzatorów z materiałów dla których warunek ten jest spełniony.

2. BADANIA WŁASNE

2.1. Wyznaczanie współczynnika przepuszczania dla pary polaryzatorów

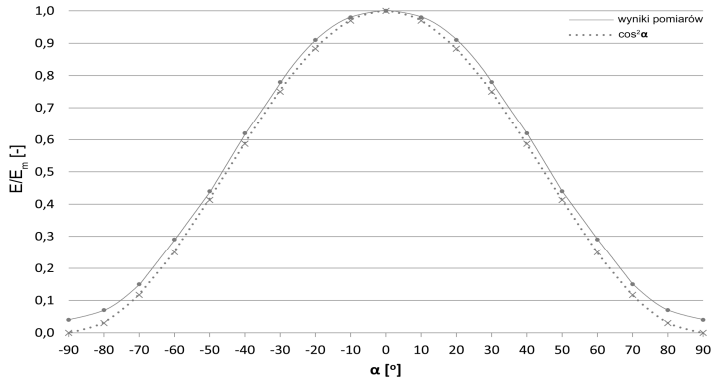
W celu potwierdzenia właściwości użytych w dalszej części badań polaryzatorów, przeprowadzono pomiary potwierdzające zgodność otrzymywanych wyników z prawem Malusa, opisanym w podpunkcie 1.1. Badania przeprowadzono z użyciem źródła światła kierunkowego niespolaryzowanego w postaci żarówki halogenowej, umieszczonej na ławie fotometrycznej w osi z dwoma polaryzatorami posiadającymi możliwość obrotu wokół osi optycznej układu, oraz miernika natężenia oświetlenia. Kąt pomiędzy osiami polaryzacji polaryzatora P_1 i P_2 oznaczony jako α. Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie układ do badania współczynnika przepuszczania dla pary polaryzatorów. W tabeli 2 przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów, Jak wynika z przedstawionej na rysunku 6 interpretacji graficznej występuje duża zgodność uzyskanych wyników z funkcją (1).



Rys. 5. Schemat stanowiska pomiarowego określania współczynnika przepuszczana dla pary polaryzatorów

Tabela 2. Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia przy zmianie kąta α pomiędzy parą polaryzatorów [9]

α [°]	0	+10 / –10	+20 / –20	+30 / –30	+40 / –40	+50 / –50	+60 / –60	+70 / –70	+80 / –80	+90 / –90
E [lx]	61,1	59,9	55,8	47,8	37,8	26,8	17,66	9,24	4,42	2,22
E/E_m [–]	1,00	0,98	0,91	0,78	0,62	0,44	0,29	0,15	0,07	0,04



Rys. 6. Interpretacja graficzna uzyskanych wyników pomiarów dla pary polaryzatorów

2.2. Pomiary laboratoryjne dla reflektora z układem polaryzacyjnym

W celu potwierdzenia praktycznego zastosowania opisanej w punkcie 1.3 idei ograniczenia olśnienia wykonany pomiary luminancji reflektora samochodowego. Możliwości dokładnej interpretacji uzyskiwanych wyników otrzymywane są dzięki zastosowaniu matrycowego miernika luminancji oraz możliwości komputerowej analizy obrazów i wyników.

Reflektor poddany badaniom pochodził z samochodu Chevrolet Lacetti, którego fotografię z naniesioną folią polaryzacyjną przedstawiono na rysunku 7.

Wykonano pomiary luminancji powierzchni reflektorów (reflektor lewy pojazdu z naniesioną folią polaryzacyjną o polaryzacji pionowej) dla różnych pozycji polaryzatora na szybie samochodu obserwatora. Badania przeprowadzono w warunkach rzeczywistych na terenie parkingu i dróg wewnętrznych Politechniki Poznańskiej. Pozycja umieszczenia matrycowego miernika luminancji była zgodna z pozycją wzroku obserwatora co przedstawiono na rys. 8. Wyniki pomiarów luminancji średniej powierzchni reflektora oraz maksymalnej dla trzech wartości kąta α (kąta polaryzacji względem osi pionowej) przedstawiono w tabeli 3 [9].



Rys. 7. Fotografia badanego reflektora

Tabela 3. Wyniki pomiarów luminancji reflektora

α [°]	0	45	90
L_{max} [cd/m^2]	25 230	7 343	1440
$L_{śr}$ [cd/m^2]	1967	590	91
$L_{śr(\alpha)}/L_{(0)}$ [–]	1,000	0,300	0,046
$L_{max(\alpha)}/ L_{max(0)}$ [–]	1,000	0,291	0,057



Rys. 8. Obrazy z matrycowego miernika luminancji dla dwóch lokalizacji pomiarowych

Na rysunkach od 9 do 11 przedstawiono rozkłady luminancji dla przedstawionych powyżej przypadków polaryzacji.



Rys. 9. Luminancje reflektorów dla $\alpha=0^o$



Rys. 10. Luminancje reflektorów dla $\alpha=45^o$



Rys. 11. Luminancje reflektorów dla $\alpha=90^o$

Jak wynika z analizy powyższych wyników, dla polaryzacji szyby samochodu poprzecznie w stosunku do polaryzacji reflektora samochodu olśniewającego kierowcę uzyskano zmniejszenie wartości maksymalnej luminancji do 5,7% oraz średniej do 4,6% wartości bez zastosowania polaryzacji. Różnice w powyższych wartościach wynikać mogą z nierównomiernego naniesienia folii polaryzacyjnej, chrakteryzującą się dużą sztywnością i koniecznością naniesienia jej na wypukłą powierzchnię reflektora samochodu. Uzyskane wartości są zgodne z uzyskiwanymi dla tej samej folii polaryzacyjnej w warunkach laboratoryjnych, której pomiary przedstawiono w punkcie 2.1.

2.3. Widoczność infrastruktury drogowej

W celu analizy przydatności i bezpieczeństwa stosowania układów polaryzacyjnych na układach świetlnych pojazdów oraz przedniej szybie pojazdu wykonano pomiary porównawcze luminancji infrastruktury drogowej (sygnalizacja świetlna, znaki drogowe, nawierzchnia drogi) w rzeczywistych warunkach użytkowych. Na rysunkach 12 i 13 przedstawiono wyniki pomiarów luminancji otoczenia drogi w przypadku bez oraz z zastosowaniem folii polaryzacyjnej.



Rys. 12. Obraz drogi bez zastosowania folii polaryzacyjnej



Rys. 13. Obraz drogi w przypadku zastosowania folii polaryzacyjnej

Jak wynika z analizy powyższych obrazów, poprzez zastosowanie folii polaryzacyjnej następuje równomierne zmniejszenie luminancji obserwowanego otoczenia. Jest to zjawisko niekorzystne, wynikające z ograniczonego (wynoszącego około 50% dla zastosowanej folii) współczynnika przepuszczania dla światła niespolaryzowanego. Potwierdzony został natomiast fakt, że nie następuje błędna interpretacja sytuacji drogowych. Wszystkie obiekty są dobrze widoczne z właściwą kolorystyką (barwa świateł sygnalizacji świetlnej.

3. WNIOSKI I DALSZE PRACE

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzić można, że wykorzystanie polaryzacji światła w celu eliminacji efektu olśnienia wynikającego z dużej luminancji powierzchni świecącej przy jednoczesnym zachowaniu możliwości postrzegania oświetlanych obiektów jest możliwe. Przedstawiona w punkcie 1.3 idea ograniczenia w ten sposób olśnienia kierowców jest realizowalna, lecz w ujęciu aplikacyjnym wymagałaby poczynienia kroków legislacyjnych na dużą skalę. Dalsze prace autorów skupią się na wykorzystaniu materiałów polaryzacyjnych charakteryzujących się wyższymi współczynnikami przepuszczania oraz innych zjawisk fizycznych w celu uzyskania polaryzacji świateł mijania.

LITERATURA

[1] Dziennik Ustaw nr 32: Rozporządzenie ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych.
[2] Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S. Elektrotechnika i elektronika samochodowa WUPL, Lublin 1999.
[3] Halliday D., Resnick R. Fizyka 2. PWN, Warszawa 1989.
[4] Kaźmierczak P. Badania fotometryczne reflektorów samochodowych po 10 latach eksploatacji, Przegląd Elektrotechniczny nr 8/2014.
[5] Paszkowski J. Kontrola samochodowych świateł drogowych, mijania oraz przeciwmgłowych, Politechnika Warszawska, Warszawa 2003.
[6] PN–78/S–73030: Urządzenia świetlne świateł asymetrycznych mijania i świateł drogowych. Wymagania świetlne i metody badań.
[7] PN–79/S–73040: Urządzenia świetlne świateł asymetrycznych mijania i świateł drogowych z żarówkami halogenowymi. Wymagania świetlne i metody badań.
[8] Targosiński T.: Analizator plamy świetlnej reflektorów, Przegląd Elektrotechniczny, nr 1/2014.
[9] Zandek M.: Zastosowanie polaryzacji światła w celu ograniczenia olśnienia kierowców w ruchu drogowym, praca inżynierska, Politechnika Poznańska, 2017.
[10] Zausznica Z.: Nauka o barwie, PWN, Warszawa 1959r.

APPLICATION A POLARIZATION OF LIGHT TO REDUCE GLARE IN MOTOR TRAFFIC

This article was written on the basis of the experience gained during the implementation of engineering work of co–author. It describes the idea of using polarized light (produced by low–beam headlight) in order to reduce the glare of other road users. Outlined theoretical foundations of physics phenomenon of polarization, the possibility of its implementation in real systems. Shows performed laboratory tests polarizing systems, an analysis of the results obtained with reference to the theoretical basis. It confirmed the validity of the assumed thesis that the use of polarization can significantly reduce glare from low–beam headlight

(Received: 17. 02. 2017, revised: 27. 02. 2017)