

Polaryskop – budowa, zasada działania i zastosowanie w salonie optycznym

Foto: archiwum Autorów



MATEUSZ GRZESIK¹, MARTA LEWANDOWSKA²

¹Student III roku studiów I stopnia na kierunku Europejskie Studia Optyki Okularowej i Optometrii na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Członek EA00, PTOO, PSSK

Prezes Koła Naukowego Europejskich Studiów Optometrii i Optyki Okularowej UW „Retina”

²Studentka III roku studiów I stopnia na kierunku „Europejskie Studia Optyki Okularowej i Optometrii” na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
Członek Polskiego Towarzystwa Optometrii i Optyki

Członek Koła Naukowego Europejskich Studiów Optometrii i Optyki Okularowej UW „Retina”

Streszczenie

Praca ma na celu przedstawienie działania urządzenia optycznego, jakim jest polaryskop. Zaprezentowano teoretyczne podstawy działania urządzenia, które opiera się na zjawisku zmiany stanu polaryzacji światła przechodzącego przez ośrodek, który na skutek występowania naprężeń, najczęściej o niejednorodnym rozkładzie, stał się optycznie dwójtomny. Przedstawiono różne rodzaje szkła oraz omówiono ich właściwości optyczne. Określono przydatność wykorzystania urządzenia, jakim jest polaryskop, w warsztacie optycznym.

Wstęp

Jednym z urządzeń, które można znaleźć w warsztacie optycznym, jest polaryskop, służący do wykrywania oraz oceny wielkości naprężeń w ośrodku optycznym, jakim zazwyczaj jest soczewka okularowa. Ocena ta odbywa się dzięki zjawiskom polaryzacji światła oraz dwójtomności wymuszonej w materiale optycznym.

Polaryzacja światła i dwójtomność

Światło, które jest używane w polaryskopie, jest falą elektromagnetyczną spolaryzowaną liniowo lub kołowo. W polaryskopie wykorzystującym światło spolaryzowane liniowo oznacza to, że fala elektromagnetyczna posiada jeden wyróżniony kierunek oscylacji wektora elektrycznego niezmienny w czasie. Wówczas światło nazywamy falą elektromagnetyczną spolaryzowaną liniowo [1]. W polaryskopie wykorzystującym światło spolaryzowane kołowo fala elektromagnetyczna ma jeden wyróżniony kierunek oscylacji wektora elektrycznego. Amplituda wektora oscylacji jest stała, jednak kierunek jest zmienny w czasie. W ustalonym punkcie przestrzeni koniec wektora zatacza okrąg w czasie jednego okresu fali, dokonując „obrotu” w prawo lub w lewo. Wektor elektryczny fali spolaryzowanej kołowo można rozłożyć na dwa wektory składowe o jednakowej amplitudzie, jednak o fazie przesuniętej o 90 lub 270°, w zależności od tego, czy światło jest spolaryzowane prawoskrętnie czy lewoskrętnie [2].

Światło spolaryzowane liniowo możemy uzyskać na wiele sposobów. Jednym z nich jest przepuszczenie światła ze źródła termicznego przez

Abstract

The aim of the paper is to present the principle of operation of a polariscope. Theoretical bases of the device's functioning, which are based on change of the polarisation state of light passing through a medium, which due to mechanical stress, mostly with anisotropic dispersion, became birefringent. Various types of the optical glass and their optical properties are described. The usefulness of the polariscope in the optical workshop was defined.

płatkę turmalinową bądź polaroid. Wtedy mówimy o selektywnej absorpcji, którą charakteryzują się niektóre substancje wykazujące dichroizm, czyli różną zdolność do pochłaniania światła o różnym kierunku polaryzacji. Fala elektromagnetyczna niespolaryzowana padająca na płytke turmalinową, która charakteryzuje się dichroizmem, jest rozdzielana na dwie fale spolaryzowane, z których jedna jest absorbowana przez turmalin, a druga przepuszczana. Polaroidy działają na podobnej zasadzie jak turmalinowa płytka [1,2].

Inną metodą uzyskania światła spolaryzowanego liniowo jest przejście promienia światła przez ośrodek anizotropowy, który charakteryzuje się dwójtomnością. W takim ośrodku światło zostaje rozdzielone na dwa promienie – zwyczajny i nadzwyczajny, które są spolaryzowane liniowo i ortogonalnie do siebie [3].

Sama dwójtomność może występować naturalnie poprzez anizotropową orientację atomów lub cząsteczek w ośrodku optycznym, ale może również być indukowana przez zmianę naprężeń w ośrodku optycznym. Miarą dwójtomności jest różnica współczynników załamania promieni nadzwyczajnego i zwyczajnego [1].

$$\Delta n = n_n - n_z \quad (1.1)$$

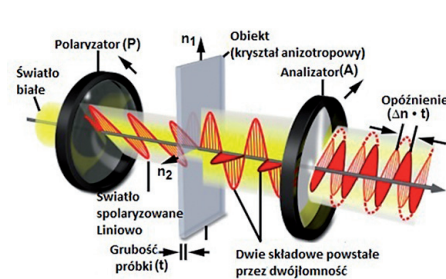
Inny rodzaj polaryzacji światła to polaryzacja kołowa. Jedną z metod uzyskania światła spolaryzowanego kołowo jest przepuszczenie światła spolaryzowanego liniowo przez ćwierćfalówkę w taki sposób, by oś polaryzacji wiązki padającej miała kąt w stosunku do kierunków drgań promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego w ćwierćfalówce. Dodatkowo, jeśli

światło spolaryzowane kołowo przejdzie przez ćwierćfalówkę, to stan jego polaryzacji z powrotem będzie liniowy [4]. W ćwierćfalówce różnica dróg optycznych wynosi

$$\Delta s = d\Delta n, \quad (1.2)$$

gdzie d to grubość płytki, a Δn to dwójtomność.

Jeżeli w polaryskopie liniowym umieścimy dwójtomny ośrodek między polaryzatorem i analizatorem, to światło liniowo spolaryzowane przez polaryzator trafi na badany dwójtomny materiał, w którym ulegnie rozszczepieniu na dwie składowe wiązki – zwyczajną i nadzwyczajną, oscylujące równoległe do osi i ortogonalnie względem siebie (ze zmienioną polaryzacją). Wiązki te po przejściu przez badany materiał trafiają na analizator, którego kierunek polaryzacji jest prostopadły do kierunku polaryzacji polaryzatora w tym układzie. W związku z tym przez analizator przejdą tylko te składowe światła, których kierunek polaryzacji jest zgodny z osią analizatora. Wówczas możemy zaobserwować miejsca, w których opóźnienie jednej wiązki w stosunku do drugiej są większe i mniejsze, dzięki obrazowi interferencyjnemu. Miejsca, gdzie dwójtomność jest największa (na przykład pod wpływem ucisku na materiał), będą charakteryzować się większym opóźnieniem niż miejsca, gdzie materiał wykazuje mniejszą dwójtomność i opóźnienie jest mniejsze lub w ogóle nie występuje [5,6].

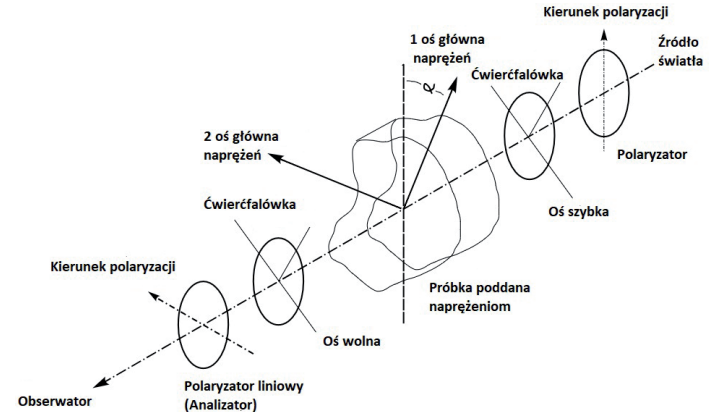


Rys. 1. Schemat polaryskopu z polaryzacją liniową. Źródło: www.microscopy.com/techniques/polarized-light/

Obserwowany obraz z polaryskopu liniowego, w którym zastosowano światło polichromatyczne lub monochromatyczne, pokazuje linie izochrom oraz izoklinów. Izochromy powstają w wyniku wygaszania się długości fal po przejściu przez materiał dwójtomny. Pokazują one miejsca występowania różnic naprężenia w materiale. Są barwnymi liniami w świetle polichromatycznym lub ciemnymi i jasnymi w świetle monochromatycznym, co wówczas ułatwia ich zaobserwowanie. Z ich pomocą można obliczyć gradient naprężeń w materiale, nie dają jednak informacji o kierunku wektora naprężenia. Izokliny wskazują na linie, gdzie kierunek naprężeń pokrywa się z kierunkiem polaryzacji polaryskopu. Dostarczają informacji na temat kierunków naprężeń w materiale optycznym. Obracając analizator polaryskopu otrzymujemy informacje na temat izoklin, które wówczas będą się zmieniać w zależności od tego, jakie kierunki wektora mają oś wolna i szybka dwójtomności w materiale wywołanej naprężeniem. Dzięki temu możemy określić kierunki istniejących naprężeń. Łącząc izokliny z izochromami możemy stworzyć model gradientu naprężeń wraz z ich kierunkami. Jednoczesna obserwacja izochrom i izoklin jest trudna, zwłaszcza w świetle polichromatycznym. Sposobem na ich rozróżnienie jest obracanie próbki w polaryskopie liniowym lub zastosowanie polaryskopu z polaryzacją kołową [7].

W polaryskopie kołowym niespolaryzowane światło monochromatyczne lub polichromatyczne po przejściu przez polaryzator zmienia swoją polaryzację na liniową. Następnie trafia na płytkę ćwierćfalową, która jest ustawiona tak, że jej osie główne tworzą z osią polaryzacji kąt 45°, przez

co światło zmienia swoją polaryzację na kołową. Światło spolaryzowane kołowo przechodzi przez materiał, którego naprężenia chcemy sprawdzić i trafia na kolejną płytkę ćwierćfalową, przez co zmienia polaryzację na liniową, a następnie na analizator [7].



Ryc. 2. Schemat polaryskopu z polaryzacją kołową. Źródło: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelasticity>

Za pomocą równań Maxwella można pokazać, że dla optycznie anizotropowego ośrodka dwie liniowo spolaryzowane fale podróżują ścieżkami z różnymi współczynnikami załamania; tę własność materiału nazywamy dwójtomnością. Współczynniki załamania danego ośrodka są zdefiniowane przez tensor drugiego rzędu, którym jest przenikalność elektryczna.

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Tensor przenikalności elektrycznej można przedstawić w następujący sposób:

$$\sum_{ij} B_{ij}x_i x_j = 1 \rightarrow B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{33}x_3^2 + 2B_{12}x_1x_2 + 2B_{23}x_2x_3 + 2B_{13}x_1x_3 = 1 \quad (1.4)$$

Tensor w takiej postaci jest równaniem opisującym powierzchnie drugiego stopnia, a reprezentuje współczynniki powierzchni optycznej. Powyższe równanie określa się mianem elipsoidy indeksów optycznych i opisuje właściwości optyczne materiału. Elipsoida definiuje wszystkie kierunki tensora drugiej rangi, w tym główne osie. Współczynniki załamania są zdefiniowane przez półosie elipsoidy indeksowej. Przyłożenie mechanicznego stresu w postaci nacisku na materiał optyczny modyfikuje właściwości optyczne materiału poprzez modyfikację tensora przenikalności elektrycznej. Zatem izotropowy i jednorodny materiał optyczny, poprzez wpływ mechanicznego napięcia, stanie się optycznie anizotropowy. Mechaniczne napięcie modyfikuje również optyczne własności materiałów naturalnie dwójtomnych, jak na przykład kryształy kalcytu. Zjawisko to znane jest jako fotoelastyczność lub dwójtomność wymuszona naprężeniem. Zmiany we współczynnikach załamania spowodowane mechanicznym stresem (naciskiem) wywołują zmiany w tensorze przenikalności elektrycznej, które zmieniają rozmiar, kształt i ułożenie elipsoidy indeksów. Zmiany w tensorze przenikalności elektrycznej wywołane stresem mechanicznym są zadane transformacją tensora czwartego rzędu

$$\Delta B_{ij} = B_{ij} - B_{ij}^0 = q_{ijkl}s_{kl}, \quad (1.5)$$

gdzie q jest macierzą współczynników stresu optycznego, a s jest tensorem stresu optycznego [8, 9].

Materiały i metody

Polaryskopy służą do wykrywania naprężeń wewnętrznych w materiale optycznym i naprężeń wywołanych uciskiem soczewki okularowej przez oprawę dzięki dwójtomności.



Foto: Mateusz Grzesik

Rys. 3. Zdjęcie polaryskopu z polaryzatorem i analizatorem

Najprostszy liniowy polaryskop składa się z liniowego polaryzatora i analizatora, a między nimi umieszczany jest dany obiekt. Pozwala zaobserwować różnicę w drogach optycznych, która jest ważną cechą ośrodków naturalnie dwójtomnych. Dwójtomność, którą

rozważamy, jest

wywołana sztucznie przez naprężenia w ośrodku wywołane naciskiem oprawy [5]. Różnica dróg optycznych pozwala obliczyć naprężenia czy też odkształcenia ośrodka, który jest badany. Aby poprawić widoczność występujących naprężeń ośrodka, przed analizatorem umieszcza się płytkę z kryształu dwójtomnego (może to być gips) – w polu widzenia pojawia się barwa purpurowa. Nawet przy niewielkich naprężeniach można zaobserwować zmiany zabarwienia – jest to skutek interferencji wiązek przesuniętych względem siebie w fazie. Światło z żarówki, rozpraszane przez matówkę, pada na powierzchnię pokrywającą stolik z polaryzatorem. Sprawdzenia, czy naprężenia występują, dokonuje się patrząc przez analizator poprzez zbliżenie do niego oka (starsze polaryskopy) lub spojrzenie w okno analizatora (nowsze modele). Ucisk oprawy na soczewkę okularową powoduje powstanie interferencyjnych obrazów naprężeń w szkłe okularowym [10].

Podczas procesu tworzenia szkła okularowego, zarówno soczewek mineralnych, jak i organicznych, przeprowadzonego w nieodpowiedni sposób, w soczewce powstają naprężenia wewnętrzne, których nie da się zobaczyć okiem nieuzbrojonym [11]. Światło, które biegnie przez takie szkło, rozdziela się w miejscach naprężenia na dwie wiązki o kierunkach drgań wektora pola elektrycznego ortogonalnych względem siebie. Wówczas obie wiązki światła spolaryzowanego są przesunięte w fazie. Naprężenia mogą być też wywołane przez kleiwa (np. balsam jodłowy). Niezależnie od przyczyny ich powstania, powodują znaczne obniżenie jakości obrazu w przyrządzie optycznym [2].

Powstające naprężenia wewnętrzne oraz indukowane poprzez czynniki zewnętrzne nie będą identyczne w każdym materiale będącym ośrodkiem optycznym. Naprężenia powodują zmianę rozkładu współczynnika załamania i kształtu soczewki – wpływa to na zmia-

nę funkcji optycznych soczewki. Zwiększają się aberracje soczewki, szczególnie na peryferiach, gdzie naprężenia są większe (rys. 5). W układzie optycznym można znaleźć różne aberracje. Najpowszechniejsze z nich to: aberracja chromatyczna, astygmatyzm, dystorsja, krzywizna pola, koma, rozogniskowanie i aberracja sferyczna. Aberracja chromatyczna zostanie wyjaśniona bardziej szczegółowo w dalszej części artykułu.

Wyniki badań [12] przedstawiają mechaniczne właściwości powszechnie używanych termoplastycznych materiałów optycznych. Wśród badanych materiałów znalazły się: PMMA (szkło akrylowe), COP (Cyklo olefinopolimer), COC (Cyklo olefinokopolimer), poliwęglan, polistyren, poliester, PEI (polieteroimid) i szkło mineralne N-BK7. Każdy z tych materiałów ma charakterystyczną dla siebie liczbę Abbego. Liczba Abbego w optyce oznacza parametr charakteryzujący właściwości optyczne materiału. Dyspersja zaś to zależność współczynnika załamania od długości fali padającej lub częstotliwości. Światło padające na pryzmat ulega rozszczepieniu w taki sposób, iż najsilniej są załamywane długości fal o dużej częstotliwości oscylacji (światło niebieskie), a najslabiej o małej częstotliwości oscylacji (światło czerwone). Pryzmat ma więc większy współczynnik załamania dla barwy fioletowej niż czerwonej. To zjawisko jest potrzebne do zrozumienia pojęcia dyspersji średniej, która jest różnicą współczynników załamania $n_f - n_c$ dla niebieskiej linii wodoru F (o długości 486,1327 nm) i czerwonej linii wodoru C (o długości 656,2816 nm). Im pryzmat silniej rozszczepia światło, tym materiał, z którego jest wykonany, ma mniejszą liczbę Abbego i na odwrót [12].

W optyce okularowej przyjmuje się, że im wyższą liczbę Abbego ma materiał, tym ma lepsze właściwości optyczne i mniej aberracji chromatycznych. Jednak patrząc na tabelę 1 można stwierdzić, że soczewka z materiału o wysokiej liczbie Abbego niekoniecznie jest lepsza od takiej z niską, bo może mieć wyższą dwójtomność, a więc i większe aberracje.

Z tabeli 1 można odczytać, że dla styrenu o liczbie Abbego równej 31 mamy największą dwójtomność w 10-stopniowej skali. PMMA ma inny współczynnik załamania niż COC, pamiętając, że miara dwójtomności to miara pomiędzy n promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego. Liczba Abbego określa dyspersję, a nie dwójtomność. W soczewkach okularowych wykonanych z poliwęglanu, których rozmiar jest zbyt duży w porównaniu do miejsca w oprawie okularowej, powstaną na-

Materiał	PMMA	COP	COC	Poliwęglan	Styren	Poliester	PEI	Szkło N-BK7 (wartości odniesienia)
Współczynnik załamania (linia D 89,2 nm)	1.49	1.53	1.53	1.585	1.59	1.61	1.68	1.52
Liczba Abbego	58	56	58	34	31	27	19	64
Transmitancja dla światła widzialnego dla soczewki bez powłok (%)	92	92	92	89	88	90	50	91
Dwójtomność (w skali od 0 do 10)	4	2	2	7	10	2	-	1

Tab. 1. Porównanie własności optycznych popularnych materiałów używanych w soczewkach [6]

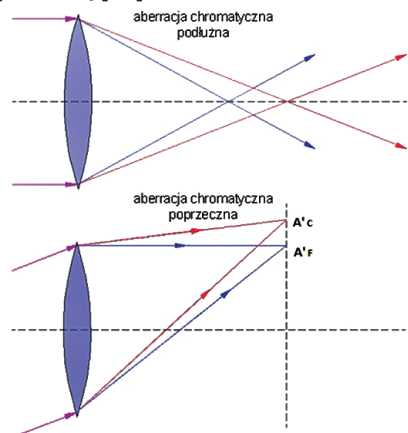
prężenia, a co za tym idzie – zwiększą się aberracje. W tabeli 1 można zauważyć, że poliwęglan ma dość niską liczbę Abbego – 34, a jego dwójtomność wynosi aż 7. Pod wpływem powstałych naprężeń pojawia się promienie światła, których kierunki wektora pola elektrycznego będą prostopadłe względem siebie. Dodatkowo zwiększą się też aberracje chromatyczne.

Jeden z producentów soczewek okularowych podaje, że soczewki z poliwęglanu są bardziej wytrzymałe, chronią przed promieniowaniem UV, są lżejsze i cieńsze niż soczewki z plastiku. Jednak ze względu na niską liczbę Abbego materiału należy pamiętać, że warto sprawdzić w polaryskopie naprężenia w zamocowanej soczewce i minimalizować te naprężenia w miarę możliwości, w celu uzyskania obrazu z jak najmniejszymi aberracjami [13].

Oczekuje się, że światło po przejściu przez soczewkę okularową będzie miało jak najmniejszą różnicę czasu pomiędzy promieniem zwykłym i nadzwyczajnym oraz w niewielkim stopniu będzie ulegać aberracjom polichromatycznym. Aby jak najbardziej zbliżyć się do tej idealnej sytuacji, staramy się minimalizować aberracje stosując materiały o wysokiej liczbie Abbego oraz szlifując soczewki tak, by nie były uciskane przez oprawę okularową (nie mogą być jednak zbyt luźne).

Czym właściwie jest aberracja chromatyczna? Nie istnieją układy idealne (stygmatyczne) – każdy odwzorowujący układ jest obciążony pewnymi błędami, którymi są aberracje optyczne. Najlepsze odwzorowanie, ograniczone tylko dyfrakcyjnie, zachodzi dla promieni przyosiowych.

Gdy użytkownik nosi okulary, ma do czynienia ze światłem polichromatycznym, które składa się ze wszystkich barw, a więc każda z soczewek okularowych, tak jak każdy inny przyrząd optyczny, będzie obciążona w większym czy mniejszym stopniu aberracją chromatyczną. Dla każdej długości fali światła padającego soczewka utworzy obraz, który będzie położony w innym miejscu. Obraz dla barwy niebieskiej będzie leżał bliżej soczewki niż obraz dla barwy czerwonej, a więc jeśli wstawiłoby się za taką soczewką ekran i szukano obrazu przedmiotu, to można zobaczyć wielobarwny krążek. Nazywa się to aberracją chromatyczną położenia czy też aberracją chromatyczną podłużną [14].



Rys. 4. Przedstawienie aberracji chromatycznej podłużnej i poprzecznej. Źródło: Optyczne.pl

Jeżeli punkt A zostanie umieszczony poza osią soczewki, to promienie światła trafią na krawędź soczewki, zostaną załamane i rozszczepione. Punkt skupienia promieni niebieskich jest bliżej osi optycznej niż promieni czerwonych. Obrazem punktu A będzie w tym przypadku odcinek $A'_c A'_r$. To z kolei nazywamy aberracją chromatyczną wielkości (powiększenia) czy też aberracją chromatyczną poprzeczną [14].

Aberracja chromatyczna ma istotny wpływ na jakość powstającego obrazu, nie oznacza to jednak, że inne aberracje nie mają wpływu na jakość obrazowania. Jeśli naprężenia mają wpływ na aberracje chromatyczne, to także i na aberracje wyższego rzędu, które choć nie są najistotniejsze, to mają wpływ na widzenie i czasami samo zmniejszenie ich wpływu zmienia komfort użytkownika okularów.

Nadmierne naprężenia mogą spowodować wzrost dwójtomności istotny dla jakości obrazu, mogą również doprowadzić do uszkodzenia soczewki, a w skrajnym przypadku nadmierny nacisk na oprawę może spowodować zniszczenie samej oprawy. Dwójtomność można określić w czterostopniowej skali, która zależna jest od metody wyżarzania. Jak widać w poniższej tabeli 2, jeżeli proces wyżarzania jest precyzyjny, to w soczewce występuje mniej lub równo 4 nm naprężenia na centymetr soczewki. Im gorszy sposób wyżarzania, a więc i studzenia, tym gorsza optyka soczewek, które potem poddawane są szlifowaniu [15]. Dlatego też warto pamiętać, że jak najlepiej wstawione soczewki w okulary swoją dobrą optykę zawdzięczają dwóm składowym: w procesie ich wytwarzania musi być największa precyzja, a każdy proces musi trwać odpowiedni czas, natomiast zadaniem optyka jest zadbać o odpowiednie wyszlifowanie i sprawdzenie każdej pary okularów w polaryskopie, by w przypadku zaobserwowania dużych naprężeń dokonać niewielkiej korekty wielkości soczewki poprzez ponowne szlifowanie, tym samym poprawiając jej właściwości i zmniejszając aberracje. Jeśli choć jedna z tych składowych nie będzie obecna, to efekt nie będzie tak dobry, jak powinien być.

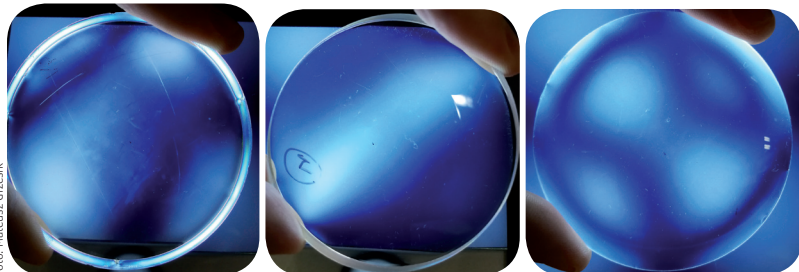
Stopień	Dwójtomność wywołana naprężeniem (nm/cm)
1	≤ 4 (precyzyjne wyżarzanie)
2	5 – 9 (udane wyżarzanie)
3	10 – 19 (wyżarzanie rekrytalizujące)
4	≥ 20 (niedostateczne wyżarzanie)

Tab. 2. Skala stopniowania dwójtomności w zależności od naprężeń po procesie wyżarzania szkła mineralnego [5]

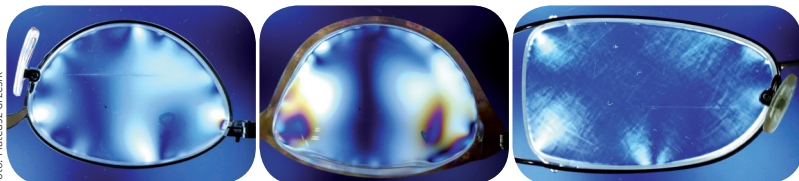
Wyniki z dyskusją

Przedstawione własności materiałów optycznych na soczewki okularowe, geneza powstawania aberracji wyższego rzędu, dwójtomności na skutek naprężeń w soczewkach spowodowanych naciskiem oprawy bądź błędami w procesie produkcyjnym – wszystko to wskazuje na to, że analiza gotowych okularów za pomocą polaryskopu jest jednym z bardzo ważnych aspektów kontroli okularów. Może dawać również wskazówki, dlaczego pacjent nie widzi dobrze w okularach wykonanych zgodnie z parametrami oraz po dobrze wykonanym badaniu refrakcji – przyczyną mogą być naprężenia w soczewkach, które powodują pogorszenie właściwości optycznych okularów, a w konsekwencji problemy z ich użytkowaniem przez pacjenta. Można dokonać analizy polaryskopem okularów już wykonanych i przyniesionych przez pacjenta do zakładu w celu zidentyfikowania problemu złego widzenia, które występuje mimo braku innej widocznej przyczyny (zły rozstaw, złe wysokości środków optycznych, złe moce soczewek, złe parametry oprawy). Analiza taka nie jest czasochłonna i może być szybko wykonana. Poza złym widzeniem można przewidzieć, czy

na przykład w zmiennych warunkach temperaturowych zbyt ciasna soczewka może ulec uszkodzeniu lub oprawa okularowa może ulec pęknięciu przez zbyt dużą soczewkę. Można wówczas zapobiec takiemu wypadkowi i reklamacji poprzez delikatne zmniejszenie średnicy soczewki, co zmniejszy naprężenia i ograniczy prawdopodobieństwo zniszczenia okularów.



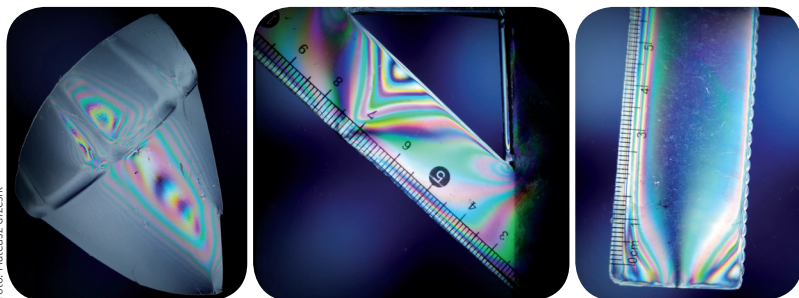
Rys. 5. Naprężenia w nieoszlifowanych soczewkach okularowych indukowane uciskiem na soczewkę



Rys. 6. Naprężenia w soczewkach okularowych spowodowanych uciskiem oprawy



Rys. 7. Porównanie naprężeń soczewki bez oprawy oraz w oprawie okularowej



Rys. 8. Obraz naprężeń wewnętrznych w różnych ośrodkach optycznych

Wnioski

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty dotyczące zarówno procesu wytwarzania soczewek okularowych, jak i ich szlifowania i montowania, bardzo istotną kwestią jest kontrola soczewek przed szlifowaniem, by dokonać analizy jakości i uniknąć soczewek wadliwych z naprężeniami wewnętrznymi. Drugą istotną kwestią jest kontrola soczewek po oszlifowaniu i wstawieniu w oprawę, aby sprawdzić, czy soczewka ma odpowiedni rozmiar. Jeśli nie jest on odpowiedni, może uciepnieć obraz dawany przez soczewkę, sama soczewka bądź oprawa okularowa. Posiadając wiedzę na temat działania polaryskopu, właściwości światła oraz na temat właściwości optycznych materiałów soczewek, można dokonywać jakościowej analizy okularów.

Piśmiennictwo

1. www.microscopyu.com/techniques/polarized-light/principles-of-birefringence (dostęp: 25.04.2018)
2. T. Wagnerowski. *Optyka praktyczna*. Państwowe Wydawnictwo Techniczne, wyd. I, Warszawa 1959, str. 98–99
3. J.W. Goodman. *Optyka statystyczna*. Warszawa 1993, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, str. 115–123
4. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/cwiercfalowka;3890147.html> (dostęp: 27.04.2018)
5. F. Ratajczyk. *Instrumenty optyczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, wyd. II, Wrocław 2005, str. 202–203
6. D.B. Murphy et al. *Principles of birefringence*. Department of Cell Biology and Microscope Facility, Johns Hopkins University School of Medicine
7. www.doitpoms.ac.uk/tlplib/photoelasticity (dostęp 28.04.2018)
8. J. Blinowski. *Makroskopowy tensor zespolonej przenikalności dielektrycznej i przybliżenie pola samo uzgodnionego*. www.ifpan.edu.pl/ON-1/Artykuly/J.Blinowski.1974.pdf (dostęp 25.04.2018)
9. Keith B. Dole et al. *Stress Birefringence Modeling for Lens Design and Photonics*. www.sigmadyne.com/sigweb/downloads/IODC-Birefringence.pdf (dostęp 25.04.2018)
10. A. Hein, A. Sidorowicz, T. Wagnerowski. *Oko i okulary*. Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego, wyd. I, Warszawa 1960, str. 36–37
11. J. Walas. *Glass Stress and Annealing*. www.public.asu.edu/~aomdw/GSI/Glass_Strain.html (dostęp: 24.04.2018)
12. W.S. Beich. *Plastic Optics: Specifying Injection-Molded Polymer Optics*. www.photonics.com/a25487/Plastic_Optics_Specifying_Injection-Molded (dostęp: 24.04.2018)
13. www.polavision.pl/polikarbonowe-soczewki.html (dostęp: 24.04.2018)
14. A. Sojecki. *Optyka*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne 1980, wyd. III, str. 107–109
15. HOYA. *Optical Glass*. www.hoyaoptics.com/pdf/OpticalGlass.pdf (dostęp: 24.04.2018)

Dział „Optyka – nauka”: zapraszamy do współpracy!

Redakcja „Optyki”, realizując postulaty środowisk akademickich oraz organizacji reprezentujących środowiska optyków i optometrystów (KRIO, PT00, ŚKA00iO), prowadzi dział „Optyka – nauka”. Przedsięwzięcie to ma na celu umożliwienie publikacji oryginalnych wyników badań naukowych przede wszystkim studentom, doktorantom oraz młodym pracownikom nauki. „Optyka” znalazła się na liście punktowanych czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. **Za publikację w naszym czasopiśmie przyznawane są 2 punkty naukowe!** Nad merytorycznym poziomem nadsyłanych do druku prac czuwa Rada Naukowa dodatku „Optyka – nauka” w składzie:

Prof. dr hab. **RYSZARD NASKRĘCKI** (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)

Dr hab. inż. **D. ROBERT ISKANDER** (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. **HENRYK KASPRZAK** (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. **ANDRZEJ KOWALCZYK** (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)

Dr hab. **MAREK KOWALCZYK-HERNÁNDEZ** (Uniwersytet Warszawski)

Prof. dr hab. **BOGDAN MIŚKOWIAK** (Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu)

Rada korzysta także z pomocy zewnętrznych recenzentów.

Wszelkie informacje na temat wymogów przygotowywania manuskryptów znajdują się na naszej stronie internetowej: www.gazeta-optyka.pl.