

Methodology of selected strength tests of glasses frames

Metodyka wybranych badań wytrzymałościowych opraw okularowych

ŁUKASZ BĄK
PATRYCJA EWA JAGIEŁOWICZ
PIOTR POŁOWNIAK
KAMA WIŚNIEWSKA
PATRYK WIŚNIEWSKI
PIOTR NIECKARZ *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2023.7.14>

Presented and discussed are the functional tests of glasses frames made of polymer material. They included: temple bending, three-point bending of the temples, bending of the temple ends, bridge strength test, impact strength test, static compression test and low-cycle fatigue test of the frame-temple connection.

KEYWORDS: strength tests of glasses elements, glasses frames

Przeprowadzono i omówiono badania funkcjonalne opraw okularów z tworzywa polimerowego. Obejmowały one: rozginanie zauszników, trójpunktowe zginanie zauszników, odginanie końcówek zauszników, badanie wytrzymałościowe mostka, sprawdzenie wytrzymałości na zniszczenie w próbie udarnościowej, statyczną próbę ściskania oraz badanie zmęczeniowe niskocyklowe połączenia oprawy z zausznikiem.

SŁOWA KLUCZOWE: badania wytrzymałościowe elementów okularów, oprawy okularów

Wprowadzenie

Współcześnie dostępne są oprawy do okularów w szerokim wyborze stylów i materiałów [1, 2]. Wśród materiałów stosowanych w produkcji opraw okularów można wymienić: tworzywa polimerowe, stal nierdzewną, metale nieżelazne i ich stopy. Pojawiają się też wyroby z nowatorskich materiałów, takich jak: drewno, bambus, kość i róg bawoli, skóra oraz kamienie szlachetne. Część z nich pełni funkcje dekoracyjne, inne stanowią główny surowiec produkcyjny.

Nowatorskie podejście do indywidualnego dopasowywania okularów do twarzy zaproponowano w pracy [3], a wytworzenie produktu odbywać się może z wykorzystaniem druku 3D. Przykładowo w pracy [4] opisano sposób wykonania opraw okularów z materiałów ABS i PLA z użyciem technologii addytywnej FDM. W artykule [5] opisano wyniki doświadczalnych badań wytrzymałości okularów ochronnych w aspek-

cie zapewnienia ochrony wzroku w sytuacjach wypadkowych. W pracy [6] przedstawiono prototypową wersję urządzenia do badania odporności opraw okularów przy czynności zakładania i zdejmowania okularów z twarzy.

W niniejszym artykule zaproponowano metody badań wytrzymałościowych dla opraw okularów, w tym obejmujące rozginanie zauszników, zginanie trójpunktowe zauszników, odginanie końcówek zauszników, badanie wytrzymałościowe mostka, sprawdzanie wytrzymałości na zniszczenie w próbie udarnościowej, statyczną próbę ściskania oraz badanie zmęczeniowe niskocyklowe połączenia oprawy z zausznikiem. Wykorzystanie omawianych metod badań pozwoli na ocenę podatności opraw okularowych na uszkodzenia podczas ich użytkowania, jak: pęknięcia, trwałe odkształcenia czy wykruszenia. Wyniki badań dla oprawy handlowej mogą być też traktowane jako odniesienie do badań opraw wykonanych z nietypowych materiałów, np. z kompozytu zbrojonego tkaniną z włókien pochodzenia naturalnego, takich jak juta czy len.

Wyznaczenie charakterystyki rozginania zausznika

Badanie rozginania zausznika miało na celu określenie siły granicznej, jaką można wyrzucić na zauszniki podczas ich otwierania, aby nie doszło do trwałego uszkodzenia oprawy. Badania wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej oraz uchwytów specjalnych. Pomiar przemieszczenia był realizowany za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny. Do badań wykorzystano oprawę przedstawioną na rys. 1.

Badanie realizowano poprzez umieszczenie oprawy w specjalnych przegubowych uchwytach (rys. 2a, 2b). Rozstaw zauszników zamocowanych w uchwycie dla każdej próby był równy odległości zauszników znajdujących się w swobodnej, otwartej pozycji. Badanie

* Dr inż. Łukasz Bąk – lbak@prz.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0001-8164-3160> – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów

Dr inż. Patrycja Ewa Jagiełowicz – pejagielowicz@prz.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-0151-9405> – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów

Dr inż. Piotr Połowniak – ppolowniak@prz.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-6199-1296> – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów

Inż. Kama Wiśniewska – pracowniaalternatywna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-8173-8018> – ARTidote Design Studio, Mielec

Mgr inż. Patryk Wiśniewski – patryk@basara.pl, <https://orcid.org/0009-0007-6571-3238> – PPH S.C. BASARA, Mielec

Mgr inż. Piotr Nieckarz – PPH S.C. BASARA, Mielec



Fig. 1. Frame for the research
Rys. 1. Oprawa okularowa przeznaczona do badań

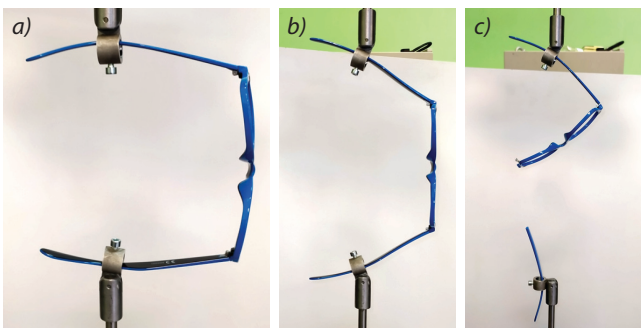


Fig. 2. View of the frame: a) after installation in the holder, b) during the test, c) after the test
Rys. 2. Oprawa: a) po zainstalowaniu w uchwycie, b) w trakcie badania, c) po realizacji badania

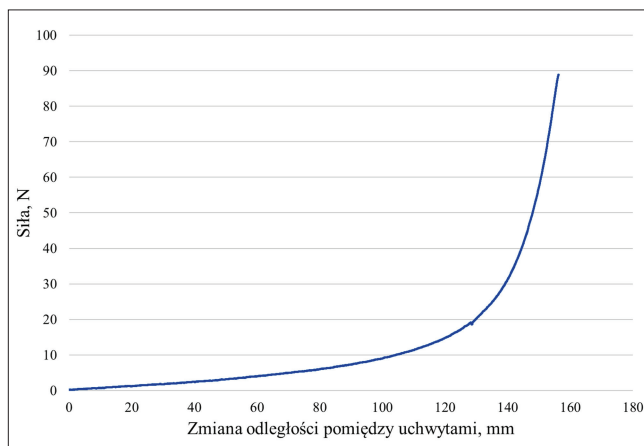


Fig. 3. Temple bending characteristics
Rys. 3. Charakterystyka rozginania zauszników

realizowano ze stałą prędkością przesuwu trawersy równą 200 mm/min, do momentu zniszczenia oprawy. Efekt po zniszczeniu przedstawiono na rys. 2c. W wyniku badań otrzymano charakterystykę siły rozginającej w funkcji przemieszczenia (rys. 3).

W trakcie rozginania po przekroczeniu pewnej wartości siły (~20 N) następowało trwałe odkształcenie metalowych zawiasów łączących front oprawy z zausznikami. Zawiasy ulegały zniszczeniu, co było wynikiem nagłego wzrostu momentu gnącego w obszarze mocowania. Wartość siły niszczącej w przeprowadzonej próbie wynosiła 88,9 N.

Zginanie trójpunktowe zausznika

Badanie wytrzymałościowe w próbie zginania trójpunktowego miało na celu określenie sił i poziomu naprężeń prowadzących do uszkodzenia zausznika podczas zginania. Badanie wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej oraz przyrządu do realizacji próby zginania trójpunktowego. Do realizacji próby ustawiono odległość podpór na 30 mm. Promienie zaokrąglenia stempla oraz podpór wynosiły 5 mm. Pomiar strzałki ugięcia był realizowany za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny.

Zausznik ustawiano na podporach uchwytu w taki sposób, aby zmiana szerokości zausznika na całej długości pomiarowej była jak najmniejsza (rys. 4a). Badanie prowadzono ze stałą prędkością przesuwu trawersy równą 10 mm/min do momentu zniszczenia próbki (rys. 4b).

W wyniku przeprowadzonej próby uzyskano charakterystykę siły zginającej w funkcji strzałki ugięcia. Została ona przedstawiona na rys. 5.

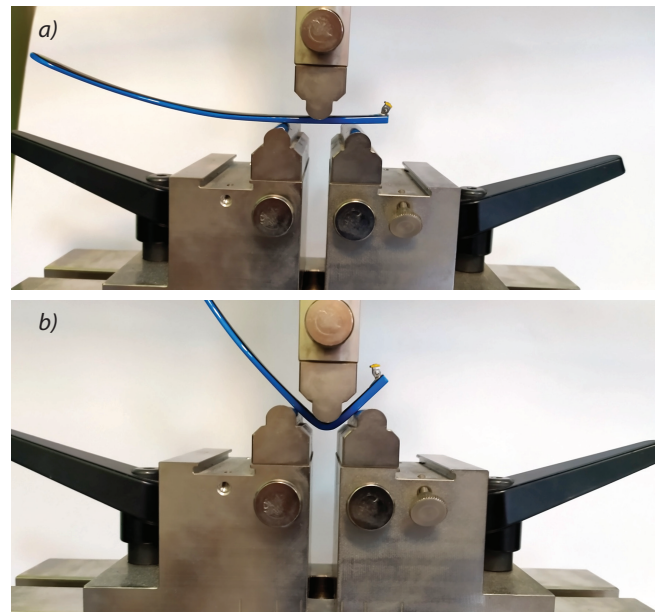


Fig. 4. View of the temple: a) mounted in the holder, b) in the final phase of testing
Rys. 4. Zausznik: a) zamocowany w uchwycie, b) w końcowej fazie badania

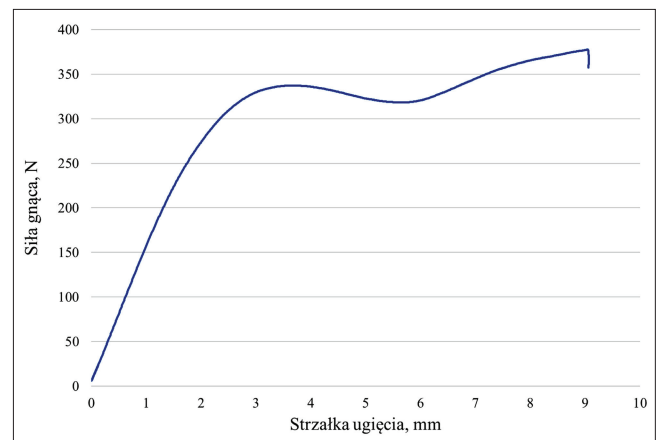


Fig. 5. Flexing characteristics of the three-point temple
Rys. 5. Charakterystyka zginania trójpunktowego zausznika

Po osiągnięciu pewnej siły próbka stale się odkształcała. W obszarze, w którym doszło do pęknięcia, można zauważyć delikatne zabielenie materiału.

Wyznaczanie charakterystyki odginania końcówki zausznika

Badanie odginania końcówki zausznika miało na celu określenie jej sztywności, co wpływa na stabilność obsadzenia oprawy podczas eksploatacji oku-

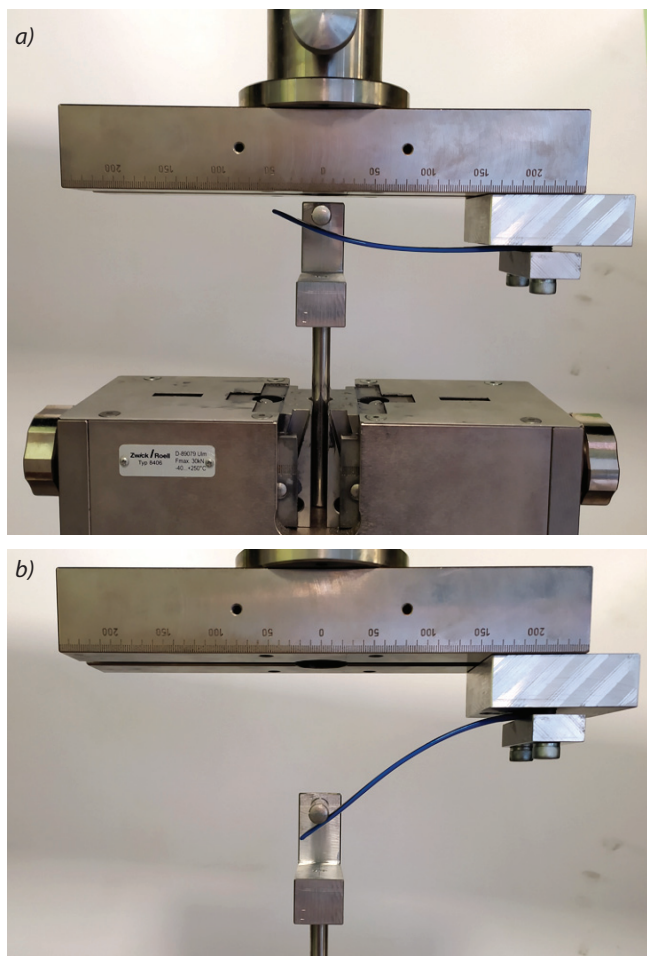
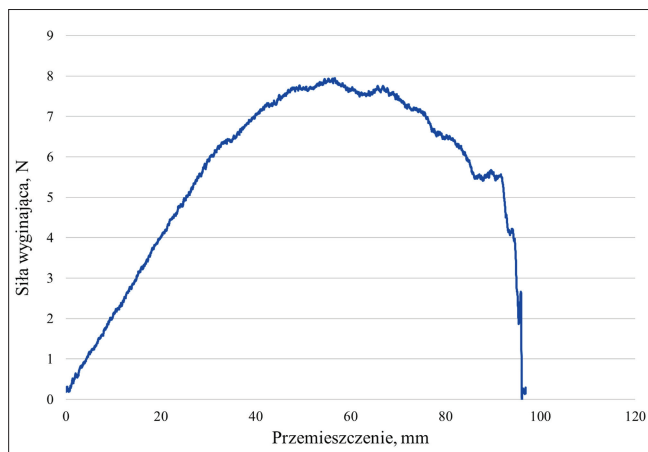


Fig. 6. View of the sample: a) mounted in the holder of the testing machine, b) in the final phase of the test

Rys. 6. Próbką: a) zamocowana w uchwycie maszyny wytrzymałościowej, b) w końcowej fazie badania



Rys. 7. Charakterystyka odginania końcówki zausznika
Fig. 7. The bending characteristics of the tip of the temple

larów. Badanie wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej oraz uchwytów specjalnych. Pomiar przemieszczenia był realizowany za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny.

Zausznik był zamontowany w górnym uchwycie poprzez utwierdzenie w obszarze otworów montażowych zawiasu (rys. 6a). W trakcie badania na końcówkę wywierana była siła wyginająca poprzez uchwyt dolny, który imitował podporę przesuwную. Badanie realizowano ze stałą prędkością przesuwu trawersy równą 100 mm/min do momentu ześlizgnięcia się końcówki zausznika z dolnego uchwytu (rys. 6b). Na podstawie przeprowadzonego badania uzyskano charakterystykę wyginania zausznika, którą zaprezentowano na rys. 7.

Próbka nie uległa pęknięciu ani trwałemu odkształceniu.

Badanie wytrzymałościowe mostka

Próba zginania pozwoliła określić wytrzymałość mostka oprawy na zginanie. Zginanie mostka następuje w momencie nadmiernego rozchylania zauszników oraz w przypadku, gdy na złożone okulary nałożone zostanie obciążenie (np. obciążenie ciężkim przedmiotem). Badania wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej oraz przyrządu do realizacji próby zginania trójpunktowego. Do realizacji próby ustawiono odległość podpór na 40 mm. Promienie zaokrąglenia stempla oraz podpór wynosiły 5 mm. Pomiar strzałki ugięcia był realizowany za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny.

Front oprawy umieszczono na podporach przyrządu do zginania w taki sposób, aby płaszczyzna symetrii frontu była zgodna z płaszczyzną symetrii naciskającego stempla (rys. 8a). Badanie prowadzono ze stałą

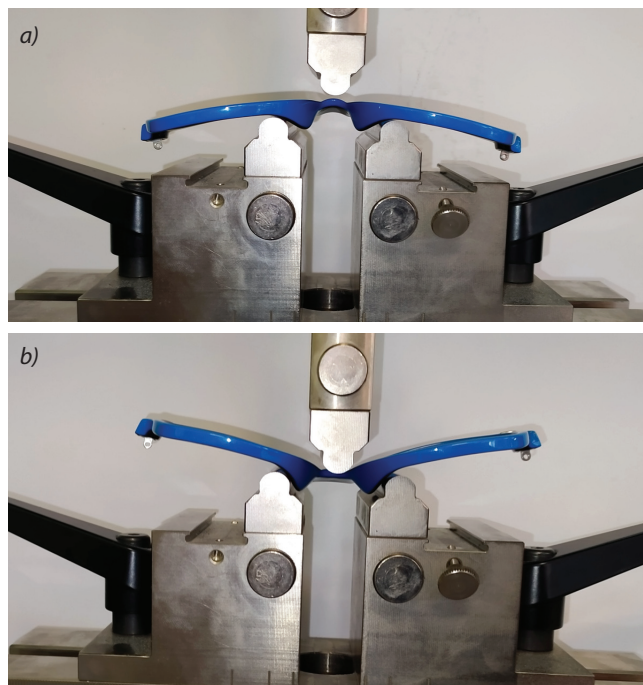


Fig. 8. The front of the frame: a) the sample set on the bending device, b) during the test

Rys. 8. Front oprawy: a) próbka ustawiona na przyrządzie do zginania, b) podczas badania

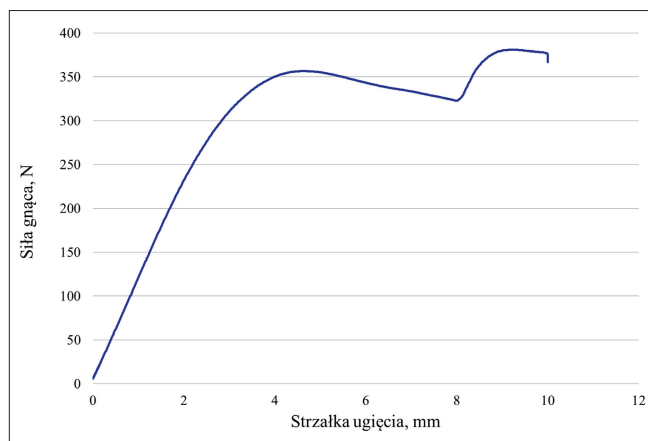


Fig. 9. Bending characteristics in the area of the central frame
Rys. 9. Charakterystyka zginania w obszarze mostka oprawy

prędkością przesuwu trawersy równą 10 mm/min do momentu uszkodzenia mostka (rys. 8b). W wyniku przeprowadzonego badania uzyskano charakterystykę zginania w obszarze mostka (rys. 9).

Badanie wytrzymałości na zniszczenie w próbie udarowościowej

Badanie wytrzymałości na zniszczenie w próbie udarowościowej miało na celu określenie wytrzymałości oprawy pod wpływem obciążenia dynamicznego. Badanie wykonano z użyciem młota kolumnowego Instron Ceast 9440 wyposażonego w płaski bijak o średnicy 50 mm i masie 3,254 kg, kowadło o średnicy 100 mm oraz głowicę pomiarową siły 40 kN.

Oprawę umieszczono na kowadle młota (rys. 10) i wykonywano kilka uderzeń, z tym że z każdym kolejnym uderzeniem zwiększano wysokość uderzenia bijaka, tym samym zwiększając energię uderzenia o oprawę (tablica).



Fig. 10. View of the frame placed on the anvil of the drop hammer
Rys. 10. Oprawa ustawiona na kowadle młota opadowego

TABLE. Drop heights of the hammer used in the impact test and the corresponding impact energy

TABLICA. Wysokości opadania bijaka zastosowane w badaniu udarowościowym i odpowiadająca im energia uderzenia

Lp.	Wysokości opadania bijaka [mm]	Energia uderzenia (obliczona) [J]
1	100	3,19
2	200	6,38
3	300	9,58
4	400	12,77
5	500	15,96
6	600	19,15

Na podstawie przeprowadzonego badania udarowościowego można sformułować spostrzeżenia dotyczące stanu oprawy przy różnych wysokościach spadania bijaka:

- dla wysokości spadania bijaka 100 mm: brak widocznych zmian lub delikatne wgniecenia tworzywa w obszarze zausznika, mostka i nosków,
- dla wysokości spadania bijaka 200 mm: wgniecenie tworzywa w obszarze zausznika, nosków i mostka, wyraźny ślad odkształcenia mostka,
- dla wysokości spadania bijaka 300 mm: pogłębiające się wgniecenia, deformacja zawiasów,
- dla wysokości spadania bijaka 400 mm: pogłębiające się wgniecenia i deformacja zawiasów,
- dla wysokości spadania bijaka 500 mm: pogłębiające się wgniecenia i deformacja zawiasów,
- dla wysokości spadania bijaka 600 mm: bardzo intensywne wgniecenia w obszarze zausznika, nosków i mostka, wykruszenia lakieru w obszarach dużych deformacji, pęknięcie tarczy okularowej.

Statyczna próba ściskania

Statyczna próba ściskania umożliwiła określenie granicznych sił wywierających nacisk na oprawę okularów, które nie spowodują ich uszkodzenia. Badanie wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej wyposażonej w głowicę pomiarową siły 100 kN oraz płyty do realizacji próby ściskania. Średnica górnej płyty wynosiła 95 mm, natomiast płyty dolnej – 165 mm. Na powierzchnię górnej płyty nałożono warstwę elastomeru poliuretanowego o grubości 10 mm. Pomiar przemieszczenia realizowany był za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny.

Oprawę ustawiono na dolnej płycie, a następnie poddano ją naciskowi poprzez warstwę elastomeru poliuretanowego (rys. 11). Zastosowano stałą prędkość przemieszczania górnej płyty o wartości 20 mm/min. Badanie prowadzono do momentu uszkodzenia oprawy.

W wyniku badań uzyskano wykres zależności siły ściskającej oprawy w funkcji przemieszczenia górnej płyty ściskającej (rys. 12). Próba zakończyła się jedynie plastyczną deformacją oprawy, brak było widocznych pęknięć i nieciągłości jej elementów.

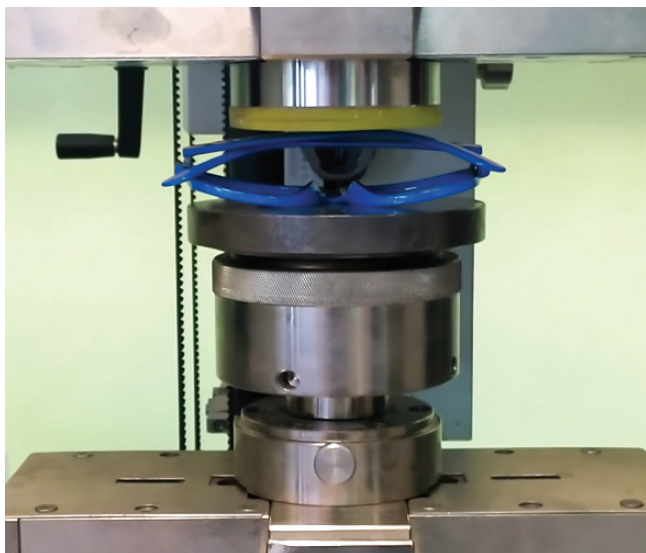


Fig. 11. View of the frame set on the plate of the testing machine
Rys. 11. Oprawa ustawiona na płycie maszyny wytrzymałościowej

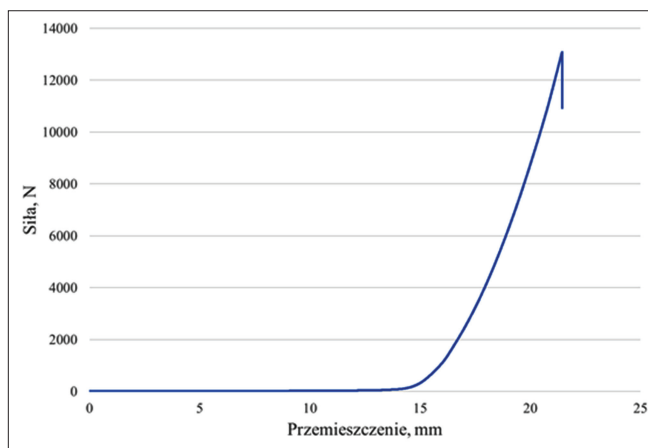


Fig. 12. Graph of the housing compression force as a function of the displacement of the upper compression plate
Rys. 12. Wykres zależności siły ściskającej oprawy w funkcji przemieszczenia górnej płyty ściskającej

Badania zmęczeniowe niskocyklowe połączenia oprawy z zausznikiem

Badanie zmęczeniowe niskocyklowe pozwoliło na sprawdzenie połączenia oprawy z zausznikiem (zawiasu) pod kątem zużycia eksploatacyjnego, jakie może nastąpić podczas nadmiernego rozginania przy rozwieraniu zauszników. Badanie wykonano z użyciem maszyny wytrzymałościowej oraz uchwytów specjalnych. Pomiar przemieszczenia realizowano za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny.

Przed badaniem zmierzono odległość pomiędzy końcówkami zauszników, która wynosiła 108 mm, oraz sprawdzano organoleptycznie stan zawiasów. Badanie realizowano poprzez umieszczenie oprawy w specjalnych, przegubowych uchwytach (rys. 13a). Rozstaw zausznika zainstalowanego w uchwycie był równy odległości zausznika będącego w swobodnej, otwartej pozycji. Badanie realizowano ze stałą prędkością przesuwu trawersy równą 400 mm/min, dla amplitudy przemieszczenia 80 mm (rys. 13b). Dla próby realizowano 500 cykli rozginania, po czym

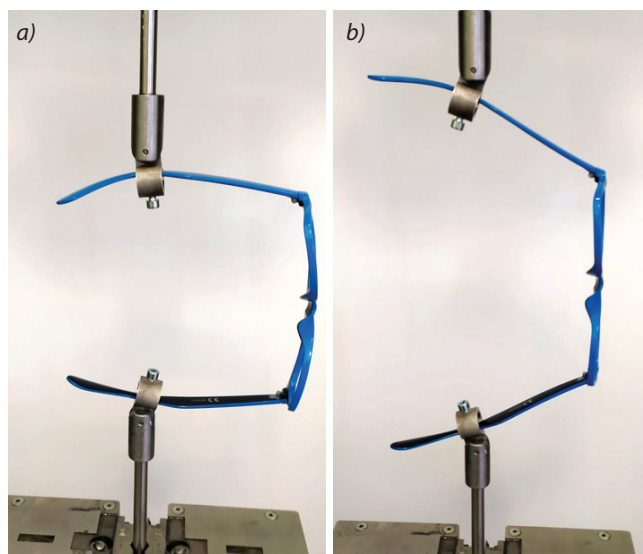


Fig. 13. View of the frame: a) mounted in a special holder, b) during the test
Rys. 13. Oprawa: a) zamocowana w uchwycie specjalnym, b) w trakcie badania

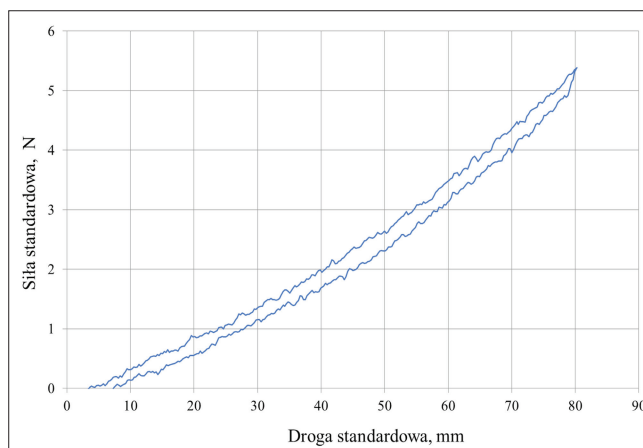


Fig. 14. Load and unload cycle of the frame in the fatigue test
Rys. 14. Cykl obciążenia i odciążenia oprawy w badaniu zmęczeniowym

zdemontowano oprawę i sprawdzano odległości pomiędzy zausznikami oraz stan zawiasów. Na rys. 14 przedstawiono przykładowy cykl obciążenia i odciążenia oprawy.

Nie zaobserwowano zmiany odległości końcówek zauszników przed przeprowadzeniem badania zmęczeniowego i po nim (odległość zauszników przed badaniem: 108 mm, odległość zauszników po badaniu: 108 mm). Nie zaobserwowano również żadnych zmian dotyczących zużycia badanej oprawy.

Wnioski

Omówiona metodyka badań wytrzymałościowych dla opraw okularów pozwala przeprowadzić analizę ich trwałości. Umożliwia ocenę podatności opraw okularowych na uszkodzenia (np. pęknięcia, trwałe odkształcenia, wykruszenia) podczas ich użytkowania. Newralgicznym elementem opraw są zawiasy – w próbie rozginania po przekroczeniu pewnej wartości siły następowało trwałe odkształcenie metalowych zawiasów łączących front oprawy z zausznikami.

Badanie odginania końcówek zauszników miało na celu określenie sztywności końcówki zausznika, co wpływa na stabilność obsadzenia oprawy podczas ich eksploatacji. Próba odginania końcówek zauszników pokazała, że próbka nie uległa pęknięciu ani trwałemu odkształceniu.

Sytuację nadmiernego rozchylania zauszników oraz obciążenie ciężkim przedmiotem złożonych okularów przebadano w próbie zginania mostka. Na podstawie zrealizowanego badania udarnościowego wykonano analizę wytrzymałości oprawy pod wpływem obciążenia dynamicznego – może ono spowodować: wgniecenie tworzywa w obszarze zausznika, nosków i mostka, wyraźny ślad odkształcenia mostka, wykruszenia lakieru w obszarach dużych deformacji i/lub pęknięcie tarczy okularowej.

Przeprowadzenie statycznej próby ściskania miało na celu określenie granicznych sił wywierających nacisk na oprawę okularów, które to siły nie spowodują ich uszkodzenia. Próba zakończyła się jedynie plastyczną deformacją oprawy, brak było widocznych pęknięć i nieciągłości jej elementów.

Badanie zmęczeniowe niskocyklowe połączenia oprawy z zausznikiem miało na celu sprawdzenie zużycia eksploatacyjnego, jakie może nastąpić podczas nadmiernego rozginania przy otwieraniu zauszników. Nie zaobserwowano zmiany odległości końcówek zauszników przed badaniem i po nim oraz nie zaobserwowano żadnych zmian dotyczących zużycia badanej oprawy. Wyniki badań dla oprawy handlowej wytworzonej z tworzywa polimerowego mogą

stanowić odniesienie dla opraw wykonanych z innych materiałów.

Badania zostały wykonane w ramach umowy nr RPPK.01.02.00-18-0028/19-00, Projekt „Rozwój działalności B+R firmy BASARA poprzez opracowanie nowego innowacyjnego produktu”. Projekt współfinansowany z środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

- [1] Gollus K. „Nowoczesne oprawy – wygodne i komfortowe dla klienta, kłopotliwe dla optyka”. *Optyka*. 3, 58 (2019): 34–36, [bwmeta1.element.baztech-06187e7a-790d-4d55-8f4a-03df185a78c7](https://doi.org/10.1515/ptk-2019-0034).
- [2] Kupka D. „Środki ochrony narządu wzroku”. Warszawa: Państwowa Inspekcja Pracy (2015).
- [3] Xu, J., Liu, B., Wang, Y. et al. „Digital design and evaluation for additive manufacturing of personalized myopic glasses”. *Sci Rep*. 12, 12926 (2022), <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17233-9>.
- [4] Besnea D., Rizescu D., Rizescu C.I., Constantin V., Spanu A. “Additive technologies and materials used for making customised glasses frames”. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. (2018): 13–17.
- [5] Gardyński L. „Badania skuteczności środków ochrony oczu przed uderzeniami mechanicznymi”. *Dozór Techniczny*. 2 (2020): 6–8.
- [6] Musetti L., Ventura L. „Prototype for Testing Frames of Sunglasses”. *XXVII Brazilian Congress on Biomedical Engineering* (2022). https://doi.org/10.1007/978-3-030-70601-2_131. ■