

Akademia Sztuk Pięknych im. E. Gepperta
we Wrocławiu
Wydział Ceramiki i Szkła
Katedra Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła

Natalia Moszak

**Lustra weneckie. Problematyka technologiczno–konserwatorska dwóch
neorokokowych lusterek ze zbiorów Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze
o nr inw. MJG 36s, MJG 1245Ps**

Praca doktorska w dziedzinie sztuki,
w dyscyplinie sztuk plastycznych
i konserwacji dzieł sztuki przygotowana pod kierunkiem:
dra hab. Marcina Czeskiego, prof. ASP
dr Katarzyny Wantuch

Wrocław 2024 r.

Składam serdeczne podziękowania moim promotorom, dr Katarzynie Wantuch, dr. hab. Marcinowi Czeskiemu oraz pracownikom Katedry Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła za nieocenioną pomoc oraz wsparcie merytoryczne na każdym etapie powstawania pracy, nade wszystko dziękuję moim bliskim za cierpliwość i okazane wsparcie

| | |
|--|-----|
| Wstęp | 3 |
| Stan badań. | 8 |
| 1. Zagadnienia ogólne dotyczące zwierciadeł ze szczególnym uwzględnieniem luster weneckich. | |
| 1.1. Symbolika, funkcja, znaczenie lustra. | 15 |
| 1.2. Zarys historii luster. | 23 |
| 1.3. Wenecja jako ważny ośrodek w historii szklarstwa europejskiego. | 38 |
| 1.3.1. Sytuacja geopolityczna i gospodarcza Republiki Wenecji w XVIII i XIX wieku. | 48 |
| 1.3.2. Szklarstwo weneckie w XIX wieku. | 62 |
| 1.4. Lustra weneckie w XIX wieku. | 71 |
| 2. Technika i technologia wytwarzania XIX-wiecznych luster weneckich. | |
| 2.1. XIX-wieczne lustra weneckie – charakterystyka. | 78 |
| 2.2. Ewolucja w zakresie technologii i technik wykonywania luster weneckich. | 85 |
| 2.3. Cechy konstrukcji XIX-wiecznych luster weneckich. | 88 |
| 2.4. Technologia i technika wytwarzania tafli szkła. | 95 |
| 2.5. Technologia i technika osadzania powłoki metalicznej na powierzchni szklanej tafli. | 106 |
| 2.6. Formowanie elementów dekoracyjnych XIX-wiecznych luster. | 113 |
| 3. Problematyka konserwatorsko–restauratorska XIX-wiecznych srebrzonych luster weneckich. | |
| 3.1. Rodzaje i przyczyny zniszczeń XIX-wiecznych luster. | 120 |
| 3.1.1. Fizyczne czynniki destrukcji | 120 |
| 3.1.2. Chemiczne czynniki destrukcji. | 134 |
| 3.1.3. Biologiczne czynniki destrukcji. | 149 |

| | |
|--|-----|
| 3.2. Wzajemne oddziaływanie poszczególnych materiałów składowych zwierciadeł w procesie degradacji. | 157 |
| 3.3. Profilaktyka konserwatorsko–restauratorska srebrzonych lusterek..... | 161 |
| 3.4. Cel i metody badawcze srebrzonych lusterek. | 164 |
| 3.5. Konserwacja i restauracja lusterek srebrzonych w typie XIX–wiecznych lusterek weneckich. | 174 |
| 3.6. Wdrożenie procedur konserwatorsko–restauratorskich i ich zastosowanie na przykładzie zwierciadeł o numerach inwentarzowych MJG 36s oraz MJG 1245Ps, będących własnością Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze. | 177 |
| 3.7. Opracowanie standaryzacji właściwego rozpoznania techniki wykonania lusterek oraz związana z nią propedeutyka ich konserwacji i restauracji. | 227 |
| Zakończenie. | 241 |
| Aneks I-V Badania specjalistyczne. | |

Wstęp.

Lustro, niegdyś synonim luksusu, było jednym z bardziej cenionych i pożądaných przedmiotów kultury materialnej. Dziś rozpowszechnione, w przeszłości było niedostępne lub trudno dostępne, a jego cena niejednokrotnie przekraczała ceny dzieł malarskich. Możliwość odbicia światła i otoczenia, a przede wszystkim wizerunku, inspirowała wyobraźnię nie tylko rzemieślników, architektów, naukowców, ale także filozofów i magów. Zwierciadło zdawało się obiecywać dostęp do sfery spoza tego świata, pozwalało zajrzeć głębiej, angażując umysł i zmysły człowieka, szukającego odpowiedzi na wiele pytań dotyczących istnienia. To nie tylko przedmiot sztuki użytkowej i element wystroju, ale związane jest także ze sferą emocjonalną człowieka. Chęć zobaczenia własnego odbicia od zawsze leży w obszarze jego pożądania.

Lustro było jednocześnie motywem wielu utworów literackich odnoszących się do sfery symbolu. Pojawiało się w dziełach o charakterze religijnym, związane z obrzędowością i magią. Stało się przedmiotem łączącym poszczególne kultury. W warstwie leksykalnej stanowi niezwykle pojemne pojęcie i poza znaczeniem odnoszącym się do przedmiotu użytkowego, doczekało się wielu rozmaitych ujęć. Filozofia wielokrotnie odwołuje się do pojęcia zwierciadła, używając go jako metafory. Formy luster zmieniały się na przestrzeni wieków, zależnie od możliwości technologicznych, jednakże znaczenie pozostawało niezmiennie.

Przedmiotem niniejszej dysertacji są zagadnienia historyczne, technologiczne, badawcze oraz konserwatorsko–restauratorskie XIX–wiecznych luster pochodzących z Wenecji, wykonanych w technice srebrzenia szklanych tafli. Cechuje je niezwykła dekoracyjność, wykorzystuje się w nich szeroko ornament, przez co stoją niejako w opozycji do estetyki, która formowała się w Europie od początku XX wieku, a której manifestem stał się esej opublikowany w 1931 roku przez Adolfa Loosa pt. *Ornament i zbrodnia*. Autor utożsamia w nim ewolucję kultury z “usunięciem ornamentu z przedmiotów użytkowych”¹. Biorąc pod uwagę perspektywę współczesnego odbiorcy, związaną z tak ukształtowanym poczuciem estetyki, są to obiekty tyleż interesujące, co stanowiące pewne wyzwanie percepcyjne. Swoją stylistyką nawiązują do stylu rokoko,

¹ A. Loos, *Ornament i zbrodnia. Eseje wybrane.*, tłum. Agnieszka Stępnikowska-Berns, Tarnów, 2013, s. 136.

który mimo iż przyćmiony w XIX-wiecznej Europie przez neoklasycyzm, przetrwał. Neorokoko miało wartość polityczną, nawiązywało do czasów świetności poszczególnych monarchii, przez co chętnie sięgano do repertuaru jego form w wyposażeniu pałacowych rezydencji i willi, nabywanym już nie tylko przez dwory królewskie, ale także bogacących się na rewolucji przemysłowej, przedsiębiorców. Było symbolem statusu, wskazującym na możliwości kupującego i tęsknotą za patriarchalnym porządkiem rzeczy.

XIX-wieczne zwierciadła weneckie to dzieła sztuki użytkowej znajdujące się w kolekcjach muzealnych i prywatnych, wymagające niejednokrotnie przeprowadzenia określonych zabiegów konserwatorskich i restauratorskich. Jednocześnie jest to obszar nierozpoznany wśród badaczy w Polsce i w bardzo małym stopniu w Europie.

Praca ta stanowi przyczynek do projektu metodologii konserwacji i restauracji luster tego typu, jako obiektów o złożonej budowie w kontekście rozpoznania techniki i technologii wykonania oraz procesów destrukcji. Koncepcja pracy zrodziła się w trakcie wieloletniej praktyki autorki w dziedzinie konserwacji i restauracji szkła oraz udziału w pracach związanych z konserwacją i restauracją luster. Zauważono wówczas brak standardów postępowania z tego typu obiektami.

W związku z powyższym, standaryzacja objąć ma nie tylko zabiegi konserwatorsko-restauratorskie, ale przede wszystkim przysłużyć się do ochrony oraz zapobiegania ich postępującej destrukcji poprzez usystematyzowanie wiedzy na temat technologii i techniki odkładania warstw metalicznych na szkło, możliwości ich rozróżnienia i właściwej identyfikacji na poziomie oceny wizualnej. Ma służyć muzealnikom i specjalistom niebędącymi konserwatorami i restauratorami w zakresie konserwacji i restauracji szkła, opiekującymi się zbiorami, w skład których wchodzi omawiane obiekty. Produkcja luster wiązała się z pokrywaniem szkła amalgamatem rtęci oraz cyny, a od II połowy XIX wieku, związkami srebra. Umiejętność identyfikacji i rozróżnienia obu technik, nie jest niestety powszechna, a wydaje się być konieczna z punktu widzenia prewencji konserwatorskiej, w tym warunków przechowywania. Istotny jest także aspekt bezpieczeństwa związany z obecnością związków rtęci w lustrach starszego typu.

Powszechną dotąd praktyką było stosowanie działań naprawczych w podobnych obiektach. W ich ramach udawało się co prawda z powodzeniem przywrócić blask

dawnym zwierciadłom, jednakże aspekty związane z poszanowaniem materii zabytkowej obiektu, konserwacji i restauracji poszczególnych, oryginalnych elementów luster, a także prewencji były zwykle pomijane.

Niniejsze rozpoznanie i standaryzacja opierają się o dzieło konserwatorsko–restauratorskie (studium przypadku), przeprowadzone przez autorkę w latach 2020-2023 w Katedrze Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła wrocławskiej Akademii Sztuk Pięknych. Dotyczą one dwóch dziwiętnastowiecznych luster weneckich, wykonanych w technice srebrzenia szklanych tafli, pochodzących z kolekcji Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze i to one stanowią główną oś pracy.

Ponadto, porównanie technik i technologii związanych z metalizowaniem tafli szkła płaskiego, a także wynikającego z nich stanu zachowania zwierciadeł, możliwe było dzięki doświadczeniom zebranych podczas udziału w pracach konserwatorsko–restauratorskich XVIII–wiecznego zwierciadła pochodzącego z kościoła Narodzenia NMP w Wichrowie, XVIII–wiecznego lustra z Muzeum Narodowego we Wrocławiu oraz dwóch XIX–wiecznych luster z Muzeum Narodowego w Poznaniu, a także doświadczeniach zdobytych przy konserwacji i restauracji drewnianych i metalowych obiektów zabytkowych.

Wymienione wyżej cele zrealizowano także na podstawie badań historycznych, analizie formalnej, technologicznej neorokokowych luster, ponadto analizie stanu zachowania oraz wzajemnych relacji materiałów użytych do ich wykonania. Dodatkowo, wykonano badania specjalistyczne obiektów, stanowiące analizę fizyko–chemiczną. Całość pozwoliła na opracowanie właściwego programu prac konserwatorskich oraz restauratorskich.

W zakres omawianych powyżej badań wchodziły nowoczesne techniki analityczne, między innymi elektronowa mikroskopia skaningowa z analizatorem EDS (SEM EDS), koherentna tomografia optyczna (OCT), spektrometria rentgenowska (XRF) oraz spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie z mikropróbkowaniem za pomocą odparowania laserowego (LA ICP MS).

Praca podzielona jest na trzy części. Pierwsza z nich składa się z sześciu podrozdziałów i dotyczy zarówno kwestii ogólnych, wprowadzających czytelnika w zagadnienie oraz dających szeroki kontekst dla omawianych obiektów i ich znaczenia dla kultury materialnej, jak i odnoszących się bezpośrednio do XIX–wiecznego

szklarstwa w Wenecji. Poszczególne podrozdziały dotyczą symboliki, znaczenia, funkcji i historii luster jako przedmiotu użytkowego, opisują produkcję szkła w Wenecji, a także sytuację geopolityczną i gospodarczą Republiki Wenecji w XVIII i XIX wieku, prowadzącą do jej upadku i przemian politycznych, ustrojowych i gospodarczych. Następnie poruszane są kwestie prób odrodzenia weneckiego przemysłu szklarskiego w XIX wieku i związana z nimi produkcja luster w typie stanowiącym główny temat dysertacji.

Część druga składająca się z sześciu podrozdziałów, dotyczy technik i technologii ich wytwarzania. Zawiera ona charakterystykę rozpatrywanych obiektów oraz omawia ewolucję w zakresie technik i technologii produkcji, opisuje cechy konstrukcji oraz technikę i technologię wyrobu poszczególnych, szklanych elementów zwierciadeł.

Trzecia część pracy składa się z dziesięciu podrozdziałów i związana jest z zagadnieniami dotyczącymi problematyki konserwatorsko–restauratorskiej interesującej autorkę grupy obiektów, ze szczególnym uwzględnieniem szkła oraz omówieniem problematyki ich ewentualnej rekonstrukcji. Poruszone są w niej kwestie dotyczą mechanizmów i natury zniszczeń poszczególnych elementów składowych zwierciadeł oraz zaprojektowanej dla nich odpowiedniej strategii badawczej z obszaru badań fizyko–chemicznych. Szczególną uwagę poświęcono problemowi zjawisk korozyjnych zachodzących na granicy poszczególnych materiałów: szkła i powłoki metalicznej, drewna i szkła oraz szkła i metalu. Ponadto podejmują one temat profilaktyki, konserwacji i restauracji wspomnianych zwierciadeł oraz opracowanej na podstawie doświadczeń, standaryzacji rozpoznania techniki lustrzenia tafli i wynikającej z niej propedeutyki ich konserwacji i restauracji.

Do pracy dołączono również aneksy prezentujące wyniki badań instrumentalnych.

Niniejsza dysertacja, z uwagi na obszerność tematu, celowo pomija temat drewnianych ram dla zwierciadeł, odnosząc się do drewna tylko w kontekście jego roli konstrukcyjnej, jaką pełniło w lustrach weneckich.

Praca ta ma charakter interdyscyplinarny, co generalnie charakteryzuje opracowania związane z dziedziną konserwacji i restauracji obiektów zabytkowych. Wpływa na to fakt, iż wszelkie podejmowane przez konserwatorów działania, wpisane są bezpośrednio w szeroki aspekt historii obiektów, materiałoznawstwa, zagadnień z dziedziny chemii, technologii oraz rzemiosła.

Ramy czasowe niniejszej dysertacji koncentrują się na wieku XIX, jednak by w pełni ująć zagadnienia związane z lustrami srebrzonymi, konieczne jest rozwinięcie kwestii historii oraz technologii wytwarzania zwierciadeł na przestrzeni dziejów. W związku z tym, temat wiodący, który stanowią XIX-wieczne, srebrzone, lustra weneckie, nakreślony jest w nieco szerszym, opisanym powyżej kontekście.

Stan badań.

Pojęcie lustra w literaturze pojawia się w dziedzinie nauk humanistycznych, w tym sztuki oraz dziedzinie nauk inżynieryjno–technicznych i medycznych.

Jak wykazał przegląd literatury powszechnej przedmiotu, stosunkowo najliczniejszą grupę publikacji stanowią pozycje związane z dziedziną nauk humanistycznych, omawiających historię zwierciadeł, a także odnoszące się do nauk filozoficznych obejmujących między innymi ich symbolikę i znaczenie w kulturze materialnej i niematerialnej na przestrzeni dziejów. Polskojęzyczną książką o takim charakterze jest pochodzące z 1956 roku opracowanie autorstwa Mieczysława Wallisa². Jej drugie wydanie ukazało się w 1973 roku. Wspomnieć należy również o książce Kazimierza Buczkowskiego z 1958 roku, który opisuje lustra wytwarzane w hucie w Urzeczcu³. Ponadto, Barbara Filarska w opracowaniu pt. *Szkoło piękne i użyteczne*, jeden z rozdziałów poświęca dziejom szkła płaskiego, w tym zwierciadłom⁴. O produkcji szkła płaskiego oraz zwierciadeł, znajduje się wzmianka w publikacji Ossolineum pod redakcją Zofii Kamińskiej, pt. *Polskie szkło od połowy XIX wieku*⁵. W 2007 roku pojawiło się także polskie tłumaczenie książki autorstwa Sabine Melchior–Bonnet omawiającej historię zwierciadeł, ma ono jednak bardziej popularno–naukowy charakter⁶. Współcześnie brak w polskiej literaturze opracowań dotyczących luster.

Mieczysław Wallis w swej książce odwołuje się do publikacji niemieckiego autora, Gustava Friedricha Hartlauba z 1951, której tytuł w wolnym tłumaczeniu brzmi: *Magia lustra: historia i znaczenie lustra w sztuce*⁷.

Zdecydowanie dużą grupę stanowią publikacje angielsko-, francusko- oraz włoskojęzyczne. Na uwagę zasługują dwa albumy autorstwa Serga Roche podzielone na część opisową, traktującą o historii luster i ich ram, ich rozwoju i zmieniających się modach oraz część z reprodukcjami przedstawiającymi obiekty z różnych galerii^{8, 9}.

² M. Wallis, *Dzieje zwierciadła*, Łódź 1956.

³ K. Buczkowski, *Dawne szkła artystyczne w Polsce*, Kraków, 1958.

⁴ B. Filarska, *Szkoło piękne i użyteczne*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1973.

⁵ *Polskie szkło*, Z. Kamińska (red.), Wrocław, 1974.

⁶ S. Melchior–Bonnet, *Narzędzie magii. Historia luster i zwierciadeł.*, tłum. B. Walicka, Warszawa 2007.

⁷ G. F. Hartlaub, *Zauber des Spiegels: Geschichte und Bedeutung des Spiegels in der Kunst.*, Monachium 1951.

⁸ S. Roche, tłum. C. Duckworth, *Mirrors in Famous Galleries and Collections*, Londyn 1957.

⁹ S. Roche, G. Courage, P. Devinoy, *Mirrors*, Nowy Jork 1985.

Podobnie, opracowaniem poświęconym w pełni zwierciadłom, uwzględniającym podział na poszczególne epoki i style, jest książka Helen Costantino Fioratti¹⁰.

Najobszerniejszą pozycją traktującą zarówno o historii, symbolice jak i technologii lustra, także z uwzględnieniem jego wykorzystania w astronomii, jest książka Marka Pendergrast'a¹¹. Rozdziały dotyczące sztuki i rzemiosła, autor przeplata w niej z rozdziałami mówiącymi o roli zwierciadła w naukach ścisłych i zmieniającej się technologii na przestrzeni wieków.

Ewolucję lustra jako przedmiotu użytkowego, omawiają artykuły naukowe odnoszące się do poszczególnych okresów historycznych. I tak, o jego początkach w postaci wypolerowanego kawałka obsydianu, traktują głównie prace z obszaru archeologii. Wymienić można między innymi artykuł Tristana Cartera, który poddaje rewizji 50-letnie studia nad neolitycznym stanowiskiem w Çatalhöyük w centralnej Anatolii w Turcji¹².

O lustrach egipskich pisze między innymi egiptolog Matis Uroš¹³. Ważną pozycję stanowi również monografia Christine Lilyquist¹⁴.

Rzetelne źródło odnoszące się do typologii lusterek etruskich reprezentują publikacje towarzystwa Corpus Speculorum Etruscorum, takich autorów jak Richard Daniel de Puma¹⁵. Cennym źródłem wiedzy z tego obszaru jest także opublikowany w 2006 roku, tom gromadzący materiały z międzynarodowego spotkania studyjnego, które odbyło się na Uniwersytecie Rzymskim, poświęcone produkcji etruskich lusterek z brązu¹⁶.

Nade wszystko bogatym źródłem wiedzy na temat obiektów starożytnych, między innymi etruskich, greckich oraz rzymskich są zdigitalizowane zbiory muzeów. Ilość

¹⁰ H. C. Fioratti, *Reflections of Splendor: European Mirrors from the Sixteenth Through the Eighteenth Century*, New York, 2007.

¹¹ M. Pendergrast, *Mirror Mirror. A History of Human Love Affair with Reflection.*; Nowy Jork 2003.

¹² T. Carter, *A true gift of mother earth: the use and significance of obsidian at Çatalhöyük.*, [w:] *Anatolian Studies*, Vol. 61, 2011, s. 1-19.

¹³ M. Uroš, *Ancient Egypt. A Comparison of Funerary Iconographic and Burial Contexts from the Old Kingdom to the New Kingdom*, [w:] *Luxor Times*, No 2, 2019.

¹⁴ Ch. Lilyquist, *Ancient Egyptian Mirror from the Earliest Times through the Middle Kingdom.*, *Münchener Ägyptologische Studien*, Heft 27, 1979.

¹⁵ R.D. de Puma, *Etruscan Mirrors*, Rzym, 2005.

¹⁶ *Aspetti e problemi della produzione degli specchi etruschi figurati*, red. M. D. Gentili, Rzym 2006.

prezentowanych zdjęć w przestrzeni internetowej stale się zwiększa. Wiele z nich posiada rzetelny opis informujący o datowaniu, materiałach, technice wykonania oraz wymiarach.

Z uwagi na temat pracy skupiono się przede wszystkim na publikacjach dotyczących szklarstwa weneckiego. Murano pozostawało przez wieki niekwestionowanym liderem w tej dziedzinie, w związku z tym, zainteresowanie badaczy tym obszarem jest duże. Są to publikacje traktujące nie bezpośrednio o zwierniactwach, ale dotyczące sytuacji ogólnej. Spośród autorów wymienić należy Marco Verità i Sandro Zecchina, których teksty dotyczą używanych w Murano surowców, procesu topienia szkła, czy też analizy składu chemicznego szklanych znalezisk archeologicznych¹⁷. Znawczynią tematu szkła weneckiego, a także należącą do pokolenia szklarzy z Murano, jest Rosa Barovier Mentasti¹⁸.

Nie można pominąć w tym miejscu również wkładu naukowego polskich archeologów, Eleonory i Stanisława Tabaczyńskich, Lecha Leciejewicza, pracujących na stanowiskach archeologicznych na jednej z wysp laguny weneckiej, Torcello¹⁹. Związana jest ona z początkami szklarstwa w Wenecji.

Temat niniejszej dysertacji, związany jest ze szczególnym okresem w dziejach Wenecji, która w tym czasie przekształciła się z samodzielnej, rządzonej przez oligarchów Republiki, w stolicę jednego z regionów zjednoczonego Królestwa Włoch, w której władzę przejęła klasa średnia. Spośród publikacji historycznych, dotyczących tego burzliwego czasu, wymienić można między innymi książkę Waltera Pancieri²⁰ oraz Davida Lavena²¹.

Przemysł szklarski w XIX wieku w Wenecji przeżywał renesans. Próbowano go wskrzesić nawiązując do dawnych tradycji oraz rewidując i opisując stan współczesny autorom tego okresu. Ukazywały się monografie autorstwa osób bezpośrednio odpowiedzialnych za ten proces, między innymi dyrektora Muzeum Szkła, Vincenzo

¹⁷ M. Verità, A. Renier, S. Zecchin, *Chemical analyses of ancient glass findings excavated in the Venetian lagoon*, [w:] *Journal of Cultural Heritage* 3, 2002.

¹⁸ R. Barovier Mentasti, C. Tonini, *Some Questions about Murano Revival*, [w:] *Study Days on Venetian Glass. The Birth of the Great Museums: The Glassworks Collections between the renaissance and Revival*, red. Rosa Barovier Mentasti and Cristina Tonini, Venezia 2016.

¹⁹ L. Leciejewicz, E. Tabaczynska, S. Tabaczynski, *Torcello Scavi 1961–62*, Istituto Nazionale di Archeologia e Storia dell'Arte, Monografie III, Roma, 1977.

²⁰ W. Panciera, *The Republic of Venice in the 18th Century*; K. Yamboliev (tłum.), Rzym 2021.

²¹ D. Laven, *Venice and Venetia under the Habsburgs, 1815-1835*, Oxford University Press 2002.

Zannettiego²² i Domenico Bussolina²³. Stanowią one bezpośrednie źródło wiedzy. Warto zwrócić uwagę na artykuł Cesare Morettiego omawiający pochodzące z 1847 roku, przepisy na szkło oraz wymieniający poszczególne surowce²⁴.

Ogromną rolę w procesie powstawania pracy, odegrały zbiory archiwum Fundacji Giorgio Cini w Ośrodku Studiów Szkła, zlokalizowanym na wyspie San Giorgio Maggiore w Wenecji²⁵. Zebrano tam dokumenty oraz albumy związane z działalnością poszczególnych firm produkujących lustra w II poł. XIX oraz XX wieku w Murano. Wizyta w ośrodku pozwoliła na zebranie materiału fotograficznego związanego z XIX-wiecznymi lustrami weneckimi. Archiwum jest obecnie w trakcie porządkowania dokumentów związanych z działalnością firm, w tym kierunków sprzedaży luster. Z uwagi na trwający proces, pełne zgłębienie wiedzy w tym obszarze, możliwe będzie dopiero w przyszłości. Fundacja gromadziła i nadal gromadzi albumy i dokumenty ratując je niejednokrotnie z piwnic, czy też magazynów budynków będących wcześniej siedzibami firm.

Z uwagi na ciągłość produkcji szklarskiej wyspy oraz kolejne pokolenia rzemieślników tam działających, pomocne okazały się także informacje zawarte na stronach internetowych działających do dziś pracowni wykonujących lustra weneckie.

Literaturę fachową z zakresu historii technik i technologii wytwarzania luster stanowią głównie wydawnictwa obcojęzyczne. Niemniej jednak wymienić należy w tym miejscu pierwszy, napisany w języku polskim przez Józefa Torzewskiego i wydany w 1785 roku, podręcznik dotyczący produkcji szkła oraz organizacji pracy w hucie. Autor opisuje w nim również sposób produkcji szkła płaskiego²⁶.

Przetłumaczone na język polski dzieło mnicha Teofila, w szczególności dwie księgi datowane na początek XII wieku, odnoszą się do produkcji szkła płaskiego: *Quomodo operentur vitreae tabulae (O sposobie wyrabiania tafli szklanych)* oraz *De dilatandis vitreis tabulis (O rozwijaniu tafli szklanych)*²⁷.

²² V. Zanetti, *Guida di Murano e delle celebri sue fornaci vetrarie*, Venezia 1866.

²³ D. Bussolin, *Guida Alle Fabbriche Vetrarie di Murano*, Venezia 1853.

²⁴ C. Moretti, *Ricette Vetrarie Muranesi Quaderno Anonimo Del 1847*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 24, 1982.

²⁵ <https://archivi.cini.it/centrostudivetro/home.html>, (dostęp: 20.09.2023 r.).

²⁶ J. Torzewski, *Rozmowa o sztukach robienia szkła*, J. Olczak, L. Lichota (red.), Jelenia Góra 2002.

²⁷ T. Prezbyter, *Diversarum Artium Schedula i inne średniowieczne zbiory przepisów o sztukach rozmaitych.*, tłum. S. Kobielus, Kraków 2009, księga II, s. 35-38.

Polskojęzyczną, współczesną publikacją na temat wytwarzania szkła płaskiego, a także odkładania na niej warstwy metalicznej są książki Wacława Nowotnego^{28, 29}.

Nie sposób nie wspomnieć w tym miejscu o pierwszej, wydrukowanej w 1612 roku, opartej na weneckich recepturach, księdze *L'arte vetraria* florentczyka, Antonio Neriego, w całości poświęconej szklarstwu³⁰.

Do obcojęzycznych publikacji należy przetłumaczona na język angielski przez Michaela Cable książka autorstwa Georgesa Bontempsa z 1868 roku, stanowiąca przewodnik po procesie produkcji szkła. Dwa jej rozdziały poświęcone są wytwarzaniu szkła płaskiego metodą z cylindrów oraz metodą odlewania³¹.

Elena Arizio oraz Emilio Francesco Orsega zajmują się badaniami amalgamatu cynowo–rtęciowego, osadzanego na powierzchni zabytkowych zwierciadeł, charakteryzując go oraz opisując jego oddziaływanie z korodującym szkłem³². Per Hasund w swym artykule na temat lusterek z amalgamatem, pisze o ich historii, opisuje proces jego odkładania na powierzchni szkła, a jedną z jego części poświęca możliwościom identyfikacji techniki, opisując jednocześnie jego budowę chemiczną. Artykuł zawiera także zdjęcia amalgamatu wykonane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM)³³.

Spośród pozycji interesujących z punktu widzenia historii wynalezienia techniki srebrzenia szkła, ewolucji wynalazku oraz osoby wynalazcy, jest książka Williama H. Brocka³⁴.

Najmniej jest pozycji traktujących o konserwacji i restauracji tego typu obiektów. O ile znajdziemy nieliczne artykuły dotyczące lusterek z amalgamatem cynowo–rtęciowym, o tyle autorka niniejszej rozprawy, nie natrafiła na przykłady odnoszące się do lusterek srebrzonych.

²⁸ W. Nowotny, *Technologia szkła cz. 1.*, Warszawa 1975.

²⁹ W. Nowotny, *Technologia zdobienia szkła*, Warszawa 1980.

³⁰ N. Antonio, C. Merrett, C. Michael, *The Art of Glass*, Society of Glass Technology, 2001.

³¹ G. Bontemps, *Guide du Verrier*, tłum. M. Cable, the Society of Glass Technology, Sheffield 2008.

³² E. Arizio, I. Boromei, V. Vascotto, E.F. Orsega, Investigation on Corrosion Morphology and Products of Ancient Tin Amalgam Mirrors by AFM, SEM-EDS and Micro-Raman Spectroscopies, [w:] *SN Applied Sciences*, 1:358, 2019.

³³ P. Hadsund, *The tin – mercury mirror: its manufacturing technique and deterioration processes*, [w:] *Studies in Conservation*, 38, 1993.

³⁴ W. H. Brock, *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper*, Cambridge University Press 2002.

Nieco inaczej sytuacja prezentuje się w odniesieniu do poszczególnych materiałów składowych zwierciadeł w kontekście ich konserwacji i restauracji. Spośród pozycji dotyczących drewna wyróżnić należy publikację Pawła Kozakiewicza oraz Mieczysława Matejaka pt. *Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie*³⁵.

Z publikacji dotyczących wiedzy ogólnej na temat konserwacji i restauracji szkła oraz jego zniszczeń natury fizycznej i chemicznej wymienić można takich autorów jak Sara Davison³⁶, Stephen P. Koob³⁷ oraz Jerzy Kunicki–Goldfinger³⁸.

Zjawiska korozyjne srebra zachodzące pod wpływem zawartych w atmosferze gazów, opisuje Graedel³⁹. Polskim konserwatorem–restauratorem, badającym sposoby zabezpieczania powierzchni srebrzonych jest Jacek Stachera⁴⁰.

Z kolei opis zjawiska degradacji cyny, wyczerpuje publikacja Janusza Krause, traktująca na temat sarkofagów cynowych⁴¹.

Temat biodegradacji szkła jest stosunkowo młody, a interesującym artykułem w tym zakresie jest publikacja Jamie L. Weaver⁴². Liczne są publikacje dotyczące korozji metali wywołanej działaniem mikroorganizmów. Wiele z badań dotyczy problemu utrzymania infrastruktury krytycznej narażonej na zniszczenia o charakterze biologicznym, jednakże można je z powodzeniem odnieść do konserwacji i restauracji metalowych dzieł sztuki.

³⁵ P. Kozakiewicz, M. Matejak, *Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie*, Warszawa 2013.

³⁶ S. Davison, *Conservation and Restoration of Glass*, Oxford 2006.

³⁷ S.P. Koob, *Conservation and Care of Glass Objects*, Nowy Jork 2006.

³⁸ J.J. Kunicki–Goldfinger, *Unstable Historic Glass: Symptoms, Causes, Mechanisms and Conservation*, [w:] *Studies in Conservation*, vol. 9., 2008.

³⁹ T. E. Graedel, *Corrosion Mechanisms for Silver Exposed to the Atmosphere*, [w:] *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 139 (7), 1992, s. 1963-1971.

⁴⁰ J. Stachera, *Badanie skuteczności zabezpieczania powłokami lakierów powierzchni srebrzonych w środowisku H₂S*, [w:] *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo*, 34, 2005, s. 121-139.

⁴¹ J. Krause, *Sarkofagi cynowe. Problematyka technologiczna, warsztatowa i konserwatorska.*, Toruń 1995.

⁴² J.L. Weaver et al., *Microbial Interactions with Silicate Glasses*, [w:] *Materials Degradation*, 5:11, 2021, dostęp online: <https://doi.org/10.1038/s41529-021-00153-w>, (dostęp 28.11.2023 r.).

Identyfikację produktów korozji powstających w kontakcie szkła z metalem oraz wzajemnego oddziaływania tych materiałów, w ostatnich latach prowadził Gerhard Eggert oraz Andrea Fischer⁴³.

W dziedzinie badań nad składem chemicznym szkieł oraz wykorzystaniem techniki LA ICP MS w połączeniu z SEM EDS na uwagę zasługują artykuły Barbary Wagner i współautorów⁴⁴.

W obszarze nauk inżyneryjno–technicznych, zwierciadło pojawia się współcześnie zwłaszcza w obszarach związanych z fotowoltaiką oraz technologiami kosmicznymi. Wymienić można w tym miejscu między innymi artykuły Floriana Suttera i współautorów^{45, 46}.

⁴³ G. Eggert, A. Fischer, *Curious Corrosion Compounds Caused by Contact: A Review of Glass-Induced Metal Corrosion on Museum Exhibits (GIMME)*, [w:] Corrosion and Materials Degradation, 3, 2022.

⁴⁴ B. Wagner et al., *Complementary Analysis of Historical Glass by Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*, [w:] Microchim Acta 162, 2008.

⁴⁵ F. Sutter et al., *Durability testing of silvered-glass mirrors*, [w:] Energy Procedia, 69, 2015, s. 1568-1577.

⁴⁶ F. Sutter et al., *Acceptance Criteria for Accelerated Aging Test of Silvered-Glass Mirrors for Concentrated Solar Power Technologies*, [w:] Solar Energy Materials and Solar Cells, 193, 2019, s. 361-371.

1. Zagadnienia ogólne dotyczące zwierciadeł ze szczególnym uwzględnieniem luster weneckich.

1.1. Symbolika, znaczenie i rola lustra.

Lustro oznacza w języku polskim gładką powierzchnię umożliwiającą odbicie obrazu rzeczywistości, w tym wizerunku osoby która w nie spojrzy. W obszarze sztuki, najbardziej interesującym z punktu widzenia tematu niniejszej dysertacji, jest to przedmiot użytkowy o gładkiej powierzchni z polerowanego szkła, podlanego amalgamatem rtęci z ołowiem i cyną lub srebrem, służący do przeglądania się⁴⁷. Z punktu widzenia fizyki, to przedmiot, którego działanie związane jest z prawem odbicia, w którym kąt padania promieni świetlnych jest równy kątowi ich odbicia. Kąty te leżą w jednej płaszczyźnie.

Synonimem słowa „lustro” w języku polskim jest „zwierciadło”. Etymologia tego wyrazu związana jest z kolei ze słowem oznaczającym czynność: „zerknąć”, czyli spojrzeć. Wpisuje je tym samym w większą rodzinę języków słowiańskich. Podobna jest bowiem geneza tego słowa w języku czeskim: „zrcadlo”, słowackim: „zrkadlo” oraz rosyjskim: „zercalo” i „zerkalo”. Polskie „lustro” odnosi się z kolei, do głównej cechy przedmiotu, mianowicie jego blasku, w języku włoskim oznacza „świecić”. Z kolei włoskie określenie „specchio” pochodzi od łacińskiego „speculum” oznaczającego „patrzeć”.

Mit o Narcyzie, oglądającym swe oblicze w tafli jeziora, może wskazywać na bezpośrednie zaadoptowanie przez człowieka zjawiska lustra ze świata natury. Obserwując możliwość odbijania obrazu przez różne obiekty znajdujące się w świecie przyrody, zaadoptował ją i wcielił do swego świata. Uczynił je mobilnym, uniezależnił możliwość przeglądania swego wizerunku od przyrody i wcielił w obszar kultury materialnej. Historia luster jest także związana z historią urządzania przez niego sfery mieszkalnej. Poza tym, pojawia się ono w kulturze człowieka w wielu aspektach. W kontekście psychologii, to



Fot. 1. Narcyz oglądający swe oblicze w lustrze wody, autor: Jan Cossiers, obraz na płótnie, 1636-1638 r., właściciel: Museo del Prado

⁴⁷ *Słownik terminologiczny sztuk pięknych*, wydanie piąte, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005, s. 237.

przede wszystkim przedmiot związany z ludzką umiejętnością rozpoznawania swojego oblicza oraz potrzebą jego poznania. Służy człowiekowi w wielu wymiarach, pozwala określić swą podmiotowość, związane jest bezpośrednio z tożsamością jednostki i możliwością odróżnienia się od pozostałych członków społeczności⁴⁸. Zjawisko to, z punktu widzenia filozofii i psychologii, opisują między innymi Helmuth Plessner i Jacques Lacan⁴⁹.

Pojęcie lustra ma wiele przenośnych znaczeń. W oderwaniu od swego fizycznego pierwowzoru, może odnosić się do każdego innego przedmiotu i jego cech fizycznych, w znaczeniu: gładki, lśniący, odbijający światło. Dodatkowo może stanowić metaforę w odniesieniu do ludzkiego ducha. Nasza kultura zna powiedzenie, iż oczy są zwierciadłem duszy, przez oczy i ich wyraz możemy poznać wnętrze człowieka. Według słownika symboli Władysława Kopalińskiego, symbolizuje świat, niebo, słońce, ogień, płomień, życie, przeznaczenie, prorocstwo, wróżbę, kobiecość, próżność, zalotność, miłość, kurtyzanę, przyjaźń, dumę, ostrożność, kruchość, przekaźnik informacji, ego, wzrok, widzenie, objawienie, wizję, ideał, wyobrażenie, wyobraźnię, odbicie, dwoistość, echo, refleksję, introspekcję, retrospekcję, myśl, samowiedzę, kontemplację, świadomość, samokontrolę, samorealizację, wiedzę i prawdę⁵⁰. Zwierciadło ma wiele zależnych od kontekstu i sposobu wykorzystania, ambiwalentnych znaczeń. Każde z nich może być przedmiotem osobnego opracowania.

Lustra mają swe miejsce w religii, folklorze, literaturze, sztuce, magii i nauce. W religii katolickiej Najświętsza Maryja Panna nazywana jest „zwierciadłem sprawiedliwości”. Litania będąca formą modlitwy błagalnej wspomina o niej wymieniając cechy kojarzące się z powierzchnią lustra: nieskalana, najczystsza, nienaruszona. Wprowadzane są w przestrzeń sacrum, obecne jako element wyposażenia ołtarzy (ołtarz Matki Bożej na Jasnej Górze



Fot. 2. Ołtarz w kaplicy Matki Boskiej Częstochowskiej z bocznymi lustrami, ok. 1930 r.

⁴⁸ M. Urbańska, *Nosce te Ipsum – wprowadzenie do tomu studiów*, [w:] *Lustro*. *Analecta Literackie i Językowe*, tom XI, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2020, s. 7.

⁴⁹ P. Dybel, *Człowiek, zwierzę i zwierciadło. Genealogia ludzkiego ja według Helmutha Plessnera i Jacquesa Lacana*, [w:] *Ruch filozoficzny* LXXII (3), 2017, s. 43-60.

⁵⁰ W. Kopaliński, *Słownik symboli*, Rytm Oficyna Wydawnicza, 2015.

w Częstochowie, kościół ojców Bernardynów w Opatowie).

Niezwykłe jest podejście ludzi średniowiecza do lustra oraz tego co symbolizuje. Jak pisze Mieczysław Wallis, świat widzialny był dla nich zwierciadłem tego co boskie, co niewidoczne. Podobnie odnoszono się do wiedzy. Wielka encyklopedia średniowiecza autorstwa Wincentego z Beauvais nosi tytuł *Speculum maius* (*Wielkie Zwierciadło*). Wyrazem wspomnianej wcześniej ambiwalentności znaczeń, może być fakt, iż lustro pojawiające się w średniowiecznej ikonografii jest atrybutem Roztropności (*prudentia*), ale także Rozwiąłości (*luxuria*) czy też Próżności (*vanitas*)⁵¹.



Fot. 3. Prudentia, autor: Jan Collaert (I), grafika, 1574-1580 r., Museum Boijmans Van Beuningen

Zwierciadła są zakładnikami praktyk magicznych, związane z wiarą, że odbijająca obraz powierzchnia pozwala zgłębić tajniki życia oraz może służyć przepowiadaniu przyszłości. Chińczycy wierzyli, że demony unikają luster, ponieważ te ujawniłyby ich obecność. Aztekowie umieszczali u progu domu misę z wodą i nożem uznając, że duch patrzący w nią ujrzy swe przebite odbicie i go nie przekroczy. Jednocześnie wierzono, że może ono uwięzić duszę, w związku z tym, w niektórych kulturach, po śmierci domownika, zakrywano w domu wszystkie zwierciadła, by do tego nie dopuścić⁵². Za

⁵¹ M. Wallis, op. cit., s. 35-37.

⁵² M. Pendergrast, op. cit., s. 30.

pomocą lustra przepowiadano przyszłość. Był to przedmiot niezwykle, stanowił akcesorium o mocy apotropaicznej. Odpędzało nieszczęścia, chroniło przed złem, miało moc uzdrawiania i odganiało istoty demoniczne.

Odbijająca powierzchnia zwierciadeł kojarzona była z boskim światłem, co z kolei wykorzystywane było przez kapłanów wielu religii. Miały one swe szczególne miejsce w wierzeniach Egipcjan, którzy utożsamiali je ze słońcem, a to z kolei z bogiem *Ra*, przedstawianym z dyskiem nad sokołą głową. *Hathor*, bogini miłości, płodności, piękna i tańca wyobrażana była z głową krowy, której rogi otaczają lustrzany dysk – słońce. Lustra umieszczane były w egipskich grobowcach i prawdopodobnie pozwalały utrzymać i połączyć się z *Ka*, reprezentującym energię życiową zmarłego⁵³. Były one jednocześnie stałym motywem ikonograficznym przedstawianym na płaskorzeźbach, malowidłach itp. Z drugiej strony, używano ich na co dzień, podczas nakładania makijażu.

Etruska nazwa dla duszy: *hinthial*, znaczyła także: „obraz odbity w lustrze”⁵⁴. Zwierciadła były częścią życia kobiety, związane zarówno z rytuałem zamążpójścia jak i pogrzebowym, podczas którego łamano rękojeść lub wydrapywano na błyszczącej powierzchni napis: *suthina* – „dla grobu”. Zwierciadło było zatem dla kobiet etruskich elementem ich tożsamości. Było także narzędziem, za pośrednictwem którego przepowiadano nowożeńcom przyszłość⁵⁵.

Platon oraz Sokrates wierzyli, iż rzeczywistość, z którą człowiek ma styczność jest iluzoryczna, stanowi jedynie odbicie świata idealnego, mieszczącego się za lustrzaną kopułą nieba. W Grecji, na terenie świątyń, odkryto lustra o charakterze wotywnym. Mieściły się one w wielkich skrzyniach w Herajonie w Argos oraz sanktuarium Artemidy w Brauron. Były przypisane kobietom oraz stanowiły stały motyw pojawiający się na



Fot. 4. Fragment greckiego naczynia czerwonofigurowego, Acropolis Museum

⁵³ egipska koncepcja duszy dzieli ją na poszczególne części składowe: Ren, Ba, Szeut, Ib, Ka - każda z nich związana jest z inną sferą, np. serce to Ib, Ba to dusza, Szeut – cień, Ren – imię; człowiek po śmierci łączył się ze swym Ka, co umożliwiało mu życie wieczne, źródło: <https://histmag.org/Ka-Ren-i-Szeut-Egipska-koncepcja-duszy-i-ciala-13014> (dostęp: 19.01.2024 r.).

⁵⁴ M. Pendergrast, op. cit., s. 9.

⁵⁵ L. Bonfrante, *Etruscan Mirrors and the Grave*, dostęp online: <https://books.openedition.org/efr/2741>, (dostęp: 5.04.2023 r.).

greckich wazach, zarówno w przedstawieniach czerwono- jak i czarno-figurowych (patrz: fot. 4)⁵⁶.

Połączenie w architekturze lustra i światła słonecznego przyczyniało się do możliwości uzyskiwania niezwykle efektów plastycznych oddziałujących na wyobraźnię oraz wrażliwość wiernych.

Malarze wykorzystywali jego motyw, by wprowadzić do obrazu element tajemnicy, prowadząc grę z odbiorcą, zmuszając go do wnikliwej analizy przedstawienia poprzez multiplikowanie poszczególnych planów. Flagowym przykładem jest w tym wypadku obraz pt.: *Małżeństwo Arnolfinich* (1434) Jana van Eycka. Lustro pozwalało ujrzeć to co niewidoczne, stanowiło nie tylko obraz w obrazie, ale dodatkowo umożliwiało wzajemną korespondencję przedstawień. Nie zawsze to, co mogliśmy w nim

zobaczyć, pochodziło z ziemskiego świata. Niekiedy stanowiło zapowiedź i ujawniało śmiertelną przyszłość bohaterów przedstawienia, jak na przykład w obrazie Lukasa Furtenagela pt. *Portret malarza Hansa Burgkmair i jego żony Anny* (1529 r.). Mogło wprowadzać przesłanie moralizatorskie, wskazywać na próżność bohaterów przedstawienia, jak w obrazie Quentina Massysa pt. *Bankier i jego żona* (1514 r.). Włączało do obrazu drugi punkt widzenia. Niejednokrotnie odbijało się w nim wnętrze pracowni artysty, ukazując jego warsztat pracy.



Fot. 5. Obraz Lukasa Furtenagela pt. *Portret malarza Hansa Burgkmair i jego żony Anny*, 1529 r., Kunsthistorisches Museum Wien

Stanowiło konieczne jej wyposażenie, było narzędziem pracy malarza. Pozwalało na sprawdzenie iluzjonistycznej spójności obrazu. Było niezbędne podczas malowania autoportretów. To dzięki niemu Filippo Brunelleschi odkrył zasady perspektywy⁵⁷. Leonardo da Vinci znany był natomiast z użycia płaskich luster w procesie tworzenia oraz korekty obrazów. Pojawiające się w obrazie zwierciadło, dawało jednocześnie możliwość

⁵⁶ M. M. Lee, *The Gendered Economics of Greek Bronze Mirrors: Reflections on Reciprocity and Feminine Agency*, [w:] *Arethusa*, Vol. 50, No. 2, 2017, s. 143-168.

⁵⁷ M. Pendergrast, op. cit., s. 132.

ukazania przedstawienia z różnych perspektyw, właściwość, która do tej pory zarezerwowana była tylko dla rzeźby.

Przedmioty te utożsamiane były z próżnością. Znamy wiele obrazów i grafik, na których kobiecie przeglądającej się w lustrze towarzyszy diabeł lub śmierć trzymająca w ręku klepsydre jako symbol mijającego czasu (patrz: fot. 6). Przeglądanie się w zwierciadle, było zwłaszcza w okresie średniowiecza, oznaką pychy i nieskromności. Z czasem, gdy lustro stawało się bardziej powszechnym rekwizytem, obserwujemy postępującą tolerancję. Małe zwierciadła noszone w XVI wieku przez kobiety przy pasie sukni, były pewnego rodzaju oznaką emancypacji, co z kolei oburzało moralizatorów⁵⁸.



Fot. 6. Hans Baldung, *Trzy wieki kobiety i śmierci*, 1510 r., Kunsthistorisches Museum Wien

Jednocześnie było ono od zawsze w polu zainteresowania naukowców próbujących wykorzystać jego fizyczne możliwości. Jest elementem budowy wielu przyrządów optycznych, ma ogromne zastosowanie w astronomii, naukach biologicznych, medycynie, fotografii, było wykorzystywane w sztukach wojennych. Zanim jednak doszło do zastosowania zwierciadeł na polu nauki, starożytni musieli zrozumieć zasady optyki oraz tego, jak działa ludzkie oko. Platon uważał, iż to ono wysyła promienie świetlne oświetlając przedmioty. Arystoteles, nie zgadzając się z tą teorią przedstawił własną, w której to światło wpadało do ludzkiego oka, a z niego do mózgu i serca, dając obrazy. Z kolei pochodzący z Aleksandrii Euklides opowiadał się za twierdzeniem Platona, opisując jednocześnie zjawiska odbicia i załamania światła w zwierciadłach sferycznych wklęsłych i płaskich. Jednym z największych zastosowań lustra w czasach starożytnych była budowa na wyspie Faros, latarni morskiej, uznawanej za jeden z siedmiu cudów świata. Jak głosiły legendy, użyte w niej ogromne metalowe lustro, wyświetlało blaski ognia w nocy i słońca w dzień, naprowadzając statki oraz pozwalało zobaczyć w powiększeniu znacznie oddalony Konstantynopol. Archimedes, jeden z największych greckich naukowców, był autorem zagubionej później, księgi

⁵⁸ M. Pendergrast, op. cit., s. 141.

dotyczącej luster. Prawdopodobnie pracował on z metalowymi zwierciadłami o różnych kształtach i krzywiznie, by następnie opisać je matematycznie. Z jego osobą wiąże się także legenda o podpaleniu floty rzymskiej atakującej Syrakuzy przy wykorzystaniu zwierciadeł odbijających promienie słoneczne. Heron z Aleksandrii jest autorem *Katoptryki*, całkowicie poświęconej lustrum. Klaudiusz Ptolemeusz z Aleksandrii napisał pięć ksiąg o optyce, z czego dwie poświęcone były zwierciadłom. Prowadził on eksperymenty z wypolerowanymi arkuszami żelaza, które następnie wyginał nadając im różne krzywizny. Interesowała go wytwarzana przez nie iluzja i możliwości jakie dają. Jego obserwacje prowadziły do następujących stwierdzeń: w płaskich lustrach obraz widoczny jest „za” lustrem w tej samej odległości, w jakiej mieści się on w rzeczywistości. W wypukłych sytuacja jest identyczna, jednak odbijane przedmioty i postaci są pomniejszone i wydają się być dalej. We wklęsłych odbicie jest bardziej skomplikowane i zależy od miejsca, w którym znajduje się odbijany przedmiot w stosunku do ogniskowej lustra. Możemy uzyskać tym samym obraz powiększony, pomniejszony, prosty lub odwrócony i będzie on sprawiał wrażenie odbijającego się przed powierzchnią.

Wspomniane pisma starożytnych uczonych oraz ich przekaz przetrwały głównie dzięki tłumaczeniom arabskim. Jednym z najważniejszych uczonych tego świata był Alhazen, zajmujący się teorią światła oraz promieni świetlnych, które jego zdaniem odbijały się od przedmiotów i trafiały do ludzkiego oka. Twierdził on, że wszystko co samo nie wytwarza światła, jest rodzajem lustra go odbijającego.

Nauka starożytnych zainspirowała kolejne pokolenia uczonych. Robert Grosseteste był brytyjskim zakonikiem, profesorem Uniwersytetu Oksfordzkiego, który rozpropagował naukę o świetle w duchu teologii, która czyniła lustra czymś więcej niż tylko polerowaną powierzchnią zdolną ukazywać obraz rzeczywistości. Całe stworzenie było według niego lustrem mogącym odbijać wszechmogącego Boga. Bezpośrednio inspirował się nim śląski mnich i uczoney Witelo, który nie tylko interesował się zjawiskami fizycznymi optyki, ale także jako pierwszy zajął się zagadnieniami związanymi z psychologią widzenia.

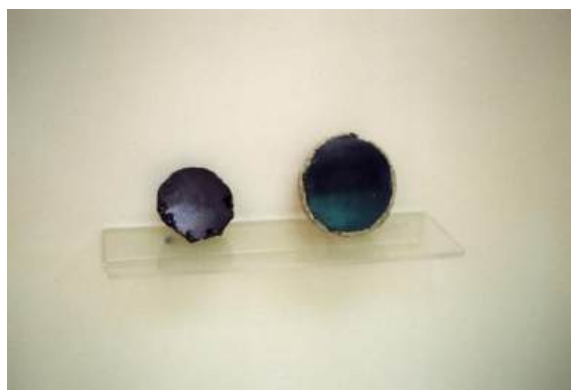
Siedemnastowieczny uczyony, Johannes Kepler był twórcą książki dotyczącej optyki, której trzeci rozdział traktował o lustrach i w której usiłował dokonać korekty twierdzeń postawionych przez wcześniejszych badaczy⁵⁹.

Poszczególne obserwacje i badania kolejnych uczonych na temat zwierciadeł, wiązały się bezpośrednio ze zbudowaniem pierwszego teleskopu, rozwoju astronomii i obserwacji ciał niebieskich.

⁵⁹ M. Pendergrast, op. cit., s. 53-85.

1.2. Zarys historii luster.

Najstarsze lustra, odkryte podczas badań archeologicznych, wykonane były z kamieni. Należały do nich obsydian, selenit, łupek, hematyt, magnetyt, antracyt i piryt⁶⁰. Najpopularniejszym z nich był obsydian (patrz: fot. 7). Pierwotnie używany do produkcji ostrych narzędzi, podobnie jak krzemień (groty strzał, noże, siekiery, topory, drapacze), znajdowany jest na większości stanowisk w basenie Morza Śródziemnego, Morza Egejskiego, na Bliskim Wschodzie w regionie dzisiejszej Turcji i Iranu. Jest on skałą pochodzenia wulkanicznego, dającą się w łatwy sposób łupać i obrabiać⁶¹. Obsydian ma kolor głębokiej czerni bądź czerni z zielonkawym odcieniem i określany jest mianem naturalnego szkła, w istocie zawiera on około 70-75% dwutlenku krzemu (SiO_2)⁶². W stosunku do szkła, jest on bardziej miękkim materiałem (5-6 w skali Mosh'a). Jego współczynnik odbicia światła wynosi 4-5%, jest zatem



Fot. 7. Lustra z obsydianu, Çatalhöyük, 6000-5500 p. n. e., Museum of Anatolian Civilizations

niższy niż na przykład srebra (93,3%), miedzi (64,6%)⁶³. Z badań różnych stanowisk archeologicznych wiemy, iż jako surowiec był on transportowany do miejsc znajdujących się z daleka od źródła⁶⁴. Zwierciadła ze szlifowanego i polerowanego obsydianu pochodzące z około 6200 r. p.n.e. odnaleziono na stanowisku w Çatal Hüyük oraz Aşıklı Höyük na terenie Anatolii w Turcji⁶⁵. Owalne bądź okrągłe są małych rozmiarów, dających zmieścić się w dłoni (9-16 cm), niekiedy wyposażone w rękojeść, a te o wysokim stopniu opracowania powierzchni osadzone są w gipsie. W większości mają płaską powierzchnię, kilka z nich jest wklęsłych i wypukłych⁶⁶. Sądzono, iż głównym

⁶⁰ J. Vit, M. A., Rappenglück, *Looking through a telescope with an obsidian mirror. Could specialists of ancient cultures have been able to view the night sky using such an instrument?*, [w:] *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, vol. 16, No 4, 2016, s. 7-15.

⁶¹ J. E. Dixon, J. R. Cann and Colin Renfrew, *Obsidian and the Origins of Trade.*, *Scientific American*, 1968, s. 38-47.

⁶² J. E. Ericson, A. Makishima, J. D. Mackenzie, and R. Berger, *Chemical and physical properties of obsidian: a naturally occurring glass.*, [w:] *Journal of Non-Crystalline Solids* 17 (1), 1975, s. 129-142.

⁶³ J. Vit, M. A., Rappenglück, op. cit., s. 11.

⁶⁴ S. Balci, C. Altınbilek-Algül, *Polished Obsidian Objects: Examples of Prestige Items from Kültepe*, *Colloquium Anatolicum*, 16, 2017, s. 15-29.

⁶⁵ M. Pendergrast, op. cit., s. 3.

⁶⁶ J. Vit, M. A., Rappenglück, op. cit., s. 8.

źródłem obsydianu był wulkan Hasan Dağ, jednak twierdzenie to zostało następnie zrewidowane. Wskazano dwa inne wulkany jako alternatywne i pod pewnymi względami lepsze źródło, mianowicie Nanezi Dağ i wschodni Göllü Dağ. Hasan Dağ nie jest według uczonych bogatym źródłem, a poza tym obsydian jest tam trudno dostępny i ma gorsze właściwości w kontekście obróbki materiału⁶⁷. Znajdźiska archeologiczne świadczą o wyrabianiu z obsydianu także innych przedmiotów, między innymi biżuterii i są potwierdzeniem wysokich umiejętności obróbki omawianego kamienia, w tym także wiercenia, szlifowania i polerowania.

Z terenu Egiptu znane są lustra wykonane z selenitu i oprawione w drewno, z łupka oraz miki⁶⁸.

Po epoce kamienia nastąpiła w dziejach ludzkości epoka miedzi, następnie epoka brązu i żelaza (4000 r.-1 r. p. n. e.). Człowiek zamieniał naturalnie repertuar materiałów, które poddawał obróbce, także by uzyskać powierzchnię odbijającą jego oblicze.

Najstarszym, datowanym na około 4000 r. p. n. e., udokumentowanym lustrem wykonanym z miedzi, jest znalezisko pochodzące z terenów Iranu. Z Egiptu najstarsze odkryto w grobowcu i datowane jest na rok 2900 p. n. e. Zwierciadeł z miedzi używano do około 2100 r. p.n.e. Następnie popularne były te wykonane z brązu, niekiedy także srebra bądź złota⁶⁹.

Duża ilość zachowanych lusterek z Egiptu wynika bezpośrednio z wierzeń i przekonania o konieczności umieszczania ich w grobowcach. Znanych jest także kilka przykładów odnalezienia zwierciadeł w kontekście mieszkalnym⁷⁰. Miały one formę polerowanego po obu stronach dysku. W większości były płaskie, nieliczne lekko wypukłe bądź wklęsłe, o kształcie delikatnie eliptycznym. Lustra egipskie posiadały także metalowy trzpień przytwierdzony do dysku, który montowany był z kolei w rękojeści wykonanej z drewna, kamienia,



Fot. 8. Lustro egipskie z rękojeścią z głową bogini Hathor, około 1479 – 1425 r. p. n. e., własność: The Metropolitan Museum of Art, Nowy Jork

⁶⁷ T. Carter, op. cit., s. 1-19.

⁶⁸ M. Pendergrast, op. cit., s. 3.

⁶⁹ ibidem.

⁷⁰ M. Uroš, op. cit.

kości słoniowej, rogu, metalu lub gliny. Przybierała ona postać papirusu, postaci kobiecej, bogini Hathor (patrz: fot. 8). Ich powierzchnię chroniono poprzez zakrywanie za pomocą materiału lub skóry zwierzęcej⁷¹. Pojawiające się na niektórych lustrach inskrypcje, najczęściej odnosiły się do imion ich właścicieli. Znane są przykłady lusterek o rękojeści polichromowanej, zdobionej poprzez nacięcia lub wykładanej złotą folią⁷². Najczęściej były to obiekty odlewane, a następnie młotkowane, by nadać im odpowiedni kształt oraz grubość⁷³.

Lustra etruskie, z uwagi na umieszczone na ich odwrociu sceny, były podobnie jak wazy greckie, nośnikiem wielu treści ikonograficznych. Ich kształt był okrągły, nieznacznie wypukły, wykonane były najczęściej z brązu lub srebra⁷⁴. Znane są także przykłady wczesnych zwierciadeł eliptycznych, o kształcie będącym prawdopodobnie jeszcze bezpośrednim zapożyczeniem z obiektów egipskich. Wyrabiane i używane głównie w IV i III w. p. n. e., rozproszone są dziś w kolekcjach muzealnych na całym świecie (patrz: fot. 9). Teren zamieszkiwany przez Etrusków był niezwykle bogaty w rudy metali, przez co stanowiły one często przedmiot wymiany z Grekami bądź



Fot. 9.. Lustro etruskie z uchwytem, z przedstawieniem skrzydlatej postaci, 4 ćw. VI w. p. n. e., Staatliche Museen zu Berlin

Fenicjanami. Lustra odlewane były najprawdopodobniej w kamiennych formach ze wzorem przypominającym ten docelowy, a następnie podgrzewane ponownie do temperatury około 600°C, by uzyskać homogeniczną strukturę, a przez to łatwiejszą w obróbce poprzez młotkowanie, szlifowanie i polerowanie⁷⁵. Poza lustrami z dyskiem wytwarzanym w jednym kawałku z trzpieniem, znane są także przykłady zwierciadeł szkatułkowych. Zachowane osobno trzpienie były prawdopodobnie montowane do lusterek i mogły być osadzane w różnego rodzaju rękojeściach⁷⁶.

⁷¹ M. Pendergrast, op. cit., s. 4.

⁷² Ch. Lilyquist, op. cit., s. 61.

⁷³ ibidem., s. 55.

⁷⁴ M. Pendergrast, op. cit., s. 8.

⁷⁵ C. Panseri, M. Leoni, *Manufacturing Technique of Etruscan Mirrors*, [w:] *Studies in Conservation*, 3:2, 1957 s. 49-63.

⁷⁶ R. D. de Puma, op. cit., s. 17-18.

Sztuka grecka zna także lustra stojące. Przykładem może być lustro pochodzące z The Metropolitan Museum of Art w Nowym Jorku, z V w. p. n. e., wykonane z brązu, o wysokości około 32 cm (patrz: fot 10). Składa się ono z trzech zasadniczych elementów: okrągłego dysku, rękojeści w formie stojącej figury kobiecej oraz podstawy osadzonej na czterech nogach. U podstaw dysku znajduje się trzpień ozdobiony dodatkowo przez dwie flankujące postaci ze skrzydłami, prawdopodobnie Erosów. Obwód dysku wykończony jest delikatnym motywem sznurowym, z dwoma postaciami zajęty wspinającymi się na jego szczyt⁷⁷. Dopełnieniem tego przedstawienia powinny być



Fot. 10. Lustro greckie, stojące, poł. V w. p. n. e., własność: The Metropolitan Museum of Art, Nowy Jork

także, prawdopodobnie nie zachowane do dziś, goniące je, dwa psy⁷⁸. Inne tego typu motywy to kwiaty, owoce, latające konie, gołębie⁷⁹. Zwierciadła greckie są wykonane najczęściej z brązu, bywają dodatkowo posrebrzane lub pozłacane. Oprócz lusterek stojących oraz tych z rękojeścią, pojawiają się również obiekty ze zdobioną reliefem pokrywą. Niekiedy polerowany dysk połączony był z nią zawiasem. Na jej wewnętrznej stronie pojawia się z kolei ryt, często posrebrzany⁸⁰. W sztuce greckiej spotkamy także lustra wyposażone w zawieszkę, dzięki czemu można było je umieścić na ścianie.

Metalowe lustra z brązu zawierały około 86% miedzi i 13% cyny. Rzymianie uzyskiwali jaśniejszą powierzchnię poprzez zwiększony udział cyny w stopie. Powierzchnię zwierciadła pokrywali niekiedy dodatkowo cyną bądź srebrem. Znane są także przykłady wykonane ze srebra, które było odlewane lub formowane przez bicie młotkiem powierzchni metalu, dzięki czemu uzyskiwano delikatnie wklęsłą powierzchnię. Łatwo utleniający się metal był szczelnie przykrywany kawałkiem materiału lub słomą. Do polerowania używano pumeksu.

⁷⁷ *Recent Acquisitions. A selection: 2010-2012.*, The Metropolitan Museum of Art Bulletin, Fall 2012, s.10.

⁷⁸ M. M. Lee, op. cit., s. 148.

⁷⁹ M. Pendergrast, op. cit., s. 12.

⁸⁰ M. Wallis, op. cit., s. 16-17.

Rzymianie byli spadkobiercami Greków oraz Etrusków, znajdziemy w ich sztuce metalowe lustra stojące, jak i lustra z rękojeścią oraz szkatułkowe (patrz: fot. 11). Byli oni także użytkownikami lusterek szklanych. Wykonywano je z opakowego, czarnego szkła i poddawano obróbce podobnie jak obsydian. Wspomina o nich Pliniusz Starszy⁸¹. Lustro tego typu odnaleziono w Pompejach.



Fot. 11. Lusterko rzymskie pochodzące z Cypru: szkło w oprawie ołowianej, III w. n. e., The Metropolitan Museum of Art w Nowym Jorku

Na stanowiskach rzymskich znajdowano również lusterka wykonywane ze szkła dmuchanego z II oraz III wieku n. e. Były one małych rozmiarów, wycinane z większej sfery, do której wlewano stopiony ołów. Przytwierdzano je do rękojeści lub ze względu na swe niewielkie rozmiary, miały one charakter lusterek kieszonkowych⁸². Według Pliniusza Starszego, wynaleźli je Sydończycy⁸³.



Fot. 12. Oprawa dla okrągłego lusterka w formie postaci, Imperium Rzymskie (?), Musée du Louvre

⁸¹ Pliniusz Starszy, *Historia naturalna.*, księga XXXVI, rozdział 67., John Bostock, M.D., F.R.S. H.T. Riley, Esq., B.A. London, dostęp online: <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus%3Atext%3A1999.02.0137%3Abook%3D36%3Achapter%3D67> (dostęp: 7.04.2023 r.).

⁸² S. J. Schechner, *Between Knowing and Doing: Mirrors and Their Imperfections in the Renaissance* [w:] *Early Science and Medicine*, Vol. 10, No. 2, Optics, Instruments and Painting, 1420-1720 Reflections on the Hockney-Falco Thesis, 2005, s. 137-162.

⁸³ Pliniusz Starszy, *Historia naturalna.*, księga XXXVI, rozdział 66., John Bostock, M.D., F.R.S. H.T. Riley, Esq., B.A. London, dostęp online: <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus%3Atext%3A1999.02.0137%3Abook%3D36%3Achapter%3D66#note5> (dostęp: 7.04.2023 r.).

Po upadku Cesarstwa Rzymskiego, w Europie wczesnośredniowiecznej, dominowały lustra metalowe. Jak pisze Mieczysław Wallis: „Tak jak w Rzymie za cesarstwa, podobnie w średniowieczu czyniono nieraz z luster przedmioty wielkiego zbytku. Wyrabiano je nierzadko ze srebra lub złota, ozdabiano drogimi kamieniami, wykładano na odwrocie emalią lub intarsjowano.”⁸⁴.

Wiedza o zwierciadłach szklanych przetrwała na Bliskim Wschodzie i stamtąd trafiła ponownie do Europy, chociaż ilość zachowanych artefaktów jest bardzo niska. Do naszych czasów przetrwały głównie rękojeści i oprawy wykonane z drewna, kości, kości słoniowej i metalu. W islamskiej Hiszpanii, rzemieślnicy produkowali lusterka szklane począwszy od XI wieku.

Na północy Europy, szklane zwierciadła okrągłe były wytwarzane począwszy od XII wieku. Ich produkcja wiąże się ściśle z produkcją szkła w hutach leśnych typowych dla tych terenów. Huty te działały opierając się na lokalnych surowcach i zaopatrując najbliższe otoczenie w szkło różnego rodzaju, najczęściej gospodarcze i stołowe. Jego jakość z czasem uległa polepszeniu i możliwe było dmuchanie cienkościennych sfer o średnicy sięgającej dwóch stóp. W dalszym etapie wlewano do środka stopiony ołów, który podczas obracania kulą, pokrywał równomiernie jej ścianki. Po ostudzeniu szkła, rozbijano je i wycinano mniejsze fragmenty⁸⁵. W XIII wieku o szklach pokrywanych warstwą ołowiu pisze Alexander Neckham, John Peckham oraz Vincent de Beauvais⁸⁶. W 1373 roku, działali rzemieślnicy produkujący lustra w Norymberdze. Nazywano je *Ochsenaugen* (niem.), co oznaczało „wole oczy”. Oprócz szkieł wycinanych ze sfery, ołowiem pokrywano prawdopodobnie także szkło płaskie. Wiemy jednak, że obraz, który dawało był zaciemniony i zniekształcony. Szkło typu leśnego miało bowiem zielonkawe – brązowe zabarwienie wynikające z zanieczyszczeń surowców używanych do produkcji szkła⁸⁷. Piaski zawierały często zanieczyszczenia w postaci różnych związków żelaza. Popioły roślin śródłądowych oraz ich skład chemiczny, a co za tym idzie także jakość szkła, zależne były od rodzaju i części rośliny użytej do spopielenia (gałęzie, kora itp.),

⁸⁴ M. Wallis, op. cit., s. 31.

⁸⁵ M. Pendergrast, op. cit., s. 117-118.

⁸⁶ Alexander Neckham (1157 – 1217) – brytyjski naukowiec, pisarz i poeta, teolog, opat w Cirencester; dzieła m.in.: *De utensilibus* („O instrumentach”), *De naturis rerum* („O naturze rzeczy”).

John Peckham (1230-1292) – franciszkanin, arcybiskup Cantebury; dzieła m.in.: *Perspectiva, Perspectiva communis* („Perspektywa wspólnoty”), *De aeternitate mundi* („O wieczności świata”).

Vincent de Beauvais – (1194 – 1264) – francuski pisarz, dominikanin, teoretyk pedagogiki, autor *Speculum Maius* („Wielkie zwierciadło”).

⁸⁷ S. J. Schechner, op. cit., s. 145.

pory roku, w którym ją ścinano, warunków klimatycznych, a także temperatury spopielenia itp.⁸⁸. Ten szereg zależności nie pozwalał na uzyskanie powtarzalnych efektów w produkcji oraz materiału o odpowiedniej czystości i transparentności.



Fot. 13. Wytwórca luster, ilustracja pochodząca z *Eygentliche Beschreibung Aller Stände auff Erden Hansa Sachsa*, Frankfurt, 1568 r.

Niezależnie od tego, czy wytwarzano lustra z metalu czy ze szkła, można je podzielić na kilka kategorii. Serge Roche wymienia m. in.: lusterka kieszonkowe lub noszone przy pasie. Popularne aż do XVII wieku, umieszczane były w pudełkach metalowych, skórzanych lub z rzeźbionej kości słoniowej, przyczepiane za pomocą łańcuszka. Niekiedy umieszczane w sakiewkach. Ozdobne motywy rzeźbione w kości słoniowej najczęściej związane były z tematami dworskimi. Kolejny zbiór to lusterka stojące lub toaletowe (patrz: fot. 14), którego przykład możemy znaleźć na gobelinie przedstawiającym *Damę z jednorożcem* z Muzeum



Fot. 14. Lustro stojące, 1576 - 1600, Victoria & Albert Museum, Londyn

⁸⁸ J. J. Kunicki-Goldfinger, *Szkło w Europie Środkowej od późnego średniowiecza do XVIII wieku. Skład chemiczny – uwarunkowania i interpretacja.*, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2020, s. 25-26.

Cluny. W XVI wieku pojawiają się także obudowy toaletowe wyposażone w lustra. Nadal używa się zwierciadeł przeznaczonych do trzymania w ręku. Obiekty metalowe znikają stopniowo, prawdopodobnie pod koniec XVI wieku wraz z udoskonaleniem sztuki produkcji luster ze szkła przez mistrzów weneckich⁸⁹.

Uzyskanie wiernego odbicia powiązane było bezpośrednio z próbą wyprodukowania przejrzystego, bezbarwnego i pozbawionego wad szkła, takich jak smugi, pęcherze gazowe lub wtrącenia. Jednocześnie, aby uzyskać obraz bez zniekształceń, należało użyć tafli szkła płaskiego. Próby obejmowały zatem nie tylko opracowanie odpowiedniego składu surowców zestawu szklarskiego, ale także sposobu produkcji szkła dającego odpowiednio gładką powierzchnię tafli. Udało się to ostatecznie weneccjanom, którzy wynaleźli typ szkła zwany *cristallo* (wł.). Jego nazwa nawiązuje do przejrzystej i czystej masy kryształu górskiego. Opracowanie nowej formuły na szkło związane jest z osobą szklarza, Angelo Barovier'a. Weneccjanie umieli wytwarzać szkło płaskie za pomocą dmuchania go do formy cylindrów, a następnie ich otwierania w piecu do postaci tafli. W 1507 roku, Andrea i Domenico d'Anzolo del Gallo opatentowali podlewanie szkła płaskiego amalgamatem rtęci i cyny uzyskując tym samym gładką i dostatecznie trwałą powierzchnię metaliczną na szkło⁹⁰. Wymienione wyżej udoskonalenia, prawdziwie zrewolucjonizowały rynek luster, a Wenecja zmonopolizowała produkcję. Szczególna rola wyspy Murano i jej znaczenie dla rozwoju szklarstwa, zostanie omówiona w dalszej części niniejszej dysertacji.

Umiejętność dmuchania tafli szkła z cylindrów przyczyniła się do zwiększenia rozmiarów luster. Przestały być one jedynie rekwizytem, zaczęto je wieszać na ścianie niczym obraz. Zmieniła się forma i ornamentyka zwierciadeł. Wiele późnych luster renesansowych, oprawiano w drewnianą, kwadratową ramę, nawet jeśli dotyczyło to jeszcze okrągłych zwierciadeł wypukłych. Niektóre z nich montowane były na piedestałach. W górnej części zwykle znajdował się naczółek,



Fot. 15. Rama tabernakulum z lustrem (rozsuwana na boki), Włochy, Florencja, 1540-60 r., The Metropolitan Museum of Art

⁸⁹ S. Roche, op. cit., s. 6-8.

⁹⁰ M. Pendergrast, op. cit., s. 119.

a kolumny flankowały go po bokach, co budziło skojarzenia z architektoniczną organizacją fasady eleganckiego pałacu (patrz: fot. 15). Ramy wykonywano z litego drewna, takiego jak orzech, który był następnie złożony, malowany, fornirowany lub inkrustowany. Repertuar motywów pojawiających się na nich obejmował tarcze herbowe, korony, kwiaty, owoce, girlandy, motywy floralne, woluty i zwoje (patrz: fot. 16). Drewno było zwykle złożone z malowanymi akcentami.



Fot. 16. Lustro w monumentalnej, drewnianej ramie, rzeźbionej i złożonej, Włochy, 1680-1710 r., Victoria and Albert Museum w Londynie

W okresie rokoka, lustro i jego rama stały się najważniejszym elementem wystroju wnętrza i przejęły rolę, jaką do tej pory odgrywały w nim gobeliny. Każdy region we Włoszech wypracował w tym okresie swój własny styl. Poza Wenecją, wytwarzano je także w Genui, Turynie, Rzymie, Mediolanie oraz Neapolu.

Rokokowe lustra weneckie cechowała fantazyjność form. Drewniane ramy zwierciadeł z początków XVIII wieku charakteryzują się jeszcze symetrią, którą zarzucono wraz z rozwojem stulecia. Rokoko największy rozkwit osiągnęło w XVIII-wiecznej Wenecji oraz Rzymie. Wpływ na jego rozwój miało zubożenie arystokracji i duchowieństwa, związanego ze sztuką baroku i przesunięcie sił społecznych w stronę patrycjuszy, którzy wytworzyli własny styl⁹¹. Traktuje się go jako szczególną postawę

⁹¹ K. Chłędowski, *Rokoko we Włoszech*, Kraków 1915, s. 2-3.

estetyczno – kulturową, cechującą się odejściem od ceremonializmu baroku w stronę bujnego, swobodnego życia towarzyskiego toczącego się w salonach bogatych mieszczan. Do rozwinięcia się włoskiego rokoko z jego repertuarem form, przyczyniły się wpływy sztuki Dalekiego Wschodu, między innymi ryciny i wazy zdobione arabeskami. We wnętrzach dominowały fantazyjne, asymetryczne kształty oraz kruche, drobne ornamenty, których nagromadzenie miało przyczynić się do swoistego „odmaterializowania” ścian. W ornamentyce dominował *rocaille* (fr.), motyw przypominający swą formą muszle, płomienie i grzebień. Obok niego występowały girlandy, drobne kwiaty, wici roślinne oraz motywy egzotyczne. Stoły i stoliki miały rzeźbione dekoracje, esowate nogi i blaty o falistych krawędziach⁹². Podobny repertuar form stosowano w odniesieniu do drewnianych ram luster (patrz: fot. 17).



Fot. 17. XVIII wieczne lustro weneckie w wyodrębnioną koroną oraz rokokowymi elementami snycerskimi

Z tego okresu znane jest również lustro w typie *caminiera* (wł.), umieszczane nad kominkiem i adresowane do kameralnych wnętrz, z niskim sufitem. Jest to także przykład

⁹² *Słownik terminologiczny sztuk pięknych*, wydanie piąte, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005, s. 351.

zwierciadła, w którym trzy tafle szkła umieszczane były obok siebie, ich podział był wertykalny, z większym lustrem w centrum.

Ważny element lusterek weneckich stanowiła korona, tzw. *cimasa* (wł.), umieszczana nad główną taflą, często z mniejszą taflą szkła w otoczeniu różnego rodzaju motywów dekoracyjnych. W XVIII wieku stała się ona integralną częścią ramy⁹³.

Rozmiary szkieł płaskich, jakie weneccjanie potrafili uzyskać i chęć ciągłego zwiększania powierzchni odbijającej, mogły być impulsem do wprowadzenia nowego typu ramy w początkach XVIII wieku, która składała się z małych lusterek okalających tafle główną (patrz: fot. 18). Fazowane na obrzeżach i zdobione grawerowaniem, były montowane do drewnianego podłoża za pomocą wkrętów. Ze zmianą tą związany jest wenecki szklarz, Giuseppe Briati (1686-1772). Styl ten dawał możliwość wprowadzenia dodatkowo koloru do ramy, poprzez użycie barwionych tafli oraz zdobienia emalią. Używano motywów dekoracyjnych



Fot. 18. Lustro weneckie, 1680-1720 r., Victoria and Albert Museum w Londynie

w postaci szkła dociętego do kształtu owalu, liści lub gwiazdek. Dominowały ornamenty organiczne, floralne. W przypadku ram XVIII-wiecznych, medaliony zdobione były grawerowaniem przedstawiającym między innymi postacie mitologiczne. Rama otaczająca tafle główną, dzielona była na poszczególne sekcje, oddzielone od siebie za pomocą szklanych prętów, a ornamenty tworzyły układ pasowy.

Jest to styl obecnie najbardziej kojarzony z typem „lustra weneckiego”. Grawerowane lustra znajdowały się także w przyściennych aplikacjach wyposażonych w świeczniki. Paląca się przed nimi świeca miała potęgować wrażenia estetyczne. Ostatecznie we Włoszech wykształcił się także nowy typ lustra, *lumiera* (wł.). Małe lustro

⁹³ H. C. Fioratti, op. cit., s. 22-24.

umieszczane w drewnianej ramie i wyposażone w dwa ramiona na świece było głównym źródłem światła w XVIII-wiecznych domach⁹⁴.

W tym czasie w Polsce, w Urzeczu, powstała pierwsza fabryka luster, założona przez Annę Radziwiłłową w 1737 roku. Zwierciadła utrzymywano w stylistyce późnego baroku, z bogatą dekoracją i ornamentyką ram⁹⁵. Swym stylem nawiązywały one do zwierciadeł włoskich, w których główną tafelę otaczały mniejsze, zdobione grawerką, przedstawiającą najczęściej herby, monogramy, kwiaty, owoce, ptaki itp.

Wiek XIX we Włoszech zdominowały lustra zbudowane z drobnych, przestrzennych elementów szklanych w postaci prętów, liści, wolut i kwiatów zamontowanych do drewnianego podłoża i otaczających tafelę główną⁹⁶. Formę te reprezentują zwierciadła będące przedmiotem niniejszej dysertacji. Nawiązują one bezpośrednio do wspomnianego stylu rokoka, pełniącego szczególną rolę w kulturze Włoch. Kształty szklanych elementów formowanych hutniczo, zostały bezpośrednio zapożyczone z form snycerskich tworzących drewniane ramy w zwierciadłach rokokowych, a także motywów spotykanych w tym czasie na ścianach wnętrz bądź zdobiących meble. Jednocześnie zaadoptowano w nich konstrukcję całkowicie zakrywającą drewno, wypracowaną w XVIII wieku.

Monopol Wenecji w produkcji luster trwający przynajmniej od końca XVI do końca XVII wieku, został przełamany przez Francję. Wenecjanie strzegli swoich patentów, grożąc potencjalnym zdrajcom śmiercią, a ich rodzinom więzieniem i licznymi represjami. Francuzi, importujący zwierciadła weneckie w ogromnych ilościach, chcąc poznać tajemnice produkcji i rozwinąć własny przemysł, musieli uciec się do podstępu. Jean Baptiste Colbert, mianowany przez króla Ludwika XIV na stanowisko inspektora budynków, królewskich manufaktur, handlu oraz sztuk pięknych, zdecydował się zwrócić w 1664 roku do Pierra de Bonzi, francuskiego ambasadora w Wenecji, o próbę pozyskania szklarzy chętnych przesiedlić się do Francji. Wysiłki te obarczone były ogromnym ryzykiem, gdyż wenecka Rada Dziesięciu sprawowała w Wenecji twarde rządy. Ostatecznie udało się pozyskać trzech rzemieślników. Colbert nie ustawał w staraniach, by sprowadzać kolejnych specjalistów oferując im sówite wynagrodzenie.

⁹⁴ P. Zecchin, *Giuseppe Briati, il più famoso vetraio veneziano del Settecento*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 53, 2011, s. 174.

⁹⁵ B. Filarska, op. cit., s. 129.

⁹⁶ H. C. Fioratti, op. cit., s. 25.

Nieżonatych weneccjan próbował wyswatać z Francuzkami, a żonatym proponował sprowadzenie ich rodzin do Paryża. Starania te zaowocowały zatrudnieniem w ciągu 1665 roku, dwudziestu włoskich rzemieślników. Na przedmieściu Saint–Antoine w Paryżu została założona Królewska Manufaktura Luster⁹⁷. Jak pisze Mieczysław Wallis, Colbert wyjednał u króla na jej działalność pożyczkę w wysokości 12000 liwrów na cztery lata oraz zasiłek w wysokości 25000 liwrów⁹⁸.

W 1680 roku, w orleańskiej hucie wynaleziono inny niż dmuchanie tafli z cylindrów, sposób produkcji szkła płaskiego. Polegał on na odlewaniu i walcowaniu gorącej masy szkła i umożliwiał produkcję luster o znacznych rozmiarach. Pierwsze wzmianki odnoszące się do opisywanej metody pojawiają się w liście króla Francji z 1688 roku⁹⁹. W 1692 roku, różne wytwórnie połączyły się w jedno przedsiębiorstwo pod nazwą Compagnie de Saint–Gobain¹⁰⁰. Ogromne lustra stanowiły doskonałe tło dla glorii i chwały króla Ludwika XIV. Popularne stały się sale zwierciadlane, w których całe powierzchnie ścian wyłożone były ogromnymi taflami metalizowanego szkła. Odtąd wielkość luster nie ulegała już znacznym ograniczeniom, a epoka baroku i rokoka chętnie wykorzystywała je w aranżacji wnętrz. Weneccjanie nie zaadoptowali tej metody aż do połowy XIX wieku, prawdopodobnie ze względów politycznych, gdyż stanowisko hutników dmuchających cylindry liczyło się w cechach szklarzy¹⁰¹.

⁹⁷ M. Pendergrast, op. cit., s. 150-151.

⁹⁸ M. Wallis, op. cit., s. 47.

⁹⁹ G. Bontemps, tłum. M. Cable, *Bontemps on Glass Making. The Guide du Verrier of Georges Bontemps.*, 1868, The Society of Glass Technology, Sheffield 2008, s. 329.

¹⁰⁰ M. Wallis, op. cit., s. 48.

¹⁰¹ F. Trivellato, *Murano Glass, Continuity and Transformation (1400-1800)*, [w:] *At the Center of the Old World: Trade and Manufacturing in Venice and the Venetian Mainland, 1400-1800*, red. P. Lanaro, Toronto 2006, s. 158.

Lustra we Francji miały także bogate oprawy w postaci drewnianych, rzeźbionych, złożonych ram. Wśród XVII-wiecznych motywów dekoracyjnych znajdziemy owoce, kwiaty, strączki grochu, naczółki zdobione przedstawieniami aniołów grających na instrumentach. Ramy wykładano hebanem, fiszbinami, żółwią skorupą. Rokoko wprowadziło swój repertuar form, między innymi w postaci muszli, linii falistej, gałęzi, listowia, motywów rozłożonych asymetrycznie i skłębionych. Do momentu, w którym rzemieślnicy nie potrafili wytwarzać ogromnych tafli szkła, lustra złożone były najczęściej z dwóch tafli, większej i mniejszej stanowiącej jedną trzecią całej jego wysokości. Na przełomie wieku XVII i XVIII lustro ewoluowało i stało się osobnym meblem. Często umieszczano je na konsoli, która jednocześnie stanowiła dla niego barierę ochronną. Znamy szereg różnego rodzaju toaletek, damskich



Fot. 19. Trumeau, 1725 – 1735 r., Ile-de-France, właściciel: Musée du Louvre

i męskich, nie tylko z terenów Francji, ale także Anglii¹⁰². Innym ciekawym przykładem zwierciadła francuskiego w XVIII i XIX wieku było tzw. *trumeau* (fr.). Było ono umieszczane w boazerii razem z obrazem lub elementami rzeźbionymi, najczęściej w nastawie kominka (patrz: fot. 19)¹⁰³. Styl klasycystyczny niósł za sobą znaczne uspokojenie formy w otoczeniu zwierciadła i sięgnął po tematy znane z antyku, z naczółkami zdobionymi motywami waz lub trofeami połączonymi girlandami kwiatów¹⁰⁴. Po udoskonaleniu metody wytwarzania szkła płaskiego, kolejnym przekształceniom ulegała bowiem rama zwierciadeł. Temat ten jest niezwykle szeroki i wymagałby osobnego opracowania.

¹⁰² *coiffeuse* (fr.) z ruchomym lustrem, przeważnie z dwiema lub trzema szufladami w oskrzynieniu, *papillon* (fr.) w formie stolika z wysuwanymi na boki szufladami i odkładanym do tyłu lustrem, mającym kształt stylizowanego motyla lub serca, *beau brummel* (fr.) stół – toaleta dla mężczyzn, z wysuwanymi i rozkładanymi pulpitemi, szufladkami, przegródkami i skrytkami oraz jednym lub kilkoma lustrami, *pudreza, poudreuse* (fr.) – toaletka w formie prostokątnego stolika z rozkładanym blatem i odkładanymi lustrami umieszczonymi w tylnej części, z licznymi przegródkami i szufladkami, *dressing table* (ang.) występująca przeważnie w formie stolika, biurka lub komody (*bureau dressing table*), mogą mieć jedno lub kilka luster, rozkładane blaty, nastawki, przegródki, szufladki i różne mechaniczne udoskonalenia, za: I. Grzeluk, *Słownik terminologiczny mebli*, seria B, tom XCIX, Warszawa 1998.

¹⁰³ H. C. Fioratti, op. cit., s. 28.

¹⁰⁴ S. Roche, op. cit., s. 13-23.

W związku z dużą szkodliwością rtęci dla zdrowia pracowników hut, w XIX wieku dokonała się jeszcze jedna rewolucja w produkcji luster. Dotyczyła ona wynalezienia metody zastępującej amalgamat cynowo-rtęciowy, srebrzeniem tafli. W 1835 roku, niemiecki chemik, Justus von Liebig jako pierwszy odkrył możliwość metalizowania tafli dzięki wykorzystaniu reakcji redukcji roztworu azotanu srebra. Metoda ta wymagała jednak gotowania roztworu. W 1843 roku, Thomas Drayton, opatentował metalizowanie za pomocą srebra, które nie wymagało ciepła¹⁰⁵. Srebrzoną powłokę zabezpieczano przed korodowaniem za pomocą farby lub werniksu. Omówione wyżej przekształcenia produkcji luster, w istotny sposób przyczyniły się do ich rozpowszechnienia i sprawiły, że stały się one ogólnodostępne.

¹⁰⁵ M. Pendergrast, op. cit., s. 182.

1.3. Wenecja jako ważny ośrodek w historii szklarstwa europejskiego.

Rejon laguny weneckiej stanowi jedno z najważniejszych centrów produkcji szklarskiej w Europie i posiada bogate tradycje sięgające czasów wczesnego średniowiecza. Jego początki dokumentuje manuskrypt z 982 r. n. e. oraz liczne dokumenty pochodzące z XI i XII wieku, poświadczające istnienie pieców szklarskich w tym rejonie. Najstarsze datowane znaleziska archeologiczne pochodzą z wyspy Torcello i jak już wspomniano, są efektem pracy polskich archeologów¹⁰⁶. Ponowne, instrumentalne analizy składu chemicznego szkieł odnalezionych w tym rejonie, pozwoliły na wyróżnienie poszczególnych ich grup i zobrazowanie zmiany technologicznej w początkach historii szklarstwa weneckiego. Pierwszą stanowią obiekty datowane na okres pomiędzy XI a XIII wiekiem, których wyniki badań składu chemicznego, świadczą o użyciu jako źródła alkaliów w zestawie szklarskim natronu oraz źródeł krzemionki w postaci piasku. Wskazują zatem na kontynuację tradycji rzymskiej. Druga i trzecia grupa szkieł datowana jest pomiędzy VIII a XII wiekiem oraz odpowiednio XI i XIV. Analizy składu chemicznego wskazują w niej na użycie sody pochodzącej z popiołów roślinnych sprowadzanych w te rejony z Lewantu oraz piasku krzemianowego o zmiennej jakości. Użycie popiołu roślinnego przekłada się także na wzrost zawartości w składzie chemicznym szkła, tlenku potasu (K_2O) oraz tlenku fosforu (P_2O_5), co stanowi czynnik identyfikujący tą technologię. W odniesieniu do Wenecji, szkło reprezentujące recepturę popiołową pojawiło się na przestrzeni X-XII wieku, nie eliminując jednocześnie receptury z wykorzystaniem natronu jako źródła alkaliów.

W okresie rzymskim oraz bizantyńskim na Bliskim Wschodzie istniały huty, w których jedynie przetapiano zestaw surowców i tak przygotowane szkło, następnie transportowano do odleglejszych ośrodków, w których formowano gotowe naczynia, w tym do Wenecji. Importowano także stłuczkę szklaną ze wschodu, co potwierdza odnalezienie przewożącego ją wraku statku z XI wieku. Początki produkcji szkła w rejonie laguny weneckiej mogły zatem wiązać się z technologią zakładającą użycie półsurowców oraz ponownym ich przetapianiem. Związki szklarstwa weneckiego z Bliskim Wschodem były silne od samego początku jego rozwoju¹⁰⁷.

¹⁰⁶ L. Leciejewicz, E. Tabaczynska, S. Tabaczynski, op. cit.

¹⁰⁷ M. Verità, A. Renier, S. Zecchin, op. cit., s. 261-271.

Praktyka związana ze stapianiem podstawowego zestawu szklarskiego złożonego z poszczególnych surowców została przeniesiona do Wenecji prawdopodobnie w XII lub XIII wieku¹⁰⁸.



Rysunek 1. Widok Wenecji, Jacopo de'Barbari, drzeworyt, 1500 r.

Od XV do XVII wieku, Wenecja pozostawała liderem w produkcji szkła, czyniąc z niego symbol swego niezaprzeczalnego bogactwa i statusu. Wynikało to z wysokiej jakości szkieł, których podstawową cechą była niezwykła przejrzystość i transparentność materiału, umiejętności szklarzy oraz różnorodność produktów, wprowadzanie innowacji w technologii produkcji oraz technikach. Nie bez znaczenia był także dostęp Republiki Wenecji do morza i flota statków wyprawiająca się na wschód po lewantyńską sode oraz polityka jej władz starająca się ochronić sekrety produkcji.

Do podstawowych źródeł wiedzy na temat pochodzących z Wenecji przepisów szklarskich należą traktaty szklarzy z XV do XVII wieku, tak zwany Montpellier (1536 r.), przetłumaczony i skomentowany przez Luigi Zecchin'a¹⁰⁹, przepisy siedemnastowiecznego szklarza Giovanni Darduin'a, książka z przepisami przebywającego w Gdańsku weneckiego szklarza Brunoro, datowana na 1645 rok. Dodatkowo, przepisy dotyczące szkła weneckiego, zawierała opublikowana przez Antonio Neriego *L'Arte Vetraria*¹¹⁰.

¹⁰⁸ I.C. Freestone, Y. Gorin-Rosen, M.J. Huges, *Primary glass from Israel and the production of glass in late antiquity and early Islamic period*, [w:] M.N. Nenna (Ed.), *La route du verre*, Maison de l'Orient, Lyon, France, 2000, s. 65–83.

¹⁰⁹ L. Zecchin, *Vetro e vetrai di Murano - studi sulla storia del vetro*, Venezia: Arsenale, 1987.

¹¹⁰ N. Antonio, C. Merrett, C. Michael, *The Art of Glass*, Society of Glass Technology, 2001.

Podstawowymi składnikami zestawu szklarskiego są surowce szkłotwórcze, do których należy kwarc jako źródło krzemionki oraz popiół roślinny jako źródło alkaliów pełniących rolę topników i zawierający jednocześnie pierwiastki stabilizujące. Do XVIII wieku nie dodawano bowiem intencjonalnie wapnia jako stabilizatora sieci krzemianowej¹¹¹. Wspomniana wysoka jakość szkła, zależała głównie od czystości użytych surowców oraz procesu ich topienia.

W okresie renesansu w Wenecji produkowano zasadniczo trzy jego rodzaje. Do pierwszej grupy zaliczało się szkło powszechnego użytku, jak butelki, kufle itp. Miało ono zielonkawy odcień z uwagi na zanieczyszczenie tlenkiem żelaza oraz złą jakość masy szkła z dużą ilością pęcherzyków gazowych i wtrąceń w postaci nieprzetopionych składników zestawu szklarskiego lub kamieni pochodzących ze środowiska pieca. Drugi typ to tak zwane *vitrum blanchum* (wł.), bezbarwne lub z delikatnym zabarwieniem (żółtym, różowym lub szarym) o średnim stopniu zaawansowania technologicznego oraz trzeci świadczący o najwyższym poziomie rozwoju szklarstwa Wenecji, tzw. *cristallo*. Reprezentuje ono typ szkła bezbarwnego, wolnego od wszelkich zanieczyszczeń oraz wtrąceń, przypominające swym wyglądem kryształ górski. Jak wspomniano we wcześniejszej części niniejszej dysertacji, jego wynalazek przypisuje się szklarzowi Angelo Barovier'owi i przypada on na lata 50-te XV wieku. Dokumenty archiwalne dowodzą jednak, iż nie był on jedyną osobą odpowiedzialną za opracowanie jego technologii¹¹².



Fot. 20. Aquamanila, Wenecja, 1525-1550 r., The British Museum

Wysokiej jakości źródło krzemionki stanowiły kamienie z rzeki Ticino (*lapides Ticini*), pozyskiwane niedaleko Mediolanu oraz z rzeki Adige (*lapides campanee Verone*), w pobliżu Werony. O ich użyciu na Murano stanowią źródła archiwalne z 1332 roku. Kamienie dodawano do zestawu szklarskiego w postaci proszku. Ich przygotowanie

¹¹¹ M. Verità, *Secrets and Innovations of Venetian Glass between the 15th and the 17th Centuries: Raw Materials, Glass Melting and Artefacts*, [w:] Atti. Study Days on Venetian Glass approximately 1600's, R. Barouvier, C. Tonini (red.), vol. 172, 2014, s. 53-68.

¹¹² W. P. McCray, *Glassmaking in Renaissance Italy: the Innovation of Venetian Cristallo*, [w:] JOM 50, 1998, s. 14-19.

odbywało się prawdopodobnie poza hutami, chociaż niektóre z nich mogły je magazynować i ucierać na miejscu. Jedną z metod przewidywała ogrzewanie kamieni do czerwoności, a następnie wrzucanie ich do zimnej wody, w której na skutek szoku termicznego, rozpadały się. W dalszej kolejności proszkowano je prawdopodobnie za pomocą młynów wodnych¹¹³ oraz przesiewano¹¹⁴. Używano ich do wysokiej jakości szkła, charakteryzującego się najwyższą czystością, w większości zastąpiły piasek w składzie zestawu szklarskiego (sprowadzany z Lewantu, Sycylii, Vicenzy, Istrii itp.)¹¹⁵. Kamienie z rzeki Ticino charakteryzowały się wysoką zawartością krzemionki. Średni skład chemiczny ich ułamków pozyskanych ze źródeł archeologicznych w weneckiej lagunie, datowany na podstawie fragmentów szkła z tego samego stanowiska na XV wiek, zawierał więcej niż 99% czystej krzemionki SiO₂ z dodatkiem Al₂O₃ (0,2%), Fe₂O₃ (0,2%), MnO (0,2%), MgO poniżej 0,2%, TiO₂ < 0,2%.

W celu obniżenia temperatury ich topnienia (około 1200°C), przyspieszenia całego procesu oraz uzyskania bardziej stabilnego szkła, konieczne było dodanie do zestawu szklarskiego topników w postaci alkaliów. Źródła wskazują na użycie w tym przypadku bogatych w sód, popiołów roślin solilubnych i nabrzeżnych, *Salsola Soda* i *Salsola Kali*, sprowadzanych do Wenecji



Fot. 21. Puchary z pokrywą, emaliowane i złocone, Wenecja, 1450 – 1500 r., The British Museum

z Bliskiego Wschodu i określanych mianem *alume catino*¹¹⁶. Składają się one głównie z sody i węgla wapnia, chlorków, siarczanów, fosforanów i małych ilości potasu, magnezu, żelaza, glinu i krzemionki¹¹⁷. Mimo iż nie były jednolite, jeśli chodzi o jakość, to uważano je za lepsze w stosunku do popiołów egipskich. Ich zwapniałe osady zastygały w formie twardych kawałków, które następnie statkami przewożone były do Wenecji. Tam je kruszono i proszkowano w młynach lub młynach i w takiej postaci

¹¹³ D. Jacoby, *Raw Materials for the Glass Industries of Venice and the Terraferma, about 1370–about 1460*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 35, 1993, s. 73-74.

¹¹⁴ M. Verità, op. cit., s. 55.

¹¹⁵ D. Jacoby, op. cit., s. 76.

¹¹⁶ W. P. McCray, op. cit., s. 16-17.

¹¹⁷ M. Verità, op. cit., s. 54-55.

dodawano do zestawu szklarskiego. Ich użycie stało się w Wenecji obowiązkowe, a stosowanie popiołów innego typu zakazane aż do XVIII wieku¹¹⁸. Transportowano je drogą morską. Z racji ich dużej wagi służyły jako dociążenie statków transportujących bawełnę¹¹⁹. Popioły używane do produkcji *cristallo* przechodziły proces związany z ich oczyszczaniem, polegającym na procesie dekantacji, czyli zlewania cieczy z nad osadu. Proces ten powtarzano kilkakrotnie, następnie cały popiół gotowano i po upływie 24 godzin, filtrowano. Procesy gotowania, dekantacji, filtrowania i rekrytalizacji powtarzano do wyekstrahowania zawartych w roztworze soli. Końcowym produktem po osuszeniu była biała sól, pojawiająca się w weneckich przepisach jako *sal di cristallo*, w postaci niemal czystego węglanu sodu (Na_2CO_3). Jednym z głównych zalet procesu oczyszczania było zminimalizowanie zawartości tlenku żelaza (Fe_2O_3), odpowiedzialnego za zielonkawe zabarwienie szkła. Dodatkowo, by uzyskać szkło bezbarwne, dodawano tlenku manganu do zestawu szklarskiego. Mangan utlenia żelazo i redukuje ilość mocno barwiącego jonu żelaza na II stopniu utlenienia, Fe^{2+} . W rezultacie uzyskuje się szkło o szarawym, bardziej neutralnym zabarwieniu¹²⁰. Jak podaje Marco Verità, po raz pierwszy wspomnienie o użyciu tlenku manganu pojawiło się w dokumencie z 1290 roku. Importowano go z Katalonii, Piemontu, Niemiec i Francji i dodawano do stopionej masy szkła, w zależności od potrzeby¹²¹.

Podstawowy zestaw szklarski złożony był ze sproszkowanych kamieni oraz oczyszczonych popiołów mieszanych ze sobą w zmiennym stosunku (1:1, 3:2). Proces topienia zestawu szklarskiego był dwustopniowy i przewidywał początkowe ogrzewanie zestawu w stosunkowo niskiej temperaturze (około 800°C), by uzyskać tak zwaną frytę. Pozwalało to na eliminację węglowych osadów z popiołów, przemianę węglanów sodowych oraz wapniowych w tlenki, które przereagowując z krzemionką tworzyły niskotopliwe krzemiany i eliminowały tlenek węgla (CO). Proces ten ułatwiał klarowanie masy szkła. Tak uzyskana fryta była rozbijana na mniejsze kawałki i ponownie przetapiana w piecu szklarskim w temperaturze około 1100°C. Drugi etap topienia zestawu mógł trwać od dwunastu godzin do kilku dni pozwalając na eliminację kolejnych zanieczyszczeń w masie szkła, które zbierano z jego powierzchni. Należały do nich

¹¹⁸ F. Trivellato, op. cit., s. 150.

¹¹⁹ D. Jacoby, op. cit., s. 69-70.

¹²⁰ W. P. McCray, op. cit., s. 18.

¹²¹ M. Verità, op. cit., s. 56.

nieprzereagowane sole (chlorki i siarczki), unoszące się na powierzchni masy. Zbierano je za pomocą narzędzi hutniczych z długą rękojeścią.

Drugi etap oczyszczania masy szkła polegał na jej przelewaniu za pomocą chochli do kadzi z wodą. Proces ten ponownie eliminował zawarte w masie sole. W produkcji *crystallo* czynność tą wykonywano kilkakrotnie¹²².

Końcowy etap przewidywał dalsze oczyszczanie i ujednorodnianie masy. W tym celu utrzymywano piec w najwyższej temperaturze przez kilka dni. W międzyczasie, masa szkła była mieszana, by wyeliminować jakiegokolwiek defekty w postaci kamieni, węzłów czy pęcherzy gazowych¹²³. Proces ten wymagał doświadczenia i uwagi hutników.

W efekcie opisanych powyżej procesów otrzymywano szkło o niezwyklej czystości i transparentności. Oczyszczanie surowców prowadziło jednak do niemal całkowitej eliminacji tlenku wapna ze szkła. Jest on składnikiem niezbędnym, by zapewnić stabilność sieci i zapobiec zjawiskom związanym z korozją materiału. Objawia się ona między innymi matowieniem powierzchni na skutek wymywania alkaliów z sieci szkła oraz zjawiskiem określanym jako *crizzling* (ang.), które w końcowym etapie może prowadzić do całkowitego rozpadu naczynia¹²⁴. Przypuszcza się, iż szklarze weneccy obserwowali matowienie powierzchni swoich wyrobów i prawdopodobnie starali się zapobiegać temu zjawisku, poprzez dodatek do zestawu szklarskiego słuczki wspomnianego wyżej szkła w typie *vitrum blanchum*. W efekcie otrzymywano lepszy od niego produkt, jednakże z minimalną ilością wapna zapewniającą *crystallo* stabilność chemiczną¹²⁵. Opisany powyżej proces produkcji szkła obowiązywał w Wenecji przez około 250 lat¹²⁶.

Jakość szkła weneckiego przyczyniła się do ukucia jego sławy, graniczącej wręcz z mitem. Podtrzymywała go i kreowała przede wszystkim polityka republiki, która za wszelką cenę starała się chronić tajemnicę związaną z jego produkcją. Było ono towarem, którego klasa stała się znakiem rozpoznawczym Wenecji. Szczegóły wyrobu szkła były

¹²² o podobnym procesie pisze Józef Torzewski w odniesieniu do produkcji szkła płaskiego na terenie Rzeczypospolitej, patrz: J. Torzewski, *Rozmowa o sztukach robienia szkła*, 1725, Muzeum Karkonoskie 2002.

¹²³ W. P. McCray, op. cit., s. 18.

¹²⁴ S. P. Koob, *Crizzling Glasses: Problems and Solutions*, [w:] *Glass Technology – European Journal of Glass Science and Technology*, 53(5), 2012, s. 225-227.

¹²⁵ M. Verità, op. cit., s. 58.

¹²⁶ F. Trivellato, op. cit., s. 151.

trzymane w ścisłej tajemnicy, do której dostęp mieli tylko rzemieślnicy pracujący w Murano, skorzy do podtrzymywania owego mitu, działający na korzyść miasta. Jednocześnie wiedza dotycząca technologii produkcji oraz technik była chętnie przekazywana w gronie szklarzy oraz z ojca na syna. Stała się ona swojego rodzaju racją stanu. Do sukcesu przyczyniła się jednocześnie otwartość władz Republiki Wenecji i polityka sprzyjająca osiedlaniu się na jej terenie artystów i rzemieślników. Dotyczy to głównie okresu od pierwszej połowy XV wieku do pierwszej połowy XVI wieku. Wielu z nich znajdowało zatrudnienie w przemyśle szklarskim na terenie Murano. Imigranci przybywali głównie z doliny Padu, Dalmacji oraz rejonów Toskanii¹²⁷.

Na status jaki przemysł szklarski osiągnął w okresie renesansu, republika zapracowała dużo wcześniej. W 1224 roku, dmuchacze szkła w Wenecji byli już zjednoczeni w ramach cechu znanego pod nazwą *arte dei verieri*, umocowanego statusem w 1271 roku¹²⁸. O ich silnej pozycji miał świadczyć wpis kronikalny Martino da Canal'a poświadczający ich udział w paradzie z okazji wyborów doży Lorenzo Tiepolo w 1268 roku¹²⁹. Pierwszy cech skupiający rzemieślników wyrabiających szklane paciorki, *arte dei paternosteri e margariteri*, założono w 1318 roku. W 1570 roku zorganizowano cech twórców luster, *arte degli specchieri*. Natomiast w 1647 roku powstał cech specjalistów formujących szkło w ogniu lampy, *arte dei perleri e supialume*¹³⁰.

Izolacja przemysłu szklarskiego na terenie wyspy Murano wprowadzona została ze względów bezpieczeństwa przez władze miasta pod koniec XIII wieku. Miała ona na celu przeniesienie pieców hutniczych na wyspę oddaloną od miasta, by zapobiec ewentualnym pożarom. Utrudniała niepożądanym dostęp do artystów szklarzy, co pozwalało utrzymywać sekrety technologii produkcji i jednocześnie, z uwagi na swój kameralny charakter, sprzyjała ich integracji pozwalając jednocześnie na współpracę i wzajemną naukę.

¹²⁷ R. Scuro, *Shaping Identity through Glass in Renaissance Venice*, [w:] *Materialized Identities in Early Modern Culture, 1450-1750: Objects, Affects, Effects*, Amsterdam, 2021, s. 99-134.

¹²⁸ F. Trivellato, op. cit., s. 159.

¹²⁹ A. Dorigato, *The Glass Museum*, Wenecja, 2006, s. 12.

¹³⁰ F. Trivellato, op. cit., s. 159.

Równocześnie z opracowaniem produkcji *cristallo*, władze Wenecji zaostriły politykę dotyczącą migracji rzemieślników. Ten rodzaj szkła stał się najcenniejszym skarbem republiki, ikoną budującą samoświadomość jej mieszkańców¹³¹. Równocześnie opracowywano technologię produkcji innych rodzajów oraz technik, które kojarzone są wyłącznie ze szkłem weneckim. Należą do nich m.in. *millefiori*, *lattimo* (wł.), szkła filigranowe (patrz: fot. 22), mrozowe i awenturykowe.



Fot. 22. Puchar z pokrywą, szkło filigranowe, koniec XVI w., The British Museum

Republika pozostawała niekwestionowanym liderem produkcji szkła aż do końca XVII wieku. W tym czasie szklarze w Anglii, Bohemii i Francji opracowali nowe przepisy na szkło. Wiązało się to między innymi z użyciem w Wielkiej Brytanii węgla zamiast drewna, do opału pieców szklarskich i możliwości uzyskania znacznie wyższych temperatur topienia. W 1676 roku, George Ravenscroft opatentował tak zwane szkło kryształowe, którego skład oparty był na tlenku ołowiu. W tym samym roku Johann Kunckel, w Bohemii, uzyskał szkło kryształowe używając potażu zamiast sody, co znacznie obniżyło koszty jego produkcji. Dodatkowo, w tym samym czasie Francja, opracowała nowy sposób produkcji dużych tafli szkła, stając się głównym konkurentem na rynku luster.

Od 1690 roku, niektórzy producenci szkła w Wenecji zaczęli używać nowych materiałów, zarówno szkłotwórczych jak i topników, by zredukować koszty produkcji i jednocześnie utrzymać wysoką jakość swych wyrobów. Jednym z nowych surowców był piasek, który używano, by częściowo zastąpić otoczaki rzeczne. Pojawia się on w źródłach w latach 1696-97 pod nazwą *saldame*. W pierwszych dekadach XVIII wieku, cechy szklarzy z Wenecji otrzymały pozwolenie na eksplorację jaskiń w Istrii i Dalmacji, skąd go pozyskiwano. Nie był on tak czysty jak kamienie, jednakże znacznie obniżał koszty i czas produkcji. Szkło o formule produkowanej w Bohemii, wykorzystujące ołów oraz potaż, wyprodukowano pierwszy raz w Wenecji w 1737 roku, za pośrednictwem szklarza Giuseppe Briatiego. Dodatkowo, księga z przepisami datowana na późny okres XVII wieku wskazuje, że przynajmniej jeden z producentów szkła, Ettore Bigaglia,

¹³¹ A. Dorigato, op. cit., s. 108.

używał azotanu potasu (KNO_3 , saletra), by uzyskać szkło przypominające kryształ, na wzór angielskiego. Do II połowy XVIII wieku, stał się ona jednym z podstawowych surowców¹³².



Fot. 23. Szkła wykonane w technice millefiori, Wenecja, XVII w., The British Museum

W wieku XVII i XVIII, weneckie rzemiosło w obszarze szkła, składało się z czterech do pięciu cechów rzemieślniczych. Jak wspomniano wyżej, dzieliły się one w zależności od danego sektora produkcji oraz rodzaju wykonywanej pracy. Do najważniejszych i najbardziej uprzywilejowanych należał od zawsze cech dmuchaczy szkła na Murano. Miał on kontrolę nad produkcją wszystkich form wykonywanych technikami hutniczymi, zarówno naczyń, jak i cylindrów przeznaczonych na przeszklenia okienne, lustra, a także produkcję prętów ze szkła. W dalszej kolejności produkty hutnicze przekazywane były do pracowni mieszczących się w centrum Wenecji, w celu dalszej ich obróbki, a tym samym przechodziły pod kontrolę pracowników zorganizowanych w ramach kolejnego cechu.

Po wybuchu wielkiej zarazy w północnych Włoszech w latach 1629-1631, władze Wenecji wydały zarządzenie zezwalające na pracę imigrantów w niektórych obszarach przemysłu szklarskiego. Większość z nich pochodziła z Friuli (północno-wschodnie Włochy). Pracowali oni przy piecach, w których wyrabiano szkło płaskie na lustra. Z czasem ich znaczenie w tym obszarze rosło. Technologii oraz technik produkcji uczyli

¹³² F. Trivellato, op. cit., s. 154-156.

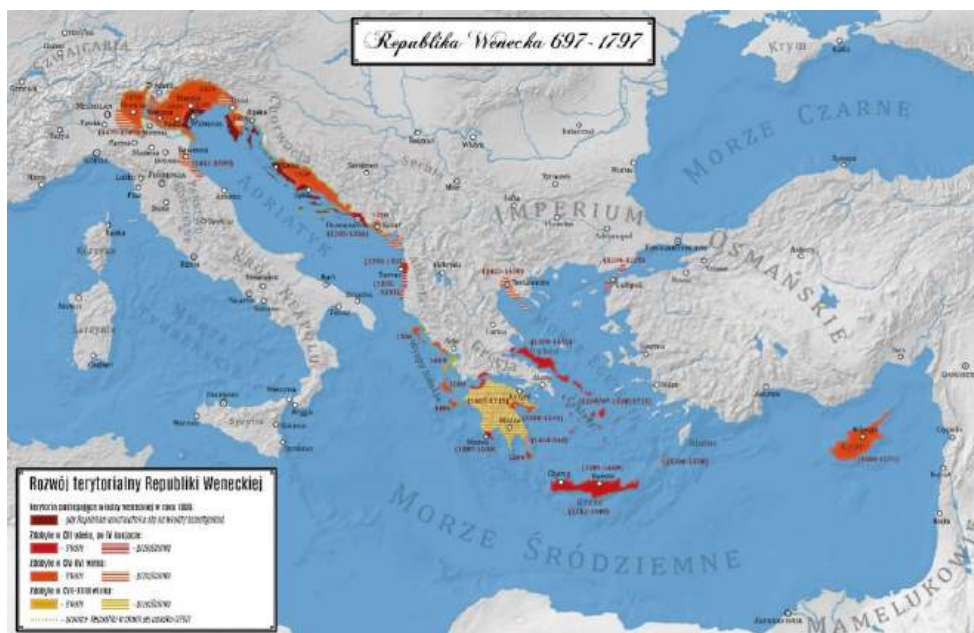
się zarówno drogami oficjalnymi, na które zezwalały władze republiki oraz nieoficjalnie, poza ukonstytuowanymi regulacjami. Założenie warsztatu przekształcającego szkło płaskie na zwierciadła było stosunkowo proste, dodatkowo trudnili się oni zwykle wyrobem luster o małych rozmiarach, nie większych niż 25 x 19 cm. Odniosły one niezwykle sukces o charakterze czysto komercyjnym, a ich produkcja nabierała charakteru wytwórczości masowej, dostępnej dla większej ilości odbiorców i przynosiła tym samym spore zyski. Eksport luster odbywał się do krajów Bliskiego Wschodu, Europy i północnej Afryki. W latach 1678-1792 nastąpiło przesunięcie ciężaru produkcji z sektora związanego ze szkłem dmuchanym, do produkcji luster oraz paciorków szklanych¹³³.

¹³³ ibidem, s. 160-165.

1.3.1. Sytuacja geopolityczna i gospodarcza Republiki Wenecji w XVIII i XIX wieku.

W celu pełnego zrozumienia istoty okresu historycznego, którego dotyczy niniejsza dysertacja, konieczne jest prześledzenie geopolitycznego i gospodarczego położenia *Serenissimy*, Najjaśniejszej Republiki Weneckiej, w wieku XVIII oraz przemian, które dokonały się na przełomie XVIII i XIX wieku w tym rejonie. Rozwój przemysłu związanego z lustrami, był ich bezpośrednim następstwem. Ich produkcja stała się bowiem sposobem na przetrwanie, a następnie utrzymanie wytwórczości szklarskiej na wyspie Murano.

Jest to okres szczególnie, związany z transformacjami politycznymi, społecznymi oraz gospodarczymi, a także szeregiem burzliwych wydarzeń w Europie, prowadzących do ustalenia się nowych porządków i reorganizacją życia społeczeństw. Wydarzenia te nie pozostały bez wpływu także na Republikę Wenecji, w której zmiany ustrojowe nastąpiły w 1797 roku. W porównaniu do innych europejskich potęg, jej obszar był niewielki, ale bardzo rozciągnięty terytorialnie i zróżnicowany, z dostępem do dalekich obszarów obejmujących wschodni Adriatyk czy też wyspy Jońskie. Każdy region wymagał innych strategii eksploatacji i rozwoju.



Rysunek 2. Mapa przedstawiająca terytorialny rozwój Republiki Weneckiej

Osiemnastowieczna Wenecja stanowiła duże centrum konsumpcji, poza tym dominowała na Adriatyku i była ważnym portem, przez który odbywał się eksport oraz import licznych dóbr.

Jej struktury polityczne zostały ustanowione dwa wieki wcześniej. Od tamtej pory Republiką rządziła ta sama, wąska grupa oligarchów. Mimo, iż prawo zasiadania w Wielkiej Radzie posiadało około 1200 arystokratów, w rzeczywistości wpływ na politykę miało tylko kilkadziesiąt rodzin i to oni przez wieki powoływali władze. Na czele republiki stał wybierany dożywotnio doża. W efekcie, rotacja na jej szczytach była bardzo ograniczona. Dodatkowo, dobro rodzin rządzących, stało zwykle na pierwszym miejscu, przed obowiązkami na rzecz stanu i służby publicznej. Mimo pewnych indywidualistów dostrzegających potrzeby zmian, w Wenecji obowiązywała tradycjonalistyczna hierarchia władzy. Różnego rodzaju małe inicjatywy, które podejmowano, mogły co prawda znaleźć swe ujście, jednak bez większego wpływu na jej decyzje i to w czasie, kiedy większość Europy stała u progu wielkiej rewolucji¹³⁴. Działania ograniczające dostęp do podejmowania decyzji tylko dla szlachetnie urodzonych, wydawały się anachronizmem w epoce Oświecenia, głoszącej bardziej demokratyczne hasła. Z jednej strony Wenecja żywiła się swym mitem jako silnego imperium morskiego, niezależnego i stabilnego państwa, w którym szlachta oddana jest ideałom humanizmu, tolerancji, ciężkiej pracy i poświęcenia. Z drugiej, postrzegano ją często jako państwo opresyjne, surowo rządzone przez dekadencją i skrytą oligarchię¹³⁵. Wyrazem tego była księga *Libro d'Oro* (Złota księga), zawierająca spis nazwisk szlachetnie urodzonych obywateli Wenecji, mających prawo zasiadać na najwyższych stanowiskach. Pierwsza z nich, datowana na 1506 rok, wymieniała listę 142 rodów szlacheckich¹³⁶. Wenecję otaczały podległe jej rejony określane mianem *Terrafermy*. Stanowiły one zaplecze gospodarcze i osłonę na wypadek ataku od strony lądu. Jednocześnie, ich mieszkańcy nie mieli żadnego wpływu na rządzący Republiką.

Jak pisze Walter Panciera, granice Republiki Wenecji w XVIII wieku nie były jeszcze w pełni nakreślone. Położenie pomiędzy imperium Habsburgów a wywierającym polityczną presję, Imperium Osmańskim, powodowało poczucie zagrożenia. Jego

¹³⁴ ibidem, s. 21-22.

¹³⁵ *Venice Reconsidered. The history and Civilization of an Italian City-State, 1297-1797*, J.J. Martin, D. Romano (edit.), Baltimore 2000, s. 16-18.

¹³⁶ J. S. Grubb, *Elite Citizens*, w: *Venice Reconsidered. The history and Civilization of an Italian City-State, 1297-1797.*, J.J. Martin, D. Romano (edit.), Baltimore 2000, s. 348.

wyrazem było nieustanne dążenie władz do ustalenia granic za pomocą licznych traktatów. Jednym z ważniejszych był podpisany w 1699 roku, traktat w Karłowicach, po którym Republika Wenecka otrzymała Dalmację, półwysep Peloponeski oraz niektóre wyspy na morzu Jońskim i morzu Egejskim. Traktat w Pożarevacu podpisany w 1718 roku pomiędzy monarchią Habsburgów i Republiką Wenecką, a Imperium Osmańskim zmusił z kolei Wenecję do zrzeczenia się Peloponezu, Krety, wysp Egina i Tinos. W latach 50-tych XVIII wieku, podpisano także wiele sojuszy z rządem Austrii, które ostatecznie zdefiniowały przebieg granicy pomiędzy austriacką Lombardią a Tyrolem oraz terytorium weneckiej Lombardii i regionem alpejskim. Kolejnym trudnym obszarem, była granica pomiędzy Friuli a Istrią, gdzie liczne enklawy terytorialne oraz grupy etniczne utrudniały precyzyjne wyznaczenie granic. Starania o ich unormowanie podejmowano także pomiędzy Republiką, a państwem papieskim¹³⁷. Wszystkie te działania oparte były na reprezentowanej przez *Serenissimę* postawie, zakładającej zachowanie stabilizacji oraz neutralności, która jak się później okaże, miała także swoją cenę.

Wojny tureckie w latach 1714-1718, spowodowały znaczny deficyt w budżecie Wenecji wynoszący około 1,5 miliona dukatów. W związku z tym, władze Republiki dążąc do ograniczenia długów, deklarowały neutralność próbując utrzymać pokój. Postawę tę napędzała także rosnąca siła Austrii naciskająca na Wenecję z każdej strony, po przejściu na Półwyspie Apenińskim terenów wokół Mediolanu, Mantui i Królestwa Neapolu. Dodatkowo obszary jej wpływów, powiększały się również na Bałkanach. Austria dążyła do rozszerzenia kontroli nad Adriatykiem, poprzez ożywienie starego portu w Fiume oraz promowanie nowego portu w Trieście. Unikanie przez weneccjan za wszelką cenę konfrontacji spowodowało, że armia austriacka czuła się bezkarnie i swobodnie wkraczała na terytorium Veneto, a apetyt tego mocarstwa na ziemi weneckie rósł. W tym czasie utrzymywały się także roszczenia innych europejskich potęg, w stosunku do małych państw włoskich. Tuż za granicami Republiki, toczyła się wojna o austriacką sukcesję do tronu. Mimo propozycji licznych koalicji i sojuszy, Wenecja trwała na swym stanowisku i stało się jasne, że wynika to nie bezpośrednio z rozważań strategicznych, ale jest konsekwencją problemów strukturalnych, finansowych, niestabilności w rządzie oraz przekonania, że nawet kilka miesięcy wojny doprowadziłoby do chaosu i bankructwa. Europejskie potęgi były świadome tego stanu

¹³⁷ W. Panciera, op. cit., s. 11-13.

rzeczy, co zaowocowało propozycją Austrii podczas negocjacji treści pokoju w Akwizgranie, dotyczącej możliwej aneksji jej terytoriów. Ostatecznie do tego nie doszło, jednak fakt ten stanowił ostateczny dowód kruchości niepodległości Republiki Weneckiej¹³⁸.

W XVIII wieku, populacja Wenecji, której liczba obniżyła się w wyniku wielkiej plagi z 1630 roku, wróciła do liczby około 140 000 rezydentów. Nadal pozostawała ważnym ośrodkiem regionu, choć postępująca globalizacja i eksploatacja zasobów Ameryki, spowodowała wzrost znaczenia takich miast jak Amsterdam, Sewilla, Lizbona czy Nantes. Doświadczenie ekonomiczne jej mieszkańców, przedsiębiorczość, elastyczność i umiejętność adaptacji do zmian, pozwoliła na utrzymanie aktywnej i żywej ekonomii, korzystającej z przywilejów miasta portowego. Żywy był zarówno import jak i eksport towarów. Wenecja pozostawała istotnym punktem węzła komunikacyjnego w skali międzynarodowej. Rejestry Republiki dotyczące ruchu towarów wymieniają wiele głównych portów europejskich, także dla artykułów ją opuszczających, w tym specjalnych, jak na przykład szklanych koralików¹³⁹.

Ważnym elementem gospodarki Republiki, stała się rozwijająca w XVIII wieku, turystyka. Miasto należało bowiem do ważnego punktu na mapie tak zwanej *Grand Tour* (ang.), wielkiej podróży, w jaką udawali się młodzi intelektualiści oraz arystokraci europejscy, by poszerzyć swe horyzonty. Okres ten to także postępująca teatralizacja życia społecznego, rozwinięta obrzędowość, związana z poszczególnymi świętami, jak na przykład dzień Wniebowstąpienia Pańskiego, odnowienie zaślubin doży z morzem, wielkie regaty, karnawał trwający od końca grudnia przez miesiąc do trzech i wiele innych (patrz: fot. 24). Pojawiły się w tym czasie także przepisy dotyczące noszenia masek, z których słynęło miasto, co związane było z rytuałem wprowadzania specjalnego czasu w roku, odnoszącego się do transgresji, przemiany, wyłączenia z czasu potocznego, codziennego, kiedy wszyscy obywatele są równi¹⁴⁰.

¹³⁸ ibidem, s. 27-31.

¹³⁹ ibidem, s. 45-46.

¹⁴⁰ wykład profesora Jarosława Kiliana pt. *Najjaśniejsza Republika...masek. Teatralizacja życia w Wenecji w dobie Oświecenia.*, Muzeum Łazienki Królewskie, dostęp online: <https://www.youtube.com/watch?v=fttazALCwDA> (11.07.2023 r.)



Fot. 24. Regaty na Grand Canale, Wenecja, Canaletto, olej na płótnie, 1733-4 r., Royal Collection Trust

Ze 114 cechów działających w XVIII wieku, 39 z nich było całkowicie otwartych, a pozostałe częściowo. Oznaczało to, że dostęp do nich mogły mieć także osoby spoza Wenecji, co wiązało się ze znaczną liberalizacją rynku pracy. Cechy pełniły rozległe role, nie tylko kontrolowały sprawy finansowe i administracyjne, ale także polityczne, poprzez gwarancję dziedziczenia fachu. Obywatele mieli także dostęp do licznych szkół będących pod ich kontrolą i stawiających określone wymagania kandydatom do zawodu. Jednocześnie w XVIII wieku godziły się one na zmiany, pozwalając Republice nadążyć za zmieniającym się światem. Cechy liczące około 30-35 tysięcy członków w XVIII wieku zlikwidowano dopiero na przełomie lat 1806-1807, pod rządami Napoleona.

Pod koniec XVIII wieku w przemyśle szklarskim zatrudniano około 600 pracowników zaangażowanych bezpośrednio w proces dmuchania szkła przy piecu, produkcji szkła płaskiego i więcej niż 2000 ludzi zaangażowanych w jego obróbkę (lustra, szkło okienne, produkcja szklanych paciorków). Ilość pieców szklarskich na Murano wynosiła około 40-stu. Wenecja produkowała w tym czasie także tak zwane *contraria da Lisbona*, szklane imitacje pereł, będących towarem wymienianym za niewolników, przywożonych na kontynent europejski z krajów afrykańskich.

Jednocześnie, *Serenissima* w tym okresie straciła swą pozycję lidera w przemyśle szklarskim, na rzecz Czech. Z drugiej jednak strony, odpowiadała na zapotrzebowanie rynków na produkcję masową. Zasadniczą rolę odegrały w tym procesie kobiety pracujące w domach i zajmujące się między innymi cięciem szkła na koraliki, bądź też

ich nawlekaniem na sznury¹⁴¹. Generalna sytuacja na rynku pracy nie pozwalała na utrzymanie konkurencyjności tylko poprzez produkcję wyrobów noszących cechy produktów ekskluzywnych. Ważniejsze okazało się podniesienie produktywności i wydajności pracy, przy jednoczesnym utrzymaniu kosztów produkcji. Większa konkurencja między pracownikami pozwalała dodatkowo zredukować ich płace. Nie zdecydowano się jednak na całkowitą liberalizację rynku i zniesienie cechów, bowiem rozbicie gęstej siatki powiązań i zależności, mogło doprowadzić do podważenia statusu dobrze funkcjonującego organizmu państwa, opierającego swe działanie na micie kontroli, jaką sprawowało nad poszczególnymi korporacjami. Ostatecznie w 1751 roku, postanowiono powołać *Inquisitore alle Arti*, organ mający na celu reorganizację systemu cechów i handlu. W 1752 roku niektóre z nich zostały otwarte, natomiast inne zlikwidowane. Zaadoptowano specjalny współczynnik mający decydować o konieczności podejmowania interwencji w danym obszarze i na przykład całkowitego bądź też częściowego ich otwierania. Dodatkowo, w 1759 roku podzielono je na poszczególne kategorie: *di sola industria* (tylko przemysł), *d'industria e capitali* (przemysł i kapitał) oraz *di soli capitali propri o altrui* (tylko kapitał, własny lub obcy). Po upadku Republiki, 38 cechów było całkowicie otwartych, a 19 nadal całkowicie zamkniętych, a wśród nich przemysł szklarski. Pozostałe podlegały ograniczeniom. Zarówno reżim francuski i austriacki, po zdobyciu Wenecji, uważał przedstawiony powyżej system za jeden z największych ograniczeń w dalszym rozwoju¹⁴².

¹⁴¹ W. Panciera, op. cit., s. 53-54.

¹⁴² *ibidem.*, s. 75-78.



Rysunek 3. Mapa rejonu Veneto, około 1780 r., autor: Rigobert Bonne

Na przełomie XVIII i XIX wieku oraz w wieku XIX, obszar Veneto, stał się polem starcia dwóch armii europejskich: austriackiej oraz francuskiej. Armia francuska dowodzona przez Napoleona Bonaparte przekroczyła jego naturalną granicę 11 maja 1796 roku. Natomiast dwa dni wcześniej, Austriacy dowodzeni przez generała Kerpena weszli przez Cremę do Mantui. 26 maja 1796, Austriacy nie napotkali także żadnego oporu, kiedy zajęli wenecką fortecę Peschiera del Garda i fort Chiusa d'Adige. Z powodu braku reakcji ze strony władz Wenecji, Napoleon mający swoje plany co do tego rejonu, zagroził Republice wojną. Jednocześnie został zapewniony o wsparciu ze strony Werony, do której wojska francuskie wkroczyły 1 czerwca. W następnych miesiącach, Francuzi zajęli Emilię Romanię.

Nad republiką zawisło widmo wojny domowej, kiedy na fali rewolucyjnych nastrojów, uformowano dwie pierwsze, „tymczasowe gminy” w Brescii i Bergamo, dając jednocześnie wyraz sprzeciwu wobec władzy i próby uniezależnienia się od Wenecji oraz oligarchów sprzyjających Francuzom.

W drugiej połowie marca 1797 roku, mieszkańcy Bergamo, Trompii i doliny Sabbia zdecydowali o powstaniu przeciwko Napoleonowi. Do wojsk powstańczych zrekrutowano oddziały złożone z członków weneckiej milicji terytorialnej, chociaż oficjalnie Wenecja nie zerwała swej deklaracji neutralności. Zaproponowany przez Napoleona sojusz, został jednak przez nią odrzucony. Stacjonująca na terenie Republiki,

armia Napoleona, dopuszczała się licznych nadużyć, kradzieży i rekwizycji dóbr. W związku z tym, do pomocy powstańcom ruszyli także mieszkańcy gór i farmerzy. U podstaw tych rebelii, oprócz oporu wobec armii okupanta, leżały zwykle względy ekonomiczne oraz sprzeciw wobec dominacji Republiki św. Marka. Wojna domowa oraz obecność obcych armii na jej terytorium, doprowadziło władze do decyzji, na podstawie których zaproponowano Napoleonowi sumę 250 000 dukatów. Miały one zagwarantować pokój na sześć miesięcy. Mimo oferty, Bonaparte nadal spiskował przeciwko arystokratycznym władzom. Najpierw zaproponował gminom w Weronie, Padwie, Treviso i Bassano powstanie tymczasowych niezależnych gmin, a następnie 15 kwietnia wysłał doży ultimatum. Wenecja miała zadeklarować pokój z Francją i uwolnić więźniów politycznych. Zanim jednak zdołała na nie odpowiedzieć, w wyniku znacznej radykalizacji nastrojów, w Weronie wybuchło kolejne powstanie przeciwko armii francuskiej¹⁴³. W efekcie zamieszek, około 400 napoleońskich żołnierzy dostało się do niewoli, reszta zmuszona była do ukrycia się w otaczających Weronę twierdzach, z których uwolnił ich dopiero wysłany w tym celu oddział. W ciągu kolejnych dni przywrócono w mieście porządek, a Bonaparte postanowił surowo ukarać uczestników zamieszek. Władze Republiki nie odniosły się w żaden sposób do wydarzeń w Weronie. 20 kwietnia oddziały przybrzeżne Wenecji zatopiły jeden z trzech statków francuskich, które zbliżyły się do weneckiego Lido. W wyniku ostrzału i walk zginęła większość załogi wraz z dowódcą¹⁴⁴. Wydarzenia te doprowadziły do otwartego konfliktu z Napoleonem. Wenecję mogło uchronić jedynie całkowite zrzeczenie się władzy przez oligarchów i zaprowadzenie demokratycznych rządów. 29 kwietnia, flota francuska dotarła do brzegów laguny weneckiej, a 1 maja Napoleon wypowiedział Wenecji wojnę. Do zawieszenia broni doszło jednak już następnego dnia, a Francuzi zadeklarowali aktywne wspieranie weneckiej „demokratyzacji”. 12 maja 1797 roku, Wielka Rada spotkała się po raz ostatni. Wobec braku większości jej członków, w atmosferze strachu i konfuzji, władza przeszła w ręce prowizorycznego, demokratycznego rządu¹⁴⁵. Tego gorączkowego dnia w mieście odbyły się radosne demonstracje, ale odnotowano także ataki na profrancuskich przedstawicieli politycznych, splądrowano około 70-ciu rezydencji mieszczkańskich i szlacheckich. W efekcie, 18 maja powołano specjalny trybunał, mający na celu ukaranie sprawców. Tymczasowa Rada Miejska opublikowała

¹⁴³ W. Panciera, op. cit., s. 85-88.

¹⁴⁴ J.J. Norwich, *Historia Wenecji*, J. Bartoszewicz (tłum.), Warszawa 2015, s. 795-798.

¹⁴⁵ W. Panciera, op. cit., s. 86-87.

dwie proklamacje: w pierwszej arystokratyczny rząd zrzekł się swej suwerenności, w drugiej zadeklarowano doprowadzenie nowo utworzonego rządu republikańskiego do maksymalnej perfekcyjności działania. W dniu 4 czerwca, podczas święta Zielonych Świątków, spalono insygnia władzy dostarczone osobiście przez samego ostatniego dożę Wenecji, Lodovico Manina, a także egzemplarz Złotej Księgi.

Rząd, który przez następne sześć miesięcy sprawował władzę w Wenecji, był demokratycznym tylko z nazwy. W istocie jego członkowie zasiadali w nim z francuskiego nadania, nie odbyły się w tym czasie żadne wybory. 17 października na mocy traktatu w Campo Formio, Bonaparte przekazał Wenecję Austrii, razem z Istrią i Dalmacją. Austriacy zajęli miasto 18 stycznia 1798 roku.

Przez kolejne dziesięciolecia Wenecja przechodziła z rąk austriackich do francuskich i odwrotnie, bowiem w 1805 roku Napoleon odbił ją z rąk Austriaków po zwycięstwie pod Austerlitz i ponownie utracił na mocy postanowień Kongresu Wiedeńskiego w 1815 roku. Wenecja pozostała pod wodzą Habsburgów do 1866 roku, kiedy to Prusacy pobili wojska cesarskie pod Sadową, a miasto mogło ostatecznie przyłączyć się do Zjednoczonego Królestwa Włoch (patrz tabela 1)¹⁴⁶.

Biorąc pod uwagę wszystkich mieszkańców byłej Republiki Wenecji (wliczając w tę liczbę mieszkańców Lombardii z Brescii, Bergamo i Cremy), byli oni czwartą, najliczniejszą populacją imperium Habsburgów. Z uwagi na przywiązanie mieszkańców tych terenów do czasów niepodległości tysiącletniej Republiki, dla okupantów, rejon ten stanowił potencjalny punkt zapalny. W istocie było odwrotnie, ponieważ w latach 1815-1846, Wenecja była prawdopodobnie najspokojniejszym politycznie obszarem całej monarchii. Rządy cesarza Franciszka I charakteryzowały się strukturą biurokratyczną oraz sądami, które cechowała przejrzystość, uczciwość, dobra wola, ale jednocześnie rygor i pracowitość. Przyniosły Wenecji pokój i stabilność, odzyskała ona także status jako stolica regionu. Rządy Habsburgów były gwarantem konserwatywnego i katolickiego porządku, odzwierciedlającego przywiązanie do tych wartości mieszkańców miasta i regionu¹⁴⁷. Wierność tradycjonalistycznym wartościom była główną przyczyną, dla których Wenecja nigdy nie godziła się na sojusze z Francją. Dotyczyło to nie tylko oligarchów, ale jak się później okaże, także zwykłych jej

¹⁴⁶ J.J. Norwich, op. cit., s. 812-813.

¹⁴⁷ D. Laven, op.cit., s. 1-25.

mieszkańców. Francja postrzegana była bowiem jako naród anarchistów i królobójców¹⁴⁸.

Stosunki Napoleona z miastem uległy kolejnemu pogorszeniu w latach 1805-1815, po ponownym objęciu przez niego władzy. Sprowadził on bowiem Wenecję do roli podrzędnego miasta, na równi z takimi ośrodkami jak Treviso czy Belluno. Zredukowano jednocześnie rolę, jaką Wenecja odgrywała jako rynek towarów dla reszty regionu. Administracja napoleońska kojarzyła się lokalnej ludności z wysokimi podatkami, korupcją, ciągłymi wojnami i antyklerykalizmem. Jednocześnie korzystano z jej zasobów, by finansować trwające niemal nieprzerwanie wojny w Europie. Dla Napoleona, Wenecja stanowiła bowiem źródło siły bojowej i gotówki. Jego zamiłowanie do wojny, odbijało się na niej boleśnie, ponieważ za każdym razem, gdy Francja była w stanie wojny z którymś z państw, na teren byłej Republiki wkraczały obce wojska¹⁴⁹.

Tabela 1. Władze okupacyjne w Wenecji w kolejnych latach

| lata | władza |
|-------------|---|
| 1798-1805 | Austria, Habsburgowie (na mocy traktatu w Campo Formio) |
| 1805-1815 | Francja, Napoleon (zwycięstwo Napoleona pod Austerlitz) |
| 1815-1866 | Austria, Habsburgowie (na mocy postanowień kongresu wiedeńskiego) |
| 1866 | Zjednoczone Królestwo Włoch |

Na mocy postanowień traktatu wiedeńskiego (1815 r.), Lombardia i Veneto miały zostać integralną częścią Imperium Habsburgów. Zdemoralizowane elity Wenecji, zaakceptowały nowego władcę. O ile Mediolan zdążył jeszcze przed przyjazdem Austriaków zorganizować nowy rząd, o tyle w Wenecji na stanowiskach administracyjnych pozostali ludzie wybrani przez Napoleona. Miasto, pod panowaniem austriackim, zmagało się przez lata z kryzysem ekonomicznym i trudnościami w konkurencji z miastami na zachodzie. Reformy wprowadzane przez cesarza Franciszka I były bowiem zbyt wolne, mimo iż był on świadomy problemów z jakimi zmaga się

¹⁴⁸ J.J. Norwich, op. cit., s. 789.

¹⁴⁹ D. Laven, op. cit., s. 50-51.

Wenecja. Powodów tego stanu rzeczy było wiele, przede wszystkim konflikt interesów między poszczególnymi prowincjami oraz niejednokrotnie przeciwstawne potrzeby i aspiracje¹⁵⁰.

Większość poszczególnych rejonów imperium Habsburgów była połączona unią celną, do której nigdy nie włączono rejonu Veneto–Lombardii, których granica przebiegała wzdłuż naturalnego podziału wyznaczonego przez rzekę Mincio. Ponadto, przepływ dóbr między tymi regionami został obciążony taryfami handlowymi. Otwarcia rynku obawiano się głównie z uwagi na fakt, że napływ wyrobów spoza Wenecji spowodowałby konkurencję, z którą ta nie byłaby sobie w stanie poradzić. Próbowano pomóc poprzez narzucenie wyższych opłat celnych na zagraniczne ziarna, mydło, wino, ryby i tym samym zachęcić Lombardczyków do zakupu towarów z jej terytorium. W związku z ogromnym kryzysem ekonomicznym miasta, jasne było, że nie będzie ona w stanie zaspokoić tych potrzeb. W wielu przypadkach eksportowała jedynie surowce na potrzeby przemysłu sąsiedniego rejonu. Z kolei ponowne otwarcie przepływu dóbr z resztą cesarstwa, spowodowałoby zalew produktami pochodzącymi z manufaktur Austrii i Czech. Dodatkowo, władze austriackie silnie wspierały rozwój konkurencyjnego dla Wenecji, portu w Trieście¹⁵¹.

Wenecja nie uzyskała statusu wolnego portu aż do 1829 roku, który był kluczowy dla ekonomicznego odrodzenia miasta. Jednocześnie jego przeciwnicy wskazywali na fakt, iż miasto w XIX wieku, nadal pozostawało centrum produkcji na małą skalę. Wytwarzano niszowe artykuły takie jak tekstylia, szkło, paciorki szklane, lustra, mydło, świece, książki, czapki i berety. W 1816 roku, weneckie fabryki i warsztaty zatrudniały ponad 13 tysięcy osób.

Odrodzenie Wenecji pod względem ekonomicznym nastąpiło dopiero w latach 30-tych. Rząd próbował zminimalizować skutki otwarcia rynku poprzez zagwarantowanie specjalnych przywilejów tym branżom, których działanie zależało od surowców sprowadzanych z *Terrafermy* lub tych, które tradycyjnie sprzedawały tam swoje towary. Dodatkowo, w styczniu 1833 roku, port na wyspie San Giorgio, przekształcono w magazyn wolny od podatków, zarówno dla towarów przeznaczonych na eksport jak i dla towarów importowanych. Z jednej strony rząd wykazywał się troską

¹⁵⁰ D. Laven, op. cit., s. 73-77.

¹⁵¹ P. Ginsborg, *Daniele Manin and the Venetian Revolution of 1848-49*, Cambridge University Press 1979, s. 29-30.

próbując swymi działaniami zahamować zapaść ekonomiczną z jaką borykała się Republika, a z drugiej były one nieco spóźnione i opieszale. Wspomniane już zamiłowanie administracji cesarskiej do detali oraz mnogość przepisów spowodowały, że niektóre z decyzji zapadały zbyt późno¹⁵². Niemniej jednak, dzięki otwarciu portu, Wenecja odzyskiwała pomału swój dawny blask, pomimo epidemii cholery z jaką zmagala się w 1833 roku oraz powszechnemu kryzysowi gospodarczemu z lat 1841-1843¹⁵³.

Sytuacja zaczynała zmieniać się w obliczu wysokich podatków nałożonych na ludność, w celu zaspokojenia rosnących potrzeb wojskowych. Poborcy podatkowi spotykali się z rosnącym oporem wśród chłopstwa zamieszkującego okupowane terytoria, co doprowadziło do sytuacji, w której tereny wokół Wenecji, pozostawały w otwartym konflikcie z władzami. Dodatkowo, przemieszczające się po Veneto oddziały wojskowe często niszczyły plony, ze strony dezertersów z armii napoleońskiej powszechne były kradzieże i rozboje, podobnie jak zarozumiałe zachowanie armii austriackiej. W związku z podatkami nałożonymi na towary, które niejednokrotnie były wyższe, niż w przypadku pozostałej części cesarstwa, przemycano je na dużą skalę¹⁵⁴. Powszechna służba wojskowa w rejonie, który nigdy nie miał żadnych tradycji militarnych, dodatkowo przyczyniała się do niezadowolenia mieszkańców. By przeciwdziałać nastrojom rewolucyjnym, cesarstwo wprowadziło cenzurę, kontrolując wszelkie treści o takim charakterze.

Po roku 1835, po objęciu tronu przez syna Franciszka I, Ferdynanda, jakość rządów niewątpliwie pogorszyła się. Jego panowanie miało katastrofalne skutki dla cesarstwa. U podnóżu klęski leżał pogłębiający się kryzys finansowy, co sprawiło, że Austria musiała zaciągnąć pożyczki w największych instytucjach bankowych. Załamanie się upraw i nieudane zbiory w Europie w 1845 roku, wobec zerowych działań podejmowanych przez rząd, pogłębiły katastrofalną sytuację. Głodujący, bezrobotni i zrujnowani Lombardczycy oraz Wenecjanie czuli się zdradzeni przez reżim, w związku z czym zaczęli rozglądać się za alternatywami do rządu Austriaków pierwszy raz od 1814 roku. Do zmiany myślenia przyczyniły się poglądy na edukację oraz ekonomię wyrażane w środowisku kilku czasopism i wskazujące na niedociągnięcia polityki cesarstwa.

¹⁵² D. Laven, op. cit., s. 77-102.

¹⁵³ P. Ginsborg, op. cit., s. 31.

¹⁵⁴ D. Laven, op. cit., s. 104-112.

Do połowy lat 40-tych XIX wieku, powoli rozwijała się gotowość do publicznej debaty o ekonomicznej i politycznej przyszłości regionu. Istotnym czynnikiem był także pojawiający się nacjonalizm oraz rola, jaką odegrał nowo wybrany papież, Pius IX. Wiedeń od zawsze wspierał kościół w Wenecji jako gwarancję obrony wartości konserwatywnego porządku, jednakże nowy papież okazał się być dużo bardziej liberalny od swoich poprzedników, a wprowadzone przez niego zmiany w kościele, widocznie inspirowały także demokratyczne siły polityczne w Wenecji. Był on przychylny idei stworzenia włoskiej federacji wolnej od wszelkiej tyranii i obcej dominacji. Niemalże z dnia na dzień wybór ten przekształcił kościół z tarczy przeciw wszelkim zmianom, w najpotężniejszą broń reformatorską. Mimo iż papież nie popierał otwarcie rewolty, to zainspirowani zmianami duchowni zaczęli także głosić postępowe idee. To zradykaizowało Wenecjan wszystkich klas. Protesty jakie wybuchły w Wenecji na przełomie 1847 i 1848 roku nie miały jeszcze na celu wywalczenia niepodległości, a także nie zakładały przyłączenia się do Królestwa Włoch. Przybrały raczej formę żądań, mających na celu złagodzenie cierpień ekonomicznych i uwrażliwienie rządu na lokalne potrzeby. Głównym pragnieniem było przededefiniowanie stosunków między Wenecją a Wiedniem. W styczniu 1848 roku, wenecka izba handlowa wystosowała szereg żądań mających na celu zwiększenie niezależności Wenecji od portu w Trieście oraz równego traktowania tych dwóch ośrodków. Jednym z nich było także utrzymanie obietnicy danej przez cesarza Ferdynanda w 1838 roku, dotyczącej promowania weneckiego rzemiosła¹⁵⁵.

Na czele rewolucji stanął Daniele Manin, zwracając się do gubernatora Wiednia, z żądaniem całkowitej autonomii Wenecji, oddzielenia finansów, wolności słowa oraz wejścia Wenecji do włoskiej unii celnej. Obalenie panowania austriackiego i proklamowanie utworzenia Republiki Weneckiej, liczącej blisko dwa miliony mieszkańców, w marcu 1848 roku, było niezwykle osiągnięciem. *Nuova Repubblica Veneta* (wł.), nawiązywała do tradycji sprzed upadku, jednakże miejsce starej arystokracji na jej czele, zajęła



Fot. 25. Daniele Manin, przywódca powstania przeciw rządowi austriackim

¹⁵⁵ P. Ginsborg, op. cit., s. 70.

wenecka klasa średnia. Podstawy ideologiczne oraz reorganizacja stosunków społecznych, wyraźnie oddzielały je od siebie¹⁵⁶.

Mimo to, Nowa Republika Wenecka nie przetrwała długo. Przyczynił się do tego brak organizacji armii, a nade wszystko braki w komunikacji miasta z prowincjami Veneto, które jawnie wyrażały do niej niechęć i w obawie przed armią austriacką, chciały zwrócić się po pomoc do króla Sardynii, Karola Alberta, pomijając Wenecję¹⁵⁷. W wyniku wielu niepowodzeń Daniele Manina oraz z uwagi na ogólnonarodową sytuację, na skutek wewnętrznego głosowania, Wenecja stała się częścią królestwa górnych Włoch. Sytuacja ta nie utrzymała się jednak długo i z powodu militarnej przewagi Austriaków, Karol Albert musiał zrezygnować z walki. Na skutek sojuszu zawartego w Salasco, Lombardia i Wenecja powróciła do cesarstwa¹⁵⁸. Weneccjanie jednak nie zaakceptowali warunków sojuszu i stawiali czynny opór armii austriackiej, nim ta zajęła miasto.

Manin oraz pozostali przywódcy rewolucji weneckiej, udali się na uchodźstwo do Paryża, jednakże jego żądania zyskały szerokie poparcie wśród wszystkich klas. Wymuszona abdykacja Ferdynanda i zastąpienie go w grudniu 1848 roku przez pierworodnego syna jego młodszego brata, Franciszka Józefa, było zwiastunem odrodzenia się władzy cesarskiej i uspokojenia nastrojów. Rewolucja wenecka na trwałe zmieniła jednak stosunki z Wiedniem. Ostatecznie Habsburgowie zostali wyparci z Lombardii w 1859 roku, natomiast z Wenecji w 1866. Spowodowane było to działaniami militarnymi podejmowanymi przez Francję i Prusy¹⁵⁹. Na mocy pokoju podpisanego w Wiedniu, Austriacy zgodzili się przekazać miasto Napoleonowi III, który z kolei przekazał Wenecję Wiktorowi Emanuelowi II, królowi Włoch. 21 i 22 października weneccy obywatele zaakceptowali połączenie w ramach głosowania¹⁶⁰. Proces zjednoczenia Włoch określany jest mianem *Risorgimento*.

¹⁵⁶ *ibidem.*, s. 124.

¹⁵⁷ *ibidem.*, s. 223.

¹⁵⁸ *ibidem.*, s. 250-253.

¹⁵⁹ D. Laven, *op. cit.*, s. 213-230.

¹⁶⁰ R.J.B. Bosworth, *Italian Venice: A History*, Yale University Press 2014, s. 18.

1.3.2. Szklarstwo weneckie w XIX wieku.

Po upadku Republiki Wenecji w 1797 roku, ekonomia przeszła na tym terenie głęboki kryzys, który dotknął różne gałęzie gospodarki. Produkcja szkła była jedną z tych, które ucierpiały najmocniej. Wytwarzanie szkła luksusowego, z którego do tej pory słynęła, zostało zatrzymane. Twórcy nie praktykowali swego rzemiosła.

Jedyną branżą, która oparła się czasom kryzysu, była działalność związana z produkcją szklanych koralików (*conterie*). Produkowane z prętów szklanych, wykorzystywane były głównie do celów dekoracyjnych. Sektor ten znalazł swych odbiorców na rynkach wschodnich. W połowie XIX wieku, wraz z rozwojem technik produkcji, dawał on pracę tysiącom pracowników z Murano (patrz: fot. 26)¹⁶¹. Jednocześnie, siedemnaście mniejszych manufaktur zjednoczyło się pod nazwą *Società Veneziana per l'Industria delle Conterie*. Doprowadziło to do większej kontroli produkcji, redukcji kosztów oraz umożliwiło wprowadzenie wydajniejszych pieców oraz surowców¹⁶².



Fot. 26. Kobiety wykonujące zawód tzw. impressy, trudniące się nawlekaniem koralików na nitki

Począwszy od 1820 roku, podejmowano różne próby, by przywrócić stare techniki szklarskie, udało się to w pełni po przyłączeniu rejonu Veneto do królestwa Włoch. Okres

¹⁶¹ C. Moretti, op. cit., s. 65-87.

¹⁶² M. Verità, S. Zecchin, *Raw Materials and Glassmaking Technology in the Nineteenth – Century Glassworks*, s. 45-56, dostęp online: https://www.istitutoveneto.org/pdf/testi/vetro/2016/02_verita_zecchin.pdf (15.09.2023 r.).

ten związany jest z osobą Vincenzo Zanetti, założyciela i dyrektora Muzeum Szklania na wyspie Murano, gdzie dzięki bogatym zbiorom, hutnicy mogli studiować stare techniki szklarskie. Założone przez niego w 1867 roku czasopismo, *La Voce di Murano*, zawierało jednocześnie praktyczne informacje związane z technologią produkcji szkła¹⁶³.



Fot. 27. Vincenzo Zanetti, założyciel i dyrektor Muzeum Szklania w Murano

Istotnym czynnikiem dla odrodzenia i dalszego rozwoju manufaktur i warsztatów rzemieślniczych wytwarzających szkło w Murano, w tym także lusterek, było powstanie w XIX wieku, dużych fabryk zajmujących się produkcją szkła na skalę przemysłową. Wiązało się to między innymi z pozyskiwaniem, testowaniem i wprowadzaniem przez nie nowych surowców stanowiących podstawowy zestaw szklarski oraz surowców odpowiedzialnych za kolor szkła jak i stopień jego przejrzystości¹⁶⁴. Nie mniej istotne były także względy ekonomiczne. Duże fabryki zapewniały ciągłą obecność pieców szklarskich na wyspie, dawały pracę mieszkańcom, a na ich tle rozwijała się działalność rzemieślnicza związana z produkcją szkieł unikatowych.

Z perspektywy warsztatów produkujących lustra, jedną z najistotniejszych, mogła być firma założona przez braci Marietti. Pierwszy dokument poświadczający jej działalność pochodzi z 21 stycznia 1827 roku. Zawierał on prośbę skierowaną do weneckiej Izby Handlowej, związaną z rejestracją firmy. Jej produkcja została zorganizowana w opuszczonych



Fot. 28. Siedziba firmy Marietti w budynkach byłego zakonu Santa Chiara

budynkach byłego zakonu Santa Chiara (patrz: fot. 28). Produkowała ona tafle szkła metodą dmuchania z cylindrów, butelki ze szkła barwionego w masie, przeznaczone

¹⁶³ R. Barovier Mentasti, C. Tonini, op. cit., s. 57.

¹⁶⁴ M. Verità, S. Zecchin, *Industrial and Artistic Glass Production in Murano: Late 19th – Middle 20th Centuries*, [w:] Study Days on Venetian Glass. The Origins of Modern Glass Art in Venice and Europe about 1900., R. Barovier Mentasti, C. Tonini (red.), Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, 2017, s. 27.

między innymi do przechowywania wina oraz szklane klosze służące do ochrony cennych przedmiotów przed zakurzeniem, przeznaczone także na użytek laboratoryjny. Przemysłowe cechy produkcji wynikały nie tyle z przejścia od produkcji ręcznej do zmechanizowanej, ile specyfika zarządzania firmą i związane z nią między innymi, interwencje grup finansowych kontrolujących jej działanie. Dodatkowo wpływała na to obecność techników spoza Murano, produkowany przez nią asortyment, jak i jego ilość. Firma *Marietti* nie miała charakteru manufaktury oferującej unikatowe i studiowane z uwagą formy oraz nie korzystała ze spuścizny szklarstwa weneckiego także pod względem technik wypracowanych na przestrzeni wieków. Fabrykę zorganizowano do produkcji wielkoseryjnej. Wizytacje komisarzy regularnie ją kontrolujących oraz sporządzane przez nich sprawozdania, są doskonałym źródłem wiedzy na temat specyfiki jej działania. Jeden z pierwszych zawiera entuzjastyczny opis zachwalający zgromadzenie odpowiedniego kapitału do produkcji oraz przestronne wnętrza. Opis informuje także o dominującej obecności francuskich specjalistów i związaną z tym, organizację produkcji na wzór francuski. Dodatkowo najbardziej wykwalifikowani robotnicy pochodzili z Niemiec i rejonu Ticino. W związku z tym, fabryka prawdopodobnie nigdy nie była traktowana przez weneccjan jako tożsama z Murano i jej tradycjami szklarskimi.

Początkowo działały tam dwa piece opalane drewnem, przy których bezpośrednio pracowało około trzydziestu robotników oraz stu robotników pomocniczych. Około pięćdziesięciu z nich zatrudniano do przewozu szkła. W 1833 roku oprócz pieców opalanych drewnem pojawiły się także, na wzór angielski, piece opalane węglem. Dodatkowo konieczne było zastosowanie pieców służących do rozwijania tafli szkła oraz ich odprężania. W 1837 roku fabryka uzyskała szczyt swojego rozwoju zatrudniając dwustu trzydziestu pracowników. Jej nazwa została wówczas przemianowana na *Cessionari Marietti*. W 1846 roku, administratorem zakładu został mianowany inżynier Antonio Colli. W tym czasie w fabryce funkcjonował ośmiodonicowy piec węglowy oraz czterodonicowy opalany drewnem.

Po upadku opisywanego wcześniej powstania w Wenecji, w 1848 roku, zawieszono działalność portu wolnocłowego, co znacznie pogorszyło sytuację firmy. Wysokie cła na węgierskie drewno i surowce, w tym sodę i natron miały istotny, negatywny wpływ na jej działalność. Ostatecznie strefę wolnocłową przywrócono

w 1851 roku. Dokumenty z tego czasu wymieniają między innymi siedemnastu dmuchaczy szkła zatrudnionych w warsztacie.

Po oddzieleniu rejonu Veneto od Lombardii, sytuacja fabryki znacznie się pogorszyła, w związku z trudnościami w sprzedaży swych wyrobów, rozpoczął się powolny proces jej upadku. Ostatecznie zakład zamknięto w 1880 roku.

Raporty komisji wizytujących wymieniają na przestrzeni lat szereg stosowanych w niej surowców. W 1857 roku wraz z natronem sprowadzanym z Egiptu, wprowadzono jako topnik także siarczan sodu. Pojawia się również soda z Katanii, soda kalcynowana ze Szwajcarii, kwarc z Sesto Calende, wapno, szwajcarski szamot, duże złoża paliwa w postaci angielskiego węgla kopalnego, drewna dębowego i bukowego z Istrii i Fiume¹⁶⁵.

Początkowo żadna fabryka zdawała się nie wpisywać w krajobraz oraz profil działalności Murano. W ostateczności jednak, także opat Zanetti oraz wspierający go burmistrz Antonio Colleoni, pokładali w produkcji seryjnej nadzieję na rozwój ekonomiczny wyspy, a tym samym możliwość rozwoju manufaktur i działalności na mniejszą skalę.

Przemysłowy charakter można także przypisać firmie wytwarzającej szklane mozaiki, założonej przez Antonio Salviati w 1859 roku pod nazwą *Salviati dott. Antonio*¹⁶⁶. Została ona podzielona w 1877 roku na firmę zajmującą się produkcją obrazów ze szklanych, wielobarwnych kostek, pod nazwą *Salviati & C.* oraz szkłem dmuchanym: *Salviati Dr. Antonio*¹⁶⁷. Zainteresowanie mozaikami zostało spowodowane katastrofalnym stanem ich zachowania na fasadzie katedry św. Marka. Stanowisko technika produkcji objął w firmie Lorenzo Radi, specjalizujący się w wytwarzaniu kostek szklanych o różnorodnych kolorach (patrz: fot. 29),



Fot. 29. Mozaika wykonana przez firmę Salviati, ok. 1900 r., Corning Museum of Glass

¹⁶⁵ P. Zecchin, *La Ditta Marietti, Prima Vetreria Industriale a Murano*, [w:] *Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro*, vol. 36., 2006, s. 11-23.

¹⁶⁶ R. Liefkes, *Antonio Salviati and the Nineteenth Century Renaissance of Venetian Glass*, [w:] *The Burlington Magazine*, vol. 136., no. 1094, 1994, s. 283.

¹⁶⁷ A. Dorigato, op. cit., s. 71.

jeden z najwybitniejszych techników i hutników szkła. W większości firma zajmowała się projektowaniem i produkcją nowych obrazów w tej technice dla ówczesnych kościołów oraz gmachów użyteczności publicznej, zatrudniając do 1862 roku, ponad dwustu pracowników^{168, 169}. Pod wpływem nacisków ze strony angielskich udziałowców, zmieniła nazwę na *Venice & Murano Glass and Mosaic Co. (Campagnia di Venezia e Murano–CVM)*.

Do produkcji luksusowych szkieł dmuchanych przekonał Salvatięgo, Antonio Colleoni¹⁷⁰. Przy ich wytwarzaniu inspirowano się bezpośrednio szklami historycznymi, zgromadzonymi we wspomnianym wyżej Muzeum (patrz: fot. 30). Produkcji towarzyszyło niemal naukowe podejście. Muzeum pełniło funkcję ośrodka, do którego dostęp mieli zarówno zwykli mieszkańcy, jak i rzemieślnicy oraz technolodzy szkła. Jego nadrzędną misją była edukacja. Salvati wraz ze swym współnikiem, brytyjskim archeologiem i dyplomata, Austen Henry Lyardem, zatrudnili



Fot. 30. Wazonik firmy Salvati Dr. Antonio, 1872-1895 r., Corning Museum of Glass

najlepszych hutników z Murano. Dodatkowo Salvati zabierał ich do innych ośrodków, między innymi do Muzeum w Brescii, gdzie zafascynowała ich, przechowywana tam, rzymska miseczka wykonana techniką *millefiori*. Wizyty w muzeach londyńskich inspirowały między innymi grawera szkła Angelo Fuga. Dodatkowo, przy Muzeum Szklą w Murano, zorganizowano bibliotekę gromadzącą publikacje oraz portfolio z projektami szkieł, obecnie stanowiące cenne źródło wiedzy na temat przedmiotów wytwarzanych w XIX wieku.

Szklarze tego okresu starali się początkowo naśladować, a następnie także ulepszać szkła historyczne, zarówno pod względem formy, jak i składu chemicznego. Szkoła projektowa, którą dodatkowo założono przy Muzeum edukowała ich pod kątem rysunku i malarstwa, kształtując wyczucie proporcji i koloru¹⁷¹. Determinacja,

¹⁶⁸ R. Liefkes, op. cit., s. 283.

¹⁶⁹ opis pracy oraz siedziby firmy, ekspozycja mozaik oraz wzmianka o zamówieniu złożonym przez księżną koronną Prus: D. W. Howells, *Venetian Life*, Boston – Nowy Jork 1907, s. 231-233.

¹⁷⁰ P. Zecchin, *La vetreria Salvati a Murano: Cronaca dei primi passi*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 49, 2007, s. 191-205.

¹⁷¹ R. Barovier, *Roman Glassware in the Museum of Murano and the Muranese Revival of the Nineteenth Century*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 16., 1974, s. 111-119.

zaangażowanie oraz przekonanie, jakie charakteryzowało osoby pragnące zrewitalizować działalność szklarską Murano, pozwoliła im na swoistą pracę u podstaw oraz wzięcie pełnej odpowiedzialności za swe działania. Z powodzeniem przywrócono zainteresowanie wysokiej jakości szkłem stołowym oraz szkłem służącym do dekoracji wnętrz mieszkalnych. Przywrócono nie tylko dawne techniki szklarskie, ale także opracowano nowe, jak chociażby tak zwane szkło awenturynowe¹⁷². Artyści tamtego okresu wierzyli, że aby być wartościowymi rzemieślnikami, muszą posiadać umiejętności swych przodków, być w stanie odtworzyć dawne techniki szklarskie. W założeniach, archiwum miało dostarczać wzorce. Organizowane jednocześnie, liczne wystawy szkła, przyczyniały się do jego popularyzacji. Pierwszą z nich była ekspozycja przygotowana przez opata Zanettiego przy Muzeum Szkła w listopadzie 1864 roku. Kolejna, zorganizowana została w 1869 roku i goszczono na niej wszystkie włoskie huty szkła. Ponadto, znacząca była obecność przemysłu szklarskiego na poszczególnych wystawach światowych, począwszy od Wystawy Światowej w Paryżu w 1867¹⁷³ oraz 1900¹⁷⁴ roku.

Jak pisze Marco Verità i Sandro Zecchin, kompozycja szkła produkowanego w Murano przeszła znaczące zmiany na końcu XVII i w XVIII wieku mając znaczący wpływ na skład chemiczny szkła oraz rodzaj używanych surowców w wieku XIX. Jest to także okres, w którym znaczną dominację w Europie zyskało szkło czeskie oraz angielskie. Pomimo historycznej, wynikającej niemalże z tradycji, izolacji środowiska weneckich szklarzy, receptury oparte na alkaliach potasowych oraz dodatku do szkła ołowiu, pojawiły się także w Wenecji. Przepisy na szkło przekazywane były zwykle z ojca na syna, przepisywane ręcznie. Wiedza naukowa była w tym okresie bardzo uboga, znaczna część surowców była przygotowywana lub rafinowana w hutach szkła przed ich użyciem, dlatego też posiadanie „formuły na szkło” miało istotne znaczenie. Dodatkowo w I połowie XIX wieku, po upadku Republiki, zniknęło wsparcie ze strony władzy, a rozwój zależał od inicjatyw o charakterze oddolnym.

¹⁷² R. Scuro, *Pauly&C. – CVM nella storia della vetraria veneziana d'epoca contemporanea: un caso di storia aziendale*, [w:] *Mafia e storiografia. Premesse culturali e prospettive attuali.*, no. 39,3, 2019, dostęp online: <https://journals.openedition.org/diacronie/12134> (6.9.2023 r.).

¹⁷³ C. Beltrami, *Chefs-d'oeuvre de légèreté et de grace. Il vetro di Murano alle Esposizioni Universali di Parigi*, vol. 6 – luglio 2017, dostęp online: <https://edizionicafoscari.unive.it/media/pdf/article/mdccc-1800/2017/0le-arti-in-mostra-le-esposizioni-internazionali/art-10.14277-2280-8841-MDCCC-6-17-2.pdf> (18.09.2023 r.), s. 19-33.

¹⁷⁴ L. Masina, *Exposition Universelle et Internationale, Parigi 1900*, [w:] *Vedere l'Italia nelle esposizioni universali del XX secolo: 1900 – 1958*, Milano 2016, s. 11-51.

Jednym z lepiej zachowanych zeszytów z ręcznie spisanimi przepisami jest recepturarz z 1847 roku, dotyczący co prawda głównie produkcji prętów szklanych, tafli szkła kolorowego oraz awentury, jednakże podstawowe składniki szkła można odnieść także do innych obszarów działalności manufaktur Murano. Nazwy pojawiające się w przepisach były zwyczajowe, niejednokrotnie związane z miejscem pozyskania surowców.

W związku ze wspomnianym wprowadzaniem nowych składników w produkcji szkła, zaczęto używać azotanu potasu (KNO_3) oraz arsenu (As_2O_3). XIX-wieczny przepis podaje odpowiednio nazwy: *nitro greggio e fino* oraz *arsenico bianco d'Amburgo*. Wspomniana we wcześniejszych rozdziałach, zamiana źródła krzemionki w postaci kamieni z rzeki Ticino na piasek postępowała, tak że w wieku XIX użycie otoczków było już niezwykle rzadkie i pojawiało się w starszych formułach lub w szklach kolorowych, w których jakiegokolwiek zanieczyszczenia miałyby istotny wpływ na kolor (np. turkus). Powszechnie używane piaski z Lissy i Puli w Chorwacji zastępowano od 1887 roku piaskiem o wysokiej czystości znanym jako *Fontainebleau*, pochodzącym z Francji i Belgii. Pojawiają się także piaski o mniejszej czystości, z Lazio i Sycylii. Pod koniec wieku XIX stosowano również skałek.

Źródło alkaliów w postaci sody pochodziło tradycyjnie z popiołów roślin halofitowych (np. hiszpańska *barilla* oraz słabsza jakościowo, sycylijska *soda di Catania*), a także z natronu (w recepturze z 1847 r.: *Natron o Natrone d'Egitto o di Tripoli di Barbaria – Carbonato decaidrato di sodio – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$*). Najistotniejszą zmianą było jednak pojawienie się sztucznej sody, wyprodukowanej po raz pierwszy w 1856 roku w procesie Leblanca, który do końca XIX wieku zastąpiono metodą Solvay'a. Sztuczna soda pozbawiona zanieczyszczeń miała swe odbicie w składzie chemicznym szkieł.

O użyciu azotanu potasu wspomniano wyżej. Pojawia się on w kontekście wprowadzania do receptur surowców ołowiowych, dając w efekcie szkło ołowiowo-potasowo-krzemianowe. Tlenek ołowiu stosuje się także jako składnik stabilizujący, w większości przypadków wprowadzany w postaci tlenku ołowiu (*litargirio—ossido di piombo— PbO* lub *minio—tetrossido di piombo— Pb_3O_4*).

Węglan wapna pojawia się w przepisach Murano dopiero od drugiej połowy XIX wieku, pierwszy raz wymieniony w kontekście produkcji szkła dmuchanego przez Giovanni Ongaro. Nie ma w przepisach takich surowców jak dolomit czy marmur,

produktów będących w zasięgu ręki weneckich szklarzy. Tlenek wapna obecny był w składzie surowcowym szkła w wyniku zanieczyszczeń piasku użytego jako źródło krzemionki.

Importowano także bohemską stłuczkę szklaną. Przewodnik po Murano Zanetti, wspomina o członku rodziny Mazzolà, który w 1739 roku sprowadził ze Śląska *una materia vetrificabile*, popiół sodowy i potasowy, który używany jest także w Anglii, dzięki czemu szkło jest błyszczące i białe¹⁷⁵. Inne rodzaje stłuczki szklanej są wymienione pod nazwami *comune* (szkło transparentne), *cristallo* (szkło o wysokiej jakości), *al piombo* (prawdopodobnie szkło ołowiowo-potasowo-krzemianowe) oraz *lattimo* (szkło mleczne, opakowe).

Tlenki barwiące to między innymi tlenek żelaza (*crocco –ossido di ferro–Fe₂O₃*), czerwony tlenek miedzi (*ramine rossa di 1^a cotta–ossido di rame rameoso–Cu₂O*), czarny tlenek miedzi (*ramine rossa di 3^a cotta–CuO*), mangan z Piemontu (*manganese di Piemonte–biossido di manganese naturale–MnO₂*) i tlenek kobaltu *zaffre* (*záffara o záffera–cobaltite arrostita–CoO*). Tlenek kobaltu pochodzi z rudy zawierającej oprócz kobaltu, także inne zanieczyszczenia o zmiennych proporcjach. Umiejętność oczyszczania rudy, dopracowana w XIX wieku, musiała być znaczącym osiągnięciem. W książkach z recepturami nie ma jednak przepisu na oczyszczanie zaffry, w związku z tym przypuszcza się, że przygotowywano ją na potrzeby przemysłu szklarskiego poza hutami. W szkłe XIX-wiecznym używa się także siarki (*zolfo pesto–zolfo elementare–S*). Razem z tlenkiem żelaza i manganu, daje ona szkło o barwie ciepło żółtej („bursztynowej”). Chrom pojawia się od około 1870 roku, zarówno jako tlenek oraz dwuchromian potasu. Ponadto, uran występuje w przepisach weneckich od około 1850 roku, nikiel od 1890.

W procesie topienia szkła w XIX-wieku, rzadko wykorzystywano proces frytowania. Powszechnie stosuje się natomiast wcześniej przetopione granulki szkła tzw. *cottizzo*, będące niejako składnikiem bazowym dla wszelkiego rodzaju innych szkieł. Proste w składzie, składało się jedynie z krzemionki i sodu. W książkach z przepisami znajduje się wiele jego receptur w odniesieniu do produkcji koralików. Okres ten

¹⁷⁵ V. Zanetti, op. cit., s. 43-44.

charakteryzuje się również rozwojem w produkcji szkła opakowego, a co za tym idzie
użyciem antymonu lub arsenianu ołowiu jako środka zmętniającego^{176, 177}.

¹⁷⁶ C. Moretti, op. cit., s. 65-87.

¹⁷⁷ M. Verità, S. Zecchin, s. 45-56.

1.4. Lustra weneckie w XIX wieku.

Odbiciem sytuacji w szklarstwie w Wenecji oraz Murano, w pierwszej połowie XIX wieku, jest również przewodnik po hutach szkła Domenica Bussolina z 1853 roku. Autor dzieli przemysł wyspy na poszczególne kategorie: fabryki koralików, produkujące naczynia kryształowe, fabryki luster oraz produkujące tafle szklane. W ostatnich latach Republiki Weneckiej istniały cztery piece produkujące tafle szkła wykorzystywane do luster: jeden, przy którym wytwarzano duże tafle i trzy dla mniejszych. Jako najbardziej wyróżniającą się, autor wymienia manufakturę Francesco Motty, uznaje ją za jedyną produkującą tafle szkła o niezwykłych rozmiarach, pracującą wyłącznie metodą dmuchania szkła z cylindrów.

Osoba Francesco Motty pojawia się także w przewodniku po Murano Zanettiego: „Tu się urodził (...) utalentowany Liberale Motta, który stworzył najpiękniejsze lustra, jakie można było uzyskać metodą dmuchania. Uczynił je wysokimi na ponad 10 ćwiartek i szerokimi na 7, tak przejrzystymi i tak pięknymi, że zadziwiły najbardziej pracowite narody Europy”¹⁷⁸.

W roku, w którym Bussolin pisał przewodnik (1853 r.), istniała tylko jedna fabryka produkująca lustra prowadzona pod kierunkiem Lorenzo Zecchina. Początkowo, wytwarzano w niej tafle metodą dmuchania szkła z cylindrów¹⁷⁹. Z monografii poświęconej przemysłowi szklarskiemu z 1874 roku wynika, że hutnicy tej firmy nauczyli się także produkcji tafli metodą odlewania i walcowania. Tafle te były jednak czterokrotnie grubsze w porównaniu do tych produkowanych tradycyjnie. Dodatkowo, sposób ten wymagał wprowadzenia maszyn szlifujących i polerujących szkło, które Zecchin faktycznie zbudował w Maniago we Friuli. Obrabiały one powierzchnię z udziałem materiału ściernego i wody i były w stanie opracować od dwunastu do dwudziestu tafli dziennie. Usytuowanie ich w znacznej odległości od Murano oraz koszty z nimi związane były jednak niekorzystne dla procesu produkcji. Całkowite odejście od starego sposobu wytwarzania tafli, przyczyniło się do upadku firmy, a tym samym zaprzestania wyrobu luster w Murano na kilka lat¹⁸⁰.

¹⁷⁸ V. Zanetti, *Guida di Murano...*, s. 17-18.

¹⁷⁹ D. Bussolin, op. cit.

¹⁸⁰ B. Cecchetti, E. Sanfermo, V. Zanetti, *Monografia della Vetraria Veneziana e Muranese*, Venezia 1874, s. 104-106.

Według wspomnianej monografii, tafle szkła z nałożoną na nie powłoką metaliczną były transportowane z Francji. W Wenecji następowała ich dalsza obróbka: fasetowanie oraz grawerowanie powierzchni. Dodatkowo, opracowanie wymienia dwóch utalentowanych artystów szkła, Pietro Cozzato oraz Angelo Fuga, którzy są autorami ram dla lusterek wykonanych z liści, kwiatów i szklanych paciorków: *Abbiamo due abilissimi artisti nelle persone di Pietro Cozzato di Venezia, a di Angelo Fuga di Murano che si applicano non solo dell'incisione, ma anche dell'ingegnossissima costruzione delle cornici da specchio eseguite con fogliami, fiori e perle di vetro (...)*. Autorzy wspominają także o innych, jednakże mniej zdolnych ich zdaniem, artystach¹⁸¹.

Według informacji, jakie można znaleźć na stronie internetowej firmy *Ongaro e Fuga* produkującej współcześnie lustra w Murano, nazwisko Fuga związane jest z nimi od 1852 roku. „To rok, w którym rzemieślnik Angelo Fuga zaczął grawerować szkło płaskie. W 1862 roku, dyrektor *Museo Civico Artistico Industriale*, zlecił mu wykonanie lustra o rozmiarach 2,5 metra wysokości i 1,70 szerokości. Uznano je za najbardziej majestatyczne zwierciadło wszechczasów. Lustra Angelo Fuga podróżowały po całym świecie¹⁸²”. Dzieła autorstwa Angelo Fuga i jego braci znalazły się na wystawie stałej w Muzeum Szkła Murano. Wspomina o nich Zanetti w swoim przewodniku po Muzeum¹⁸³.

Wysiłki na rzecz przywrócenia świetności Murano przyniosły w efekcie niezwykle ożywienie gospodarcze począwszy od lat 60. XIX wieku. Z pewnością przyczyniło się do tego jednoczesne zjednoczenie rejonu Veneto z resztą Włoch w 1866 roku, co zapewniło stabilność regionu pod względem ekonomicznym. Jednocześnie dobrze prowadzona kampania marketingowa, zakładająca realizację zamówień na skalę międzynarodową oraz dla ważnych osobistości tamtych czasów, nadała prestiż wyrobom Murano. Dr. Salviati, współpracujący z angielskimi przedsiębiorcami, otworzył w 1868 roku, w Londynie na St. James Street, sklep z wyrobami firmy.

Obok masowego wytwarzania koralików oraz mozaik, lustra były kolejną gałęzią gospodarki, której charakter produkcji w II połowie XIX wieku osiągnął ogromną skalę. Katalogi firm je produkujących, przechowywane obecnie w archiwum Fundacji Giorgio

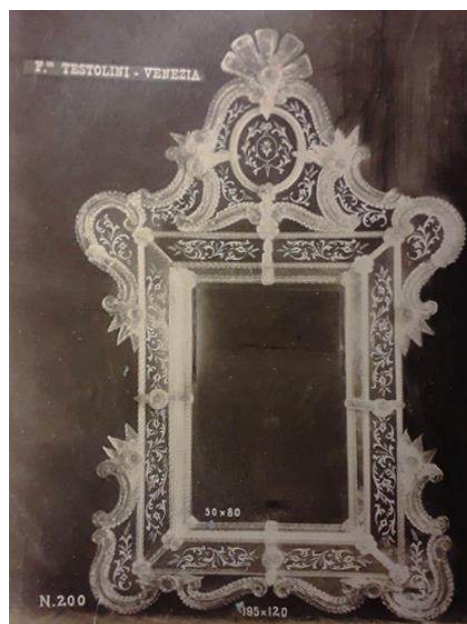
¹⁸¹ B. Cecchetti, E. Sanfermo, V. Zanetti, op. cit., s. 208.

¹⁸² <https://www.ongaroefuga.com/en/company.html>, (dostęp: 18.09.2023 r.), tłum. N. Moszak za pomocą Google Tłumacz

¹⁸³ V. Zanetti, *Il museo di Murano. Relazione del Direttore Vincenzo Zanetti.*, Venezia 1873, s. 28.

Cini w Wenecji, świadczą o niezwykłym rozwoju tego sektora. Firmy weneckie związane z produkcją lusterek w XIX wieku to: *Compagnia Venezia Murano*, *Fratelli Testolini*. Produkcja lusterek miała charakter masowy i przynosiła określony dochód, co pozwalało na utrzymanie się na rynku. Lustra były importowane na zagraniczne rynki. Wymienione firmy kontynuowały swą działalność w wieku XX, podejmując między innymi współpracę z założoną w 1909 roku firmą *Pauly & Co.*, stanowiącą swoisty salon eksponujący i handlujący luksusowymi produktami Murano¹⁸⁴.

Firma *Fratelli Testolini* założona w 1847 roku należała do najstarszych. Charakteryzowała się wytwórstwem o urozmaiconym i niejednorodnym charakterze, którą najogólniej można określić jako produkcję przedmiotów użytkowych wysokiej jakości o dekoracyjnym charakterze. Spośród asortymentu firmy wyróżnić można lustra (patrz: fot. 31), ale także szkło naczyniowe, mozaiki, mikromozajki, meble, porcelanę, tekstylia, kute żelazo, rzeźby z marmuru i drewna. Produkcja szkła odgrywała rolę drugorzędną w stosunku do rzeźbionych mebli, w związku z tym, bracia Testolini nie wyposażyli się od razu w środki niezbędne do jego produkcji i zlecali je podmiotom trzecim. W związku z tym, często



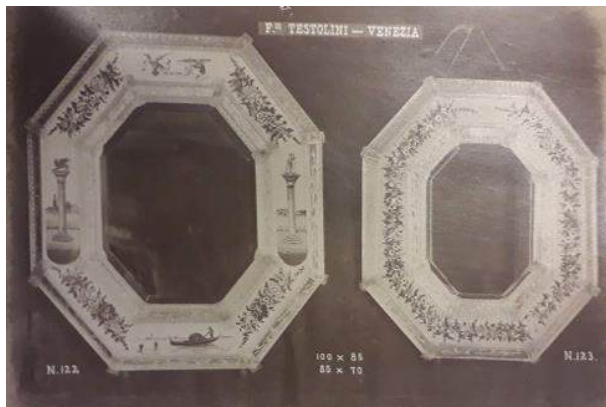
Fot. 31. Zdjęcie z archiwum firmy Fratelli Testolini, Fundacja Giorgio Cini, fot. N. Moszak

pojawiały się kontrowersje związane z autorstwem poszczególnych wyrobów. W ramach swej działalności nawiązano spółkę handlową z nową wówczas firmą na rynku, mianowicie założoną w 1866, firmą Antonio Salviati. Po rozpadzie spółki, kontynuowano współpracę zarówno z firmą *Compagnia Venezia Murano*, jak i z samym Salviatim. *Fratelli Testolini* zlecali im produkcję szkła niemal przez dekadę, korzystając jednocześnie z sieci sprzedażowej. Zwiększenie zapotrzebowania na ich wyroby doprowadziło do zakupu dwóch pieców szklarskich w 1866 roku. Jednym z miejsc

¹⁸⁴ R. Scuro, *Pauly&C. – CVM nella storia della vetraria veneziana d'epoca contemporanea: un caso di studio di storia aziendale*, [w:] *Mafia e storiografia. Premesse culturali e prospettive attuali.*, no. 39,3, 2019, s. 1-17.

ekspozycji oraz sprzedaży wyrobów szklanych był Palazzo Barbarigo, którego fasadę ozdobiono wspaniałą mozaiką.

Kontrowersje jakie pojawiały się wokół autorstwa poszczególnych prac potęguje stan zachowania archiwaliów firmy, a także fakt, iż Testolini przyznawali firmom, które dla nich pracowały, możliwość reprodukcji własnych projektów. Na Wystawie Szklanej w Murano, za produkty wykonane dla firmy, uhonorowano srebrnym medalem Ermenegildo d'Este za szkło emaliowane imitujące koronkę oraz lustro, a także Ovidio Nasona za żyrandole i szkło dmuchane. Na wystawie w Turynie w 1884 roku, król oraz ministrowie zakupili lustro firmy. Ponadto, jej klientami były wybitne osobistości tamtych czasów. Wśród luster oferowano szeroką gamę modeli, od wiernych replik obiektów historycznych, wykonanych z ramami ze szkła bezbarwnego lub nakrapianego złotem, przez bardziej współczesne z kolorowymi ramami ze szkła, aż po najbardziej dziwaczne i pomysłowe. Ramy zwierciadeł były często zdobione rycinami z motywami roślinnymi lub scenami rodzajowymi, a także bardziej żywiołowymi i rozbudowanymi kompozycjami (patrz: fot. 32). Możliwe było wprowadzenie na zamówienie klienta inicjałów, herbu i innych konkretnych motywów. Znane są także lustro z ozdobnymi mikromozaikami. W wieku XX jako pierwsze zostały także wyposażone w oświetlenie elektryczne¹⁸⁵.



Fot. 32. Lustro firmy Fratelli Testolini z malowanymi ramami, Fundacja Giorgio Cini, fot. N. Moszak

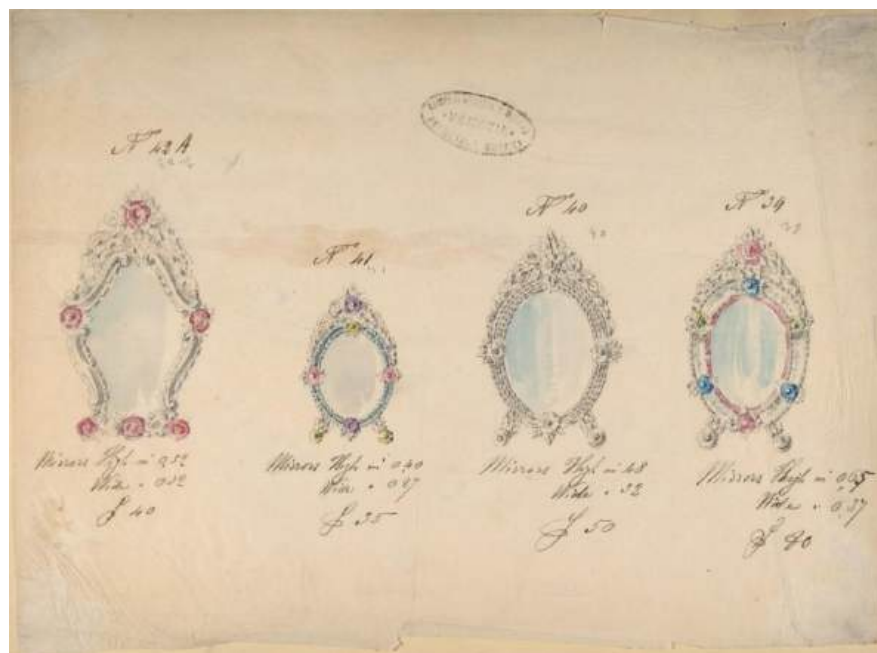
¹⁸⁵ A. Massimo Basana, *La Produzione Vitrea dei Fratelli Testolini*, [w:] OADI. Rivista dell'Osservatorio per le Arti Decorative in Italia, Palermo 2018, s. 119-217.

O firmie *Compagnia di Venezia e Murano* wspomniano już w poprzednim rozdziale, w kontekście odrodzenia się sztuki szklarskiej w Murano. Od końca 1866 roku, marka była jednym z większych producentów szkła na świecie. Specjalizowała się w mozaikach, ale także szkła artystycznym dla ekskluzywnej, międzynarodowej klienteli. Archiwum Giorgio Cini posiada katalogi lusterek produkowanych przez CVM. Są to zwierciadła w ramach ze szkła, w formie liści,



Fot. 33. Archiwalne zdjęcia lusterek Campagna di Venezia e Murano (CVM), Fundacja Giorgio Cini, fot. N. Moszak

kwiatów, wolut, esownic i prętów, korzystające z repertuaru form barokowych i rokokowych (patrz: fot. 33). W zbiorach The Metropolitan Museum of Art w Nowym Jorku, przechowywane się rysunki z projektami lusterek, w których użyto także kolorów, co daje nam pewne wyobrażenie na temat ich kolorystyki. Każdy wzór opatrzony jest numerem oraz wymiarami. O autentyczności projektów świadczy owalna pieczęć firmy (patrz: fot. 34).



Fot. 34. Projekty lusterek Campagna di Venezia e Murano (CVM), 1850-80 r., The Metropolitan Museum of Art, Nowy Jork

Oprócz wymienionych wyżej firm, należy wspomnieć również te, które powstały w pierwszej połowie XX wieku, a które produkując lustra, kopiowały formy XIX-wieczne. Należą do nich: *Barbini & Longega/Domus Vetri d'Arte, S.A.L.I.R. Murano, Barbini Pacifico - Murano*.

Barbini byli rodem szklarzy obecnych w Murano od połowy XVI wieku, wpisanym do jego Złotej Księgi. Zaangażowani politycznie, pracowali w różnych sektorach produkcji szkła, jak żyrandole, paciorki, specjalizując się szczególnie w produkcji luster. To właśnie wśród przekupionych przez ministra Colberta mistrzów, którzy przenieśli techniki ich produkcji do Francji, był Gerolamo Barbini. W wieku XVIII, uważani byli za jednych z najlepszych producentów zwierciadeł. Z informacji zawartych na



Fot. 35. Archiwalne zdjęcia z katalogu luster znajdującego się w siedzibie firmy Barbini Specchi Veneziani

stronie internetowej firmy wynika, że w 1743 roku, około dziesięciu członków rodziny pracowało w sektorze związanym ze szkłem. W wieku XIX, na skutek kryzysu przemysłu szklarskiego, związali się z sektorem wytwarzającym paciorki szklane. W 1927 roku, Nicolò Barbini uczęszczał do szkoły rysunku opata Zanettiego, a następnie założył firmę zajmującą się grawerowaniem na szkłe. Guglielmo Barbini, także rytownik na szkłe oraz założyciel i jednocześnie członek laboratorium *S.A.L.I.R. (Studio Ars et Labor Industrie Riunite)*, od początku parał się tworzeniem wyrafinowanych zwierciadeł (patrz: fot. 35). W 1940 roku, wraz ze swym szwagrem założył firmę *Barbini e Longega*. Nicolò przekazał swą artystyczną wrażliwość oraz zamiłowanie do rzemiosła swym dwóm synom, Vincenzo i Giovaniemu (patrz: fot. 36, 37), którzy przejęli firmę w 1985 roku. Obecnie działa ona pod nazwą *Barbini Specchi Veneziani* i pracują w niej dzieci Vincenzo oraz Giovaniiego¹⁸⁶.

¹⁸⁶ <https://aavbarbini.it/barbini-glass-mirror/?lang=en>, (dostęp: 19.09.2023 r.).



Fot. 36. Giovanni Barbini, 2022 r.,
fot. N. Moszak



Fot. 37. Vincenzo Barbini, 2022 r.,
fot. N. Moszak

Firmą założoną na początku XX wieku, działającą do dziś, jest także *Fratelli Tosi*, stworzona przez Romano Tosi¹⁸⁷.

¹⁸⁷ <https://www.fratellitosi.com/en/index.php>, (dostęp: 19.09.2023 r.).

2. Technika i technologia wytwarzania XIX-wiecznych luster weneckich.

2.1. XIX-wieczne lustra weneckie – charakterystyka.

Jak wspomniano we wstępie niniejszej dysertacji, bezpośrednią inspiracją do jej powstania była konserwacja i restauracja dwóch XIX-wiecznych, weneckich luster, którą autorka przeprowadziła w latach 2020-2023, w Pracowni Konserwacji i Restauracji Szkła Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu. Dalsza część pracy dotyczyć będzie technologii oraz techniki ich wykonania, którą rozpoznano podczas wspomnianych prac, w trakcie wizyt studyjnych w pracowni *Barbini Specchi Veneziani* oraz *Martin Štefánek Sklo Studio*, a także na podstawie prób autorki, przeprowadzonych w uczelnianej hucie szkła. Technologia i technika wykonania wymienionych obiektów ma podstawy historyczne będące wynikiem ewolucji technicznej i technologicznej, jaka dokonała się na przestrzeni wieków. W związku z tym, w drugiej części niniejszej dysertacji, omówione zostały historyczne, a także stosowane do dnia dzisiejszego, sposoby produkcji szkła płaskiego oraz metalizowania jego powierzchni, formowania przestrzennych elementów dekoracyjnych, jak również cechy konstrukcji zwierciadeł w opisywanym typie.

W celu zdefiniowania przedmiotu niniejszych rozważań, określono oraz opisano ich cechy typologiczne, których inicjatorem jest wymieniony wcześniej, Giuseppe Briati.

Jak wiadomo z wcześniejszych rozdziałów, wypracowana przez niego koncepcja formy zwierciadła, opierała się na odejściu od drewnianej ramy lustra i otoczeniu jego głównej tafli mniejszymi formami szklanymi. Drewno miało pełnić jedynie funkcję konstrukcyjną i być niewidoczne dla użytkownika. Tendencja ta zaznaczyła się w XVIII wieku, a wiele spośród luster tego typu eksportowano z Wenecji, pomimo trwającej w tym czasie dominacji Francji. Poszczególne formy szklanej ramy były wycinane z tafli, a ich powierzchnię starannie opracowywano poprzez fazowanie, grawerowanie i polerowanie oraz metalizowane lub barwienie emaliami. Zabezpieczane papierem, mocowano do drewna za pomocą metalowych wkrętów. Briati sprowadził do Wenecji przepis na szkło w typie czeskim (tzw. kryształowe). Prawdopodobnie kontakt z nim, zainspirował go do zastosowania w lustrach technik szlifierskich, w tym grawerki¹⁸⁸. XVIII-wieczna zmiana koncepcji dotycząca ramy lustra, umożliwiła jego ewolucję

¹⁸⁸ P. Zecchin, *Giuseppe Briati, il più famoso vetraio veneziano del Settecento*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 53, 2011, s. 161-175.

stylową. XIX-wieczne zwierciadła weneckie, to obiekty wyposażone w lustrzoną, zwykle fazowaną na obrzeżach, tafel centralną, posadowioną w świetle drewnianego podłoża i pełniącą główną funkcję użytkową. Centralne lustro otoczone jest przez poszczególne elementy dekoracyjne, na które mogą składać się: lustrzone tafle szkła o mniejszych rozmiarach i falistych kształtach, często ozdobione grawerowaniem, następnie formowane hutniczo, zwykle barwione formy szklane w postaci wolut, esownic, kwiatów, liści, prętów i gwoździ ze szklanymi główkami w kształcie kwiatów. Poszczególne elementy tworzą rozbudowane kompozycje, nawiązujące do stylu baroku i rokoka.

Technika i technologia wytwarzania tafli szkła, ich metalizowania oraz sposób formowania poszczególnych elementów szklanych, jak i sposób ich montażu do podłoża, zostaną omówione w kolejnych podrozdziałach.

Lustro o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps o rozmiarach 84,5 x 46 cm, to obiekt złożony z drewnianej ramy, metalowego świecznika zamontowanego u jej podstawy oraz osadzonych na ramie, elementów szklanych w formie srebrzonych tafli szkła płaskiego oraz okalających je elementów dekoracyjnych: esownic, wolut, kwiatów, liści gwoździ i wkrętów zakończonych szklanymi łebkami (patrz: fot. 38). Elementy te koncentrują się w górnej partii obiektu, tworząc główny ciężar kompozycyjny całości. Otaczają jednocześnie poszczególne tafle zwierciadła. Esownice oraz woluty w łącznej liczbie jedenastu, zlokalizowane są na obrzeżach każdej z nich tworząc małżowinową bordiurę. Nadają one całości rokokowy charakter, a zakończone są dodatkowo falbanami z dwustronnym reliefem w postaci kratownicy. W skrajnych punktach ramy znajdują się szklane kwiaty, odpowiednio na osi pionowej, nieco poniżej oraz powyżej połowy jej wysokości. Barwione są różowym grysem, o podwójnym rzędzie płatków wywiniętych do dołu. W środku każdego z nich znajduje się element montażowy w postaci żelaznych wkrętów zakończonych główką



Fot. 38. Lustro o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps, stan przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak

z niebarwionego szkła, w formie drobnych, ośmiopłatkowych kwiatów. Wyjątek stanowi kwiat znajdujący się u podstawy ramy, posiada on jeden rząd płatków i zamontowany jest na mosiężnym elemencie stanowiącym świecznik z potrójną liczbą tulejek na świecę (patrz: fot. 39). Zakończone są one dekoracyjną formą o kształcie wrzecionowatym z okalającym go, plecionkowym ornamentem.



Fot. 39. Mosiężny świecznik, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Pod kwiatami zamontowano liście ze szkła niebarwionego. Nawiązują one do formy liścia występującego w naturze i podobnie jak w przypadku lustra MJG 36s mają formę stożkową, żyłę główną biegnącą wzdłuż osi pionowej oraz żyłkowania rozchodzące się na boki. Dodatkowymi elementami dekoracyjnymi są trzy szklane, sześciopłatkowe kwiaty barwione również grysem różowym, z płatkami o dwustronnym reliefie w postaci kratownicy. Znajdują się one w środkowej części ramy, jeden u szczytu tafli głównej, a dwa pozostałe po jej bokach, w około jednej piątej wysokości. Zamontowane są do drewnianej ramy za pomocą żelaznych gwoździ ze szklaną główką. Kolorystyka całości oraz forma obiektu, podobnie jak repertuar użytych elementów dekoracyjnych, nawiązuje do sztuki rokoka.

Zwierciadło o numerze inwentarzowym MJG 36s to rozbudowane w pionie lustro ściennie, złożone z drewnianej ramy, elementów szklanych w formie podlanych srebrem i grawerowanych tafli szkła płaskiego oraz okalających je elementów dekoracyjnych: esownic, wolut, kwiatów, liści, prętów, gwoździ i wkrętów ze szklanymi główkami w formie kwiatów. Elementy te tworzą dekorację o charakterze *horror vacui* (patrz: fot. 40).



Fot. 40. Zwierciadło o numerze inwentarzowym MJG 36s, stan przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak

Drewniane podłoże lustra ma wymiary 120 x 70 cm i grubość około 2 cm. Generalny zarys całości jego formy wpisuje się w owal z wyróżnioną u góry koroną (wł. *cimasa*), w kształcie czworoboku i wpisującym się w kształt łuku, ostro zakończonym zwieńczeniem. Położona centralnie, owalna, srebrzona i posadowiona w świetle ramy tafli, pełni główną rolę użytkową obiektu. Bezpośrednio otacza ją sześć srebrzonych i grawerowanych tafli szkła płaskiego. U dołu ramy znajdują się dwie tafle w kształcie rybich pęcherzy. Ułożone symetrycznie dwie owalne, grawerowane, znajdują się u góry oraz jedna w koronie. Całość tworzy kompozycję o symetrycznym charakterze. Zarówno tafle główna, jak i bezpośrednio przylegające do niej, tafle boczne otoczone są przez skręcone, owalne szklane pręty, maskujące znajdujące się pod nimi drewno, na które nałożona jest folia cynowa. Pomiędzy taflą centralną, a taflami otaczającymi je, występują pręty w liczbie trzech, natomiast pomiędzy taflami, a dekoracją złożoną z liści występuje jeden pręt. Dodatkowo, na głównej osi tafli, a także odpowiednio w jednej czwartej i w trzech czwartych jej wysokości, znajdują się dekoracje ze szkła transparentnego, w formie kwiatów z podwójnym rzędem płatków oraz wychodzącym spod nich, jednym liściu. Kwiaty przypominają swym wyglądem okazy z rodziny astrowatych. Każdy płatek posiada dodatkowo relief w postaci kratownicy. Centralną kompozycję lustra zamykają trzy rzędy szklanych liści w kolorze niebieskim, ułożone jedno na drugim i powtarzające owalny kształt tafli centralnej. Nawiązują do formy liścia występującego w naturze. Mają formę stożkową, żyłę główną biegnącą wzdłuż osi

pionowej oraz żyłkowania rozchodzące się na boki. Dolne tafle szkła, w kształcie rybiej pęcherzy otoczone są przez dwie, położone symetrycznie szklane esownice ze szkła barwionego niebieskim grysem. Bezpośrednio nad nimi, po obu stronach ramy, znajdują się ułożone symetrycznie, kompozycje złożone z kwiatu o podwójnym rzędzie płatków ze szkła barwionego grysem niebieskim oraz transparentnymi liśćmi w przypuszczalnej liczbie siedmiu. Analogiczna kompozycja występuje po obu stronach górnych, owalnych tafli. Tafle te zamknięte są u góry szklaną wolutą ze szkła barwionego grysem niebieskim. Wyróżniająca się z całości korona, złożona jest z pięciobocznej, srebrzonej i grawerowanej tafli szkła płaskiego o krawędziach w kształcie łuku. Otaczają ją ułożone symetrycznie, niebieskie woluty i esownice oraz położone pomiędzy nimi, w dwóch trzecich wysokości, małe pięciopłatkowe kwiatki ze szkła transparentnego. Zwieńczenie całości stanowi ułożony centralnie, niebieski kwiat o podwójnej liczbie rzędów płatków oraz dwa rzędy liści ze szkła transparentnego, w liczbie czternastu. W środkach każdego z kwiatów znajduje się mała główka wkrętu w formie ośmiopłatkowego kwiatka ze szkła transparentnego, o delikatnie zarysowanych płatkach (patrz: fot. 41).



Fot. 41. Wkręt żelazny zakończony szklaną główką, fot. N. Moszak

Wyróżniającymi się kolorystycznie elementami są niebieskie liście, kwiaty oraz woluty, które rozłożone symetrycznie równoważą kompozycyjnie całość. Woluty i esownice zakończone są dodatkowo falbanami z dwustronnym reliefem w postaci kratownicy.

W nomenklaturze firm produkujących współcześnie zwierciadła na wzór XIX-wiecznych, funkcjonują nazwy odnoszące się do poszczególnych elementów składowych szklanych ram. Poniżej znajduje się ich lista¹⁸⁹:

COPI – elementy używane do ukrycia połączeń pomiędzy prętami

CANA – pręt szklany (barwiony lub nie):

- a) RIGADA: pręty o szerokim skręcie
- b) RIGADIN: pręty o wąskim skręcie

¹⁸⁹ Tłumaczenie ze strony internetowej firmy Ongaro e Fuga: Glossary | Ongaro & Fuga (ongaroefuga.com) (dostęp: 13.10.2023 r.).

c) ISSA: pręt bez skrętu

FIORI – kwiat (barwione, niebarwione szkło):

a) DOPPI: róża z pączkiem

b) TORSEO: niebarwione w masie z kolorowymi pasmami (zawsze podwójnymi)

c) TAIENTAI: róża z płatkami oraz pączkiem

FOGLIE – liście:

a) A PUNTA: liście o zastrzonej (wyciągniętej) końcówce

b) TONDE: liście o zaokrąglonej końcówce

c) TAIENTAE: z zastrzoną, ciętą końcówką

d) ISSE: bez żadnych śladów

e) SQUAREAE: z pojedynczym śladem pośrodku

f) A SPIN DE PESSE: przypominające ość ryby

ROSETTE – rozety o średnicy 4, 5, 6 cm

a) ISSE: bez żadnych śladów

b) GEOSIA FINA: z lekkim zabarwieniem, z barwnymi punktami (prawdopodobnie barwiona grysem szklanym o drobnej gradacji ziaren i lekkim zabarwieniu, przyp. autorki)

c) GEOSIA GROSSA: z mocnym zabarwieniem, z barwnymi punktami (prawdopodobnie barwiona grysem szklanym o grubej gradacji ziaren i mocnym zabarwieniu, przyp. autorki)

d) IN PASTA: barwione w masie

RISSI – elementy konieczne do uformowania zewnętrznej ramy lustra (woluty, esownice)

a) RISSI: ze wzorem na środku

b) ISSI: bez wzoru

c) SENSE MORISE: bez zewnętrznego „szczypania”

d) CO ORO: ze szkła zdobionego za pomocą płatką złota

BROCHE: małe gwoździe ze szklaną główką dla utrzymania poszczególnych elementów w miejscu

a) A FRAGOEA: z „nakrapianą” główką (prawdopodobnie barwienie grysem, przyp. autorki)

b) RIGAE: z „paskową” główką (prawdopodobnie główka w formie uproszczonego kwiatu z wyodrębnionymi płatkami, przyp. autorki)

COEOR – kolory

- a) IN FOGO: ze szkła barwionego w masie
- b) COE MACE: z użyciem szkła niebarwionego, barwione na puszczeli, w trakcie formowania, poprzez nabieranie gysu lub proszków na masę czystego szkła

BIZEO: szlifowanie na krawędziach szkła płaskiego

FIO GREZO: niepolerowana krawędź szkła płaskiego

FIO LUCIDO: polerowana krawędź szkła płaskiego

RODEA: tarcze wykonane z różnych materiałów używane do grawerowania na szkle płaskim

ARGENTA: srebrzenie

- a) IN BIANCO: zwykłe srebrzenie szkła
- b) A VECIO: imitacja naturalnej degradacji srebra na szkle, postarzanie
- c) A PIOMBO: ciemno fioletowe zabarwienia srebra

2.2. Ewolucja w zakresie technologii i technik wykonywania luster weneckich.

Jakość obrazu odbitego od zwierciadlanej powierzchni, zależy głównie od użytej do jego produkcji tafli szkła oraz jakości położonej na niej warstwy metalicznej. W 1492 roku, szklarz z Lotaryngii pokazał weneccjanom sposób produkcji tafli z cylindrów, co w połączeniu z weneckim przepisem na czyste szkło, pozwoliło ostatecznie uzyskać tafle o niespotykanej dotąd czystości. Najwcześniejszy dokument wspominający lustro weneckie jest datowany na 1506 rok. Weneccjanie szlifowali i polerowali szkło tą samą metodą, jaką wcześniej używano do metali. Stosowano do tego zabiegu mieszaninę piasku i wody, a następnie powierzchnię polerowano za pomocą pumeksu lub szmerglu. Do roku 1564, weneccjanie opracowali także metodę metalizowania tafli za pomocą amalgamatu rtęci i cyny¹⁹⁰. Dało to początek monopolu w produkcji, która była ściśle strzeżoną tajemnicą. Ceny luster weneckich niejednokrotnie przewyższały ceny obrazów, a szklarze mieli zakaz opuszczania miasta.

W pozostałych częściach Europy próbowano nadążyć za produkcją i jakością, niestety wszelkie próby nie przynosiły pożądaných rezultatów. Dominująca w tym dążeniu była Francja. W rozdziale dotyczącym historii luster opisano wysiłki monarchii francuskiej w pozyskaniu szklarzy weneckich mogących zdradzić im sekrety związane z technologią i technikami produkcji. Francuzi mieli także swoją tajemnicę, a dotyczyła ona możliwości uzyskiwania przez nich większych tafli szkła. Technika polegała na możliwie równomiernym rozprowadzaniu stopionej masy surowców szklarskich na idealnie gładkich metalowych stołach. Metoda ta, określana jest zwykle metodą *de Nèhou* od nazwiska jej wynalazcy (Louis Lucas de Nèhou). Jak wykazały badania bibliograficzne, ojców wspomnianego sukcesu związanego z tym sposobem produkcji tafli jest jednak wielu. Wymienia się między innymi Bernarda Perrota¹⁹¹. Georges Bontemps, wybitny znawca technologii produkcji szkła oraz przemysłu szklarskiego, żyjący w XIX wieku we Francji, bezpośrednio odpowiedzialnego za udoskonalenie i wykorzystanie tej metody na skalę przemysłową uznawał Abrahama Thévarta, dyskutując jednocześnie z powszechnie uznawanym wkładem w tę dziedzinę Luisa Lucasa de Nèhou. Pierwsze wzmianki odnoszące się do opisywanej metody pojawiają się

¹⁹⁰ S. J. Schechner, op. cit., s. 154.

¹⁹¹ W.C. Scoville, *Large Scale Production in the French Plate-Glass Industry, 1665-1789*, [w:] *Journal of Political Economy*, Vol. 50., No. 5, Oct. 1942, s. 690.

zdaniem autora w liście króla Francji z 1688 roku¹⁹². Paolo Zecchin w swym artykule dotyczącym szkła odlewane, również wspomina Bernarda Perrota, który jako pierwszy, 2 kwietnia 1687 roku przedstawił wynalazek Akademii Nauk i na który uzyskał przywilej 25 września następnego roku. Trzy miesiące później, Abraham Thévert, przedstawiciel firmy produkującej duże lustra o rozmiarach 60 na 40 cali (około 152 x 101 cm), uzyskał przywilej ich wytwarzania według nowego procesu, a następnie wynalazek ogłosił de Nehou, któremu po 1688 roku udało się osiągnąć rozmiary 80 x 45 cali (około 203 x 114 cm)¹⁹³. Z pewnością przeprowadzano próby w wielu manufakturach równocześnie, idee krążyły w świecie wytwórców szkła, tak że jednoznaczne wskazanie dziś autora patentu jest bardzo trudne.

Metoda ta stanowiła udoskonalenie antycznego sposobu wylewania stopionej masy zestawu na płytę¹⁹⁴. Dała początek produkcji szkła walcowanego, gdzie do rozprowadzania masy używano już nie prymitywnego bloczka, a walca właśnie. Od tego momentu będzie on podstawowym narzędziem w produkcji. Równocześnie, zaczęto wykorzystywać ruchomy, stalowy stół walcowniczy. Otrzymywano tafle o wymiarach 4 x 6 m. Odtąd wielkość lusterek nie ulegała już znacznym ograniczeniom, a epoka baroku i rokoka chętnie wykorzystywała je w aranżacji wnętrz.

Zmiany technologiczne w produkcji lusterek w XIX wieku, dotyczą głównie wspomnianego we wstępie do niniejszej części pracy, sposobu metalizowania powierzchni szkła. By lepiej zrozumieć istotę tej zmiany, oprócz metody srebrzenia stosowanej od drugiej połowy XIX wieku przez firmy produkujące lustra, omówiony zostanie także historyczny proces odkładania na szkło płaskim warstwy amalgamatu cynowo-rtęciowego. Opis tego procesu ma pomóc w przyszłości lepiej identyfikować zastosowaną technikę metalizowania i odróżnić amalgamat od srebrzenia.

W 1835 roku, niemiecki chemik Justus von Liebig jako pierwszy odkrył możliwość przeprowadzenia reakcji redukcji roztworu azotanu srebra do metalicznego srebra z wykorzystaniem aldehydów. Początkowo reakcja ta była prostym testem na ich obecność w materiałach organicznych. W 1843 roku, angielski chemik Thomas Dryton, opatentował proces odkładania warstwy metalicznego srebra na szkło. Srebro wytrącano poprzez dodatek alkoholowego roztworu olejku kasjowego do amoniaku i azotanu srebra.

¹⁹² G. Bontemps, tłum. M. Cable, *Bontemps on Glass Making. The Guide du Verrier of Georges Bontemps.*, 1868, The Society of Glass Technology, Sheffield 2008, s. 329.

¹⁹³ P. Zecchin, *Il vetro colato*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 58, 2016, s. 197-209.

¹⁹⁴ J. Skirgajłło, *Szkło walcowane*, [w:] *Technologia szkła.*, red. J. Rawdanowicz, Warszawa 1987, s.82.

Pomimo iż metoda ta od razu zwróciła uwagę jako możliwa do wykorzystania w srebrzeniu tafli dla luster, na jej komercyjne wykorzystanie trzeba było jeszcze poczekać. Prawdopodobnie przyjaźń z monachijskim fizykiem i astronomem, Carlem von Steinheilem, podejmującym próby poprawy odbicia w teleskopach, była bezpośrednią inspiracją dla Liebiga do wykorzystania wyżej opisanej reakcji przy produkcji zwierciadeł. Używane do tej pory odbijające powierzchnie metalowe w przemyśle astronomicznym, nie były wystarczające, podobnie jak metoda odkładania warstwy srebra na szkło Thomasa Drytona. W 1856 roku, Liebig odkrył, iż poprzez niewielki dodatek miedzi do mieszaniny amoniakalnego azotanu srebra i cukru, możliwe jest odłożenie warstwy srebra pozbawionej jakiegokolwiek skazy.

Było to istotnym przełomem, który pozwolił na stosowanie bezpieczniejszego dla zdrowia pracowników procesu lustrzenia szkła, w porównaniu do stosowanego wcześniej odkładania na jego powierzchni amalgamatu rtęci i cyny. Rektor szkoły handlowej w Fürth, Johann Beeg był orędownikiem użycia nowych metod produkcji luster. Promował ją wykorzystując swą wysoką pozycję w społeczności i przekonał Liebiga do dalszych działań na rzecz zmiany niezwykle trującej metody produkcji. Do połowy 1858 roku, dopracowywano metody, które pozwoliłyby na przemysłowe wykorzystanie patentu. Brano pod uwagę takie czynniki jak koncentracja srebra w roztworze czy kontrola temperatury. Jednocześnie opracowywano aspekty techniczne i technologiczne. Po kilku udanych próbach podjęto także działania mające na celu wypromowanie nowej metody na skalę międzynarodową. Otwarta przez Liebiga fabryka nie wytrzymała jednak konkurencji ze strony tradycyjnego wykorzystania amalgamatu. Mimo to, już po jego śmierci w 1873 roku, ustawodawstwo związane ze względami bezpieczeństwa, zmusiło przemysł do odtworzenia patentu, tak że stał się on dominującym¹⁹⁵.

Dla badaczy, wykorzystanie metody srebrzenia tafli, jest istotnym czynnikiem pozwalającym na datowanie obiektów.

Srebrzona powłoka zabezpieczana jest przed korodowaniem za pomocą farby lub werniksu. Omówione wyżej przekształcenia produkcji luster, w istotny sposób przyczyniły się do ich rozpowszechnienia i sprawiły, że stały się one ogólnodostępne.

¹⁹⁵ W. H. Brock, op.cit., s. 136-139.

2.3. Cechy konstrukcji XIX-wiecznych luster weneckich.

Jak już wspomniano, głównym elementem konstrukcyjnym zwierciadeł jest drewniane podłoże. W trakcie przekształceń formy lustra weneckiego, drewno straciło jakiegokolwiek cechy dekoracyjne. Na podstawie obserwacji mikro- i makroskopowych, w poszczególnych obiektach poddanych konserwacji i restauracji, zidentyfikowano zarówno drewno iglaste, sosnę zwyczajną (*Pinus sylvestris* L.), świerk (*Picea abies*), jak i liściaste, półpięściowo–naczyniowe: orzech (*Juglans regia* L.)¹⁹⁶.

Podłoże opracowywano zarówno ręcznie jak i mechanicznie, według wcześniej przygotowanego projektu. Drewno używane do produkcji luster było wcześniej poddane odżywianiu. Zarówno w przypadku obiektu o numerze inwentarzowym MJG 36s jak i MJG 1245Ps, nie było ono wycinane z jednego kawałka drewna, ale z trzech, gdzie do deski głównej doklejono stykowo dwie deski boczne, docięte do odpowiedniego kształtu (patrz: fot. 42). Docinano je, nadając im wstępny kształt najprawdopodobniej przy użyciu piły. Następnie drewno opracowywano strugiem oraz dłutami i wyrównano za pomocą papierów ściernych. Oprócz klejenia drewna, stosowano również dodatkowe spinające elementy montażowe w postaci odpowiednio dogiętych do linii podłoża, żelaznych gwoździ. Kolejnym elementem konstrukcyjnym w obu przypadkach były poprzeczne listwy, spinające ramę od strony odwrocia (patrz: fot. 43).

¹⁹⁶ Obserwacje makro- i mikroskopowe (mikroskop biologiczny OLYMPUS BX-43), autor badań: mgr Barbara Gmińska – Nowak (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu), patrz aneks II.



Fot. 42. Odwrocie lustra, widoczne łączenie deski głównej oraz odpowiednio wyprofilowanej, deski bocznej, fot. N. Moszak



Fot. 43. Drewniana rama lustra, odwrocie, widoczna deska zabezpieczająca tafelę główną oraz poprzeczne listwy spajające, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 44. Drewniane podłoże lustra MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Tafla główna zwierciadeł mieściła się w świetle ramy, w odpowiednio wyciętym do jej rozmiarów otworze i zabezpieczona była od strony odwrocia deską zamontowaną za pomocą żelaznych gwoździ. Zabezpieczenie tafli głównej w przypadku obu luster, składało się z dwóch kawałków drewna o równej szerokości, sklejonych ze sobą stykowo i powtarzających jej kształt. Opracowano je przy pomocy narzędzi skrawających, a powierzchnię delikatnie wygładzono (patrz: fot. 45).



Fot. 45. Odwrocie zwierciadła MJG 1245Ps po demontażu deski zabezpieczającej tafkę główną, fot. N. Moszak

Od strony lica wydrążono, prawdopodobnie przy pomocy dłuta płaskiego, wgłębienia na około 2-3 mm, mające pomieścić tafle boczne oraz górną. Ich powierzchnia nosiła ślady obróbki przy pomocy narzędzia, nie została ona w żaden sposób wygładzona (patrz: fot. 46, 47).

W obiekcie o numerze inwentarzowym MJG 36s, do ramy od strony lica, na obrzeżach partii centralnej, dokleiono półwałek tworzący owal, wykonany z drewna sosny. Składał się on z czterech kawałków drewna. Jego powierzchnia nie została wygładzona.



Fot. 46. Lico podłoża zwierciadła MJG 36s, widoczny sposób obróbki drewna, fot. N. Moszak



Fot. 47. Podłoże lustra MJG 36s, widoczny sposób opracowania drewna oraz wydrążone otwory na tafle szkła, fot. N. Moszak

Odwrocie podłoża oraz boki ramy pomalowano czarną farbą zabezpieczającą, bezpośrednio na drewnie.

W dalszej kolejności na górną powierzchnię ramy, na której miały znaleźć się szklane elementy dekoracyjne, nałożono dociętą do kształtu, folię cynową o grubości 0,1mm. Jej zadaniem było odbicie światła przechodzącego przez szklane elementy i nadanie odpowiedniego efektu plastycznego poprzez korespondencję ze srebrnym kolorem tafli. Nie udało się zidentyfikować spoiwa folii. Przy tak małej grubości, folia cynowa jest bardzo plastyczna i może przylegać do podłoża drewnianego także bez niego. Kwestia ta nie została rozstrzygnięta. Wymaga dalszych badań i materiału porównawczego. Brak jest danych źródłowych na ten temat w literaturze historycznej i współczesnej. Wiele z informacji szczegółowych podlegało tajemnicy.

W przypadku zwierciadła o numerze inwentarzowym MJG 36s, szklane pręty zamontowano za pomocą cienkich, skręconych drucików o średnicy 1-1,5 mm, które osadzono w drewnie owijając i skręcając je wokół główki wbitego w nią gwoźdźca (patrz: fot. 48).



Liście zamontowano za pomocą dwóch żelaznych gwoździ o długości 2 cm i średnicy główki ok 0,3 cm (patrz: fot. 49). Żelazne, gwintowane wkręty oraz gwoździe ze szklanymi główkami, miały różne długości wahające się od 3 do 4 cm i średnicę od około 0,3 do 0,4 cm. Służyły one do montażu szklanych kwiatów, wolut i esownic. Tafle szkła płaskiego przytrzymywane były w odpowiednim dla nich miejscu, za pomocą elementów dekoracyjnych.

Fot. 48. Montaż szklanych prętów za pomocą skręconych wokół siebie drucików, zamontowanych do podłoża za pomocą gwoźdźca, fot. N. Moszak



Fot. 49. Lustro MJG 36s w trakcie demontażu szklanych elementów dekoracyjnych, zamontowanych za pomocą żelaznych gwoździ, fot. N. Moszak

Tafla główna dodatkowo była podparta przez żelazne gwoździe, nabite na fragmenty odpowiednio przyciętego korka (patrz: fot. 50).



Fot. 50. Odwrocie zwierciadła MJG 1245Ps, montaż głównej tafli za pomocą żelaznych gwoździ i odpowiednio dociętych, kawałków korka, fot. N. Moszak

W przypadku lustra o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps, mosiężny świecznik zamontowano w otworze drewnianej ramy za pomocą nitów, a na nagwintowaną końcówkę tulejki, od odwrocia, zakręcono nakrętkę.

Dodatkowo ramy wyposażone były w żelazne wkręty haczykowe zamontowane na odwrociu, które umożliwiały ich powieszenie na ścianie i odpowiednio je od niej dystansowały (patrz: fot. 51).



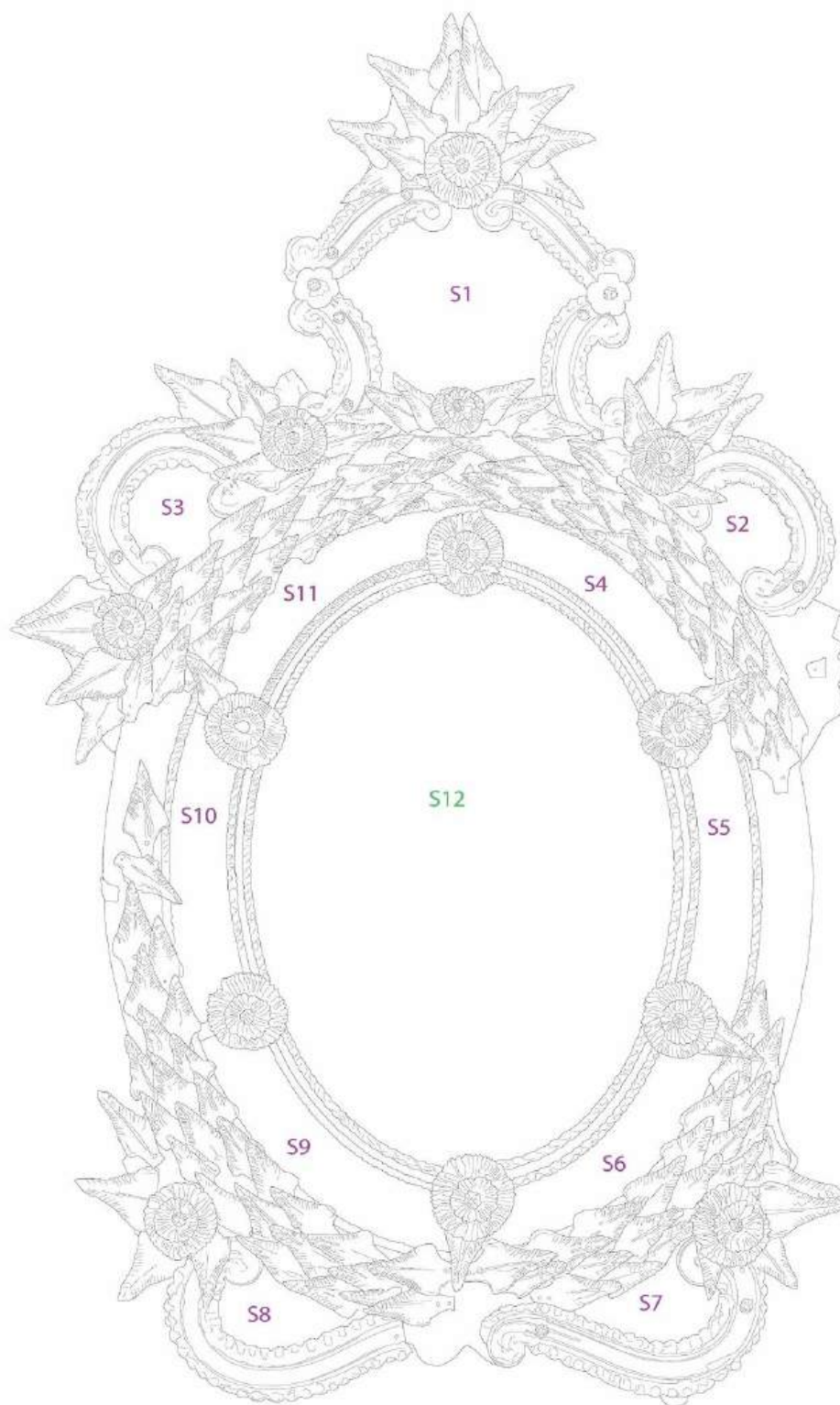
Fot. 51. Widoczne żelazne gwoździe służące do montażu poprzecznej deski spinającej odwrocie oraz żelazna zawieszka, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

2.4. Technologia i technika wytwarzania tafli szkła.

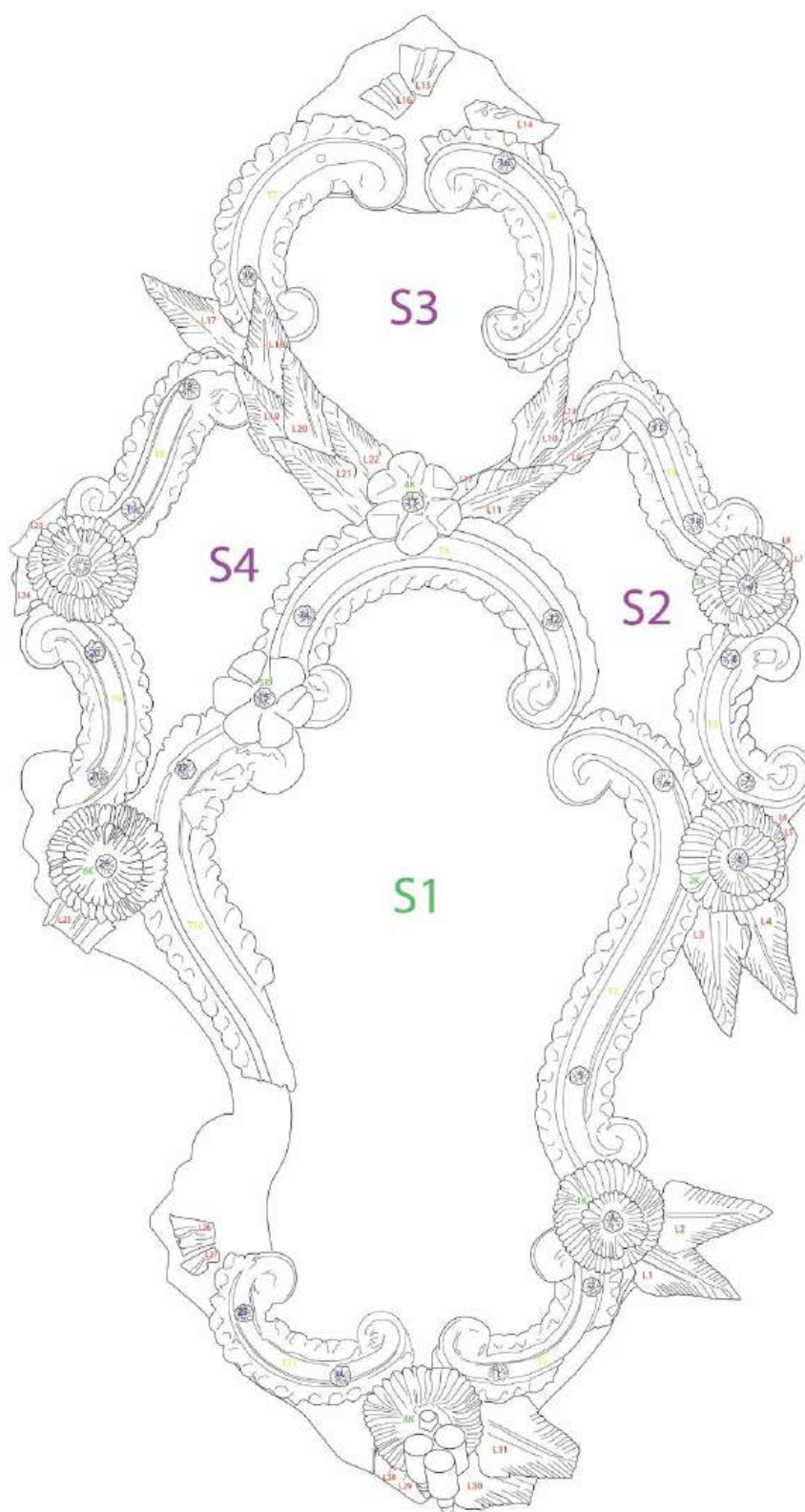
W czasie powstania omawianych luster, stosowano dwa sposoby formowania tafli: jeden z nich wykorzystywał metodę dmuchania i rozcinania szklanych cylindrów, a drugi walcowania gorącej masy szkła. W przypadku luster poddanych konserwacji i restauracji, w obrębie jednego obiektu, zastosowano prawdopodobnie obie metody. Zarówno w przypadku zwierciadła o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps oraz MJG 36s, z uwagi na grubość szkła tafli głównej (ok 3 mm na krawędziach do 5-6 mm w partii centralnej) oraz opracowanie jej powierzchni, przypuszcza się, że została ona wykonana metodą odlewania i walcowania szkła (MJG 36s: S12, MJG 1245Ps: S1, patrz: rys. 4, 5). Dużo cieńsze tafle boczne w obu zwierciadłach: (MJG 36s: S1-S11, MJG 1245Ps: S2-S4, patrz: rys. 4, 5), były prawdopodobnie wykonane metodą dmuchania szkła z cylindrów. Świadczyć o tym może obecna w masie, pewna ilość rozciągniętych pęcherzy gazowych, drobne różnice w grubości tafli wahające się od 2-3 mm, a także dużo mniej doskonałe opracowanie powierzchni niż w przypadku tafli głównej. Ponadto, dodatkowym wyznacznikiem świadczącym o możliwym użyciu szkła z dwóch różnych źródeł jest różnica w jego zabarwieniu (chłodniejszy odcień w przypadku tafli centralnej i cieplejszy w przypadku tafli bocznych). Twierdzenie to potwierdzają również wykazujące różnice, wstępne badania składu chemicznego szkła dla tafli głównej oraz bocznych zwierciadła MJG 36s, przeprowadzone z użyciem spektrometru fluorescencyjnej analizy rentgenowskiej (pXRF). Metodę tę wybrano jako jedynie możliwą i dostępną, ze względu na brak możliwości pobrania próbki tafli centralnej¹⁹⁷.

Lustro środkowe pełni główną rolę użytkową, w związku z czym wybrano dla niego tafle o nieskazitelnej powierzchni i odpowiedniej grubości, pozwalającej na utrzymanie szkła w otworze ramy oraz dodanie elementu dekoracyjnego w postaci fazowania. Boczne tafle zdobione grawerką pełnią w szczególności rolę dekoracyjną, a zdobina dodatkowo pozwala na ukrycie ewentualnych wad produkcyjnych.

¹⁹⁷ opis poszczególnych metod badawczych patrz rozdział: 3.4. *Cel i metody badawcze srebrzonych luster.*



Rysunek 4. Schematyczny rysunek zwierciadła MJG 36s, oznaczenie poszczególnych tafli szkła (S12 – tafła wykonana metodą walcowania gorącej masy szkła, S1-S11 – tafle wykonane metodą dmuchania z cylindrów)

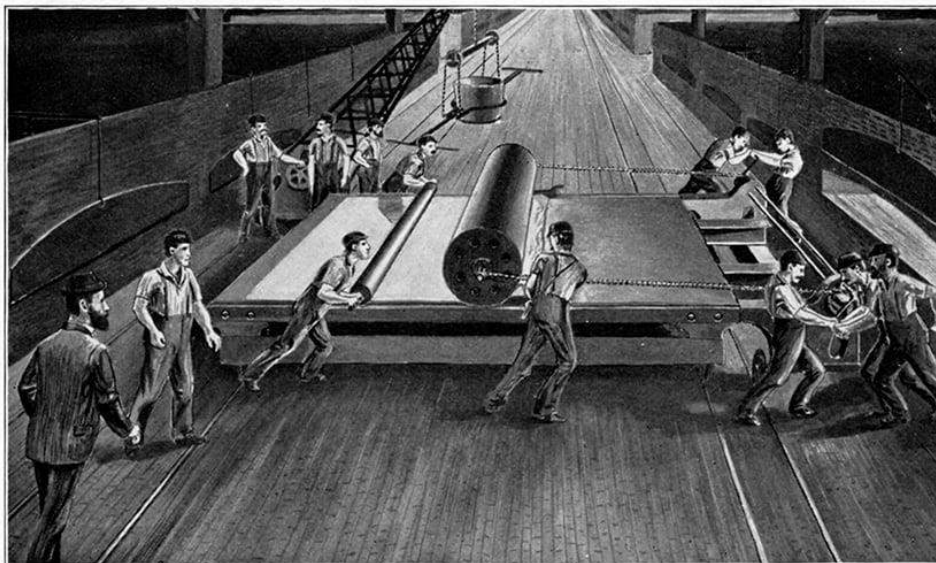


Rysunek 5. Schematyczny rysunek inwentaryzacyjny, lustro MJG 1245Ps, oznaczenie poszczególnych tafli szkła (S1 – tafla wykonana metodą walcowania gorącej masy szkła, S2-S4 – tafle wykonane metodą dmuchania z cylindrów)

Metoda odlewania była wykorzystywana głównie przy produkcji szkła okiennego oraz luster, w których jakość powierzchni musiała być najlepsza z możliwych. Uzyskiwano szkło o czystej, perfekcyjnie przejrzystej i pozbawionej smug powierzchni, niezakłócające formy odbijanego obrazu. Produkcja tym sposobem wiązała się z wyciąganiem donicy z roztopioną masą szkła z pieca szklarskiego i przeniesienia go nad powierzchnię stołu, na który je wylewano, a następnie walcowano, by uzyskać powierzchnię o równej grubości. Od tego momentu walec był podstawowym narzędziem w produkcji (patrz: rys. 6). Stalowy stół walcowniczy pokrywano prażonym piaskiem, co zmniejszało szybkość nagrzewania i ułatwiało spychanie płyt do odprężarki. Początkowo przekładano za pomocą chochli porcje szkła z głównej wanny szklarskiej do mniejszych donic, tak by umożliwić wylanie szkła na stół. Z czasem jednak, wynaleziono mechanizm pozwalający na przenoszenie całej wanny, co z kolei pozwalało na unikanie wprowadzania zanieczyszczeń oraz napowietrzania masy szkła¹⁹⁸. Istotnym elementem produkcji była organizacja pracy w hucie, w której każdy z pracowników miał przypisane swoje zadanie. Kiedy szkło w piecu uzyskiwało odpowiednią temperaturę, a co za tym idzie także konsystencję, pracownicy wyposażeni w odpowiednie narzędzia zajmowali przypisaną im pozycję. Całość procesu nadzorowana była przez mistrza. Według opisu Bothemps'a, przednia ściana pieca była usuwana, wannę obejmowano za pomocą szczypic i podsuwano pod nią ogromny płaski szpadel. W dalszej kolejności w piecu, po obu stronach wanny, umieszczano dwa haki, w ten sposób, że można było ją unieść za ich pomocą i doczepić do wózka, na którym podwożono ją do stołu odlewniczego. W tym samym czasie wyznaczeni pracownicy zamykali piec, tak aby nie dopuścić do jego zbyt dużego wychłodzenia. W dalszej kolejności wannę obejmowano za pomocą ramy, jednocześnie usuwając szumowiny z powierzchni szkła. Po zakończeniu tego procesu, wanna była unoszona nad stół za pomocą dźwigu na odpowiednią wysokość. W dalszej kolejności, wyznaczeni pracownicy używając ramy wprawiali ją w ruch wahadłowy, równoległe do osi walca i przechylali ją tak, że zawartość wanny pokrywała równomiernie cały stół. Po jej usunięciu walec osadzony na podporze, poruszając się od czoła stołu do jego końca, równomiernie rozciągał całą masę szkła. W tym samym czasie, wyposażeni w narzędzia pracownicy kontrolowali jego powierzchnię i usuwali z niej wszelkie wtrącenia. W dalszym etapie usuwano pręty ograniczające, znajdujące się na

¹⁹⁸ G. Bontemps, op. cit., s. 339.

obrzeżach stołu. Bezpośrednio za stołem znajdował się piec do odprężania, do którego zsuwano uformowaną tafłę.



Rysunek 6. Grafika przedstawiająca produkcję szkła płaskiego metodą z użyciem walca

Abraham Thévert deklарował w liście do króla, że jest w stanie za pomocą swych maszyn wyprodukować tafle o długości około 153 do 203 cm i szerokości od 76 do 100 cm¹⁹⁹. Po procesie odprężania tafle cięto na mniejsze kawałki. W celu uzyskania doskonale lśniącej i odbijającej światło powierzchni, poddawano je procesowi szlifowania i polerowania. Szlifowanie odbywało się w dwóch etapach: szlifowanie zgrubne polegające na zdzieraniu powierzchni za pomocą materiału gruboziarnistego (gruboziarniste piaski lub zmielony piaskowiec) i właściwe szlifowanie przy użyciu materiału drobnoziarnistego (piasku, a w dalszych etapach szmerglu). Materiał ścierny zwilżany był wodą. Do początku XIX wieku, czynności te wykonywano ręcznie, a następnie częściowo umaszynowano proces. Początkowo tafle szkła montowano na kamieniach za pomocą gipsu, a materiał ścierny znajdował się pomiędzy nimi. W wieku XIX, tafle umieszczano na stole kamiennym, a nad nimi kolejne, zamontowane były na dwóch żelaznych pasach, które wprawiano w ruch mechanicznie za pomocą dźwigni, w ten sposób, że materiał ścierający bądź polerujący przesuwiał się między dwoma taflami szkła. Powierzchnia każdej z nich była następnie oceniana i w razie konieczności poddawana szlifowaniu ręcznemu. Dotyczyło to zwłaszcza krawędzi. Dalsze ucieranie odbywało się za pomocą materiału ściernego zwilżonego wodą i kawałka szkła. Końcowy

¹⁹⁹ G. Bontemps, op. cit., s. 346-347.

etap produkcji obejmował polerowanie. Było ono pierwszym procesem poddanym mechanizacji. Wykonywano je za pomocą filcu i tlenku żelaza²⁰⁰.

Produkcowanie tafli metodą dmuchania szkła do postaci cylindrów, zostało opisane przez mnicha Teofila, w *Diversarum Artium Schedula* (*Średniowieczny zbiór przepisów o sztukach rozmaitych*), w księdze drugiej: *Quomodo operentur vitreae tabulae* (*O sposobie wyrabiania tafli szklanych*) oraz *De dilatandis vitreis tabulis* (*O rozwijaniu tafli szklanych*), datowanych na początek XII wieku²⁰¹. Zastosowanie tej techniki wiązało się jednak z koniecznością przewyciężenia wielu trudności natury technicznej. Szkło płaskie produkowane tą metodą stosowano szeroko do przeszkleń okiennych na północy Europy. Ze względu jednak na jego niedoskonałą, nierówną taflę, która nawet po szlifowaniu i polerowaniu nie dawała odpowiedniej powierzchni odbijającej, nie znajdowała zastosowania do produkcji zwierciadeł. Wiązało się to z rodzajem stosowanych w tym rejonie do produkcji szkła surowców, pochodzących zwykle z zanieczyszczonych źródeł. W połowie XV wieku, szklarze z Murano opracowali taki zestaw składników, który dawał szkło czyste i pozbawione zanieczyszczeń, opisywane wcześniej *cristallo*.

Produkcja tafli z cylindrów, opisana została również przez Georgesa Bontempsa w XIX wieku²⁰². Proces produkcji rozpoczynał się od umieszczenia puszczeli szklarskiej w piecu i nabrania na nią pierwszej porcji szkła oraz jej wyrównania poprzez rolowanie po metalowym stole. W dalszej kolejności, hutnik ponownie wkładał puszczel do pieca i nabierał drugą porcję szkła, tak że na puszczeli znajdowało się go w ilości około 600-700 g. Ciągłe obracając i podpierając puszczel w poprzek rynienki, używając żelaznej palety, modelował szkło na puszczeli, nadając mu regularny kształt. Delikatnie w nią dmuchając, powiększał rozmiary bańki, tak by podczas nabierania trzeciej porcji szkła, nie stała się ona zbyt lepka i na niej nie obwisła. Po właściwym jej wymodelowaniu i delikatnym przechłodzeniu, hutnik nabierał kolejną, trzecią już porcję szkła. W początkowym etapie pracy, kiedy było ono dość płynne, potrzebna była jeszcze jedna taka operacja, tak że po czterech zanurzeniach puszczeli w roztopionej masie szklarskiej, wewnątrz pieca, był on w stanie zgromadzić na puszczeli około 5 kg. Z takiej porcji, miał możliwość rozdmuchania cylindra dla tafli o rozmiarach 111 x 69 cm. Bańka szkła, po nabieraniu kolejnych jego porcji i rozdmuchiowaniu, przyjmowała postać wydłużonej

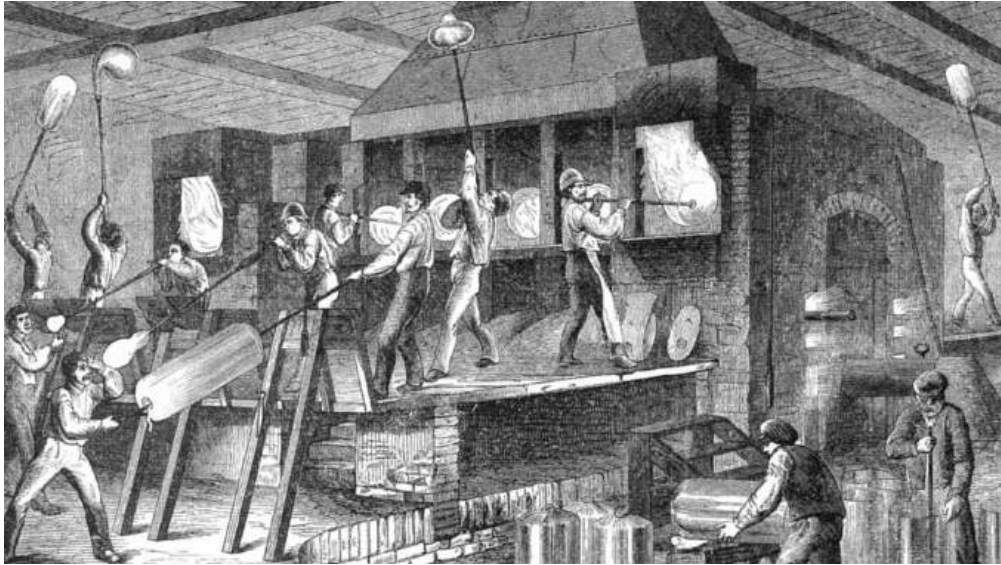
²⁰⁰ G. Bontemps, op. cit., s. 349-351.

²⁰¹ T. Prezbiter, op. cit., s. 35-38.

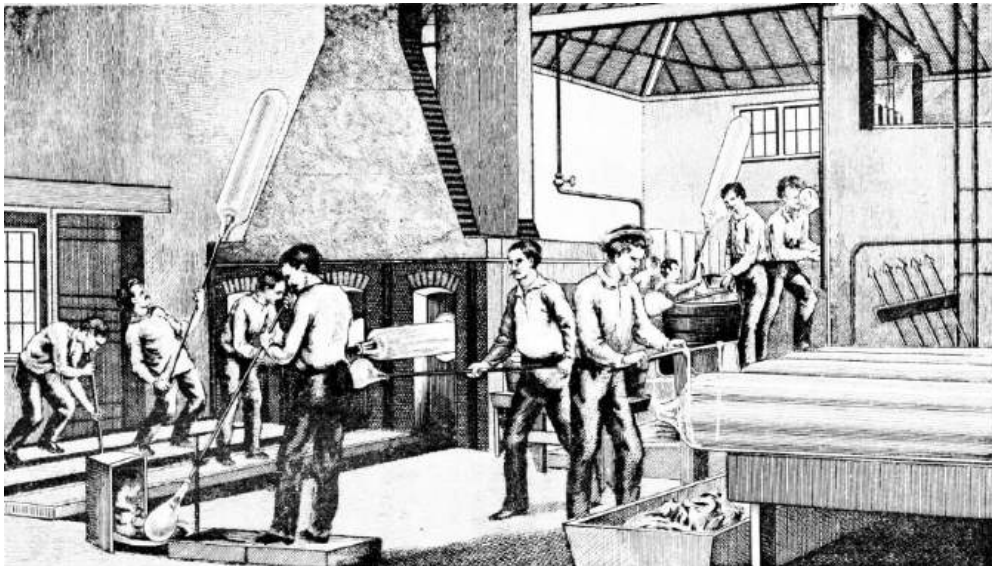
²⁰² G. Bontemps, op. cit., s. 205-234.

gruszki. Osiągała ona długość około 22 cm, wówczas hutnik przyciskał ją do płyty, tak by delikatnie spłaszczyć nasadę. Kiedy szyjka cylindra była już odpowiednio wzmocniona, wkładano ją ponownie do pieca, tak by zmiękczyć szkło i umożliwić jego dalsze rozdmuchiwanie, oraz wydłużanie, przez wykonywanie puszczelą ruchów wahadłowych. Dmuchiwanie w puszczel powodowało powiększanie cylindra, natomiast jej huśtanie dawało efekt rozciągania. Wykonując te czynności, hutnik stał na platformie, pod którą znajdował się kanał, nad którym możliwe było odpowiednie rozhuśtanie puszczeli i obwisanie cylindra. Operacja ta była powtarzana tak długo, aż osiągnął on pożądane wymiary, a jego ścianki grubość około 2 mm (patrz: rys. 7 i 8).

Następnie, konieczne było usunięcie jego nasady. Jednym ze sposobów, było podgrzanie jej w pobliżu otworu wyrobniczego pieca, ponowne dmuchiwanie w puszczel i zamknięcie palcem ustnika, tak by uwięzić powietrze w rozgrzanej końcówce cylindra. Po powtórzeniu tej operacji kilka razy, powietrze rozszerzało się, a końcówka cylindra pękała. Kiedy ten był już otwarty, należało jedynie zbliżyć go jeszcze raz delikatnie do otworu wyrobniczego pieca i przekręcić gwałtownie puszczel, tak by powiększyć otwór. Drugim sposobem, dla cylindrów o grubszych ścianach, było nabranie przez pomocnika nowej porcji szkła i przyczepienie jej do zamkniętej jeszcze nasady cylindra. W tym momencie, podobnie jak w poprzednio opisanej czynności, hutnik dmuchał w puszczel i zamykał kciukiem ustnik. Następnie cylinder przesuwany był w stronę otworu wyrobniczego pieca. Znajdujące się w nim powietrze, ponownie rozszerzało się i wypychało szkło w miejscu, gdzie zaaplikowano jego dodatkową porcję. Następnie, pomocnik docinał i wyrównywał dodatkowo końcówkę cylindra. Inny sposób wykorzystywał różnicę temperatur, pomiędzy jego przechłodzonym już wnętrzem, a szkłem świeżo wyciągniętym z pieca, z którego hutnik formował nić i owijał nią cylinder w miejscu, w którym chciał usunąć nasadę. Następnie była ona przez niego pociągana za pomocą szczypiec i usuwana. W dalszej kolejności poddawano je procesowi odprężania.



Rysunek 7. Produkcja tafli z cylindrów



Rysunek 8. Produkcja tafli szkła z cylindrów

Tak przygotowane cylindry należało rozciąć, by umożliwić ich rozwinięcie do tafli. Rozwinięcie to odbywało się poprzez ponowne rozgrzanie szkła w piecu. Rozcinanie wykonywano za pomocą rozgrzanego, żelaznego pręta, wzdłuż osi cylindra. Używanie żelaza miało duże wady, spowodowane jego utlenianiem się, co pozostawiało na powierzchni szkła czerwoną smugę spowodowaną tarcieniem. Smuga ta miała szerokość około 15-20 mm i prowadziła do pewnych strat. Można było im zapobiec, umieszczając cylinder na widełkach, prostopadle do stołu i nacinając go wzdłuż całego obwodu, za pomocą diamentu znajdującego się na długiej, drewnianej ręczce. Ruch musiał być szybki i zdecydowany, tak by powstała rysa była równa. Przed nacięciem należało upewnić się, iż nie będzie ono przebiegać w pobliżu żadnego defektu, jak na przykład pęcherzyka

powietrza, tak by nie znajdował się on blisko krawędzi tafli. Cylinder umieszczany był w piecu, a pod wpływem działającej temperatury następowało powolne opadanie rozciątych uprzednio ścian. Pracownik pomagał przy ich rozwijaniu, używając narzędzi. Jeżeli pozwolono osiągnąć w piecu zbyt wysokie temperatury, tak by przyspieszyć i ułatwić sobie rozwijanie, bardzo często dochodziło do przepalenia powierzchni tafli i jej perforacji²⁰³. Ważnym aspektem było również to, aby obszar, na którym formowano tafle, był wolny od zanieczyszczeń mogących pozostawiać jakikolwiek ślad na szkle. Zasadniczo, im niższa była temperatura jej rozwijania, tym lepsza jakość otrzymanej powierzchni. Jej pofalowanie i nieregularność, związane były z różnicami podczas rozciągania górnej i dolnej powierzchni cylindra. Szkło produkowane opisaną wyżej metodą mogło zostać również poddane procesowi szlifowania i polerowania powierzchni.

We wspomnianym wcześniej przewodniku po Murano Domeniaca Bussolina, pojawia się opis produkcji tafli z cylindrów w fabryce Marietti:

In un'ampia fornace sono disposti dieci vasi, cinque da un lato, e cinque dall'altro in linea retta, ed allorchè la materia vitrea è perfettamente fusa, tutti gli operai occupano i rispettivi loro posti, e simultaneamente cominciano il lavoro. Ongi operaio leva dal vaso una massa di vetro proporzionata alla grandezza della lastra che deve eseguire, e soffiando la riduce dapprima alla forma di un vuoto cilindro, ripetendosi questa operazione finchè è consumata la materia vitrea del vaso. I cilindri vengono poscia aperti da un altro operaio nel senso della loro lunghezza, col mezzo di una bacchetta di ferro arroventata nell'uno de' capi, che si fa passar più volte sopra la linea dove si vogliono aprire. I cilindri così preparati si introducono in un forno costruito separatamente, a piano liscio, mantenuto ad un calore elevato, dove si stendono e si riducono in lastre, le quali finalmente si passano nel vicino forno di raffreddamento.

*Compiuto il lavoro delle lastre, vengono tagliate della grandezza voluta col diamante, e poste in commercio*²⁰⁴.

²⁰³ G. Bontemps, op. cit., str. 228.

²⁰⁴ W dużym piecu ustawia się w linii prostej dziesięć donic, pięć po jednej stronie i pięć po drugiej, a kiedy szklisty materiał doskonale się stopi, wszyscy pracownicy zajmują swoje miejsca i jednocześnie rozpoczynają pracę. Każdy robotnik wyjmuje z donicy masę szkła proporcjonalną do wielkości tafli, którą ma wykonać i dmuchając, najpierw nadaje jej (*masie stopionego szkła, przypis autorki*) kształt pustego cylindra, powtarzając tę operację, aż materiał szklisty zostanie zużyty. Następnie inny pracownik otwiera cylindry na całej ich długości, używając na jednym końcu rozpalonego do czerwoności żelaznego pręta, który kilkakrotnie przesuwają się po linii, na której mają zostać otwarte. Tak przygotowane cylindry wprowadzane są do oddzielnie skonstruowanego pieca o gładkiej powierzchni, w którym utrzymywana jest

Po procesie odprężania, szlifowania i polerowania szkła, docinano je do kształtów zgodnych z projektem lustra. Krawędzie tafli zwierciadeł o numerach MJG 1245Ps oraz MJG 36s po wycięciu były dodatkowo dopasowywane do zagłębień drewnianej ramy i noszą ślady obróbki mechanicznej, „skubania” szkła za pomocą szczypiec. Krawędzie tafli nie zostały następnie w żaden sposób opracowane poprzez szlifowanie i polerowanie (patrz: fot. 52).



Fot. 52. Krawędź tafli szkła płaskiego, obiekt MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

W dalszej kolejności, tafle dekorowano technikami grawerskimi. Dekoracja grawerska w przypadku omawianych luster znajduje się na ich górnej stronie. Grawerowanie szkła polega na zdzieraniu jego wierzchniej warstwy. Podobnie jak w przypadku szlifowania, istniała możliwość doboru materiału ściernego pod kątem gradacji jego ziaren. Tarcza grawerska umocowana była podobnie jak dziś, do poziomego wrzeciona. Małych rozmiarów, wykonana była z miedzi. Służyła podobnie jak ołówek lub rylec do rysowania wzorów na powierzchni szkła. Różnica polega na tym, iż tutaj rylec jest przymocowany na stałe i porusza się ruchem obrotowym, natomiast materiał podlegający dekorowaniu przesuwany jest w przeciwną stronę niż koło. Jakość wykonanej grawerki w przypadku luster jest niska, cechuje ją niewielka precyzja i schematyczny sposób ujęcia poszczególnych motywów zdobniczych. Powierzchnie

wysoka temperatura, gdzie są rozwijane i przyjmują postać tafli, które ostatecznie trafiają do pobliskiego pieca chłodniczego.

Po zakończeniu prac nad płytami przycina się je diamentem dożądanego rozmiaru i wprowadza na rynek. (tłumaczenie N. Moszak za pomocą Google Tłumacz)

D. Bussolin, op. cit., s. 46-47.

wypolerowane charakteryzują się słabą dokładnością ich opracowania. Widoczne są na nich rysy pochodzące z procesu zdzierania szkła (patrz: fot. 53).



Fot. 53. Dekoracja grawerska na tafli szkła płaskiego, widoczny brak precyzji wykonania poszczególnych detali, MJG 36s, fot. N. Moszak

Tafla główna jest dodatkowo fazowana na krawędzi, na szerokość około 2 cm, pod kątem 45 stopni (patrz: fot. 54). Dzięki temu uzyskano zróżnicowanie jej grubości w stosunku do środkowej części oraz wprowadzono dodatkowy element dekoracyjny. Fazowanie wykonano ręcznie. Pierwszym etapem było przyłożenie tafli szkła pod odpowiednim kątem do obracającej się tarczy zdzierającej wykonanej



Fot. 54. Widoczne fazowanie krawędzi tafli centralnej, fot. N. Moszak

prawdopodobnie z żelaza, na którą aplikowano materiał w postaci gruboziarnistego piasku lub kruszonego piaskowca i wody. Powierzchnie zeszlifowanych krawędzi następnie wyrównywano za pomocą gładkiej, krzemionkowej tarczy szlifierskiej i wypolerowano za pomocą tarczy drewnianej, najprawdopodobniej wykonanej z topoli oraz zwilżanego wodą pumeksu. Czasami, dla lepszego efektu, używano także dysku wykonanego z korka. W XIX wieku używano już warsztatów, w których tarcze nie miały napędu nożnego, a poruszane były za pomocą wody lub silnika parowego²⁰⁵.

²⁰⁵ G. Bontemps, op. cit., s. 462-464.

2.5. Technologia i technika osadzania powłoki metalicznej na powierzchni szklanej tafli.

Domenico Bussolin w swym przewodniku podzielił produkcję lusterek na następujące etapy: 1. produkcja dużych tafli, 2. spłaszczanie tafli, 3. wygładzanie i polerowanie, 4. „cynowanie”, czyli odkładanie na ich powierzchni amalgamatu cynowo–rtęciowego²⁰⁶. Tylko pierwszą i drugą ze wskazanych operacji wykonywano w Murano, pozostałe procesy przeprowadzano w Wenecji. Można wyróżnić tutaj także popularne od XVIII wieku, grawerowanie powierzchni tafli.

Proces związany z nadawaniem jej właściwości zwierciadła odbijającego otoczenie, polegał na odkładaniu na powierzchni tafli amalgamatu cynowo – rtęciowego, który jest procesem historycznym, dziś już nie wykorzystywanym. Amalgamat jest stopem dwóch metali, w których podstawowym składnikiem jest rtęć. W procesie związanym z produkcją zwierciadeł, cynę wprowadzano w postaci folii cynowej, której grubość była prawdopodobnie nie większa niż jedna dziesiąta milimetra. W pierwszej kolejności, umieszczano ją na gładkiej powierzchni idealnie płaskiego i gładkiego marmuru. Następnie usuwano z niej ochronną warstwę tlenku cynowego poprzez pocieranie powierzchni folii rtęcią, aż do uzyskania błyszczącej powierzchni. W następnym etapie, zalewano ją warstwą płynnej rtęci na wysokość około 3-5 mm. Prawdopodobna ilość tej substancji to 50 kg na metr kwadratowy szkła. W wyniku tego procesu, na powierzchni gromadziły się pozostałe tlenki cyny, które należało usunąć krawędzią tafli szkła, wsuwając ją na folię cynową płynnym i zdecydowanym ruchem. Tafle musiały być wcześniej oczyszczone za pomocą zawiesiny popiołu drzewnego i wody oraz wypolerowane przy użyciu lnianej tkaniny. W przypadku mniejszych tafli, na powierzchni rtęci umieszczano kawałek papieru, na który ją opuszczano, a następnie wyciągano go spod niej szybkim ruchem, jednocześnie przyciskając szkło. Zarówno w jednym jak i w drugim przypadku, odpowiednio duży nacisk był kluczowy i pozwalał na uwolnienie nadmiarów rtęci spod tafli. Proces amalgamacji zaczynał się natychmiast, w momencie kontaktu cyny z rtęcią i kończył po około 24 godzinach. Rtęć reagując z cyną tworzyła na powierzchni szkła warstwę kryształów zawierających około 19% stopu. Przestrzenie między kryształami wypełnione były fazą ciekłą zawierająca około 0,5% cyny w rtęci. W dalszej kolejności usuwano obciążenie z powierzchni tafli, a lustro

²⁰⁶ D. Bussolin, op. cit., s. 39.

podnoszono z marmurowej podstawy. Amalgamat był na tym etapie jeszcze miękki i nie miał stałej konsystencji. W związku z tym, lustro niemal natychmiast przenoszono do pozycji horyzontalnej ze szkłem odwróconym do dołu, a następnie nachylano je bardzo powoli, najpierw w jedną, a później w drugą stronę i w kierunku każdego naroża tafli (patrz: rys. 9). Operacje te miały na celu umożliwienie swobodnego płynięcia fazy ciekłej i jej odparowania, by pozostawić solidną, stabilną warstwę amalgamatu. Był to proces utwardzania i zajmował około miesiąca, w zależności od rozmiarów zwierciadła. Niektóre przepisy wskazywały na możliwość użycia mieszaniny ołowiu, cyny i prawdopodobnie bizmutu lub antymonu razem z rtęcią, co pozwalało przyspieszyć proces przechodzenia amalgamatu w fazę stałą²⁰⁷. Ostatecznie uzyskiwano metaliczną powłokę. Faza ta odpowiada za efekt odbicia i przyleganie amalgamatu do tafli. Badania zabytkowych lusterek przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) wykazały, iż w zwierciadłach nie dotkniętych zmianami korozyjnymi, warstwa amalgamatu mogła osiągać grubość o wartościach w przedziale 50-100 μm ²⁰⁸ lub 60-130 μm ²⁰⁹.



Rysunek 9. Wytwórcy lusterek, grafika pochodząca z Encyklopedii Denisa Diderota

Srebrzeniem nazywane są ogólne sposoby nanoszenia na powierzchnię szklanej tafli dostatecznie trwałej warstewki metalu białego (srebra, aluminium, platyny, chromu,

²⁰⁷ P. Hadsund, op. cit., s. 3-16.

²⁰⁸ E. Arizio, E.F. Orsega, R. Falcone, M. Vallotto, *A Study of The Interaction Between Amalgam and Glass in Ancient Tin Amalgam Mirrors*, plakat konferencyjny: Sci - Società Chimica Italiana XIV Congresso Nazionale Di Chimica Dell'ambiente E Dei Beni Culturali "La Chimica Nella Società Sostenibile" Rimini, 2-5 Giugno 2013.

²⁰⁹ O. Zywitzki, W. Nedon, T. Kopte, T. Modes, *Characterisation of baroque tin amalgam mirrors of the Historical Green Vault in Dresden*, [w:] Applied Physics A. Material Science & Processing., no. 92, 2008, s. 123-126.

niku itp.). Celem tej operacji jest radykalne zwiększenie odbicia światła od przedmiotu szklanego, upodobnienie go do wyrobów wykonywanych z wymienionych wyżej metali. Istnieją trzy sposoby pokrywania szkła płaskich warstwą metaliczną: chemiczna, termiczna i sposób malarski. W przypadku zwierciadeł z Muzeum Karkonoskiego, wykorzystano najprawdopodobniej sposób chemiczny.

Jak podaje Wacław Nowotny, sposób chemiczny polega na osadzeniu na powierzchni szkła cząstek metalicznego srebra, powstającego w wyniku reakcji chemicznych w roztworach, którymi pokrywa się jego powierzchnię²¹⁰. W celu nadania mu odbijającej, srebrnej powłoki bez skaz, należało je dokładnie odtłuścić. Służył do tego prawdopodobnie roztwór ługu otrzymywanego z popiołów drzewnych.

By lepiej zrozumieć opisywany proces, postanowiono przeprowadzić srebrzenie szkła płaskiego (patrz: fot. 55, 56). W tym celu docięto taflę o rozmiarze 5 x 3 cm. W dalszej kolejności, przygotowano jej powierzchnię poprzez zanurzenie szkła w 15% roztworze kwasu azotowego (HNO₃) oraz uwrażliwieniu jego powierzchni poprzez zanurzenie w słabym, 0,1% roztworze chlorku cynowego (SnCl). Ma on za zadanie zwiększyć zdolności absorpcyjne szkła. Każdorazowo powierzchnię opłukiwano wodą destylowaną.

Następnie przygotowano dwa roztwory: srebrzący oraz redukujący. Roztwór srebrzący otrzymuje się poprzez zmieszanie wodnego roztworu azotanu (V) srebra (I) (AgNO₃) oraz wodorotlenku sodu (NaOH): $AgNO_3 + NaOH \rightarrow Ag_2O \downarrow + NaNO_3 + H_2O$. Wodorotlenek sodu jest nietrwały i ulega od razu reakcji rozkładu do tlenku. Następnie stopniowo dolewa się do niego roztworu wody amoniakalnej (NH₃). W wyniku reakcji wytrąca się brunatny roztwór tlenku srebra (I): $2AgNO_3 + 2NH_3 + H_2O \rightarrow Ag_2O \downarrow + 2NH_4NO_3$ (amoniakalny azotan srebra). Osad ten roztwarza się w nadmiarze amoniaku: $Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]^+ + 2OH^-$, powstaje kompleks jonowy srebra, kation diamina srebra (I), a roztwór staje się ponownie transparentny.

Roztwór redukujący przygotowuje się poprzez rozpuszczenie cukru w wodzie, a następnie dodanie do niego kilku kropel kwasu siarkowego i podgrzewanie w kąpeli wodnej przez około 10 min. Kwas siarkowy oraz podwyższona temperatura pozwalają na otrzymanie cukrów prostych: glukozy i fruktozy. Reakcję tę określa się mianem inwersji

²¹⁰ W. Nowotny, *Technologia szkła cz.2.*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1986; s. 290-291.

sacharozy. Przebiega ona w środowisku kwaśnym. Cukry proste umożliwiają redukcję wodorotlenków i tlenków metali.

Roztwór srebrzący nalewa się na szkło, a w dalszej kolejności dodaje się roztworu redukującego. W wyniku tych działań, następuje szybkie wydzielanie się srebra metalicznego, które osiada na powierzchni szkła. Całość opłukuje się obficie wodą destylowaną i suszy. Opisywane reakcje to tzw. test Tollensa, wykorzystywany w przemyśle chemicznym do identyfikacji aldehydów. Reakcje zachodzące podczas srebrzenia przebiegają szybciej w odpowiednio wyższej od pokojowej, temperaturze (ok. 51-52°C).

Warstwa srebra musi być zabezpieczona przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych odpowiednią warstwą ochronną lub odizolowana od atmosfery w inny sposób. Warstwę stanowi zwykle farba lub lakier z różnymi wypełniaczami i kolorami w zależności od jej funkcji. Istnieje bowiem taka możliwość doboru jej składników, by pełniły one funkcję ochrony katodowej dla srebra²¹¹.



Fot. 55. Roztwór srebrzący, fot. N. Moszak

²¹¹ E. Arizio et al., op.cit., s. 33.



Fot. 56. Tafle szkła z warstwą metalicznego srebra, efekt prób, fot. N. Moszak

Jak wspomniano, w przypadku luster poddanych konserwacji i restauracji, jako technikę metalizowania tafli szkła, zidentyfikowano srebrzenie. Właściwego określenia techniki wykonania zwierciadeł dokonano na podstawie oceny wizualnej (wyznaczniki właściwej klasyfikacji techniki patrz rozdział 3.7. pt. *Opracowanie standaryzacji właściwego rozpoznania techniki wykonania luster oraz propedeutyka ich konserwacji i restauracji*), badań mikroskopowych oraz badań instrumentalnych z użyciem spektrometru fluorescencji rentgenowskiej (XRF). Dodatkowo, wykonano badania mające na celu identyfikację materiałów użytych do zabezpieczenia warstwy srebra. Ich rozpoznania dokonano za pomocą spektrometru fluorescencji rentgenowskiej (XRF) oraz spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR).

W przypadku lustra o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps, warstwę metaliczną zabezpieczono, pokrywając tafłę główną oraz dwie mniejsze, za pomocą farby sporządzonej na bazie pigmentu żelazowego oraz oleju lnianego i jedną z tafli bocznych, czarnym lakierem na bazie czerni z winorośli (patrz: fot. 57). Farbę nałożono za pomocą pędzla, którego ślady widoczne są na powierzchni. Lakier naniesiono prawdopodobnie metodą rozpylania. Pełnią one rolę zabezpieczenia powłokowego.



Fot. 57. Warstwa lakieru pokrywająca srebrzenie tafli, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

W lustrze o numerze inwentarzowym MJG 36s, warstwę srebra zabezpieczono pokrywając tafle farbami, sporządzonymi na bazie mini ołowiowej oraz oleju lnianego (patrz: fot. 58). W przypadku tafli głównej oraz jednej z tafli bocznych, na bazie pigmentu żelazowego i oleju lnianego. Farbę nałożono za pomocą pędzla, którego ślady widoczne są na powierzchni. Minia ołowiowa ma właściwości antykorozyjne. Stosowana jest także jako pigment antykorozyjny w farbach podkładowych i pełni funkcję zabezpieczenia powłokowego.



Fot. 58. Farba na bazie mini ołowiowej zabezpieczająca srebrzenie tafli, MJG 36s, fot. N. Moszak

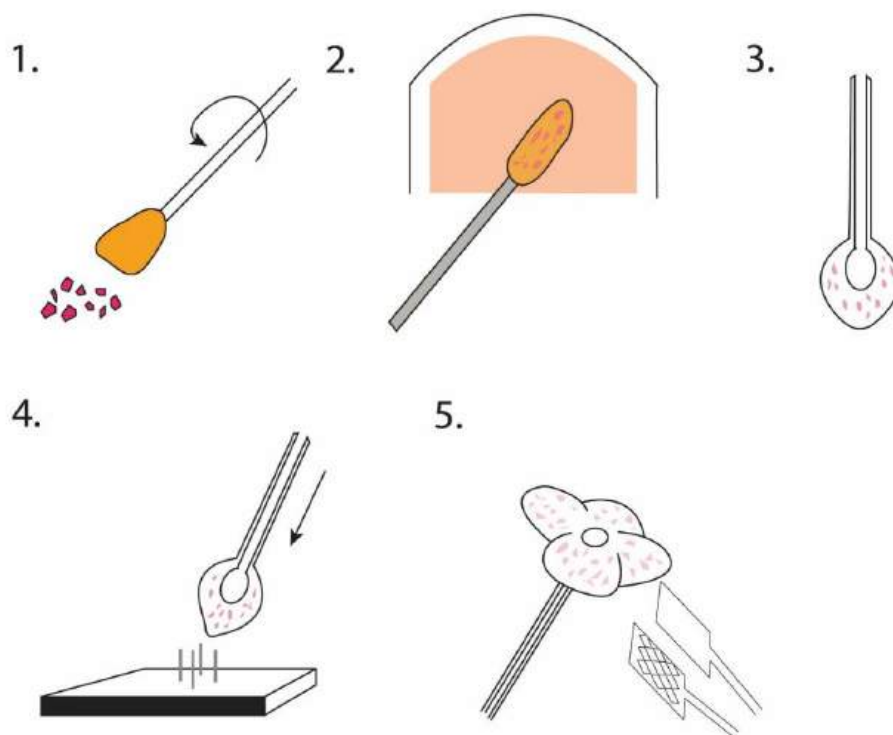
Różnice w zabezpieczeniu powłokowym poszczególnych tafli w przypadku obu zwierciadeł, mogą sugerować, iż podlegały one wymianie i są wtórne w stosunku do oryginału. Ocena mikro- oraz makroskopowa szkła oraz dekoracji grawerskiej preczy

jednak tej hipotezie. Badania składu chemicznego szkła tafli o różnej warstwie zabezpieczającej (badania metodą skaningowego mikroskopu elektronowego, dla tafli S2 (zabezpieczenie farbą olejną) i S4 (zabezpieczenie lakierem) obiektu MJG 1245Ps), wykazują zbliżone rezultaty, co również potwierdzałoby ich wspólne pochodzenie. Z drugiej strony, należy wziąć pod uwagę postępujące w czasie powstania zwierciadeł, ujednolicanie procesów produkcji oraz możliwe użycie sody przemysłowej i surowców o znacznej czystości w obrębie różnych hut szkła. Możliwe jest także użycie różnych metod zabezpieczeń srebra w jednej manufakturze.

2.6. Formowanie elementów dekoracyjnych XIX-wiecznych luster.

Przeanalizowano technikę i technologię formowania elementów dekoracyjnych luster budujących ich stylistykę.

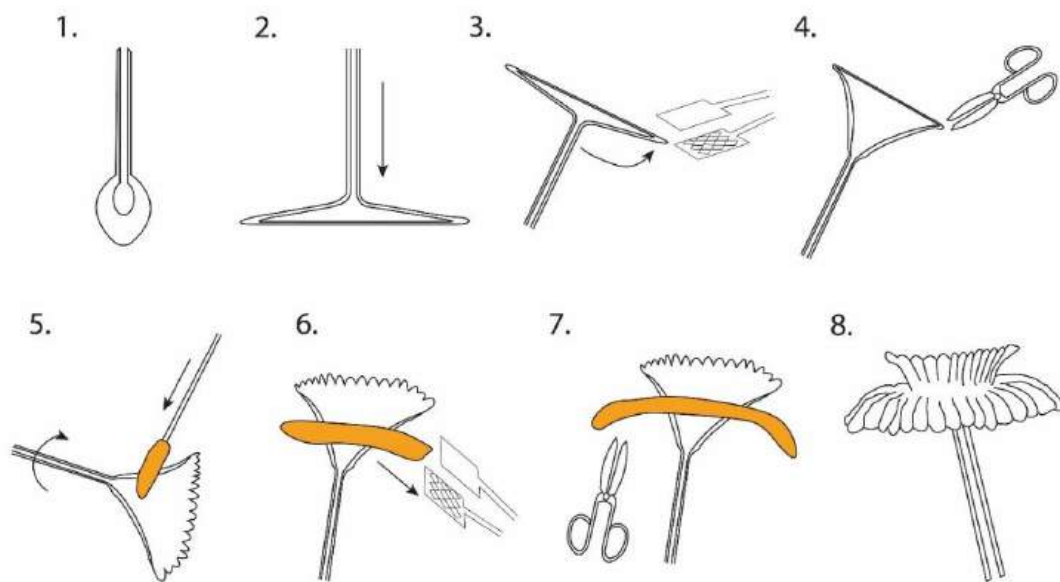
Elementy szklane w postaci kwiatów, wolut, esownic i liści wykonano metodami hutniczymi, poprzez formowanie ręczne. Analizując je pod kątem budowy i wykorzystując doświadczenie zdobyte podczas pracy z gorącym szkłem, można wyciągnąć następujące wnioski: kwiatki z pojedynczym rzędem płatków, formowano z użyciem tzw. przedformy, a następnie ściskając gorącą masę szkła szczypcami z ornamentem w postaci kratownicy, spłaszczano je i nadawano im właściwy kształt oraz fakturę (patrz: rys. 10).



Rysunek 10. Schemat formowania kwiatów pojedynczych, czteropłatkowych: 1. rolowanie puszczel z porcją szkła po blacie metalowego stołu w celu jej wycentrowania oraz nabrania kolorowego gysu szklanego, 2. ponowne grzanie porcji szkła w otworze pieca, 3. delikatne rozdmuchanie porcji szkła na puszczeli, 4. opuszczenie porcji szkła na tzw. przedformę w celu jej spłaszczenia i wyznaczenia odpowiednich podziałów, 5. formowanie poszczególnych płatków poprzez ściskanie gorącej masy szkła za pomocą metalowych, płaskich szczypiec z odpowiednią fakturą powierzchni, następnie odbicie od puszczeli i odprężanie

Kwiaty z podwójnym rzędem drobniejszych płatków, były formowane z tzw. wolnej ręki, również z wykorzystaniem szczypiec z ornamentem w postaci kratownicy. Wykonanie kwiatów z dwoma rzędami płatków wymagało szybkości i precyzji pracy hutnika. Po nabraniu pierwszej porcji szkła na rozgrzaną puszczel, hutnik rolował ją po metalowym gładkim stole, by nadać jej regularny kształt. Podczas rolowania,

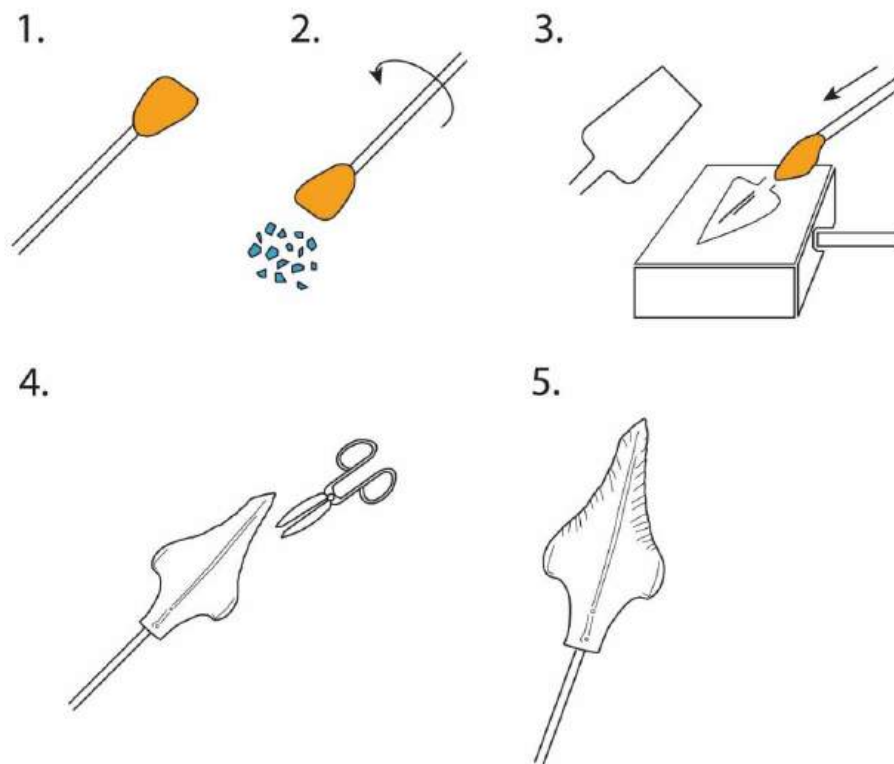
w przypadku elementów barwionych, nabierano kolorowy grys (rozdrobnione, barwione w masie szkło), w celu nadania kwiatom określonej barwy. Następnie hutnik, po ponownym grzaniu szkła w otworze pieca, rozdmuchiwał delikatnie bańkę i dociskając z góry puszczel do podłoża, rozplaszczal ją. Następnie, ściskając końce masy szkła szczypcami z fakturą w postaci kratownicy, dodatkowo wyciągał jej ścianki i nadawał im właściwy kierunek. Ponownie grzał szkło na puszczeli w otworze pieca, jednocześnie cały czas ją okręcając. W następnym kroku, przy użyciu nożyc, nacinał kolejne płatki. Po wykonaniu tych czynności dobierano kolejną porcję szkła i formowano drugi rząd płatków, które kształtowano wykorzystując analogiczne narzędzia i działania (patrz: rys. 11).



Rysunek 11. Schemat formowania kwiatów z podwójnym rzędem płatków: 1. rozdmuchanie bańki na puszczeli, 2. spłaszczenie banieczki, 3. nadawanie właściwego kierunku oraz faktury za pomocą płaskich, szerokich szczypiec z odpowiednią fakturą powierzchni, 4. nacinanie płatków za pomocą nożyc, 5. podawanie kolejnej porcji szkła za pomocą przylepiaka i „otoczenie” nią już uformowanego, pierwszego rzędu płatków, 6. formowanie zewnętrznej porcji szkła za pomocą płaskich szczypiec z odpowiednią fakturą powierzchni, 7. nacinanie poszczególnych płatków za pomocą nożyc, 8. gotowy wyrób, który następnie odbijano od puszczeli i odprężano

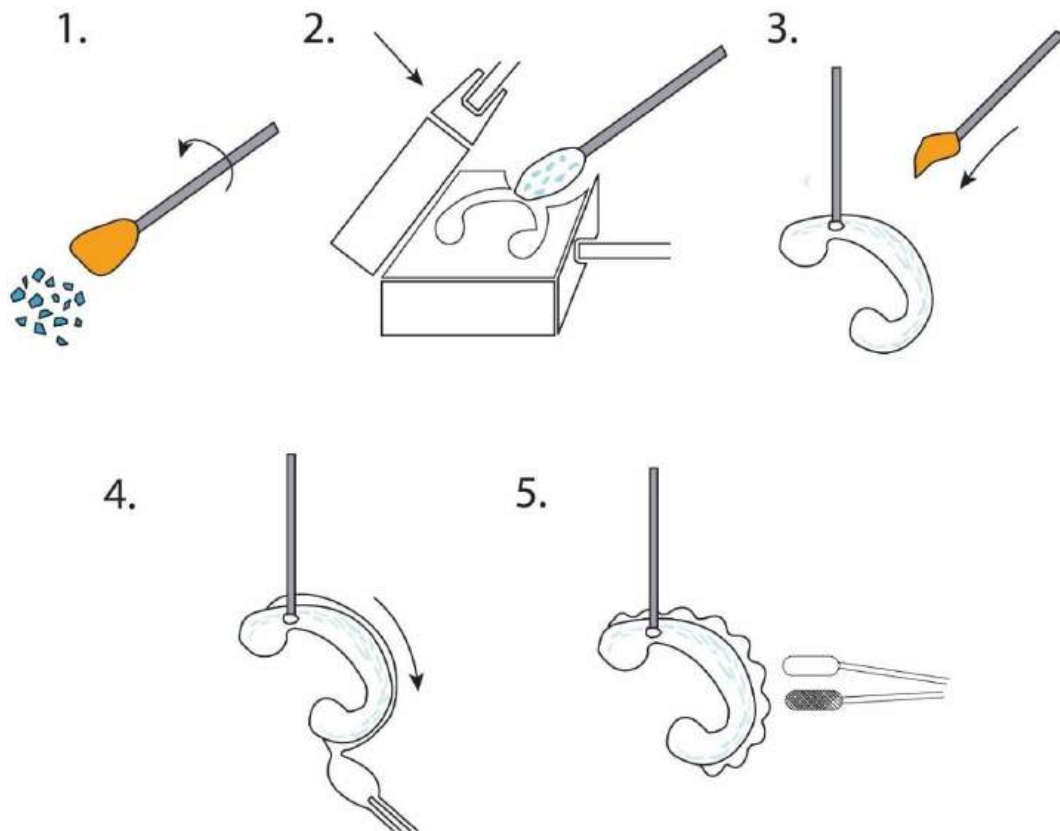
Liście formowane były z jednej porcji szkła, którą po nabraniu na przylepiak, wycentrowaniu i dobraniu grysu szklanego, wyciągano za pomocą szczypiec, nadając jej wstępny kształt. Kolejno, prawdopodobnie przy użyciu metalowego narzędzia, dociskano gorącą masę szkła w formie, wyznaczając tym samym jej właściwą postać i przebieg głównego nerwu liściowego. Nacięcia po obu stronach liścia wykonywano prawdopodobnie nożyczkami, ewentualnie także przy użyciu formy skonstruowanej specjalnie na te potrzeby. Końcowym etapem było docięcie ostatecznego kształtu liści za pomocą nożyc (patrz: rys. 12). Otwory montażowe wykonywano na gorąco,

prawdopodobnie nakłuwając gorącą masę szkła przy użyciu metalowych narzędzi (np. drut).



Rysunek 12. Schemat przypuszczalnego sposobu formowania liści barwionych grysem szklanym: 1. nabranie odpowiedniej ilości gorącej masy szkła na rozgrzany przylepiak, 2. rolowanie porcji szkła po metalowym blacie w celu jej wycentrowania oraz nabrania kolorowego gysu szklanego, 3. po ponownym grzaniu w otworze pieca, umieszczenie porcji szkła w formie i jej dociśnięcie za pomocą metalowej łopatki bądź korka, 4. nacięcie brzegów liścia nożyczkami, 5. gotowy wyrób, który następnie odbito od przylepiaka i odprężono

Taśmy w postaci esownic i wolut wykonano dwuetapowo posługując się prawdopodobnie formą żeliwną. W pierwszym kroku formowano zasadniczy korpus taśmy. Hutnik nabierał odpowiednią porcję szkła na rozgrzany przylepiak, po czym umieszczał ją w formie, rozciągał i dociskał, tak by szkło dokładnie odwzorowało jej kształt oraz wygięcie (w formie esownicy lub woluty). W drugim etapie, po wyciągnięciu z niej szkła i jego lekkim ogrzaniu w otworze pieca, pomocnik podawał za pomocą przylepiaka kolejną porcję szkła na taśmę, w celu uformowania jej grzbietu. Hutnik łapiąc go za pomocą szczypiec bądź nożyc, kierował nim w ten sposób, aby uzyskać odpowiednią grubość oraz rozciągnięcie taśmy, a następnie za pomocą szczypiec z ornamentem w postaci kratownicy, ścisnął taśmę uzyskując efekt lekko skręconej falbanki, dzieląc ją na podobne segmenty. Czynność tę powtórzył po drugiej stronie taśmy (patrz: rys. 13).



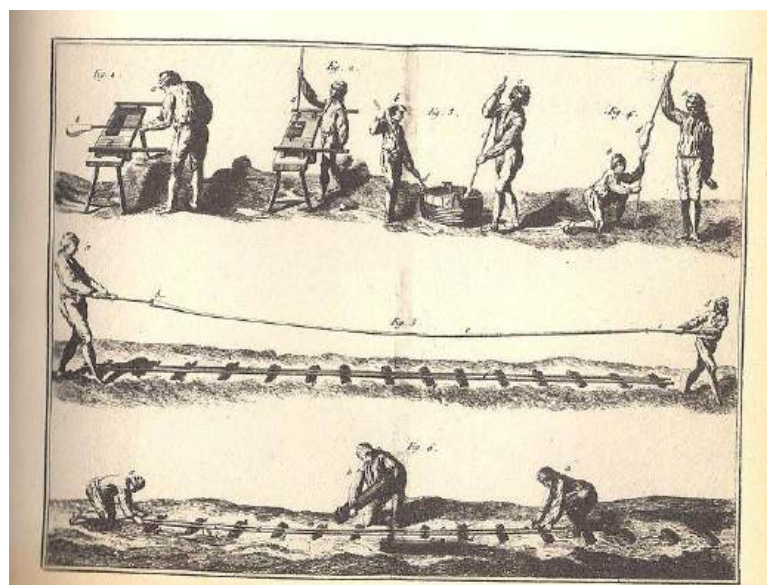
Rysunek 13. Schemat formowania szklanej woluty: 1. nabrane odpowiedniej porcji szkła na przylepiak i rolowanie nią po metalowym blacie w celu wycentrowania i nabrania drobinek kolorowego szkła, 2. umieszczenie szkła w formie żeliwnej, 3. właściwie uformowana woluta na przylepiaku, 4. podanie kolejnej porcji szkła na przylepiaku w celu uformowania grzbietu, 5. użycie szczypiec z fakturą w celu podziału falbanki oraz nadania jej właściwej faktury

Szklane główki elementów montażowych, ze względu na niewielkie rozmiary, mogły być wykonywane za pomocą techniki formatowania szkła w ogniu palnika gazowego przy użyciu formy (np. forma grafitowa). Porcja rozgrzanego szkła była bezpośrednio nakładana na żelazny wkręt, a następnie do niej dociskana, co powodowało jednocześnie ich zgrzanie (patrz: fot. 59).

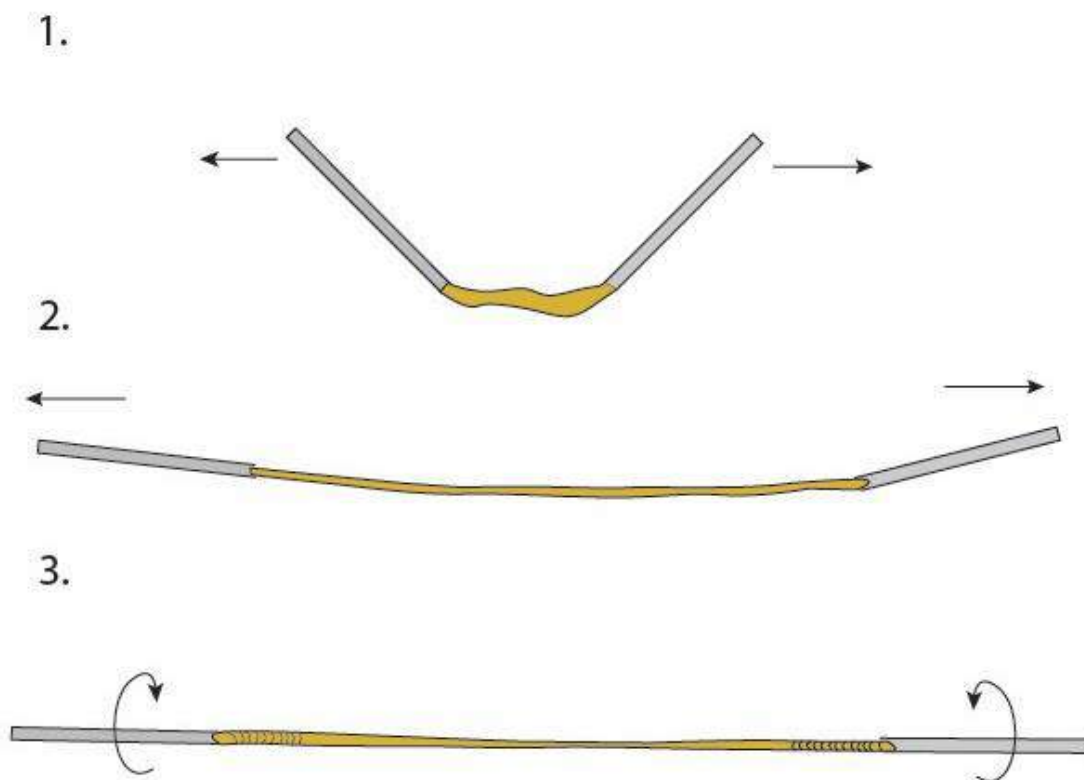


Fot. 59. Formowanie szklanych główek wkrętów i gwoździ za pomocą form grafitowych w ogniu palnika gazowego, fot. N. Moszak

Szklane pręty wykonywano przy udziale dwóch hutników, poprzez rozciąganie i jednoczesne skręcanie nabranej na przylepiak porcji szkła. Rolowano ją na stole metalowym, w celu równomiernego rozłożenia masy oraz nabrania niebieskiego gysu szklanego. W dalszej kolejności, po ponownym podgrzaniu szkła w otworze pieca, drugi hutnik doczepiał do niej, po przeciwnej stronie, drugi przylepiak. W ten sposób rozciągano masę szkła, zwiększając dystans. W procesie tym, w celu wydłużenia pręta, wykorzystywano również zabieg obwisania gorącego szkła pod wpływem grawitacji. By uzyskać odpowiednie wygięcie posługiwano się prawdopodobnie szablonem. Po odprężeniu pręty odpowiednio docinano (patrz: rys. 14, 15).



Rysunek 14. Wytwarzanie szklanych prętów, ok. 1600 r.



Rysunek 15. Schemat formowania pręta szklanego: 1. rozciąganie porcji szkła pomiędzy dwoma przylepiakami, 2. zwiększanie dystansu, a tym samym wydłużanie i ścienianie masy szkła, 3. skręcanie

Masa szkła, z której wykonano elementy dekoracyjne, ma liczne, obecne w masie pęcherzyki gazowe. Zaobserwowano także wtrącenia pochodzące prawdopodobnie z narzędzi hutniczych, powierzchni na których formowane było szkło, bądź środowiska pieca hutniczego. Niemniej jednak obserwacje w polaryzatorze²¹², nie wykazały występowania w nim naprężeń, które mogłyby świadczyć o niewłaściwym procesie odprężania. Poszczególne elementy dekoracyjne cechuje duża precyzja. Świadczy ona o niezwyklej zręczności hutników i szybkości ich pracy. Jednocześnie noszą one cechy produkcji masowej.

Doświadczenie wyniesione z prób rekonstrukcji poszczególnych elementów pozwala na stwierdzenie, iż niezwykle istotne w procesie formowania była właściwa, wysoka temperatura masy szkła. Musiała ona pozwalać na długi czas formowania. Należy bowiem wziąć pod uwagę fakt, iż gorące szkło w kontakcie z metalowymi narzędziami szybko wytraca swą temperaturę. Nie bez znaczenia był także właściwy dobór narzędzi.

Wizyta studyjna w firmie *Barbini Specchi Veneziani* przyniosła obserwacje związane ze współczesną produkcją elementów dekoracyjnych używanych

²¹² patrz rozdział 3.1.1. pt. *Fizyczne czynniki destrukcji. Szkło.*

w zwierciadłach tego typu. Różnice są bowiem znaczące. W porównaniu z elementami XIX-wiecznymi, pod względem stylistycznym, brakuje im finezyjności i precyzyjności. Dotyczy to głównie liści. W tych XIX-wiecznych, ilość nacięć formujących poszczególne blaszki liściowe jest dwa razy większa, poza tym są one dużo lżejsze w proporcjach i cieńsze w porównaniu do tych wykonywanych współcześnie. Znacząco większe są również średnice otworów montażowych.

3. Problematyka konserwatorsko–restauratorska XIX–wiecznych srebrzonych luster weneckich.

3.1. Rodzaje i przyczyny zniszczeń XIX–wiecznych luster.

Rodzaje i przyczyny zniszczeń XIX–wiecznych luster weneckich zależne są między innymi od warunków ich przechowywania oraz ekspozycji, czyli właściwych warunków środowiskowych, do których należą: wilgotność, temperatura, jakość powietrza oraz oświetlenie. Każdy z wymienionych czynników jest równie ważny, niezależnie od tego, czy znajdują się one w warunkach magazynów muzealnych, przestrzeni wystawienniczych, kolekcji prywatnych, czy też antykwariatów. Kolejnym czynnikiem wpływającym na stan zachowania jest technologia i technika wykonania zwierciadeł oraz sposób ich użytkowania w przeszłości.

Z uwagi, iż są to obiekty złożone materiałowo, przyczyny zniszczeń i ich rodzaje należy rozpatrywać zarówno osobno dla każdego materiału, jak i wspólnie, biorąc pod uwagę ich wzajemny, destrukcyjny wpływ. Do poszczególnych materiałów użytych w XIX–wiecznych lustrach weneckich należą: szkło, drewno oraz metal, w obszarze którego można osobno wyróżnić warstwę srebrzenia szkła wraz z zabezpieczeniem. Omawiając poszczególne przyczyny zniszczeń oraz ich rodzaje, każdy z nich będzie rozpatrywany zarówno osobno, jak i w połączeniu.

3.1.1. Fizyczne czynniki destrukcji.

- **Drewno**

Jak wspomniano wcześniej, w lustrach zidentyfikowano drewno iglaste: sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.), świerk (*Picea abies*) oraz drewno liściaste półpięściowonaczyniowe: orzech (*Juglans regia* L.).

Zniszczenia drewna mające fizyczną naturę związane są zarówno z naturalnym procesem jego degradacji, jak i uszkodzeniami o charakterze mechanicznym. Jest ono podłożem higroskopijnym i ciągle pracującym, w niestabilnych warunkach przechowywania podlega cyklom gromadzenia i utraty wody. Górna granica chłonności jego ścian komórkowych nosi nazwę punktu nasycenia włókien i jest to stan, przy którym są one całkowicie nasycone wodą. Wilgotność mu odpowiadająca, zawarta jest w przedziale od 22 do 35% i zależy od gatunku drewna. Dla sosny i świerku ma wartość

29%²¹³. Zwiększenie wartości wilgotności od 0% do wartości nasycenia włókien powoduje spadek wytrzymałości, podczas gdy powyżej tego punktu, dalszy wzrost wilgotności nie ma już znaczenia²¹⁴. Jak podaje Kozakiewicz, zjawisku temu towarzyszy obniżenie odporności drewna na ściskanie wzdłuż włókien. Woda wnika w ścianę komórkową powoduje rozsuniecie micel celulozy, czego następstwem jest zmniejszenie sił kohezji materiału²¹⁵. Wraz ze zmianami wilgotności, drewno w jego przedziale higroskopijnym²¹⁶, zmienia swoje wymiary oraz objętość. Na skutek oddawania pary wodnej kurczy się, osiągając z kolei wilgotność poniżej punktu nasycenia włókien²¹⁷. W wyniku opisanych procesów, na jego powierzchni mogą pojawić się pęknięcia. Tkanka drzewna rozrywana jest początkowo w przekroju poprzecznym wzdłuż promieni drzewnych, następnie pojawiają się pęknięcia biegnące stycznie, a w końcowym etapie, na przekrojach wzdłużnych²¹⁸. Parametry te wynikają z cech budowy anizotropowej, które są inne w różnych kierunkach.

Na wytrzymałość mechaniczną drewna, wpływ ma obecność sęków, traktowanych jako jego wada pierwotna zakłócająca jednorodną strukturę²¹⁹. Ponadto gęstość będąca parametrem zmiennym, zależnym między innymi od profilu podłużnego jego pnia oraz wieku²²⁰. U sosny zwyczajnej jej wartość na przekroju podłużnym obniża się od podstawy do wierzchołka drzewa²²¹. Corocznie produkuje ono warstwę drewna widoczną w przekroju poprzecznym pnia w postaci pierścienia stanowiącego tak zwany słoje roczny. W przyroście obserwujemy warstwę drewna wczesnego (jaśniejsze w kolorze) i późnego (ciemniejsze). Drewno jasne gatunków iglastych charakteryzuje się wysoką porowatością i pełni funkcje przewodzące, natomiast późne jest zwarte i pełni funkcję wzmacniającą. Większy procentowy udział drewna późnego w stosunku do wczesnego będzie miał zatem istotny wpływ na jego wytrzymałość. Szerokość słoików

²¹³ P. Kozakiewicz, *Fizyka drewna w teorii i zadaniach*, Warszawa 2012, s. 22.

²¹⁴ A. Lis, P. Lis, *Charakterystyka wytrzymałości drewna jako jego podstawowej właściwości mechanicznej*, [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo., z. 19, 2013, s. 77-86.

²¹⁵ P. Kozakiewicz, M. Matejak, op.cit., s. 245.

²¹⁶ Przedział higroskopijny: od 0 do około 30% nasycenia włókien, jest to zarazem górna granica chłonności błon komórkowych, powyżej której ustaje higroskopijne wiązanie pary wodnej z powietrzem.

²¹⁷ P. Kozakiewicz, op.cit., s. 27.

²¹⁸ P. Kozakiewicz, M. Matejak, op.cit., s. 246.

²¹⁹ A. Tomczak, W. Pazdrowski, T. Jelonek, W. Grzywiński, *Jakość drewna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.)*. Część I. *Charakterystyka wybranych cech i właściwości drewna wpływających na jego jakość*, [w:] Sylwan, 153 (6), 2009, s. 363-372.

²²⁰ A. Tomczak, T. Jelonek, *Parametry techniczne młodocianego i dojrzałego drewna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.)*, [w:] Sylwan, 156 (9), 2012, s. 695-702.

²²¹ J. Witkowska, H. Lachowicz, *Zmiennosc gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w zależności od wybranych czynników*, [w:] Sylwan, 157 (5), 2013, s. 336-347.

rocznych może być zatem określana jako wyznacznik techniczny²²². W przypadku gatunków pierścieniowo–naczyniowych jest odwrotnie. Według klasyfikacji Krzysika, orzech należy do drewna ciężkiego, o wysokiej gęstości (klasa II w klasyfikacji sześcioskalowej), natomiast sosna i świerk do klasy umiarkowanie lekkiego (klasa V)²²³. Zasadnicze oddziaływanie na stan zachowania tego materiału będą miały także cechy osobnicze poszczególnych gatunków. Wymienione wyżej zmiany wymiarowe, anizotropia odnosząca się do zjawiska kurczenia i pęcznienia zależnego od kierunku, a ściślej, od badanego przekroju (styczny, promieniowy, poprzeczny), a także niejednorodność budowy, będą prowadzić do zmiany kształtów i przerywania ciągłości jego struktury (pękanie)²²⁴. Pewnym wyznacznikiem odporności, w szczególności na ścieranie, jest także jego twardość. Świerk należy do I klasy drewna bardzo miękkiego, sosna do II klasy miękkiego, natomiast orzech do III klasy gatunków średnio-twardych²²⁵.

W przypadku omawianych zwierciadeł, zniszczenia o charakterze fizycznym wynikały głównie z cech konstrukcji ramy, zbudowanej z trzech, sklejonych ze sobą desek. Linie klejenia drewna są punktami o największym potencjale ewentualnych zniszczeń. W przypadku zwierciadła o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps,



Fot. 60. Pęknięcie drewna, MJG 36s, fot. N. Moszak

zaobserwowano pęknięcie drewna w miejscu klejenia, z prawej strony ramy, o długości około 25,4 cm. Pęknięcie o podobnym charakterze nastąpiło w desce zabezpieczającej tafle główną lustra MJG 36s (patrz: fot. 63). Fluktuacje wilgotności oraz temperatury były natomiast prawdopodobną przyczyną pęknięć desek podłoża zwierciadeł biegnących wzdłuż ich włókien. U dołu ramy MJG 1245Ps występowało pęknięcie o długości 7,3 cm. Lustro MJG 36s posiadało podobnie zlokalizowane pęknięcie o długości 20 cm (patrz: fot. 60).

²²² A. Wdowiak, *Struktura drewna konstrukcyjnego*, [w:] *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXXIV, z. 64 (4/17), październik-grudzień 2017, s. 365-380.

²²³ F. Krzysik, *Nauka o drewnie*, Warszawa 1975, s. 428.

²²⁴ P. Kozakiewicz, *op.cit.*, s. 37.

²²⁵ F. Krzysik, *op.cit.*, s. 591.

Ze względu na konstrukcyjny charakter drewna w przypadku omawianych obiektów, należy wziąć pod uwagę ewentualne niebezpieczeństwa związane z omówionymi w tej części pracy właściwościami tego rodzaju materiału zabytkowego. Osadzone na nim, za pomocą żelaznych gwoździ, szkło, jest materiałem zdecydowanie mniej elastycznym. Dodatkowo, wraz z postępującą degradacją, zmniejsza się jego zdolność do ich utrzymania w strukturze. Zdecydowanie istotne znaczenie ma zastosowanie konstrukcji dystansującej lustro od ścian (nakładki ceramiczne w przypadku lustra MJG 1245Ps, patrz: fot. 61), ponieważ na odwrotkach ramy, przylegających bezpośrednio do ściany, może dochodzić do kondensacji pary wodnej i wsiąkania ciekłej wody w drewno. Korozja metalu i szkła w wyniku działania wody, czy też kontaktu z wilgotnym podłożem, zostanie opisana w części poświęconej chemicznym czynnikom destrukcji luster.



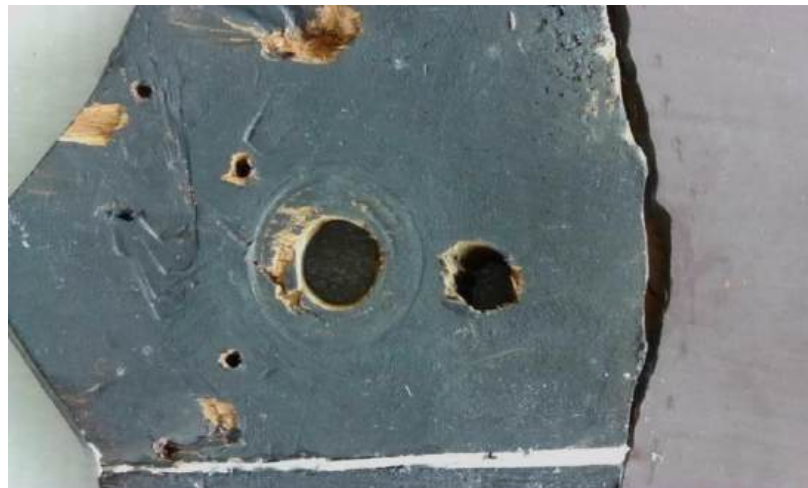
Fot. 61. Ceramiczna nakładka dystansująca lustro od ściany, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Wspomniane przez Kozakiewicza, ogrzewanie pomieszczeń i związane z tym fluktuacje wartości wilgotności względnej powietrza i jego wpływ na stan zachowania drewnianych obiektów zabytkowych, jest kolejnym istotnym czynnikiem. Zwraca on uwagę na dobry stan zachowania drewna w pomieszczeniach podlegających naturalnym zmianom temperatury, związanym z całorocznym cyklem klimatu zewnętrznego w stosunku do pomieszczeń ogrzewanych. W porównaniu jednak do tych ogrzewanych okresowo dawnymi sposobami (np. piece), stosunkowo nagorzej zachowane są obiekty w pomieszczeniach, gdzie wprowadzono znany nam dziś, system ogrzewania centralnego²²⁶.

²²⁶ P. Kozakiewicz, M. Matejak, op.cit., s. 68.

Do najczęstszych zniszczeń natury mechanicznej drewna należą trwałe odkształcenia, obtłuczenia, wgniecenia oraz przetarcia związane z przenoszeniem zwierciadeł. Razem z nim, zniszczeniu może ulec także pokrywająca je farba.

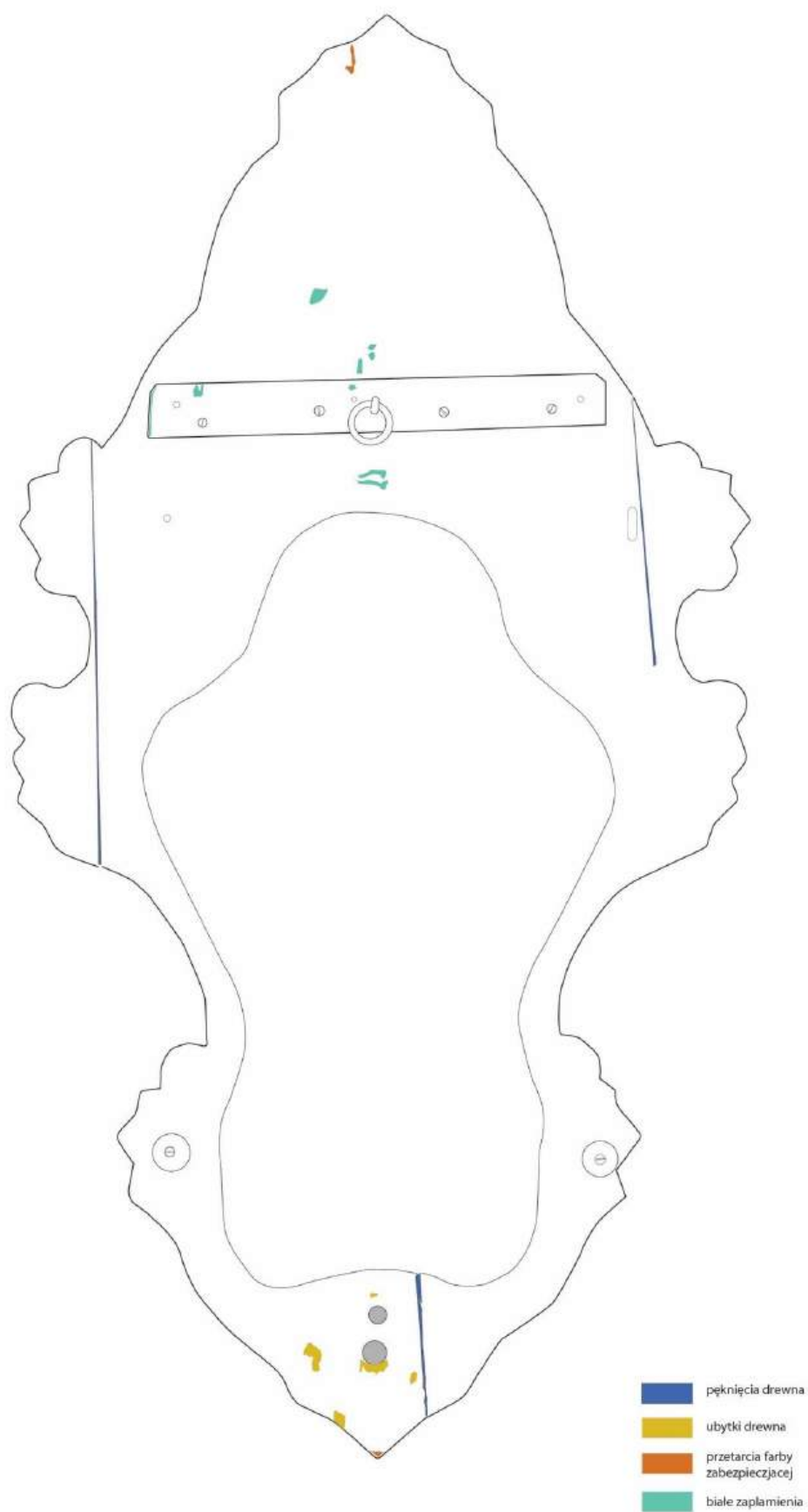
W przypadku obiektu o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps, uszkodzenia o charakterze mechanicznym znajdowały się u dołu ramy i związane były z utratą materiału na głębokość około 1-3 mm. Dodatkowo, należy do nich zaliczyć także obecność jednego dodatkowego otworu wykonanego prawdopodobnie podczas montażu metalowego świecznika (patrz: fot. 62). W przypadku zwierciadła o numerze MJG 36s, doszło do całkowitej utraty jednej z nóżek znajdujących się u jego podstawy i umożliwiającej jego postawienie na podłożu.



Fot. 62. Widoczne urazy mechaniczne drewna, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak



Fot. 63. Widoczne pęknięcie deski zabezpieczającej tafłę główną zwierciadła, MJG 36s, fot. N. Moszak



Rysunek 16. Mapa zniszczeń dla drewna, odwrocie zwierciadła MJG1245Ps

- **Szkło**

Fizyczne czynniki destrukcji szkła mają istotny wpływ na zachowanie podstawowego materiału z jakich zbudowane jest lustro. Należy do nich utrata integralności poszczególnych elementów składających się na zabytek, zarówno w odniesieniu do tafli szkła płaskiego tworzących zwierciadło, jak i otaczających je elementów dekoracyjnych. Wiążą się one z działaniem czynników zewnętrznych, budową poszczególnych detali oraz morfologią ich powierzchni i mogą wynikać z błędów technologicznych w produkcji metodami hutniczymi. Zanieczyszczenia masy szklanej, wtrącenia oraz pęcherze gazowe będą w naturalny sposób osłabiać ich strukturę. Zasadniczą kwestią jest także właściwie przeprowadzony proces odprężania wyrobów.

By w pełni zrozumieć oporność szkła lub jej brak na destrukcyjne działanie czynników fizycznych, należy w tym miejscu wspomnieć o cechach jego budowy na poziomie molekularnym. Opisując je, współcześnie badacze najczęściej sięgają do pochodzącej z 1932 roku, publikacji Zachariasena²²⁷. Jak podaje autor, właściwości mechaniczne szkielek, w określonym zakresie temperatur są podobne kryształom. Podobnie jak w nich, także w szkłe atomy tworzą rozległą, silnie ze sobą połączoną, trójwymiarową sieć. Brakuje jednak w nich charakterystycznego dla kryształów, uporządkowania, okresowości, czy też symetryczności. Szkło uznawane jest za materiał amorficzny, nie posiada ono zdefiniowanej struktury. Wraz ze wzrostem temperatury, rośnie jego ciągliwość i plastyczność, podczas jej spadku, staje się kruche i pęka wraz z nagłą zmianą temperatury.

Istotne znaczenie ma „pamięć” termiczna materiału. Powolne obniżanie temperatury podczas procesu topienia w procesie odprężania, pozwala na ponowne „ustawienie się” atomów sieci szkła względem siebie, przez co budowa na poziomie molekularnym staje się bardziej zwarta. Dochodzi do uwolnienia naprężeń w nim zawartych, jakie pojawiają się w procesie topienia i studzenia wyrobów²²⁸. Szkło, które nie zostanie przetrzymane wystarczająco długo w temperaturach odprężania (dla większości szkielek w przedziale 450-500°C), może w konsekwencji samoistnie pękać. Proces ten ma zasadnicze znaczenie w odniesieniu do fizycznych przyczyn jego

²²⁷ W. H. Zachariasen, *The Atomic Arrangement in Glass*, [w:] *Journal of the American Chemical Society*, 1932, s. 3841-3851.

²²⁸ S. Davison, *op.cit.*, s. 9.

destrukcji. Jest on także konieczny ze względu na niski współczynnik jego przewodności cieplnej. Po uformowaniu, temperatura zewnętrznej powłoki szkła spada dużo szybciej niż wewnątrz. Pojawianie się naprężeń wiąże się także ze zwiększeniem gęstości masy materiału wraz ze spadkiem temperatury. Czas odprężania poszczególnych przedmiotów rośnie wraz ze wzrostem ich grubości. W przypadku przyłożenia jakiegokolwiek siły zewnętrznej, źle odprężone szkło jest bardzo podatne na pękanie i rozpad. Wystarczającym czynnikiem są wówczas wibracje przenoszone przez powierzchnię, na której stoi przedmiot, a także nagła zmiana temperatury otoczenia. W przypadku zwierciadeł o numerach MJG 36s oraz MJG 1245Ps, by sprawdzić czy omawiane naprężenia występują, postanowiono poddać poszczególne elementy badaniom w świetle polaryzatora. Badanie wykorzystuje zjawisko dwójłomności w szkłe, w którym obecne są naprężenia. Szkło, które ich nie posiada, jest z natury ciałem optycznie izotropowym, co oznacza, że nie wykazuje ono zjawiska podwójnego załamania światła. Jego właściwości optyczne są we wszystkich kierunkach w ciele jednakowe. Badania w polaryzatorze, w którym wykorzystuje się polaryzację chromatyczną, można wykonać tylko w szkłe przepuszczającym światło. Obiekt umieszcza się wówczas w świetle przechodzącym i za pomocą filtra polaryzacyjnego obserwuje występowanie ewentualnych naprężeń, które objawiają się najczęściej poprzez zmianę barwy światła. W przypadku wspomnianych elementów luster ich nie zaobserwowano. Informacja ta świadczy o prawidłowo przeprowadzonym procesie technologicznym i wysokiej jakości produkcji.

Istotna jest także obecność wtrąceń w masie szkła. Niedotopione składniki zestawu, wtrącenia pochodzące ze środowiska pieca do topienia zestawu surowców lub narzędzi używanych podczas formowania, mogą być przyczyną występowania znacznych naprężeń. Kolejnym czynnikiem jest także niejednorodność chemiczna w obrębie danego obiektu²²⁹.

Źródłem naprężeń mogą być także przebyte już urazy mechaniczne (np. zarysowania powierzchni, pęknięcia w strukturze).

Z jednej strony szkło jest materiałem kruchym i łatwo ulega destrukcji, z drugiej natomiast, nowo uformowane objekty mają dużą wytrzymałość z uwagi na silne

²²⁹ A. Marczevska, A. Kuśnierz, *Badania naprężeń w szkłe*, [w:] *Szkło i ceramika*, nr 5, 2014, s. 8-11.

połączenia atomowe²³⁰. Szkła formowane hutniczo posiadają także na powierzchni tzw. politurę ogniową, charakteryzującą się wysoką wytrzymałością. Jakikolwiek mechaniczne jej uszkodzenie w istotny sposób naraża przedmioty. Spośród nich możemy wyróżnić zarysowania, odpryski, „ślepe” pęknięcia, niepowodujące przerwania ciągłości obiektu oraz pęknięcia powodujące utratę integralności, dzielące obiekt na fragmenty. Punktowe uderzenie koncentruje wszelkie naprężenia na szczycie defektu. Pod wpływem przyłożenia siły, szkło ulega uszkodzeniu i pojawia się pęknięcie. W zależności od jej rodzaju, mocy czy też kierunku przyłożenia w stosunku do powierzchni obiektu, dochodzi do naruszenia jego wewnętrznej integralności, która może skutkować całkowitym rozpadem lub wspomnianym „ślepy” pęknięciem. Niemal zawsze pojawiają się odpryski o charakterystycznej, muszlowatej powierzchni z widocznymi załamaniem, ukazującymi kierunek rozchodzącej się siły w szkło. „Wędrujące” pęknięcie może zatrzymać się w określonej grubości jego masy, powodując ryzyko dalszego rozwoju i w efekcie rozłamu.

Opisane wyżej zjawiska zaobserwowano także w przypadku elementów dekoracyjnych luster. W zwierciadle o numerze inwentaryzacyjnym MJG 36s, doszło do całkowitej utraty części szklanych liści.

Ogólną ilość brakujących elementów oszacowano na około 40%. Około 20%



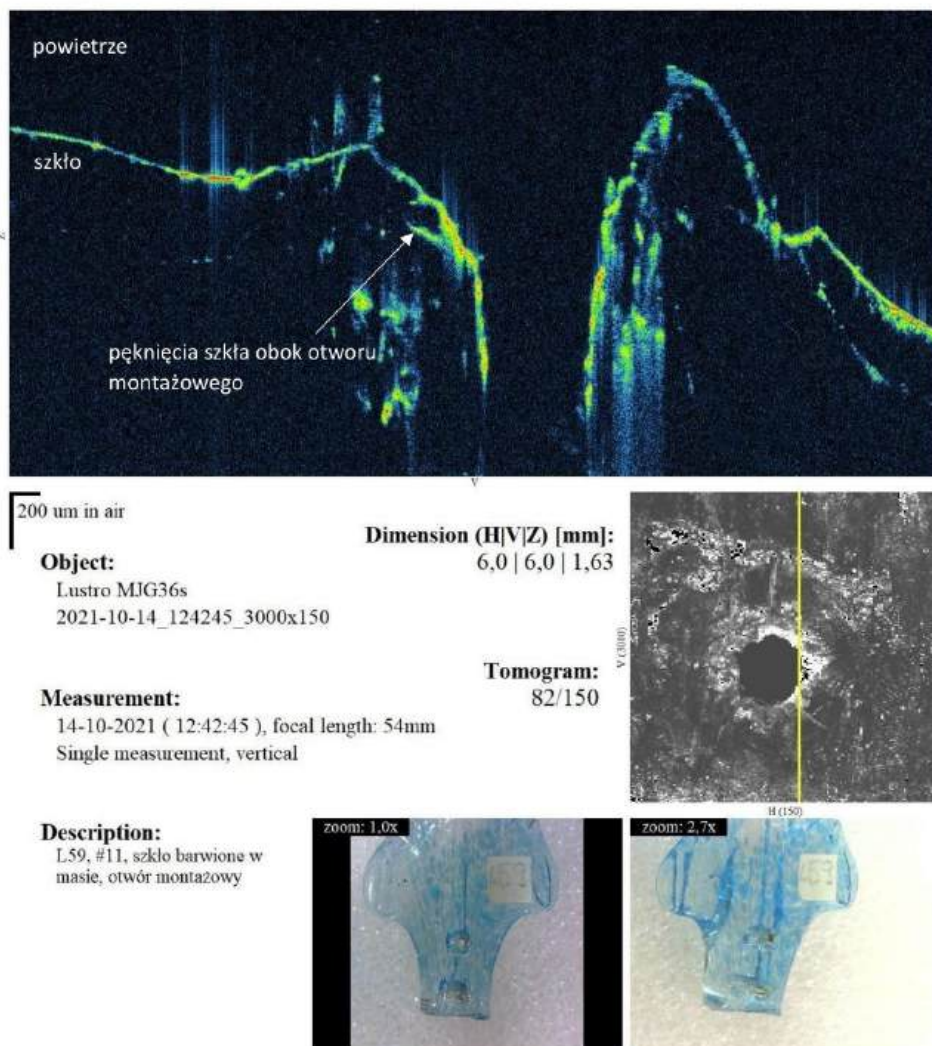
Fot. 64. Znaczące ubytki szklanych liści, szkło pęknięte w pobliżu otworów montażowych, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

zachowało się szczątkowo lub ze znacznymi ubytkami. W lustrze MJG 1245Ps, łączną ilość brakujących elementów oraz z ubytkami oszacowano na 60% (patrz: fot. 64). Główną przyczyną znacznej degradacji obiektów były urazy mechaniczne, morfologia powierzchni oraz budowa poszczególnych detali prowadząca do defragmentacji, a w efekcie znacznych strat. Liście posiadają bowiem po dwa otwory montażowe w dolnej części ogonka liściowego, wokół których dochodziło do pęknięć szkła i w efekcie do rozpadu oraz zagubienia elementów. Liście montowane były za pomocą dwóch żelaznych gwoździ o długości około 2 cm i średnicy główki ok 0,3 cm. Już w trakcie montażu, który wymagał przyłożenia siły, mogło dochodzić do naprężeń. W celu określenia przyczyn zniszczeń liści, wykonano także badania za pomocą

²³⁰ S. Davison, op.cit., s. 14.

koherencyjnej tomografii optycznej (OCT)²³¹, w wyniku której potwierdzono występowanie „ślepych” pęknięć szkła w strukturze, w pobliżu otworów montażowych (patrz: fot. 65). Stanowią one najsłabszy punkt tych elementów, szczególnie narażony na przerwanie ciągłości materiału i jego dezintegrację. Dokładny opis metody badawczej OCT zostanie omówiony w dalszej części niniejszej dysertacji, poświęconej zagadnieniom związanym z metodami badawczymi zwierciadeł.

L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



Fot. 65. Obraz otrzymany w wyniku badania OCT, widoczne pęknięcia idące w głąb struktury szkła, w pobliżu otworu montażowego, oprac.: M. Iwanicka

Obecność obszarów cechujących się znacznym narażeniem na urazy mechaniczne, była także przyczyną dezintegracji wolut i esownic. W przypadku zwierciadła MJG 1245Ps, doszło do znacznej utraty materiału w obrębie tych elementów

²³¹ raport z badań wykonanych za pomocą koherencyjnej tomografii optycznej OCT: aneks IV

(patrz: fot. 66). Dokładną lokalizację zniszczeń obrazuje mapa zniszczeń (dla MJG 1245Ps: patrz rys. 17).



Fot. 66. Stan zachowania szklanej esownicy, wynikający z urazu mechanicznego, brak około 1/3 materiału, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak



Fot. 67. Widoczny ubytek woluty (pierwsza z prawej), szkła pokryte grubą warstwą zanieczyszczeń, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Dodatkowo, gruba warstwa zalegającego na szkle kurzu przyciągającego i gromadzącego zanieczyszczenia, zwłaszcza w obrębie tafli, prowadziła do urazów mechanicznych w postaci zarysowań oraz przyczyniła się do całkowitej utraty ich transparentności (patrz: fot. 68). Spowodowała także, że niemożliwe było precyzyjne określenie koloru szkła.



Fot. 68. Tafla pokryta grubą warstwą zanieczyszczeń mogących prowadzić nie tylko do urazów mechanicznych, a także powodujących niemal całkowity brak transparentności szkła, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

- **Warstwa srebrzenia wraz z zabezpieczeniem**

W kontekście zniszczeń fizycznych, metaliczna warstwa na szkłe może z łatwością ulec degradacji. Uszkodzenia natury mechanicznej są zwykle początkiem zniszczeń o charakterze chemicznym, na skutek których srebrzenie całkowicie traci swą funkcję użytkową.

Do zniszczeń fizycznych zaliczamy przede wszystkim zarysowania. Jako pierwsza naruszeniu ulega warstwa zabezpieczająca, w postaci farby bądź lakieru, a następnie warstwa metaliczna. Całkowicie niezabezpieczona, z łatwością może zostać starta z powierzchni szkła. Zarysowania w warstwie zabezpieczającej powodują łatwiejsze wnikanie czynników destrukcyjnych, następnie przemian natury chemicznej, a w efekcie odspajania się jej od powierzchni szkła i ubytków. Jest to szczególnie widoczne na obrzeżach poszczególnych tafli. To obszary graniczne, w których siła adhezji farby zabezpieczającej jest znacznie niższa i do których poszczególne czynniki niszczące, mają ułatwiony dostęp (patrz: fot. 69).



Fot. 69. Odwrocie srebrzonej tafli, widoczne urazy mechaniczne, odspojenia i ubytki farby na obrzeżach, MJG 36s, fot. N. Moszak



Rysunek 17. Mapa zniszczeń zwierciadła MJG 1245Ps

- **Metal**

Do zniszczeń natury fizycznej zaliczamy głównie zarysowania powierzchni uszkadzające warstwę pasywną materiału i podobnie jak w przypadku srebrnej podlewki, będące niejako przyczynkiem do dalszych zjawisk natury chemicznej, w wyniku których jego struktura ulega naruszeniu i znacznemu osłabieniu, pojawiają się pęknięcia w jej obszarze.

Metale należą do materiałów, które cechuje plastyczność. Każdy z nich posiada jej granicę, po przekroczeniu której następuje zjawisko dyslokacji na poziomie atomowym, a na ściankach materiału pojawiają się równoległe linie, będące efektem jej wyjścia na powierzchnię. Ich gęstość nasila się w miarę wzrostu odkształcenia²³².

Cechą mającą znaczący wpływ na podatność metali na zarysowania, deformację i odkształcenia jest ich twardość. Dla obecnego w zwierciadłach żelaza jej wartość wynosi 4, natomiast dla cyny 1,5 w skali Mosh'a. Folia cynowa o grubości około 0,1 mm jest materiałem niezwykle miękkim, a jej powierzchnia z łatwością może ulec zarysowaniu, czy też przerwaniu.

Kolejnymi współczynnikami wpływającymi na odporność mechaniczną metali są: wytrzymałość na rozciąganie, ciągliwość i granica sprężystości. Poszczególne cechy są zależne od sposobu obróbki materiału oraz występowania ewentualnych domieszek innych metali.

W przypadku zwierciadeł, konstrukcyjne elementy metalowe składają się z czystego żelaza²³³, bez domieszek. Gwoździe były produkowane maszynowo i pełnią funkcję konstrukcyjną, utrzymując szklane elementy, w związku z tym należy wziąć także pod uwagę ich ciężar. W wielu przypadkach, były one zdeformowane.

²³² K. Przybyłowicz, *Metaloznawstwo*, Warszawa 1999, s. 80.

²³³ wyniki badań pXRF: patrz aneks I

3.1.2. Chemiczne czynniki destrukcji.

- **Drewno**

O zjawisku korozji drewna pisze Krzysik, definiując ją jako zmiany, jakie zachodzą w przypowierzchniowej warstwie materiału wskutek działania czynników atmosferycznych, chemicznych i elektrochemicznych. Przenikają one w głąb, powodując zmiany na poziomie chemicznym, prowadząc w efekcie do zwiększenia porowatości i jego fizycznej utraty. Z uwagi na przedmiot niniejszej dysertacji, celowo pominięto destrukcję drewna znajdującego się na zewnątrz i w środowisku wodnym, odnosząc się głównie do jego ekspozycji wewnętrznej.

Drewno iglaste jest bardziej odporne na wyżej wymienione czynniki niż liściaste. Na korozję wpływ ma przede wszystkim światło, fluktuacje wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza, prowadzące do zmiany jego barwy, najczęściej objawiające się zszarzeniem (patrz: fot. 70). Powierzchnia drewna staje się szorstka, a jego zewnętrzne warstwy



Fot. 70. Widoczna różnica w kolorze drewna przykrytego szczelnie taflą szkła (drewno jasne po prawej) oraz z dostępem czynników wpływających destrukcyjnie (drewno ciemniejsze po lewej)

kruche, dochodzi do ubytku materiału i zmniejszenia ciężaru. Pod działaniem tlenu i dwutlenku węgla barwniki i garbniki (w przypadku dębiny), w nim zawarte, ulegają przemianom chemicznym.

Drewno występujące w postaci zwartych brył, inaczej niż rozdrobnione, charakteryzuje się niską odpornością na działanie słabych roztworów zasadowych (1-4%), które mogą powodować częściowe wylugowywanie jego składników i silne spęcznienie warstw przypowierzchniowych. W obecności alkaliów drewno iglaste będzie miało większą odporność niż liściaste. Ponadto, intensywność korozji wzrasta wraz ze wzrostem wartości pH roztworu. Większe nasilenie korozji obserwuje się przy wartościach pH = 13.

Drewno ma wysoką odporność na działanie kwasów, a jego korozja rozpoczyna się przy stężeniach roztworów poniżej pH = 2. Do znacznych zniszczeń natury chemicznej, dochodzi na skutek zanieczyszczeń środowiska gazami spalinowymi,

w których występuje kwas siarkowy (IV) (H_2SO_3) i dwutlenek siarki (SO_2). Atakują je przy niskich stężeniach²³⁴. Substancje te są wchłaniane i wiązane w jego strukturze²³⁵.

- **Szkło**

Czynnikiem wpływającym destrukcyjnie na szkło na poziomie molekularnym jest głównie woda. Z jej udziałem zachodzi zjawisko dealkalizacji oraz w dalszej kolejności, rozpuszczanie sieci krzemianowej. Podatność danego obiektu na zachodzące pod wpływem wody procesy korozyjne, zależy głównie od jego składu chemicznego. Poza tym należy także wymienić występowanie wszelkiego rodzaju uszkodzeń natury mechanicznej, a także zagadnienia związane z technologią i techniką produkcji oraz dekoracji (morfologia powierzchni, niejednorodność, metody produkcji). Ponadto na szybkość i przebieg zjawisk korozyjnych wpływ ma środowisko reakcji, takie jak odczyn kwaśny lub zasadowy roztworu otaczającego obiekt, rodzaj środowiska z jakiego pochodzi lub też aktualnie się znajduje (wodne, ziemne, muzealne), czas oddziaływania niekorzystnych czynników, zanieczyszczenia, czy też obecność mikroorganizmów i narażenie na atak natury biologicznej.

Zagadnienie korozji szkła jest niezwykle obszerne. Z uwagi na przedmiot niniejszej dysertacji, omówione zostaną zjawiska korozyjne zachodzące na obiektach szklanych znajdujących się w warunkach lądowych, w pomieszczeniach o różnych parametrach temperaturowo - wilgotnościowych (np. sale pałacowe) oraz magazynów muzealnych.

By w pełni zrozumieć mechanizmy destrukcji przebiegające na poziomie chemicznym w szkłe, konieczna jest krótka charakterystyka jego budowy w warstwie molekularnej. Szkło zbudowane jest ze związków szklotwórczych. Do najczęściej stosowanych należy krzemionka, SiO_2 . Buduje ona szkło o niezwykle wysokich parametrach, jednakże temperatura konieczna do stopienia samej krzemionki to około 1720°C . W celu jej obniżenia, do kompozycji szkieł dodaje się tzw. topników. Należą do nich tlenki metali alkalicznych, Na_2O oraz K_2O . Związki te znacznie obniżają lepkość stopionej krzemionki, ale jednocześnie osłabiają jej silne wiązania. W związku z tym, konieczny jest dodatek tzw. stabilizatorów w postaci tlenku wapnia CaO lub tlenku

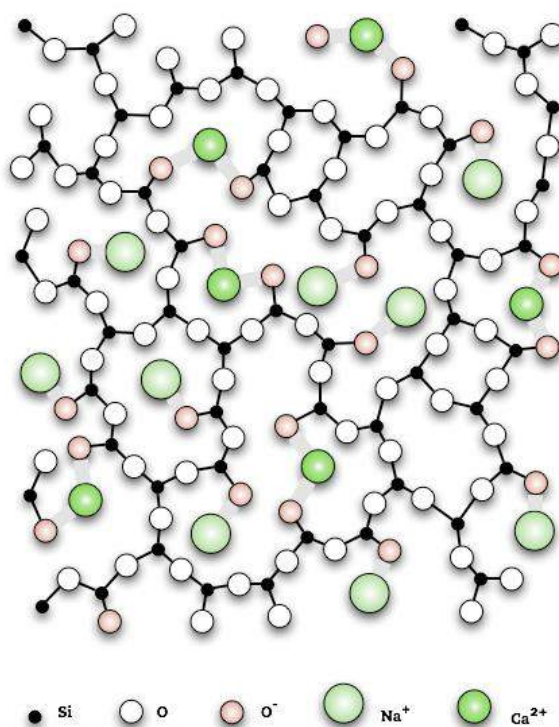
²³⁴ F. Krzysik, op.cit., s. 136-139.

²³⁵ P. Kozakiewicz, M. Matejak, op.cit., s. 230.

magnezu MgO. Związki te niejako „uszczelniają” sieć i stanowią pewną barierę przed atakiem ze strony wody.

Sieć szklistej krzemionki składa się z atomu krzemu, położonego centralnie i połączonego z czworościanem atomów tlenu. Tetraedry w sieci szkła połączone są ze sobą narożami w ten sposób, że jeden atom tlenu złączony jest z dwoma atomami krzemu. Tworzą one bardzo silne wiązania, jednakże w wyniku ogrzewania i późniejszego szybkiego obniżenia temperatury, brakuje im uporządkowania charakterystycznego dla sieci krystalicznej²³⁶. Powstaje w niej wiele pustych przestrzeni,

a oprócz atomów tlenu łączących się z dwoma atomami krzemu, znajdują się tam również atomy tlenu niepołączone. Niosą one ładunek ujemny, a elektrony walencyjne nie są zbilansowane. Bilansuje je dodatek kationów pochodzących z tlenków modyfikujących sieć. Wypełniają one wolne przestrzenie sieci oraz jak wspomniano wyżej, jednocześnie obniżają temperaturę topnienia krzemionki, zmniejszając lepkość stopionej masy szkła. Kationy Na^+ lub K^+ wypełniają wolne przestrzenie między czworościanami i są powiązane ze wspomnianymi, wolnymi atomami tlenu (patrz: rys. 18). Z uwagi na brak regularności i uporządkowania sieci, wolne przestrzenie nie są rozłożone regularnie, w związku z tym, trudno jest przewidzieć dokładny układ oraz ilość dodatkowych kationów. Są one słabiej związane z atomem tlenu niż kationy krzemu Si^{+4} . W wyniku podnoszenia temperatury należy spodziewać się ich migracji. Jednowartościowe będą przemieszczać się z większą łatwością niż te dwuwartościowe, podobnie kationy mniejszych rozmiarów poruszają się szybciej wewnątrz sieci. W związku z tym, można przewidzieć łatwiejszą i szybszą migrację kationów Na^+ niż K^+ i jednocześnie obniżoną mobilność kationów Ca^{+2} . Wynika



Rysunek 18. Schemat cząsteczkowej budowy szkła

²³⁶ W. H. Zachariasen, op.cit., s. 3845-3846.

to z oddziaływań elektrostatycznych między poszczególnymi jonami, kationy dwuwartościowe łączą się z dwoma anionami tlenu, przez co są silniej związane w sieci²³⁷.

Opisana wyżej zdolność do wewnętrznego przemieszczania się poszczególnych atomów będzie miała także znaczny wpływ na mechanizm zachodzących w szkłe procesów korozyjnych, pod wpływem działania wody. W warunkach wewnętrznych nie mamy w większości przypadków do czynienia z wodą w stanie ciekłym (za wyjątkiem wypadków związanych na przykład z zalaniem), a z podwyższoną wilgotnością względną pomieszczeń, w warunkach której może dochodzić do kondensacji pary wodnej na szkłe. Wysoka mobilność jonów metali alkalicznych nie ogranicza się bowiem jedynie do wnętrza sieci, ale może odbywać się również na zewnątrz. Fakt ten jest kluczowy w przebiegu zjawiska korozji szkła pod wpływem działania wody. Jony hydroniowe z wody (H_3O^+) wymieniają się na kationy metali alkalicznych ze szkła (Na^+ , K^+), w związku z czym, są one wyługowywane z sieci i tworzą roztwór wodorotlenku sodu lub potasu. Nadmiar jonów wodorotlenowych znajdujących się na powierzchni szkła podnosi zasadowość roztworu wokół niego, stwarzając środowisko dogodne do dalszego ataku. W efekcie, na powierzchni szkła, tworzy się bogata w krzemionkę warstwa nosząca nazwę warstwy żelu krzemionkowego, a cały proces można określić mianem dealkalizacji. Objętość warstwy znajdującej się na jego powierzchni jest mniejsza, ponieważ jony wodorowe zastępujące jony alkaliczne w szkłe są mniejszych rozmiarów. Dodatkowo mają one ścisłe połączenie z jonami tlenu, w związku z czym obserwujemy także skurcz warstwy na powierzchni szkła. W początkowej fazie, wyługowywanie alkaliów przebiega szybko, po czym proces ten zwalnia. Jeśli warstwa żelu krzemionkowego nie ulegnie mechanicznemu zniszczeniu, obserwujemy stan równowagi. Jednocześnie następuje wzrost wartości pH roztworu znajdującego się na powierzchni szkła. W środowisku zasadowym ($\text{pH} > 9$), dochodzi do zahamowania wymywania alkaliów i zaczyna się proces związany z rozpuszczaniem krzemionki. Ponadto, w jego trakcie, rozpuszczane są jego pozostałe składniki (wapń, magnez, ołów)²³⁸.

Ostatecznie w szkłe dotkniętym zjawiskami korozyjnymi, możemy wyróżnić trzy warstwy: szkło właściwe, które ma wyjściową kompozycję, cienka warstwa szkła

²³⁷ W. H. Zachariassen, op.cit., s. 3849-3851.

²³⁸ S. Davison, op.cit., s. 3-4.

uwodnionego, leżąca bezpośrednio na tym właściwym oraz zewnętrzna warstwa żelu krzemionkowego²³⁹.

Warstwa żelu krzemionkowego zwykle nie jest płaska, ma złożoną strukturę i może wykazywać zróżnicowany skład chemiczny²⁴⁰. Pierwszym widocznym objawem zachodzących zjawisk korozyjnych jest iryzacja powierzchni. W dalszym ciągu matowienie, pojawienie się ewentualnych delaminacji, mikropęknięć i wżerów.

Iryzacja powierzchni jest zjawiskiem optycznym, zachodzącym na skutek zmiany interferencji światła białego, w związku z czym widzimy barwy tęczowe. Struktura zewnętrznej powierzchni szkła nie jest bowiem dłużej jednorodna, a rozwarstwia się na wiele cienkich błonek, zawierających różne tlenki metali, przez które światło przechodzi lub odbija się w zróżnicowany sposób. Na skutek odbić fal o różnej częstotliwości widzimy zróżnicowane barwy nakładające się jedna na drugą.

Matowienie powierzchni oznacza całkowitą lub częściową utratę jej przejrzystości i transparentności. Obszar objęty tym zjawiskiem jest zwykle jednorodny, o białym kolorze.

Delaminacja, inaczej rozwarstwienie, pojawia się w obrębie uwodnionych warstw, które ulegając dehydratacji, wysuszają się, pękają i w następstwie mogą odpadać od powierzchni. Warstwa żelu krzemionkowego działa bowiem jak gąbka i jest szczególnie wrażliwa na cykle gromadzenia i utraty wody. Niejednokrotnie na powierzchni możemy obserwować także charakterystyczne mikropęknięcia.

W szklach cechujących się silną deterioracją, na powierzchni obecne są warstwy całkowicie nieprzejrzyste, w kolorze białym, brązowym lub brązowo-czarnym. Są to tak zwane warstwy zwiertzeniowe (*ang. weathering*). Ich skład chemiczny jest zróżnicowany i zależy między innymi od składu chemicznego szkła oraz wpływu środowiska otaczającego obiekt. W trakcie wymywania alkaliów, tworzą się wodorotlenki sodu lub potasu, które w dalszej kolejności mogą absorbować zawarty w atmosferze dwutlenek węgla (CO₂). Otrzymane w ten sposób węglany mogą następnie krystalizować na powierzchni. Zjawisko to dotyczy zwykle szkieł pochodzących z wykopalisk archeologicznych oraz witraży pozostających w ekspozycji zewnętrznej, niemniej jednak

²³⁹ J.J. Kunicki-Golfinger, *Unstable Historic Glass: Symptoms, Causes, Mechanisms and Conservation*, [w:] *Studies in Conservation*, vol. 9., 2008, s. 47-60.

²⁴⁰ D.E. Clark, B.K. Zaitos (red.), *Corrosion of Glass, Ceramics and Ceramic Superconductors. Principles, Testing, Characterization and Applications*, University of Florida, New Jersey 1992, s. 17.

należy o nim wspomnieć jako o możliwym rodzaju korozji szkła. Początkowo dotyczy małych obszarów i pojawia się miejscowo, może zwiększać zasięg zarówno na powierzchni jak i w głąb szkła, by ostatecznie objąć swym zakresem cały obiekt. Ich grubość sięga od kilku mikrometrów do milimetrów. Warstwy te mogą także ulegać delaminacji, miejscowemu odpadaniu, pozostawiając po sobie obszary z widocznymi wżerami. Zróżnicowany skład chemiczny warstw zwietrzeniowych może zawierać poza uwodnioną krzemionką, małymi ilościami sodu, potasu i wapna, także sole ołowiowe w szklach zawierających ołów, ponadto związki magnezu, glinu, antymonu lub żelaza.

Spośród związków szczególnie niebezpiecznych dla szkieł przebywających w ekspozycji wewnętrznej, wymienia się między innymi formaldehyd (HCHO). Pod wpływem wysokiej wilgotności względnej powietrza, tworzy on mrówczany. Formaldehyd pochodzi z konstrukcji drewnianych używanych w salach wystawienniczych²⁴¹. W przypadku XIX-wiecznych luster weneckich, jego źródłem może być drewniana rama. Badania wykazały stosunkowo dużą zawartość formaldehydu w bieli drewna sosnowego²⁴².

W literaturze przedmiotu jako czynnik destrukcyjny dla szkła pojawia się także powietrze zanieczyszczone dwutlenkiem węgla (CO₂) oraz dwutlenkiem siarki (IV) (SO₂). Szczególnie narażone na ich działanie jest jednak szkło znajdujące się w ekspozycji zewnętrznej, w której wyżej wymienione związki wraz z wodą pochodzącą z opadów atmosferycznych, tworzą słabe kwasy mogące atakować powierzchnię szkła. Ponadto, kwas węglowy lub siarkowy (VI), może przyczyniać się także do powstawania różnego rodzaju węglanów, a także siarczanów (IV), osiadających na szkle w postaci warstw zwietrzeniowych²⁴³.

Kolejnym niebezpiecznym zjawiskiem związanym z niszczeniem, zwłaszcza w kontekście historycznych formuł szkła weneckiego, jest zjawisko określane mianem *crizzlingu* (ang.). Nazwę tą odnoszono do wyglądu skóry amerykańskich farmerów, czy też ogólnie ludzi pracujących na roli, których wysuszona słońcem skóra, pokryta jest siatką cienkich spękań. Pojawienie się tego zjawiska związane jest przede wszystkim z określoną kompozycją chemiczną szkła, pod wpływem szczególnych czynników

²⁴¹ J.J. Kunicki-Golfinger, op. cit., s. 52.

²⁴² I. Frąckowiak, K. Mytko, R. Bendowska, *Content of Formaldehyde in Lignocellulosic Raw Materials for Particleboard Production*, [w:] *Drewno*, 188, 2012, s. 33-45.

²⁴³ S. Davison, op.cit., s. 151.

środowiskowych. Podobnie jak w pozostałych przypadkach, czynniki te to przede wszystkim podwyższona wartość wilgotności względnej otoczenia i temperatury. Jak wspomniano w poprzednich rozdziałach, weneccjanie poszukując przepisu na szkło o doskonałej przejrzystości, eksperymentowali z jego składem. W efekcie uzyskali opisywane wcześniej *cristallo* (wł.). Obniżyli oni w nim jednak zawartość tlenku stabilizującego, w postaci tlenku wapnia (CaO). W efekcie, szkło to wykazuje podwyższoną wrażliwość na wartość wilgotności względnej środowiska. Dotyczy to zwłaszcza weneckich szkieł pochodzących z XVI-XVII wieku.

W nomenklaturze polskiej, ten rodzaj niszczenia szkła, także określa się mianem *crizzlingu*. Wyróżniamy w nim poszczególne stadia. Pierwsze objawia się „zamgleniem” powierzchni szkła, utratą przez nie transparentności. W środowisku, w którym wartość wilgotności względnej wynosi powyżej 55%, szkło ma lekko mokrą powierzchnię, natomiast przy wartości wilgotności względnej poniżej 40%, obserwuje się małe kryształki. Jeśli na powierzchni szkła jest dużo alkaliów, można także zaobserwować drugie zjawisko, określane przez badaczy mianem „szkła płaczącego”, tzw. *weeping glass* (ang.). Objawia się ono tym, że kryształki bądź kropelki alkaliów opadają w dół naczynia. Taki wygląd powierzchni świadczy o jego przechowywaniu w wilgotności, której wartości były znacznie powyżej normy (ponad 60%), przez dłuższy czas. W początkowym stadium, zamglenie powierzchni może zostać usunięte poprzez zmycie alkaliów z powierzchni, natomiast jeśli zjawisko to postępuje i mamy do czynienia z kolejnym stadium rozwojowym, nie da się go trwale usunąć. Ponadto, kiedy szkło oglądane jest pod określonym kątem, bądź też w świetle przechodzącym, można zaobserwować cienkie, srebrne, lekko połyskujące, linie. W obrazie mikroskopowym, identyfikuje się je jako mikropęknięcia powierzchni szkła. W kolejnym stadium, mikropęknięcia powiększają się do tego stopnia, że można je zobaczyć okiem nieuzbrojonym. Tworzą one równomierną siatkę na całej powierzchni obiektu i świadczą o dalszym wypłukiwaniu alkaliów z sieci. Zjawisko to w ostatnim stadium prowadzi do łuszczenia się powierzchni szkła. Warstwy odpadając od powierzchni, prowadzą do delaminacji oraz pozostawiają w niej zagłębienia i nierówności. Na tym etapie może dojść także do samoistnego rozpadu obiektu²⁴⁴. Pomimo iż na opisywane zjawisko, w szczególności narażone są szkła o określonym składzie chemicznym, to w długotrwanie działających warunkach ekstremalnie podwyższonej wilgotności (< 50%) oraz przy braku

²⁴⁴ S.P. Koob, op.cit., s. 117-125.

odpowiedniej wentylacji, może ono wystąpić w każdym przypadku. *Crizzling* obserwowano na kryształowych szklach barokowych i identyfikuje się go także na wyrobach współczesnych²⁴⁵.

W przypadku zwierciadeł z Muzeum Karkonoskiego, na powierzchni szkła nie zaobserwowano zjawisk, które świadczyłyby o zainicjowaniu procesów korozyjnych.

- **Srebro**

Srebro, którymi pokryte są tafle szkła płaskiego w omawianych zwierciadłach, nadal pełni funkcję odbijającą i zachowało się w dobrym stanie. Powłoka metaliczna posiada jednak ubytki. Objawy korozji skoncentrowane są głównie w okolicach krawędzi tafli. Związane jest to z łatwiejszym dostępem czynników niszczących w tych miejscach oraz brakiem zabezpieczania obrzeży luster. Dodatkowo, wpływa na to opisywana, obniżona adhezja oraz uszkodzenia i odspojenia od podłoża farby zabezpieczającej odwrocie.

Uszkodzenia znajdują się także w środkowej partii każdej z tafli. Mają one charakter koncentrycznie rozchodzących się okręgów o zmiennym zabarwieniu: od czarnych, przez szare, niebieskie do szarozółtych (patrz: fot. 71).

Degradacja srebra wiąże się z utratą właściwości odbijających, matowieniem oraz zmianami kolorystycznymi powierzchni. Kolory te mają związek z obecnością określonych produktów korozji występujących zwykle w formie krystalicznej. Należy do nich między innymi siarczek srebra (Ag_2S), którego mineralna forma nosi nazwę akantyt. Równoległe z czarnymi plamami, występują fioletowe, świadczące o obecności nawarstwień chlorkowych (np. AgCl , mineralna forma: chlorargyryt)²⁴⁶. Badania prowadzone w ostatnich latach wykazały znaczny udział tych ostatnich jako produktów korozji srebra, a także obecność siarczanu (IV) srebra (Ag_2SO_3)²⁴⁷. Udział siarczanu (VI) srebra (I), (Ag_2SO_4), stwierdzono w lokalizacjach zewnętrznych²⁴⁸. W przeciwieństwie na przykład do miedzi, na powierzchni srebra nie wytwarza się dostatecznie trwała warstwa pasywna, która mogłaby stanowić jego warstwę zabezpieczającą. Obecność minerałów Ag_2S , AgCl wykazywanych w badaniach i zasadniczy brak siarczanu,

²⁴⁵ J.J. Kunicki-Golfinger, op. cit., s. 47-60.

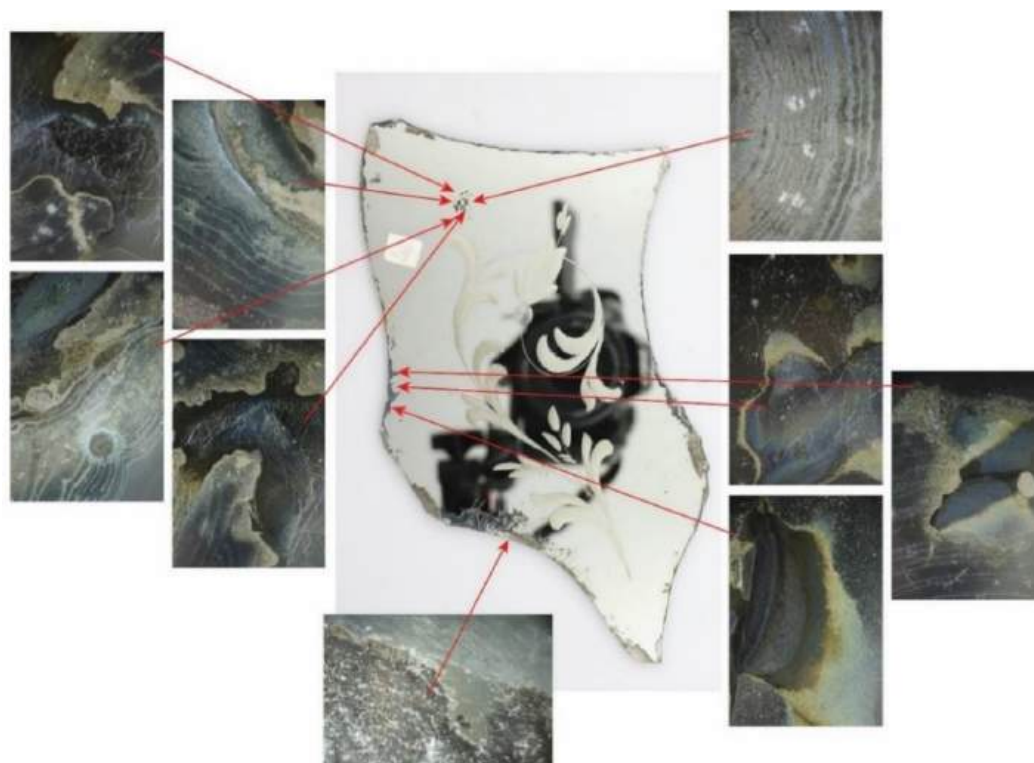
²⁴⁶ A. Tomaszewska – Szewczyk, *Srebro*, [w:] Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna., red. W. Domałowski, Toruń 2011, s. 504-506.

²⁴⁷ J. Becker et al., *Atmospheric Corrosion of Silver, Copper and Nickel Exposed to Hydrogen Sulphide: a Multi-analytical Investigation Approach*, [w:] *Corrosion Science*, 209, 2022, s. 1-13.

²⁴⁸ C. E. Sanders et al., *The Role of Sulfur in the Atmospheric Corrosion of Silver*, [w:] *Journal of the Electrochemical Society* Vol. 162 (12), 2015, s.C630-C637.

azotanu, węgla lub organicznych soli srebra wydaje się być zasadniczą konsekwencją ich wysokiego iloczynu rozpuszczalności (dla AgCl : $1,77 \cdot 10^{-10}$, Ag_2S : $5,01 \cdot 10^{-50}$).

Poszczególne procesy korozyjne oraz szybkość ich zachodzenia zależy od wielu czynników, takich jak pH roztworu znajdującego się na powierzchni tafli, wilgotność względna panująca w pomieszczeniu, temperatura, natura i koncentracja zanieczyszczeń oraz czas ich działania.



Fot. 71. Zdjęcia mikroskopowe zdegradowanej, srebrnej podlewki tafli, MJG 1245Ps, pow. 20x

Mającymi największy wpływ na korozję srebra gazami są siarkowodór (H_2S) oraz siarczek karbonylu (OCS). Badania wykazały możliwy, ale dużo mniejszy wpływ tlenku siarki (SO_2), którego zawartość w powietrzu musi być zwiększona dwu- lub trzykrotnie w stosunku do średniej zawartości. Srebro jest również wrażliwe na obecność chloru w postaci chlorowodoru (HCl) oraz chlorku sodu (NaCl), w powietrzu o podwyższonej wartości wilgotności względnej. Chlorki mogą osiadać na powierzchni srebra zarówno w formie zawierających je, unoszących się w powietrzu cząsteczek, jak i gazowej oraz w szczególnych przypadkach, znaleźć się na powierzchni po odparowaniu wodnych roztworów. Wszystkie wymienione związki działają w warunkach średniej do wysokiej wilgotności powietrza. Woda pełni w tym przypadku rolę medium zdolnego absorbować gazy znajdujące się w atmosferze otaczającej obiekt, których roztwory roztwarzają

srebro²⁴⁹. Wytworzenie siarczku srebra na powierzchni związane jest z obecnością jonów HS⁻, pochodzących z siarkowodoru bądź siarczku karbonylu (OCS). Jony HS⁻ mogą reagować bezpośrednio z jonami srebra lub też mogą być absorbowane do powierzchni, na której tworzą sole siarczkowe.

Dodatkowo, formowanie się siarczków wspomaga obecność utleniaczy. Szczególny wpływ mają takie związki jak ozon O₃, tlenek azotu NO₂ i gazowa postać chloru (Cl₂)²⁵⁰.

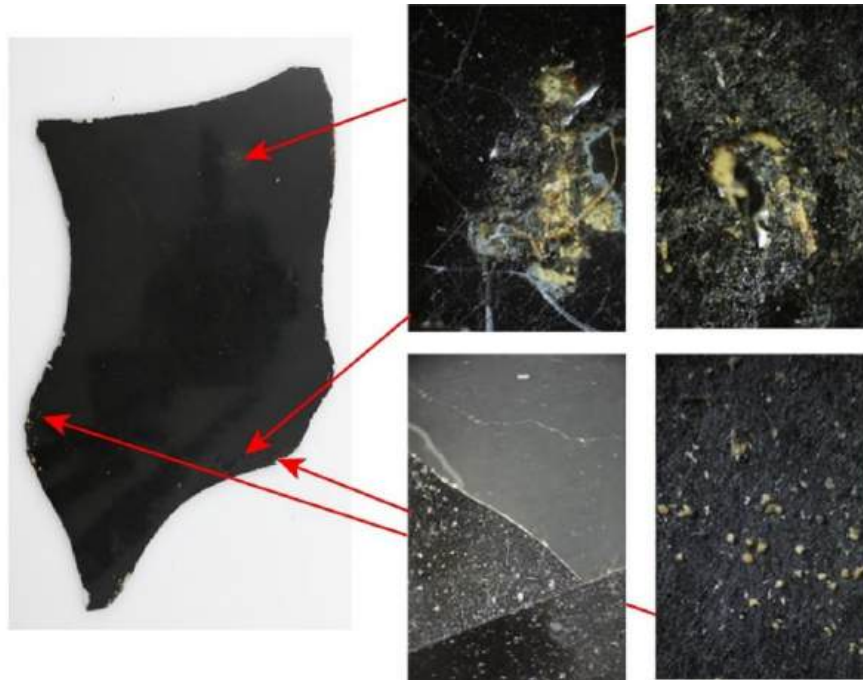
Obecność produktów korozji srebra oraz ich identyfikacja, w przypadku omawianych zwierciadeł, została potwierdzona za pomocą badań z udziałem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM).

Badania składu chemicznego warstw korozji oraz ich wyniki należy wiązać z obecnością związków trudno rozpuszczalnych w wodzie, takich jak wymieniony akantyt lub chlorargyryt. Pozostałe produkty są obecne okresowo, po czym w warunkach podwyższonej wilgotności, są rozpuszczane w wodzie i w związku z tym występują w mniejszej ilości.

Jak wspomniano wyżej, w przypadku luster, produkty korozji srebra nie pokrywają tafli równomiernie, a skoncentrowane są w określonych miejscach na powierzchni tworząc plamki. Ich wygląd oraz obecność w poszczególnych miejscach, związana jest bezpośrednio z uszkodzeniami mechanicznymi warstwy zabezpieczającej tafle (patrz: fot. 72). W związku z tym, negatywnie działające na srebro czynniki mają do niego ułatwiony dostęp. Krawędzie każdej z tafli, mają z nimi bezpośredni kontakt. Woda niosąca w sobie działające destrukcyjnie związki oraz gazy z otaczającej obiekt atmosfery, są absorbowane w tych miejscach. Podobnie, uszkodzone warstwy farby w obszarach środkowych tafli, mają bezpośredni związek z występowaniem zmian korozyjnych. Korelacje te zostały dodatkowo zobrazowane i potwierdzone poprzez badanie za pomocą koherencyjnej tomografii optycznej (OCT).

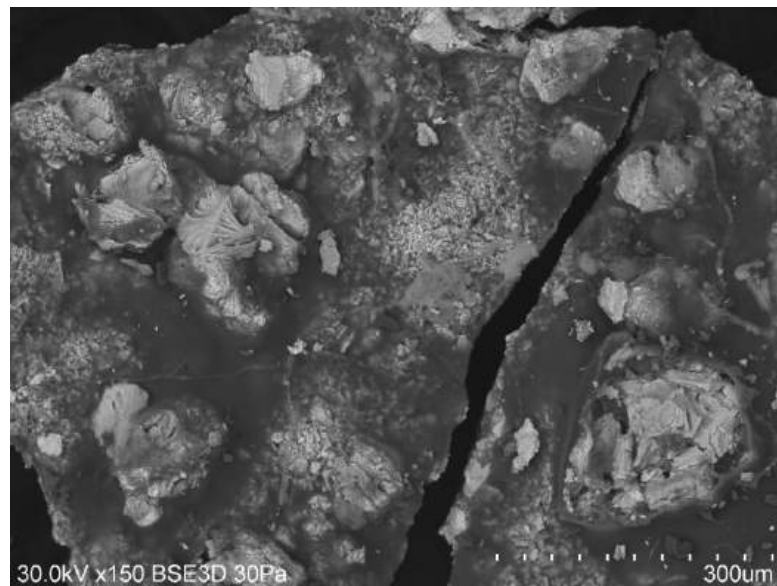
²⁴⁹ T. E. Graedel, *Corrosion Mechanisms for Silver Exposed to the Atmosphere*, [w:] Journal of the Electrochemical Society, Vol. 139 (7), 1992, s. 1963-1971.

²⁵⁰ C. Leygraf, I. O. Wallinder, J. Tidblad, T. Graedel, *Atmospheric Corrosion. Appendix I: The Atmospheric Corrosion Chemistry of Silver.*, John Wiley & Sons 2016, s. 337-347.



Fot. 72. Zdjęcia mikroskopowe zdegradowanej warstwy zabezpieczającej srebrną podlewkę tafli, MJG 1245Ps, pow. 20x

Badania laboratoryjne warstw korozyjnych srebra na przestrzeni lat wykazywały obecność form mineralnych w kształcie kolców połączonych ze sobą na wzór dendrytów (patrz: fot. 73)²⁵¹.

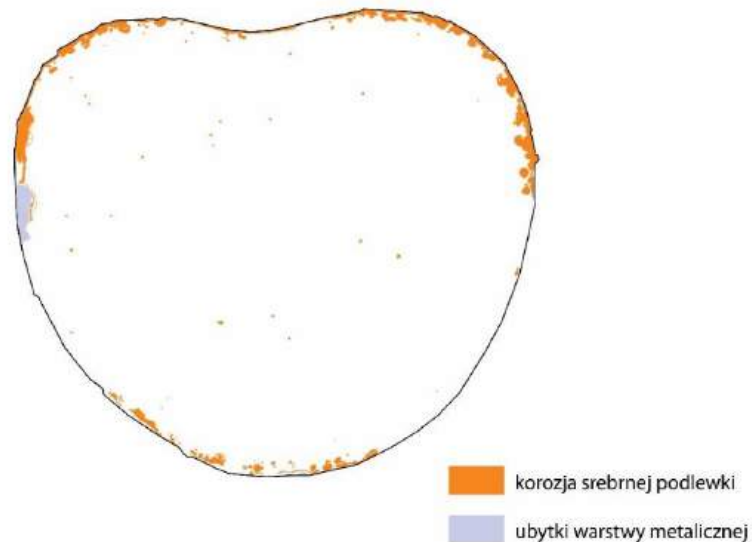


Fot. 73. Korozja srebrnej podlewki tafli lustra MJG 1245 Ps, SEM EDS

Czynniki wpływające na stan zachowania warstwy srebra na szkłe mogą być związane z warunkami jego produkcji, takimi jak: niedokładnie oczyszczona i odtłuszczona powierzchnia szkła, niedokładne zabezpieczenie srebra farbą na odwrociu.

²⁵¹ T. E. Graedel, op. cit., s. 1968.

Brzegi tafli lustra są wyszczerbione, niedokładne wykończenie także ułatwia dostęp czynników niszczących. Dodatkowo wpływ mogą mieć warunki przechowywania lustra, przede wszystkim zbyt duża wilgotność otoczenia spotęgowana kontaktem farby oraz warstwy metalicznej z higroskopijnym materiałem w postaci drewna.



Rysunek 19. Mapa zniszczeń warstwy metalicznej tafli S3, MJG 1245 Ps

- **Cyna**

W omawianych zwierciadłach folia cynowa zachowała się w katastrofalnym stanie (patrz: fot. 74). Większość materiału uległa degradacji do postaci ciemnoszarego proszku. Z uwagi na fakt, iż przeszłość luster oraz warunki ich przechowywania nie są znane, można jedynie przypuszczać, co spowodowało tak dalece posuniętą destrukcję. Jak pisze Janusz Krause, naruszenie równowagi środowiskowej, a więc wzrost zawilgocenia i stężenia środków chemicznych lub zanieczyszczeń mechanicznych, wyzwała działania korozyjne cyny, które zachodzą według różnych mechanizmów powodując zniszczenia obiektu. Są to procesy chemiczne i elektrochemiczne²⁵².

²⁵² J. Krause, op.cit., s. 142.

W porównaniu do folii cynowej, pozostałe materiały zachowały się w stosunkowo dobrym stanie. W związku z tym przypuszcza się, że na znaczną jej degradację wpływ miał prawdopodobnie kontakt z drewnianym podłożem. W kontakcie z wodą, drewno tworzy bowiem roztwory o charakterze kwasowym,



Fot. 74. Stan zachowania folii cynowej, MJG 36s, fot. N. Moszak

które w sposób destrukcyjny wpływają na cynę. Dodatkowo, powierzchnia folii luster została wielokrotnie naruszona podczas montażu szklanych elementów dekoracyjnych, za pomocą żelaznych gwoździ. Jej powierzchnia nie jest już ciągła, podobnie jak i jej warstwa psiwacyjna.

Rentgenowska dyfraktometria proszkowa (XRPD), mająca na celu anizotropową identyfikację postaci cyny, wykluczyły występowanie α -cyny, w związku z czym należy wyeliminować powstanie zjawiska związanego z tzw. zarazą cynową. Zjawisko zarazy cynowej dotyczy czystej cyny i zachodzi w wyniku jej przechowywania w temperaturze poniżej $13,2^{\circ}\text{C}$ oraz długotrwałej ekspozycji na zanieczyszczone powietrze. Jest to zjawisko określane mianem alotropii i związane jest z przemianą postaci β -cyny (cyna biała) w α -cynę (cyna szara). Zjawisku temu towarzyszy zwiększenie objętości (około 27%), znaczne osłabienie struktury i zamiana w proszek²⁵³.

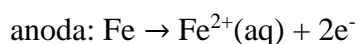
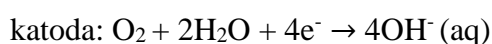
Zachowana folia jest w różnych stadiach rozkładu. W większości można zaobserwować na jej powierzchni zmianę koloru na szary, co związane jest z kolei ze zjawiskiem utleniania do tlenku cyny (IV). Dodatkowo posiada liczne ubytki, zmatowienia powierzchni, jest krucha i ma wyraźne osłabioną strukturę. Na całej powierzchni obecne są luźne nawarstwienia w postaci kurzu.

- **Żelazo**

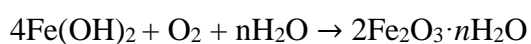
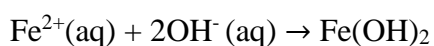
W omawianych obiektach występują montażowe elementy żelazne. Jedne z nich umiejscowione są w drewnie, a drugie z niego wystają i znajdują się w ekspozycji poza drewnianą ramą. Należy wziąć to pod uwagę, omawiając procesy korozyjne oraz charakteryzując potencjalne warstwy na metalu związane z tym procesem.

²⁵³ A. Tomaszewska-Szewczyk, *Cyna*, [w:] Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna., W. Domasłowski (red.), Toruń 2011; s. 494-496.

Elementy żelazne pokryte są brunatnymi produktami korozji, popularnie nazywanymi „rdzą” (patrz: fot. 75). Proces korozji elektrochemicznej przebiega wieloetapowo i prowadzi do wytworzenia w ciągu kolejnych reakcji chemicznych, przy dostępie wody i tlenu, uwodnionego tlenku żelaza (III) ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Żelazo metaliczne pełni rolę anody w ogniwie galwanicznym utleniając się do jonów Fe^{2+} , na katodzie tlen ulega redukcji do wody.



Jony Fe^{2+} oraz OH^- mogą połączyć się, tworząc wodorotlenek żelaza (II): $\text{Fe}(\text{OH})_2$, który przy dostępie tlenu i wody utworzy uwodniony tlenek żelaza (III) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$:



Warstwa korozyjna na żelazie zazwyczaj nie jest jednorodna. Identyfikuje się w niej minerały, między innymi getyt (tlenek wodorotlenek żelaza III, $\alpha\text{-FeOOH}$), lepidokrokit, (tlenek wodorotlenek żelaza III, $\gamma\text{-FeOOH}$) oraz akagenit (tlenek wodorotlenek żelaza III, $\beta\text{-FeOOH}$). W toku badań, dzięki użyciu rozmaitych technik badawczych, określono także parametry dla stabilności warstwy korozyjnej na żelazie, która zależy między innymi od stosunku getytu do lepidokrokitu (α/γ) i której wartość powinna być wyższa niż 2. Akagenit uważany jest za fazę reaktywną.



Fot. 75. Korozja żelaznego elementu montażowego, MJG 36s, fot. N. Moszak

Korozja atmosferyczna żelaza zależy od wielu zmiennych, nie tylko wartości wilgotności względnej powietrza, ale także temperatury, zanieczyszczeń i udziału oraz właściwości poszczególnych faz. W trakcie korozji atmosferycznej, kondensacja oraz odparowywanie elektrolitu z powierzchni przebiega w poszczególnych cyklach. W fazie pierwszej, w której powierzchnia metalu jest zwilżana, grubość warstwy elektrolitu oraz udział w niej żelaza, zwiększa się. W kolejnej fazie, tak zwanej mokrej, ilość elektrolitu stabilizuje się na tym samym poziomie, a tlen jest redukowany w roztworze wodnym wewnątrz porów rdzy. Ostatecznie, w okresie suszenia, zmniejszenie grubości warstwy elektrolitu prowadzi do wytrącania się nowych tlenków i wodorotlenków żelaza²⁵⁴. W przypadku żelaznych elementów luster korozja jest jednolita i ma tę samą grubość na całej powierzchni (tzw. korozja równomierna)²⁵⁵.

²⁵⁴ J. Monnier et al., *Reactivity Studies of Atmospheric Corrosion of Heritage Iron Artefacts*, [w:] *Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic Artefacts*, P. Dillman, D. Watkinson, E. Angelini, A. Adriaens (red.), 2013, s. 285-309.

²⁵⁵ S. Safarzyński, W. Weker, *Wprowadzenie do Sztuki Konserwacji Metalu*, Warszawa 2010, s. 24.

3.1.3. Biologiczne czynniki destrukcji.

Spośród materiałów występujących w zwierciadłach, materiałem szczególnie narażonym na ataki mikrobiologiczne jest drewno, jednakże ulega im także metal oraz szkło. W przypadku zwierciadeł z Muzeum Karkonoskiego, nie zaobserwowano podobnych zjawisk, jednakże z uwagi na ewentualność ich występowania w obiektach tego typu, należy pokrótce je omówić.

- **Drewno**

Ryzyko ataku mikrobiologicznego w drewnie jest wyższe w przypadku występujących w nim dodatkowo uszkodzeń natury mechanicznej. Należą do nich wszelkie pęknięcia, w których może dojść do osadzania się, żerowania i namnażania różnego rodzaju organizmów. Ulega ono im w szczególnych warunkach wilgotnościowych i temperaturowych, odpowiednich dla rozwoju określonych organizmów. Istotne jest także miejsce przechowywania obiektów zabytkowych, ich historia oraz miejsce pochodzenia. Przechowywanie w zawilgoconych, słabo wentylowanych pomieszczeniach, magazynach, składnicach i strychach, powoduje znaczny wzrost zagrożenia ze strony grzybów, porostów czy też owadów. Dodatkowo zastosowanie w przypadku ram zwierciadeł, kleju pochodzenia naturalnego, spajającego poszczególne deski, w połączeniu z podwyższonymi wartościami wilgotności i temperatury, może być pożywką dla wszelkiego rodzaju drobnoustrojów.

Do organizmów szczególnie destrukcyjnych dla drewna, należą między innymi grzyby. Jak podaje Krzysik, organem wegetatywnym grzybów niszczącym drewno jest grzybnia (*mycelium*), złożona z rozgałęzionych nitek, czyli strzępek grzybni (*hyphae*). Strzępki grzybni wytwarzają różnego rodzaju enzymy powodujące przemianę substancji organicznej na której żerują, w związki rozpuszczalne, które na skutek dyfuzji przenikają do wnętrza komórek grzybów. Powodują one zmianę barwy drewna od niebieskiego do zielono-czarnego, która w przypadku drzew iglastych nosi miano sinizny i może stanowić początkowe stadium rozwoju choroby grzybowej. Na rozwój w dalszych stadiach zgnilizny, wpływ ma między innymi wilgotność przekraczająca punkt nasycenia włókien i z tych części drewna grzybnia może rozwinąć się na dalsze, bardziej suche obszary. W celu zabezpieczenia, należy utrzymywać jego wilgotność poniżej 20%. Pierwsze stadium jej rozwoju określa się jako twardą i nie wpływa ona znacząco na właściwości mechaniczne materiału. Następująca w dalszym etapie, zgnilizna miękka, zwana także

zgnilizną korozyjną, pociąga za sobą zniszczenie struktury drewna na poziomie komórki. Zjawisko to zmniejsza twardość i obniża mechaniczne właściwości materiału²⁵⁶.

Kolejną grupą organizmów, mających wpływ na stan zachowania drewna, są owady. Uszkadzają one tkankę drzewną przez żerowanie larw oraz tak zwanej postaci doskonałej, stanowiącej końcowe stadium rozwoju tych organizmów. Uszkodzenia mają postać drażonych w materiale chodników o zróżnicowanej średnicy i przebiegu. Dla drewna występującego w obiektach zabytkowych, szczególnie niebezpieczny jest spuszczel. To owad z rodziny kózkowatych, płaski, o brunatnej barwie i długości 8-20 mm. Atakuje on gatunki iglaste, szczególnie narażone jest drewno sosnowe. Larwy drażą splątane chodniki wypełniając je miążskimi trocinami. Optymalne warunki dla jego rozwoju to wilgotność względna powietrza zbliżona do 100% oraz temperatura 28-30°C. Kolejnym szkodnikiem jest borodziej występujący na wilgotnym drewnie iglastym. Kołatek domowy, kołatek uparty oraz wyschlik grzebykorożny z rodziny kołatkowatych żerują w drewnie iglastym oraz liściastym drażąc chodniki o średnicy około 2 mm. Optymalny rozwój następuje przy temperaturze 20°C i względnej wilgotności powietrza około 70%²⁵⁷.

- **Szkło**

Obecność mikroorganizmów zidentyfikowano głównie na szkle witrażowym, pozostającym w ekspozycji zewnętrznej oraz na szkle pochodzącym z wykopalisk archeologicznych. Przy zaistnieniu odpowiednich warunków wilgotnościowych oraz temperaturowych, atak mikrobiologiczny może dotyczyć także obiektów w ekspozycji wewnętrznej. W przypadku zwierciadeł, szkło znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie z materiałem higroskopijnym, jakim jest drewno. W sytuacji jego zawilgocenia, bądź też porażenia mikrobiologicznego, stanowi ono bezpośrednie zagrożenie dla szkła.

Jego destrukcja związana z obecnością na powierzchni mikroorganizmów, stanowi bardzo obszerny temat. W toku badań prowadzonych w ostatnich latach, wyłonił się termin biokorozji szkła. Wskazuje on na związek pomiędzy zjawiskami zachodzącymi na powierzchni obiektów kojarzonymi głównie z czynnikami chemicznymi lub fizycznymi, a działalnością organizmów żywych. Spośród najczęściej występujących, wyróżnić można bakterie, porosty i grzyby.

²⁵⁶ F. Krzysik, op.cit., s. 199-214.

²⁵⁷ F. Krzysik, op.cit., s. 256-261.

Jamie L. Weaver oraz współautorzy podzielili proces degradacji biologicznej omawianego materiału na pięć etapów. Pierwszy z nich, związany jest z nagromadzeniem na substracie (w tym przypadku szkło) materiału organicznego, drugi obejmuje kolonizację przez mikroorganizmy (bakterie lub/i grzyby) poprzez zarodniki lub/i inne diaspory (np. włókna, fragmenty), związane z substratem fizycznie bądź nie. W trzecim etapie kolonia lub gromada organizmów rośnie i reprodukuje oraz okresowo rozwija tak zwany biofilm²⁵⁸ na powierzchni, następnie organizmy lub/i biofilm, biomineralizują²⁵⁹. W piątym etapie biofilm może odłączyć się od powierzchni szkła. Aby doszło do implementacji mikroorganizmów na nieorganicznym substracie jakim jest szkło, muszą się na jego powierzchni znaleźć odżywcze substancje organiczne. W przypadku obiektów zabytkowych, takich jak zwierciadła, ich źródłem mogą być różnego rodzaju nawarstwienia i depozyty znajdujące się na powierzchni. Szkło dotknięte zjawiskami korozyjnymi związanymi z wyciekającymi z sieci szkła jonami alkalicznymi jest szczególnie narażone na kolonizację. Wówczas środowisko mikroorganizmów oraz jego bioróżnorodność może się powiększać. Procesy te zależne są od dostępu wody, temperatury oraz pożywki. Ostatecznie zmineralizowany biofilm może odłączyć się od szkła objętego procesami korozyjnymi, co spowoduje zniszczenia natury fizycznej. Kolonia mikroorganizmów przytwierdzona do powierzchni bądź wbudowana w jego strukturę, zachowuje się jak swojego rodzaju gąbka mogąca okresowo kumulować i tracić wodę. Wraz z jej utratą następuje skurcz, a na powierzchni szkła pojawiają się delaminacje. Z kolei uwodnienie biofilmu będzie powodowało jego rozszerzanie się, co może powodować naprężenia znajdującego się pod nim substratu. Czas postępu zniszczeń natury biologicznej jest zróżnicowany i zależny między innymi od czynników zewnętrznych.

²⁵⁸ Biofilm - to dobrze zorganizowane, współpracujące środowisko (wspólnota) mikroorganizmów, którego rozwój i wzrost odbywa się na powierzchniach, do których mikroorganizmy mogą się przytwierdzić, jego tworzenie odbywa się w kilku krokach, pierwszym z nich jest etap przystosowawczy, następnie przytwierdzanie się mikroorganizmów, wzrost i ekspansja; przytwierdzanie się do powierzchni umożliwiają włókna, wici, rzęski oraz zewnątrzkomórkowe substancje polimerowe (EPS); biofilmy mogą wykazywać się wysokim stopniem organizacji; składają się głównie z mikrokolonii różnych gatunków komórek mikroorganizmów oraz macierzy międzykomórkowych; EPS składa się z kolei z polisacharydów zapewniając strukturalną i funkcjonalną jedność biofilmu, zapobiega przed dostępem do mikroorganizmów oraz reguluje dyfuzję różnego rodzaju substancji, zapewnia ochronę przed zmianami stężenia pH, promieniowaniem UV, szokiem osmotycznym oraz wysuszeniem; źródło: C.R. Kokare et al., *Biofilm: Importance and Applications*, [w:] *Indian Journal of Biotechnology*, vol 8, 2009, s. 159-168.

²⁵⁹ Biomineralizacja jest procesem, w którym organizmy żywe wytwarzają minerały, zwykle w celu utwardzenia lub usztywnienia swoich tkanek, źródło: <https://cordis.europa.eu/article/id/151322-biomineralisation-and-nanotechnology/pl>, (dostęp: 28.11.2023 r.)

Przyczepność warstwy biofilmu do szkła zależy od właściwości chemicznych EPS-u (skrót od angielskojęzycznej nazwy: *extracellular polymeric substances* (zewnątrzkomórkowe substancje polimerowe), patrz przypis 258). Zawiera on bowiem w swojej strukturze grupy funkcyjne, które są polarne i anionowe, tj. grupy karboksylowe ($-\text{COO}^-$) oraz fosforanowe ($-\text{PO}_4^{3-}$). Grupy te mogą reagować z wypłukiwanym ze szkła krzemem (Si), tworząc estry krzemianowe. Estry, reagując następnie z siecią szkła, mogą powodować jego dalsze rozpuszczanie.

Szkło może spełniać rolę podłoża dla biofilmu lub/i być źródłem składników odżywczych, pełnić niejako rolę pożywki. Proces destrukcji o charakterze biofizycznym spowodowany jest wywoływaniem naprężeniem mechanicznym przez bytujące na szkłe mikroorganizmy. Nie jest on bezpośrednio zaangażowany w wypłukiwanie alkaliów z sieci szkła. Odbywa się tylko na poziomie zjawisk natury fizycznej, chociażby we wspomnianym już wyżej procesie kumulowania i utraty wody przez biofilm, tworzenia wzajemnych powiązań pomiędzy mikroorganizmami oraz siły przylegania do powierzchni, której charakter i natura nie jest bez znaczenia. Wiąże się z nią hydrofobowość lub hydrofilowość, rozkład ładunków elektrycznych na szkłe, właściwości roztworu oraz nade wszystko, sposób opracowania powierzchni. Te pozbawione tak zwanej politory ogniowej, szorstkie, nie wypolerowane są szczególnie narażone na kumulację mikroorganizmów.

Destrukcja o charakterze biochemicznym występuje pod wpływem chemicznej natury środowiska wytwarzanego przez mikroorganizmy i otaczającego szkło. Dzieli się ją dodatkowo na dwie kategorie: pasywną i aktywną. Zniszczenie natury pasywnej polega na rozkładzie sieci na skutek działania substancji wydzielanych przez mikroorganizmy w procesach metabolicznych (dwutlenek węgla CO_2 , kwasy organiczne, EPS). Destrukcja mająca naturę aktywną, odbywa się poprzez wydzielanie przez organizmy bytujące na materiale, substancji powodujących usunięcie poszczególnych elementów z sieci szkła. Należą do nich między innymi żelazo (Fe), mangan (Mn), magnez (Mg), fosfor (P). Przykładem mogą być tutaj siderofory wytwarzane przez niektóre bakterie i chelatujące jony żelaza. Siderofory mogą być wydzielane nie tylko przez bakterie, ale także grzyby oraz porosty. Poszczególne rodzaje biokorozji chemicznej mogą zajść na skutek takich czynników jak pH roztworu, jego kompozycja chemiczna i skład szkła itp. Roztwór je otaczający może mieć zmienne pH, zależne od rodzaju mikroorganizmów. Wśród substancji towarzyszących biofilmowi wykryto kwasy organiczne, takie jak kwas

octowy, mrówkowy, cytrynowy i szczawiowy. Pozostałe mogą zawierać wodór (H), węgiel (C), tlen (O), azot (N), siarkę (S), fosfor (P), potas (K), wapń (Ca), magnez (Mg) i krzem (Si)²⁶⁰. Substancje mineralne identyfikowane między innymi na szklach witrażowych, powiązane z działalnością mikrobiologiczną to kalcyt, wedelit oraz gips²⁶¹.

Oprócz wspomnianego zjawiska rozwarstwiania powierzchni szkła, innymi obserwowanymi na skutek działalności biologicznej są przede wszystkim wżery oraz widoczne na mikro fotografiach, znaczne ubytki materiału mające najczęściej obły, rurkowaty kształt. Ich rozmiary i kształty mogą różnić się w zależności od rodzaju bytującego organizmu²⁶². Ponadto, w szkle obserwowano zmiany związane z utratą transparentności, a także zmiany koloru. Zjawisko to związane jest z brązowieniem powierzchni i pojawia się na skutek utleniania zawartego w szkle manganu. Odpowiedzialna za to zjawisko jest między innymi *Arthrobacter crystallopoietes* oraz *Bacillus*. Na powierzchni szkła zidentyfikowano także bakterie, których obecność powiązano z bytnością człowieka oraz naturalną florą i fauną ludzkiej skóry, jak na przykład *Staphylococcus hominis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Acinetobacter lwoffii*²⁶³. W toku badań zaobserwowano również niejako protekcyjne działanie niektórych pierwiastków zawartych w szkle, np. miedzi, przed działaniem bakterii²⁶⁴.

Na zniszczenia natury mechanicznej znaczny wpływ mają grzyby. Wysoka odporność ich zarodników na wysychanie, wysoki stopień adhezji do podłoża hydrofobowego, zdolność metabolizowania węgla, a także osiedlania się w środowisku o kwaśnym odczynie umożliwiają im bytowanie na różnego rodzaju materiałach, w tym na szkle. Ponadto wysoka wilgotność względna oraz temperatury, a w przypadku witraży także ekspozycja na środowisko zewnętrzne, aerozole i kurz niosące ze sobą materię organiczną oraz nieorganiczną promują ataki mikrobiologiczne. Wraz z bytującymi na powierzchni grzybami, obserwuje się mikropęknięcia, wżery, ślady po grzybnicy wrastającej w powierzchnię szkła, tworzenie kraterów w warstwie żelu krzemionkowego, a także odpadanie kolejnych jego warstw. Na powierzchniach szkieł, na których

²⁶⁰ J.L. Weaver et al., op.cit.

²⁶¹ G. Piñar et al., *Microscopic, Chemical, and Molecular-Biological Investigation of the Decayed Medieval Stained Window Glasses of Two Catalan Churches*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 84, 2013, s. 388-400.

²⁶² J.L. Weaver et al., op. cit.

²⁶³ V. Valbi et al., *Bacterial Diversity on Stained Glass Windows*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 177, 2023, Article 105529.

²⁶⁴ G. Piñar et al., op. cit.

rozwinęła się grzybnia zaobserwowano występowanie w jej obrębie także substancji krystalicznych oraz zmniejszanie zawartości poszczególnych ich składników²⁶⁵. Spośród grzybów udokumentowanych na nim wymienić można rodzaj *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Eurotium*, *Phoma*, *Scopulariopsis*²⁶⁶.

- **Metal**

Jak wspomniano, stan zachowania elementów metalowych zwierciadeł nie wskazuje na występowanie na nich, objawów korozji powodowanej przez mikroorganizmy, jednakże ze względu na prawdopodobieństwo jej wystąpienia w zabytkach podobnego typu, zostanie ona w tym miejscu krótko omówiona. Celowo pominięto opis skomplikowanej kinetyki reakcji wewnątrz zalegającego na powierzchni metali, biofilmu.

Degradacja metalu, podobnie jak szkła, wywołana działaniem mikroorganizmów nosi nazwę biokorozji. W przypadku żelaza, polega na jego utlenianiu w rezultacie zachodzących procesów metabolicznych związanych z obecnością bakterii lub grzybów. Wiele z nich może używać bowiem przechwyconych w procesie utleniania elektronów jako źródła energii do wzrostu. Na korozję metalu wpływają jednakże złożone procesy związane z metabolizmem różnych mikroorganizmów, które przeprowadzają określone reakcje elektrochemiczne i wydzielają białka i metabolity, które w różny, niekiedy bardzo złożony sposób mogą oddziaływać na metal. Towarzyszące biokorozji, enzymy oraz kwaśne metabolity, mogą stymulować korozję anodową. Dodatkowo, drobnoustroje przechwytyjąc wodór, pobudzają reakcje katodowe. W przypadku, kiedy pokrywający metal biofilm, złożony jest z wielu gatunków mikroorganizmów, następuje kaskada poszczególnych reakcji chemicznych, zarówno w jego częściach ze znacznym udziałem tlenu, jak i beztlenowym²⁶⁷.

Mikroorganizmy przyczepiają się do powierzchni metalowych poprzez egzopolimery, czyli biopolimery wydzielane przez ich organizmy do środowiska. Wśród

²⁶⁵ A. Rodrigues et al., *Fungal Biodegradation of Stained-Glass Windows*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 2014, s. 152-160.

²⁶⁶ A.M. Corrêa Pinto et al., *Fungal Biodegradation of Stained-Glass Windows in Monuments from Belém do Pará (Brazil)*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 138, 2019, s. 106-113.

²⁶⁷ N. Kip, J.A. van Veen, *The dual role of microbes in corrosion*, [w:] *The ISME Journal*, 9, 2015, s. 542-551.

egzopolimerów wyróżniamy między innymi lipopolisacharydy (LPS)²⁶⁸. Ich zdolność do wiązania jonów metali zależy od gatunku bakterii oraz rodzaju jonu metalu. Wiązanie jonów angażuje oddziaływanie pomiędzy jonami metalu a anionowymi grupami funkcyjnymi (grupy karboksylowe, siarczanowe, fosforanowe)²⁶⁹.

Wśród mikroorganizmów odpowiedzialnych za procesy korozyjne wymienia się między innymi bakterie zdolne do redukcji siarczanów. Przyczyniają się one do beztlenowej korozji żelaza. Ponadto wyróżniamy bakterie związane z ich utlenianiem, jak i te utleniające oraz redukujące żelazo oraz utleniające mangan. Kolejną grupę stanowią metanogeny będące bezwzględnymi anaerobami. Zalicza się je do archeowców, a głównym produktem ich oddychania jest metan. Energia użyteczna biologicznie pozyskiwana jest przez nie, podczas przenoszenia elektronów z wodoru na dwutlenek węgla²⁷⁰.

Komórki organizmów tworzących biofilm stanowią otwarty system, a jego utrzymanie zależy od integralności strukturalnej oraz funkcjonalnej. Obecność jonów metali na powierzchni metalu stanowi niezbędny warunek do rozwoju mikroorganizmów. Są one wiązane i transportowane przez biofilm. Konieczne jest także dostarczanie energii z zewnątrz, między innymi poprzez utlenianie organicznego podłoża. System, jaki mikroorganizmy budują na podłożu metalowym, charakteryzuje ciągły jej przepływ oraz odżywczych składników organicznych i nieorganicznych. Mikroorganizmy oraz metale znajdują się w ciągłym, niekorzystnym stanie termodynamicznym, w którym energia nieustannie ulega rozpraszaniu. Żywe organizmy mają zdolność jej regenerowania poprzez łączenie reakcji rozpraszania z reakcjami jej wychwytywania. Wiąże się to z przepływem elektronów od negatywnych do bardziej pozytywnych potencjałów. W procesie tym uczestniczy szereg nośników w postaci ferredoksyny, flawoproteiny i cytochromów. Wiele gatunków bakterii uzyskuje swą energię z utleniania cząsteczkowego wodoru na powierzchni metalu. W przypadku gatunków tlenowych, tlen

²⁶⁸ I.B. Beech, *Corrosion of Technical Materials in the Presence of Biofilms – Current Understanding and State – of – the Art Methods of Study*, [w:] *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53, 2004, s. 177-183.

²⁶⁹ I.B. Beech, J. Sunner, *Biocorrosion: Towards Understanding Interactions Between Biofilms and Metals*, [w:] *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 2004, s. 181-186.

²⁷⁰ D. Emerson, *The Role of Iron-oxidizing Bacteria in Biocorrosion: a Review*, [w:] *Biofouling* 34:9, 2018, s. 989-1000.

jest ostatecznym akceptorem elektronu, z kolei dla różnego rodzaju gatunków beztlenowych, alternatywnymi akceptorami jest azotan i żelazo²⁷¹.

Interesującym przykładem są bakterie egzystujące w środowisku tlenowym, pozyskujące energię z utleniania żelaza Fe (II), oraz wiązania dwutlenku węgla (CO₂). Należą do nich chemolitoautotrofy. Ich nazwa pochodzi od tak zwanej strategii metabolicznej, czyli zespołu procesów metabolicznych, wyróżnionych na podstawie określonych źródeł pokarmu. Mianem chemotrofii określa się utlenianie substancji chemicznych. Człon „lito” w nazwie odnosi się z kolei do żerowania na materii nieorganicznej. W grupie chemolitoautotrofów wyróżniamy organizmy wzrastające w środowisku kwaśnym (pH ≤ 4) oraz w środowisku o pH zbliżonym do neutralnego (pH = 5-8). Organizmy te preferują obszary z ograniczonym dostępem tlenu. W takich warunkach tworzą narośla od bardzo cienkich i niemal niewidocznych, do kilkucentymetrowych²⁷². Podobne warunki można sobie wyobrazić w obszarach lustra, w których żelazne gwoździe i wkręty znajdują się w zawilgoconym drewnie. Jony żelaza, Fe (II) mogą być utlenione do Fe(III) w środowisku o pH > 5. Niektóre bakterie mają także zdolność utleniania jonów żelaza enzymatycznie z wytworzeniem energii, np. *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Sulfolobus*, *Acidianus brierleyi*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*²⁷³.

²⁷¹ W.A. Hamilton, *Microbially Induced Corrosion as a Model System for the Study of Metal Microbe Interactions: a Unifying Electron Transfer Hypothesis*, [w:] *Biofouling*, 19:1, 2003, s. 65-76.

²⁷² D. Emerson, op. cit., s. 3.

²⁷³ G. M. Gadd, *Metals, Minerals and Microbes: Geomicrobiology and Bioremediation*, [w:] *Microbiology*, 156, 2010, s. 609-643.

3.2. Wzajemne oddziaływanie poszczególnych materiałów składowych zwierciadeł w procesie degradacji.

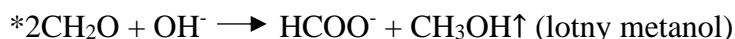
Wielokrotnie wspomniano w niniejszej dysertacji, iż XIX-wieczne zwierciadła weneckie są obiektami wielomateriałowymi. Do tej pory omówiono poszczególne destrukcyjne zjawiska i procesy w odniesieniu do drewna, szkła i metalu. Materiały te występują w omawianych obiektach w sąsiedztwie i mają ze sobą bezpośredni kontakt. W związku z tym, ich wzajemne oddziaływanie w kontekście procesów degradacji wydaje się być oczywiste. Występujące w obiekcie materiały: drewno, metal i szkło różnią się właściwościami i pracują w odmienny sposób, co może powodować zniszczenia na granicy tych materiałów.

- **Drewno – Szkło**

Istotny z punktu widzenia konserwacji i restauracji zwierciadeł jest związek pomiędzy drewnem i wydzielanymi przez niego związkami lotnymi oraz powierzchnią szkła dotkniętą zjawiskami korozyjnymi. Istotny wpływ ma tu rodzaj użytego drewna jako konstrukcji i podłoża dla szkła oraz lusterek, a także stan zachowania samego szkła. Związkami uwalnianymi przez drewno iglaste są między innymi związki zawierające grupy karbonylowe: formaldehyd, kwas mrówkowy oraz kwas octowy. W przypadku korozji szkła, jak opisywano wyżej, w środowisku o podwyższonej wilgotności względnej otoczenia obiektu, dochodzi do uwalniania jonów alkalicznych z sieci cząsteczkowej, co z kolei powoduje gromadzenie się na jego powierzchni warstwy o odczynie zasadowym i otwarcie sieci szkła. Znajdujące się w jego otoczeniu kwasy mrówkowy i octowy uczestniczą w wymianie jonowej dostarczając do sieci w miejsce wyługowywanych kationów, protony i prowadząc do tworzenia się odpowiednich anionów.

W przypadku aldehydów proces ten jest nieco bardziej skomplikowany i przebiega z wytworzeniem, w towarzystwie utleniacza w postaci nadtlenu wodoru, kwasu organicznego. Kwas atakuje szkło, tracąc wodór w procesie formowania odpowiedniego anionu. Może zajść tu także reakcja Cannizzaro*, w której aldehydy ulegają dysproporcjonowaniu do alkoholi i kwasów karboksylowych. Szybkość

degradacji sieci szkła powodowanej przez kwasy będzie niższa w porównaniu do wody, ponieważ kwas w początkowej fazie neutralizuje jony zasadowe OH⁻²⁷⁴.



Szybkość przemian korozyjnych w sąsiedztwie substancji lotnych zależy będzie przede wszystkim od stopnia degradacji i składu chemicznego szkła w warstwie przypowierzchniowej mającej z nimi bezpośredni kontakt. Ponadto od obecności ewentualnych niejednorodności w strukturze, wieku obiektu oraz wilgotności względnej otaczającego go środowiska i temperatury. W rezultacie na powierzchni szkła pojawiają się różnego rodzaju, białe depozyty. Badania przeprowadzone z użyciem próbek szkła wykazały w nich wysoką koncentrację węgla, co wskazywało na obecność substancji organicznych, między innymi mrówczanów alkalicznych, które po wysuszeniu próbek, krystalizowały na jego powierzchni. Z kolei zawartość tlenu wskazywała na utlenianie formaldehydu do postaci kwasu mrówkowego oraz reakcje z jonami alkalicznymi²⁷⁵. Dodatkowo, jak wykazały badania z użyciem chromatografii jonowej, wysoka wartość wilgotności względnej (około 50%) powoduje hydrolizę soli mrówczanowych do postaci kwasu mrówkowego. Proces ten przyspiesza wymywanie sodu z sieci szkła²⁷⁶.

- **Metal – Szkło**

W przypadku połączenia szkła z metalem gołym okiem dostrzec możemy osiadające na jego powierzchni, produkty korozji metalu. W przypadku żelaza, są to rdzawe osady w postaci tlenku żelaza (III), Fe₂O₃.

Dotychczas przeprowadzone badania, wykazały głównie powiązanie pomiędzy korozją miedzi i szkła oraz ołowiu i szkła²⁷⁷.

Znany jest także wpływ szkła na korozję metalu. By doszło do jego korozji atmosferycznej, konieczny jest udział tlenu oraz wysoka wilgotność względna otoczenia. Powierzchnia zdegradowanego szkła w sąsiedztwie metalu stanowi doskonałe źródło

²⁷⁴ R. Cid, T. Palomar, *Influence of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Alternation of Historical Unstable Glasses*, [w:] Journal of the American Ceramic Society, Volume 105, Issue 11, 2022, s. 1-15.

²⁷⁵ E. Greiner-Wronowa, P. Świt, *The Influence of Selected Organic Compounds on the Corrosion of Historical Glass Based on Their State of Preservation*, [w:] Acta Physica Polonica A, vol. 130, no. 6, 2016, s. 1406-1414.

²⁷⁶ G. Verhaar, *Glass sickness: Detection and Prevention. Investigating Unstable Glass in Museum Collections.*, rozprawa doktorska, University of Amsterdam, dostęp online: https://pure.uva.nl/ws/files/29086476/Thesis_complete_.pdf (data dostępu: 12.10.2023r.).

²⁷⁷ G. Eggert, *Corroding Glass, Corroding Metals: Survey of Joint Metal/Glass Corrosion Products on Historic Objects*, [w:] Corrosion Engineering, Science and Technology, vol. 45, no. 5, 2010, s. 414-419.

elektrolitów przyspieszających jego procesy korozyjne. Elektrolitami są sole bądź kwasy, które dysocjując w wodzie na kationy i jony, zapewniają przewodność roztworu, tym samym wpływając na szybkość korozji metalu. Dodatkowo determinują one naturę chemiczną jej produktów. Obecność w nich jonów Na^+ , K^+ , OH^- , HCOO^- (mrówczan metylu), CH_3COO^- (octan etylu) i CO_3^{2-} (węglany) ujawnia udział korodującego szkła w procesie²⁷⁸. Ponadto, w tej sytuacji, metal ulega korozji tylko w obszarach kontaktu ze szkłem²⁷⁹.

- **Drewno – Metal**

W przypadku zwierciadeł należy wziąć pod uwagę także wpływ drewna na korozję metalu. Zjawiskiem powszechnie obserwowanym jest znaczne obniżenie wytrzymałości drewna w obrębie jego styku z korodującym metalem w postaci wkrętów i gwoździ (patrz: fot. 76). Na degradację metalu w drewnie ma wpływ przede wszystkim jego zawilgocenie.



Fot. 76. Żelazne gwoździe korodujące w podłożu drewnianym zwierciadła MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

W kontakcie z wodą drewno tworzy bowiem roztwory o charakterze kwasowym, które w sposób destrukcyjny działają na metal. Zjawisko to zaobserwowano w przypadku luster, w których niemal całkowitej degradacji uległa folia cynowa znajdująca się pomiędzy szkłem a drewnem. W przypadku żelaznych gwoździ i wkrętów pełniących funkcję konstrukcyjną, doszło do znacznego osłabienia struktury drewna oraz osadzania się na nim produktów korozji żelaza. Drewno jest materiałem higroskopijnym, w którym woda może wpłynąć na jego właściwości fizyczne, mechaniczne i chemiczne. Wilgoć może występować w drewnie jako wolna, niezwiązana woda (woda w postaci płynnej bądź w postaci pary w świetle komórek) lub jako woda związana (przytrzymywana przez siły wewnątrzkomórkowe pomiędzy ich ścianami). Punkt nasycenia włókien drewna występuje przy zawartości około 30% wilgotności dla większości jego gatunków.

²⁷⁸ Obecność mrówczanów i octanów wiąże się tutaj z opisywanym wcześniej przypadkiem korozji szkła w sąsiedztwie drewna. Wówczas w tworzącym się na jego powierzchni filmie, identyfikuje się zarówno jedno, jak i drugie, dodatkowo: G. Eggert, A. Fischer, *Curious Corrosion Compounds Caused by Contact: A Review of Glass-Induced Metal Corrosion on Museum Exhibits (GIMME)*, [w:] *Corrosion and Materials Degradation*, 3, 2022, s. 553-565.

²⁷⁹ A. Schorpp, M. Braun, A. Fischer, G. Eggert, *In Search of Frequency: Glass-induced Metal Corrosion in the Deutsches Bergbau-Museum Bochum*, [w:] *Metalla*, nr 25.1, 2019, s. 33-41.

Przewodzenie jonów w drewnie związane jest ze zjawiskiem perkolacji, a przy nasyceniu włókien na poziomie około 16% ma ono ciągły charakter²⁸⁰.

Zjawisko korozji metalu w drewnie można wytłumaczyć wykorzystując pojęcie korozji szczelinowej. Na trzpieniu metalowego gwoździa bądź wkrętu, umieszczonego w mokrym drewnie, gromadzą się jony hydroksylowe (OH^-). W układzie tym, eksponowana na zewnątrz główka gwoździa, staje się katodą, a jego trzon anodą. Reakcję chemiczną zachodzącą na katodzie można przedstawić następująco: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$. Natomiast na anodzie: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$. Jony żelazowe Fe^{2+} uwalniane na anodzie ulegają utlenianiu do jonów Fe^{3+} i tworzą ciemne żelazowe garbniki lub tak zwaną rdzę. Jony żelazowe są aktywnymi katalizatorami reakcji chemicznych, na skutek których dochodzi do osłabienia celulozy znajdującej się w drewnie.

Dodatkowo, mokre drewno można w tym układzie rozważać w roli elektrolitu o odczynie kwasowym. Obecne w nim rozpuszczalne sole chlorkowe mogą migrować w kierunku metalu i powodować przyspieszenie jego korozji lub osłabianie drewna. Jony chlorkowe (Cl^-) oraz jony hydroksylowe (OH^-) migrują z roztworu do szczeliny pomiędzy gwoździem a drewnem. Jony żelaza gromadzące się na anodzie w szczelinie reagują z jonami hydroksylowymi dając nierozpuszczalne wodorotlenki żelaza. Koncentracja jonów wodorowych (H^+), powoduje powstanie roztworu o odczynie lekko kwaśnym, co z kolei wpływa na przyspieszenie korozji metali. Badania wykazały, że pH roztworu wokół metalu wynosi wówczas od 2 do 3, co powoduje hydrolizę celulozy, a co za tym idzie osłabianie drewna.

Na katodzie, reakcje chemiczne zależą będą generalnie od warunków zewnętrznych. W neutralnym roztworze zachodząca reakcja, jak opisano wyżej, będzie przebiegać następująco: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$, w roztworze o odczynie kwaśnym natomiast: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. Ponieważ mokre bądź wilgotne drewno ma zwykle odczyn kwaśny o wartości od 4 do 6, drugie równanie prawdopodobnie najlepiej opisuje początkowe reakcje na katodzie. Zużywa ono jony wodorowe (H^+)²⁸¹.

²⁸⁰ S.L. Zelinka, *Corrosion of Metals in Wood Products*, [w:] *Developments in Corrosion Protection*, M. Aliofkhaeaei (red.), 2014, s. 567-592.

²⁸¹ A.J. Baker, *Corrosion of Metal in Wood Products*, *Durability of Building Materials and Components – Proceedings of the First International Conference – A Symposium presented at Ottawa, Canada, 1978*, dostęp online: <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf1980/baker80a.pdf> (data dostępu: 2.01.2024 r.).

3.3. Profilaktyka konserwatorsko–restauratorska srebrzonych luster.

Profilaktyka konserwatorska srebrzonych luster w typie weneckim wiąże się z szeregiem działań podjętych w celu ich zachowania oraz eliminacji czynników wpływających na nie w sposób destrukcyjny. Konieczna jest w związku z tym znajomość budujących go materiałów oraz ich oddziaływania na siebie, a także ich korelacji z otoczeniem.

Warunkiem koniecznym jest zapewnienie zabytkom tego typu stabilnych warunków temperaturowo–wilgotnościowych, zarówno w magazynie jak i podczas ekspozycji oraz stałe monitorowanie ich kondycji. Zalecany zakres temperatur to 18-20°C, natomiast z uwagi na obecne w zwierciadłach szkło, wilgotność względna powinna być utrzymana na poziomie 40 +/- 2%. Niezmiennie parametry związane z temperaturą oraz wilgotnością względną, wyeliminują indukowanie oraz przyspieszanie zmian na poziomie zarówno fizycznym jak i chemicznym. Wartość wilgotności względnej dla drewna, mimo iż niższa od zalecanej (45-55%), jeśli będzie utrzymana na stabilnym poziomie, nie powinna w znaczącym stopniu wpłynąć na jego stan zachowania.

Istotną kwestią jest również wieszanie luster na ścianie, bezpieczeństwo obiektów wymaga bowiem izolacji bądź zdystansowania od niej obiektu. W przypadku omawianych w niniejszej dysertacji luster, w tym celu wykorzystano dystansowniki ceramiczne bądź korkowe. Dzięki nim nie dochodzi do ewentualnej kondensacji pary wodnej pomiędzy ścianą a drewnem. W przeciwnym razie, może dojść do rozwoju mikroorganizmów na odwrociu drewnianego podłoża, a także zniszczeń natury mechanicznej i chemicznej w przypadku okresowego zwiększania i zmniejszania się zawilgocenia ściany. W celu dodatkowej eliminacji omawianych zagrożeń, zaleca się wieszanie tego typu obiektów na ścianach wewnętrznych budynków, nie mających bezpośredniego kontaktu ze środowiskiem zewnętrznym.

Podjmując jakiegokolwiek działania związane z przenoszeniem zwierciadeł, przed przystąpieniem do tej czynności należy bezwzględnie sprawdzić stabilność zamontowanych do niej, szklanych elementów. Podczas przenoszenia konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności z uwagi na liczne drobne, szklane elementy wystające poza obręb drewnianej ramy. Przenoszenie zawsze powinno odbywać się w asyście przynajmniej dwóch osób dźwigających obiekt oraz jednej nadzorującej tę czynności i kontrolującej otoczenie. Obiekt należy chwycić stojąc wzdłuż dłuższych

boków lustra, od spodu, za drewniane podłoże. W żadnym wypadku nie należy podnosić obiektu chwytając za szklane elementy. Zalecane jest także stosowanie rękawiczek, tak aby nie zatłuścić powierzchni oraz nie uszkodzić farby znajdującej się na drewnie. W przypadku przenoszenia pojedynczych elementów szklanych, by zapobiec ewentualnemu wyslizgnięciu się szkła z dłoni, należy ściągnąć rękawiczki i umyć ręce. Nigdy nie należy stawiać zwierciadła bezpośrednio na którejkolwiek z krawędzi, gdyż może dojść do mechanicznego uszkodzenia szkła oraz otarcia farby i drewna. Należy stosować miękkie podkłady, na przykład w postaci grubszej pianki polietylenowej, jednak nawet wówczas należy zwrócić szczególną uwagę na wystające elementy szklane (najczęściej liście).

W przypadku elementów ruchomych, w żadnym wypadku nie należy ich ponownie montować do lustra stosując metalowe druty (patrz: fot. 77). Elementy zachowane w całości, należy umieścić pojedynczo w zamykanych, strunowych woreczkach polietylenowych umieszczając na nich etykietę z numerem inwentarzowym lustra. Detale rozbite, zdeintegrowane należy zabezpieczyć łącząc poszczególne fragmenty za pomocą bezbarwnej taśmy typu Scotch®, a następnie podobnie jak we wcześniej wspomnianym przypadku, przechowywać w odpowiednio opisanym, strunowym woreczku polietylenowym. Wstępne połączenie rozbitych fragmentów ma nie tylko zapobiec ich utracie, ale także zarysowaniu szkła o szkło podczas ich magazynowania.



Fot. 77. Przykład niewłaściwego zabezpieczenia ruchomych elementów szklanych za pomocą drutu, Muzeum Karkonoskie w Jeleniej Górze, fot. N. Moszak

Obiektu nie należy oczyszczać samodzielnie, należy zwrócić się w tym zakresie do konserwatora dzieł sztuki z zakresu konserwacji szkła, a czynności te powinno wykonywać się regularnie. Obiekt można jedynie odkurzyć z powierzchniowych zabrudzeń delikatnym podmuchem powietrza przy pomocy silikonowej „gruszki”.

Przewożenie tego typu obiektów powinno odbywać się tylko i wyłącznie w specjalnie przygotowanych dla nich skrzyniach o odpowiednich wymiarach. Ich podłoże należy wyłożyć pianką polietylenową o grubości co najmniej 1 centymetra i rozmiarach odpowiadających szerokości i długości jej dna. W dalszej kolejności, po umieszczeniu w niej zwierciadła, wszystkie wolne przestrzenie należy wypełnić cienką i grubą pianką polietylenową, w zależności od potrzeby, w taki sposób, aby żadne ze szkła nie miało bezpośredniego kontaktu ze ściankami skrzyni oraz aby zapewnić mu stabilizację i zapobiec ewentualnemu przesuwaniu się. Dodatkowo, każda z tafli lustra powinna być chroniona odpowiednio dociętą pianką polietylenową o rozmiarach i kształcie im odpowiadającym. Pomocnicze mogą okazać się również woreczki polietylenowe wypełnione powietrzem bądź folia bąbelkowa. W przypadku pakowania należy bezwzględnie unikać takich materiałów jak polistyren (styropian), w tym kulek polistyrenowych, drewna i wiór drewnianych, papieru czy słomy. Transport powinien odbywać się w pojazdach klimatyzowanych, a skrzynię należy unieruchomić. Konieczne jest unikanie wszelkiego pośpiechu, a poszczególne czynności powinny być zaplanowane.

3.4. Cel i metody badawcze srebrzonych luster.

Zaprojektowanie odpowiedniego programu badań dla zwierciadeł jest kluczowe w celu właściwej oceny ich stanu zachowania, określenia technik i technologii wykonania, zidentyfikowania materiałów, potwierdzenia proveniencji obiektu, pomaga również w doborze odpowiednich środków w procesie konserwacji i restauracji.

Postępowanie badawcze można podzielić na kilka kategorii:

- badania z zakresu historii i historii sztuki mające na celu określenie pochodzenia zwierciadła i osadzenie obiektu we właściwym kontekście historycznym
- badania stylistyczne i porównawcze pozwalające na potwierdzenie autentyczności, rozpoznanie charakteru obiektu, sposobu wykonania, technik i technologii produkcji
- badania materiałowe w celu dokładnej identyfikacji użytych materiałów, produktów korozji oraz właściwego doboru stosowanych technik konserwatorskich i restauratorskich, identyfikacji materiałów wtórnych.

W związku z nielicznym występowaniem tego typu obiektów w zbiorach polskich oraz znanymi przypadkami niewłaściwego określania ich proveniencji, istotne było właściwe zaprojektowanie procesu badawczego oraz wybór odpowiednich, możliwych do zastosowania technik badawczych. Współczesne metody badań fizyko-chemicznych dają możliwości, jakich nie było nigdy wcześniej. Podczas przeprowadzonej kwerendy, nie natrafiono na publikację podobnych badań w literaturze światowej. Były one istotne szczególnie w Polsce, umożliwiły bowiem potwierdzenie ich weneckiego pochodzenia oraz wykluczenie błędnie przypisywanej im proveniencji z hut sudeckich. Do zastosowanych metod badawczych należały:

- oględziny okiem nieuzbrojonym
- wykonanie inwentaryzacji pomiarowej
- kwerenda w archiwum Fundacji Giorgio Cini w Wenecji, gdzie zapoznano się z katalogami firm produkujących lustra w takim samym stylu z połowy XIX i początków XX wieku,
- wizyty studyjne w celu rozpoznania techniki i technologii wykonania, między innymi w firmie *Barbini Specchi Veneziani*, produkującej podobne lustra od II połowy XIX wieku na wyspie Murano

- zapoznania się z obiektami znajdującymi się w wybranych muzeach na terenie Polski i wykonanie ich dokumentacji fotograficznej
- badania instrumentalne:
 - za pomocą mikroskopu optycznego, wstępne, pozwalające określić stan zachowania obiektu, poznać strukturę nawarstwień i zabrudzeń, wyznaczyć punkty badawcze dla technik wymienionych poniżej oraz określić możliwość pobrania próbek do badań,
 - spektrometrem fluorescencji rentgenowskiej XRF: w celu identyfikacji metali (folie metalowe, wkręty, gwoździe, zawieszki, zabezpieczenia warstwy srebrzenia), wstępne, pozwalające określić skład chemiczny szkła i wyznaczyć dalszą drogę postępowania badawczego
 - spektrometria mas z jonizacją próbki w plazmie indukcyjnie sprzężonej po ablacji laserowej LA ICP MS w celu precyzyjnego określenia składu chemicznego szkła, identyfikacji czynników barwiących i rozpoznania technologii jego wytworzenia,
 - badania skaningowym mikroskopem elektronowym z mikrofluorescencją rentgenowską SEM EDS: określenie składu chemicznego szkła, identyfikacja produktów korozji warstwy metalicznej na szkle płaskim,
 - optyczna tomografia koherencyjna OCT uzupełnioną przez badania makro- i mikroskopowe tafli w celu określenia stanu zachowania srebrnej podlewki szklanych tafli oraz jej przyczepności do szklanego podłoża²⁸²,
 - rentgenowska dyfraktometria proszkowa (XRPD): w celu określenia przyczyn zniszczeń cyny, badanie próbek zdegradowanego materiału²⁸³,
 - badania mikro- i makroskopowe przekrojów poprzecznego, promieniowego oraz stycznego drewna, w celu identyfikacji drewna ramy lustra²⁸⁴.

Integracja metod badawczych jest konieczna ze względu na ograniczenia detekcji dla danych pierwiastków w kolejnych metodach badawczych. Niezwykle istotna jest interpretacja wyników badań, wymagająca szerokiej wiedzy na temat składów chemicznych dla poszczególnych rodzajów szkielek oraz technologii ich produkcji. Spośród

²⁸² Badania wykonano w ramach oferty MOLAB PL/FIXLAB PL polskiego Konsorcjum do Badań nad Dziedzictwem Kulturowym ERIHS.pl, autorzy badań: SEM EDS: dr Barbara Łydzba-Kopczyńska z Uniwersytetu Wrocławskiego, LA ICP MS: dr hab. Barbara Wagner z Uniwersytetu Warszawskiego, OCT: dr hab. Magdalena Iwanicka z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

²⁸³ współpraca z dr Markiem Weselskim (Uniwersytet Wrocławski oraz ASP Wrocław)

²⁸⁴ współpraca z mgr Barbarą Gmińską-Nowak (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)

analizowanych i poszukiwanych składników w szklach historycznych występują takie tlenki jak: SiO₂, Na₂O, K₂O, CaO, Al₂O₃, MgO, MnO, Fe₂O₃, P₂O₅, Sb₂O₃, ZnO, TiO₂, PbO, BaO oraz Cl²⁸⁵. Oznaczenie składu chemicznego dla danego szkła i wykazanie występowania danych związków chemicznych bądź ich brak, może wskazywać na użycie określonych surowców. Poszczególne składniki zestawu szklarskiego zmieniały się na przestrzeni wieków, w związku z czym, możliwe jest powiązanie składu chemicznego dla badanego obiektu z określonym okresem w dziejach, produkcją i jej technologią.

Obiekty poddane analizie datuje się na wiek XIX oraz przełom wieku XIX i XX. Czas ten to wspomniana próba odrodzenia sztuki szklarstwa na Murano oraz era powszechnej industrializacji produkcji i wymiany surowców. O ile wieki wcześniejsze charakteryzowały się w Europie jasnym podziałem w użyciu określonych rodzajów alkaliów, o tyle w wieku XIX i początkach XX, ten podział nie jest jednoznaczny. Próby przywrócenia rzemiosła pociągały za sobą racjonalizację kosztów produkcji, a także wprowadzanie nowych surowców.

Poczynając od końca XVII wieku i początku wieku XVIII, kompozycja surowców używanych w zestawie szklarskim przechodziła przemiany. Do zestawu wprowadzono bowiem arsenik i azotan potasu. Ponadto, weneccjanie wzorując się na szkłe czeskim, także produkowali w tym okresie szkło ołowiowo-potasowo-krzemianowe. Jako źródło krzemionki szeroko stosowano wówczas między innymi piasek z Puli, stopniowo zastępowany od 1887 roku przez oczyszczony piasek znany jako *Fontainebleau* (Francja i Belgia). W użyciu nadal była soda pochodząca z popiołów roślin halofitowych, podobnie jak natron importowany na Murano z Egiptu, który pozostawał w użyciu do początku XX wieku. Nie bez znaczenia dla składu chemicznego było także użycie stłuczki szklanej. Wiadomo, iż od początku XVIII wieku była ona importowana z Czech. W XIX wieku dokumenty wspominają o użyciu różnego rodzaju stłuczek (*crystallo, comune, al piombo, lattimo*)²⁸⁶.

Z drugiej strony, w 1856 roku, do użycia weszła soda otrzymywana metodą przemysłową stopniowo zastępując wymienione wcześniej źródła. W składzie chemicznym odznacza się to brakiem obecności lub śladowymi ilościami takich

²⁸⁵ J. Kunicki-Goldfinger, E. Pańczyk, *Badania historycznych szkieł przy użyciu metod jądrowych*, [w:] Postępy techniki jądrowej. Jubileusz 60-lecia Międzynarodowej Agencji Energii Jądrowej, vol. 59, z. 4, 2016, s. 30-33.

²⁸⁶ M. Verità, S. Zecchin, *Raw materials and glassmaking technology in nineteenth-century Murano glassworks*, [w:] Study Days on Venetian Glass the Birth of the Great Museum: the Glassworks Collections between the Renaissance and the Revival, 2016, s. 45-56.

pierwiastków jak chlor oraz tlenek fosforu. Ponadto, w porównaniu do składu chemicznego szkieł, w których jako źródła alkaliów wykorzystywano popiół, skład ten jest wolny od zanieczyszczeń, udział poszczególnych tlenków jest mniejszy, a skład bardziej jednorodny.

Wymienione powyżej czynniki należy wziąć pod uwagę interpretując wyniki poszczególnych badań.

Badanie spektrometrem fluorescencji rentgenowskiej XRF, ma dużą przewagę nad pozostałymi z uwagi na jego nieinwazyjność i brak konieczności pobierania próbek, przez co umożliwia zbadanie wielu miejsc w obiekcie zabytkowym. Daje wyniki jakościowe i ilościowe, tj. identyfikuje obecność lub brak poszczególnych pierwiastków. Jej wadą jest natomiast słaba wykrywalność metali lekkich do sodu łącznie, w związku z czym, w przypadku badania składu chemicznego szkła, wymaga posiłkowania się innymi metodami²⁸⁷.

SEM-EDS to metoda badawcza wykorzystywana w badaniach materiałowych do obserwacji, analizy i charakterystyki powierzchni oraz warstwy wierzchniej badanych obiektów/materiałów, w tym głównie morfologii i składu pierwiastkowego. W celu uzyskania miarodajnych wyników, próbki powinny być zatopione w żywicy, a następnie należy przygotować naszlify. Dzięki temu możliwe jest zbadanie składu szkła z przekroju, unikając tym samym ewentualnych przekłamań w wynikach spowodowanych potencjalnymi zmianami korozyjnymi na jego powierzchni. Metoda ta pozwala na przeprowadzenie mikroanalizy ilościowej i ilościowej w szkłe dla pierwiastków lżejszych niż sód przy koncentracji wyższej niż 0,1 wag. %²⁸⁸. Oznaczenia składu pierwiastkowego badanych próbek przedstawia się w postaci zawartości poszczególnych tlenków w szkłe o zdefiniowanym składzie chemicznym²⁸⁹. W przypadku lusterek poddanych konserwacji i restauracji, do badań przekazano osiem próbek, po cztery dla każdego zwierciadła. Pochodziły one z elementów dekoracyjnych zwierciadeł (dla MJG 36s oznaczone jako: L106 - szkło barwione grysem niebieskim, L120, L151 - szkło niebarwione, dla MJG 1245Ps oznaczone jako: 6K - szkło barwione grysem różowym, L12 - szkło niebarwione) oraz z tafli (MJG 36s: S7 - tafla srebrzona

²⁸⁷ specyfikacja XRF Tracer 5: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/elemental-analyzers/handheld-xrf-spectrometers/TRACER-5.html> (dostęp: 24.06.2023 r.).

²⁸⁸B. Wagner *et al.*, *Complementary Analysis of Historical Glass by Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy.*, [w:] *Microchim Acta* 162, 2008.

²⁸⁹ B. Wagner *et al.*, *Critical assessment of the elemental composition of Corning archaeological reference glasses by LA-ICP-MS.*, [w:] *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011.

zabezpieczona farbą z minią ołowiową, MJG 1245Ps: S2 - tafla srebrzona zabezpieczona farbą z pigmentem żelazowym, S4 - tafla srebrzona zabezpieczona lakierem).

W celu ustalenia składu chemicznego szkła, który był kluczowy dla potwierdzenia ich pochodzenia, obok badań spektrometrem XRF oraz mikroskopem skaningowym SEM EDS, zaplanowano dla nich także uzupełniające badania metodą LA ICP MS. Jest to technika zarówno jakościowa jak i ilościowa. Metoda charakteryzuje się wysoką czułością i niskimi granicami wykrywalności dla większości pierwiastków układu okresowego i dlatego jest szeroko wykorzystywana do oznaczeń pierwiastków głównych i śladowych w próbkach stałych. Najlepsze rezultaty uzyskano wykorzystując skanowanie liniowe dla poszczególnych próbek w porównaniu do pomiarów punktowych²⁹⁰. Wiarygodność oznaczeń składu pierwiastkowego badanych próbek można oszacować na podstawie uzyskanych zawartości tlenków w szkłe o zdefiniowanym składzie chemicznym (Corning CMG A, B, C, D)²⁹¹. Porównanie uzyskanych wyników wartości średnich (z 3 miejsc pomiarowych dla każdej próbki) oraz względnych odchyień standardowych (RSD, %) z danymi literaturowymi niesie informacje o dokładności oznaczeń metodą LA-ICP-MS. Do badań przekazano osiem próbek szkła z elementów dekoracyjnych lusterek, pochodzących z tych samych szkieł co w przypadku badań SEM-EDS (dodatkowo dla MJG 36s: T8 - szkło niebarwione, dla MJG 1245Ps: T1, T9, 7K - szkło niebarwione). Próbki do badań o wielkości od 0,2 do 0,8 mm, pobrano z elementów dekoracyjnych zachowanych w szczątkowej formie. Badanie z użyciem LA ICP MS jest metodą powodująca mikrouszkodzenie próbki, nie widoczne dla ludzkiego oka²⁹². Specyfikacja dotycząca sprzętu użytego do badań, znajduje się w raportach badawczych załączonych w aneksie do niniejszej dysertacji.

Zestawienie wyników obu metod badawczych (SEM EDS i LA ICP MS), jest w tym przypadku trudne z uwagi na zastosowanie różnych powiększeń podczas badań SEM EDS. Niemniej jednak wyniki otrzymane w obu metodach są spójne i wskazują na zastosowanie technologii produkcji charakterystycznej dla II poł. XIX oraz początków XX wieku.

²⁹⁰ B. Wagner *et al.*, *Complementary Analysis of Historical Glass by Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*, [w:] *Microchim Acta* 162, 2008.

²⁹¹ M. Szklarek, *Mikroskopia chemiczna i analityczne techniki wielowymiarowe oraz sprzężone*, 2019, s. 60.

²⁹² B. Wagner, O. Syta, M. Sawicki, *A moderate microsampling in Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry analysis of cultural heritage objects: a review*, [w:] *Lasers in the Conservation of Artworks XI, Proceedings of the International Conference LACONA XI, Kraków, Poland, 20-30 September 2016*, P. Targowski, M. Walczak, P. Pouli (eds.), NCU Press, Toruń 2017, doi: 10.12775/3875-4, s. 155-178.

Przedstawione wyżej badania pozwoliły ustalić dla obu lusterek rodzaj szkła jako szkło krzemianowo - sodowe. W tabeli nr 2 zastawiono najważniejsze tlenki dla szkieł pochodzących z MJG 36s (liść niebieski L_106 oraz liść niebarwiony L_151) zidentyfikowanych za pomocą metody LA ICP MS.

Tabela 2. Skład pierwiastkowy dla szkieł zwierciadła MJG 36s (na podstawie badań metodą LA ICP MS)

| Oznaczany pierwiastek | Liść niebieski L_106 | Liść niebarwiony L_151 |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|
| SiO ₂ | 72,9 ± 0,4 | 75,7 ± 0,29 |
| Na ₂ O | 14,8 ± 0,0(3) | 15,1 ± 0,1 |
| K ₂ O | 2,13 ± 0,03 | 2,00 ± 0,02 |
| CaO | 5,46 ± 0,22 | 4,92 ± 0,10 |
| As ₂ O ₅ | 1,38 ± 0,06 | 1,39 ± 0,05 |
| MnO | 0,148 ± 0,002 | 0,167 ± 0,00 |
| Sb ₂ O ₅ | 0,221 ± 0,003 | 0,189 ± 0,00398 |
| PbO | 0,0482 ± 0,0003 | 0,0912 ± 0,0064 |
| P ₂ O ₅ | 0,0641 ± 0,0042 | < G.W. |
| Fe ₂ O ₃ | 0,0523 ± 0,0034 | 0,039 ± 0,002 |
| CuO | 2,10 ± 0,09 | |

Tabela 3. Skład pierwiastkowy dla szkieł zwierciadła MJG 1245Ps (na podstawie badań metodą LA ICP MS)

| Oznaczany pierwiastek | Taśma T1 | Taśma T9 |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| SiO ₂ | 73,2 ± 0,2 | 72,1 ± 0,5 |
| Na ₂ O | 12,2 ± 0,0(3) | 14,2 ± 0,4 |
| K ₂ O | 1,11 ± 0,01 | 1,21 ± 0,01 |
| CaO | 6,15 ± 0,09 | 6,22 ± 0,04 |
| As ₂ O ₅ | 1,54 ± 0,05 | 1,07 ± 0,01 |
| MnO | 0,135 ± 0,001 | 0,137 ± 0,00170 |
| Sb ₂ O ₅ | 0,0578 ± 0,0025 | 0,0569 ± 0,0008 |
| PbO | 0,632 ± 0,054 | 0,0583 ± 0,0005 |
| P ₂ O ₅ | < G.W. | < G.W. |
| Fe ₂ O ₃ | 0,182 ± 0,011 | 0,067 ± 0,00048 |

W każdej z przebadanych próbek występował arsen oraz w mniejszej ilości mangan, surowce służące do odbarwiania masy szkła, co koresponduje ze składem szkła stosowanym już w I poł. XIX wieku w Wenecji. Arsen wymieniony jest we wspomnianym recepturze z 1847 roku (patrz s. 68). Z kolei mała ilość zanieczyszczeń, śladowe bądź będące poza granicą wykrywalności ilości tlenku fosforu P₂O₅, mogą wskazywać na zastosowanie w składzie surowcowym industrialnej sody dostępnej i coraz powszechnej stosowanej od II poł. XIX wieku.

Próbki barwione grysem niebieskim zawierały w swym składzie tlenek miedzi jako czynnik barwiący, natomiast dla szkieł zabarwionych grysem różowym wykazanie tlenku barwiącego okazało się trudniejsze z uwagi na niejednorodność próbki.

MJG 365 S7 TAFLA(1)

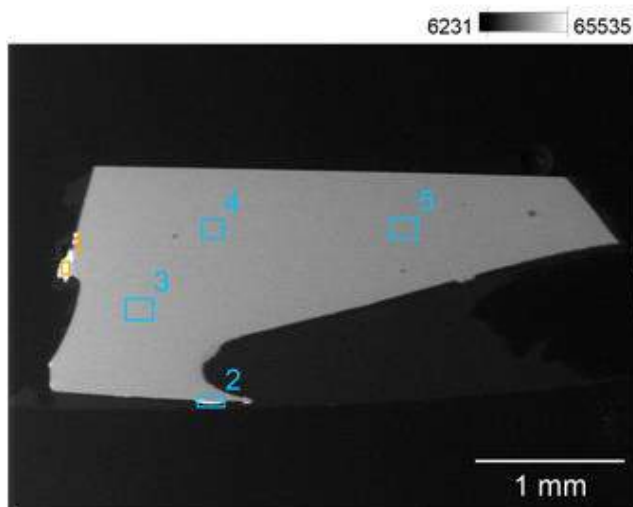


Image Name: MJG 365 S7 TAFLA(1)

Accelerating Voltage: 30.0 kV

Magnification: 30

Tabela 4. Wyniki badań składu pierwiastkowego dla tafli szkła zwierciadła MJG 36s (badania metodą SEM EDS, wyniki uśrednione dla trzech punktów pomiarowych: 3, 4, 5)

| Oznaczany pierwiastek | Tafla_S7 |
|--------------------------------|----------|
| SiO ₂ | 72,67 |
| Na ₂ O | 16,83 |
| K ₂ O | 0,18 |
| CaO | 8,7 |
| Al ₂ O ₃ | 0,57 |
| MnO | 0,05 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,32 |

MJG 1245 Ps TAFLA S2(1)

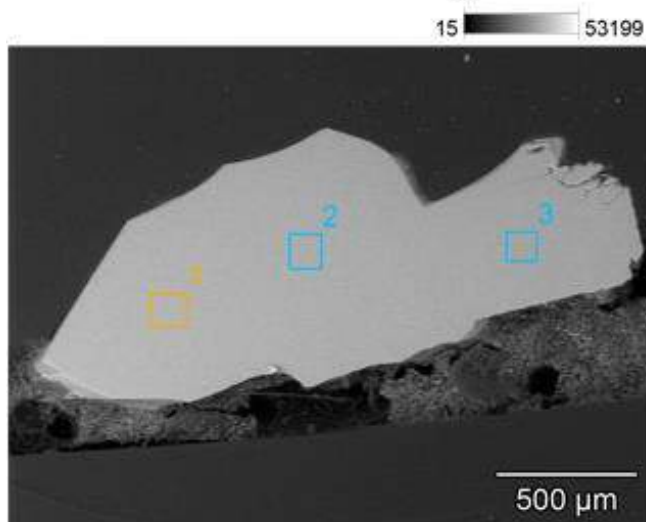


Image Name: MJG 1245 Ps TAFLA S2(1)

Accelerating Voltage: 30.0 kV

Magnification: 55

Tabela 5. Wyniki badań składu pierwiastkowego dla tafli szkła MJG 1245Ps (badania metodą SEM EDS, wyniki uśrednione dla trzech punktów pomiarowych: 1, 2, 3)

| Oznaczany pierwiastek | Tafla_S2 MJG 1245Ps (wt%) |
|--------------------------------|---------------------------|
| SiO ₂ | 69,96 |
| Na ₂ O | 14,36 |
| K ₂ O | 0,18 |
| CaO | 13,64 |
| Al ₂ O ₃ | 0,93 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,24 |

Dla zobrazowania stanu zachowania srebrnej podlewki niezwykle pomocna okazała się optyczna tomografia koherencyjna OCT uzupełniona o badania mikroskopowe. Jest to technika nieinwazyjna i bezkontaktowa, w której odległość aparatury badawczej od obiektu jest stosunkowo duża. Ma ona zastosowanie dla badań warstw półprzezroczystych lub przezroczystych, przepuszczających światło i częściowo przezroczystych dla promieniowania świetlnego z zakresu bliskiej podczerwieni. Otrzymuje się w niej obrazy w postaci przekrojów stratygraficznych (tomogramy)²⁹³. Używa się w niej światła o małej intensywności, w związku z czym jest ono nieszkodliwe dla większości typów obiektów zabytkowych. Wykorzystuje się ją do badania struktury wewnętrznej obiektów warstwowych. Informacja o jego budowie wewnętrznej, generowana jest poprzez interferencję pomiędzy światłem odbitym i/lub rozproszonym przez wewnętrzne struktury go budujące, a wiązką odniesienia. Wąska wiązka światła podczerwonego wnika w obiekt i ulega rozproszeniu napotykając w nim kolejne warstwy. Następnie poddaje się ją interferencji w interferometrze Michelsona i na podstawie wykrytego sygnału rekonstruowana jest struktura obiektu wzdłuż wiązki. Procedurę tę powtarza się linia po linii dla badanego przekroju w celu uzyskania informacji o kolejności, ciągłości i grubości warstw przypowierzchniowych. Tomogramy OCT uzyskuje się w fałszywej skali kolorów. Obszary, które pozostają w obrazie czarne są idealnie przezroczyste lub pozostają poza zasięgiem penetracji. Miejsca niskiego rozpraszania pokazane są kolorem niebieskim, natomiast te wysokiego - ciepłymi barwami (od zielonego do czerwonego). Osady i pęknięcia powierzchniowe silnie rozpraszają światło i są dobrze widoczne w kolorze zielonym. OCT z powodzeniem używane było dotychczas w badaniu zabytkowych szkieł. Szkło jest w większości

²⁹³ P. Targowski, M. Kowalska, M. Sylwestrzak, M. Iwanicka, *OCT for Examination of Cultural Heritage Objects*, [w:] *Optical Coherence Tomography and Its Non-medical Applications*, M.R. Wang (red.), 2020, dostęp online: <https://www.intechopen.com/chapters/68201>, data dostępu: 02.01.2024 r.).

przypadków materiałem przezroczystym, przepuszczającym światło, dzięki czemu możliwe było między innymi zobrazowanie warstwy żelu krzemionkowego powstałego na szkłe w wyniku procesów korozyjnych²⁹⁴. Technika ta służy również w monitorowaniu przeprowadzanych procesów konserwatorsko–restauratorskich²⁹⁵. Autorka niniejszej dysertacji nie natrafiła na podobny przykład wykorzystania opisanej techniki w odniesieniu do luster, w związku z tym można przypuszczać, iż badania wykonane na zwierciadłach z Muzeum Karkonoskiego są pierwszego tego typu.

W przypadku tafli z warstwą metaliczną oraz zabezpieczeniem, OCT pozwala zlokalizować oraz określić zasięg odspojień srebra od powierzchni szkła na różnym etapie powstawania. Dodatkowo, zobrazowano profil powierzchni dla tafli, w których zastosowano dekorację grawerską. Szczegółowy raport z badań z wykorzystaniem wyżej opisanej techniki znajduje się w aneksie IV do niniejszej pracy.

²⁹⁴ P. Targowski, M. Iwanicka, Optical Coherence Tomography: its role in non-invasive structural examination and conservation of cultural heritage objects – a review, [w:] *Applied Physics A*, 106, 2012, s. 265-276.

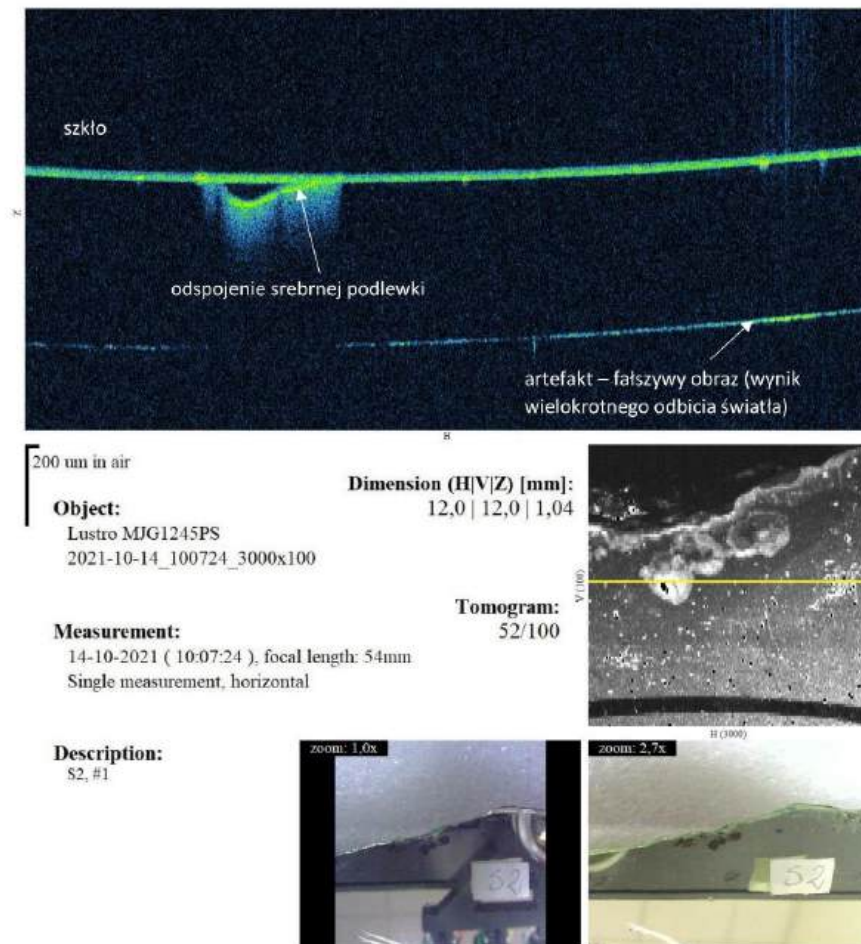
²⁹⁵ M. Iwanicka, J. Musiela, J.W. Łukaszewicz, H. Stoksik, M. Sylwestrzak, *The Potential of OCT for Assessing Laser Assisted Removal of Deposits from Ceramic Tiles*, [w:] *Lasers in the Conservation of Artworks XI, Proceedings of the International Conference LACONA XI*, Kraków, Poland, 20-30 September 2016, P. Targowski, M. Walczak, P. Pouli (eds.), NCU Press, Toruń 2017, doi: 10.12775/3875-4, s. 155-178.

Tafla S2:



Fot. 78. Lokalizacja punktów badawczych tafli S2 dla MJG 1245Ps

S2, #1



Fot. 79. Wyniki badania techniką OCT ilustrujące miejsce odspojenia srebrnej podlewki, oprac.: M. Iwanicka

3.5. Konserwacja i restauracja lusterek srebrzonych w typie XIX-wiecznych lusterek weneckich.

Konserwacja i restauracja lusterek srebrzonych w typie omawianych w niniejszej dysertacji, wymaga rozległej wiedzy z dziedziny konserwacji i restauracji szkła, metalu i drewna. O ile drewno i metal są w Polsce stosunkowo dobrze rozpoznany wśród specjalistów materiałami, o tyle szkło i jego degradacja, a także metodyka jego konserwacji i restauracji, jest obszarem mało eksplorowanym. Literatura w tej dziedzinie jest w większości obcojęzyczna. W związku z tym, niniejsza część dysertacji, poświęcona zostanie głównie zagadnieniom związanym z konserwacją i restauracją szkła, a w szczególności zabiegom i środkom stosowanym w odniesieniu do omawianych zwierciadeł. W celu uzyskania przejrzystości pracy, a także z uwagi na jej charakter, będący studium przypadku, nie podano wszystkich przepisów, środków i metod stosowanych w obszarze konserwacji i restauracji szkła zabytkowego i nowoczesnego. Podobnie kwestie związane z zabiegami dotyczącymi konserwacji i restauracji drewna i metalu omówiono zachowując pewien stopień ogólności.

W większości przypadków, XIX-wieczne lustra w typie weneckich, zalegają w muzealnych magazynach i by powstrzymać ich dalszą degradację, wymagają natychmiastowej ingerencji specjalistów wykwalifikowanych w dziedzinie konserwacji i restauracji szkła. Rzadkie przypadki znajdujące się na ekspozycji, poddawane były pracom restauratorskim i rekonstrukcyjnym, niestety zwykle z brakiem poszanowania dla oryginalnej tkanki obiektu. Prace te prowadzone były przez rzemieślników rekonstruujących poszczególne elementy lusterek i wymieniających zniszczone szkła na nowe. O ile pozwoliły one ocalić ich walory estetyczne, to doprowadziły do bezpowrotnej utraty pierwotnej materii dzieł weneckich rzemieślników. Jest to podejście nadal często spotykane w odniesieniu do szklanego rzemiosła w Polsce. Muzea bardzo rzadko zatrudniają specjalistów konserwacji i restauracji szkła i zwykle nie posiadają pracowni specjalizującej się w tym zakresie. Poza drobnymi wyjątkami, brakuje także przykładów konserwacji i restauracji lusterek²⁹⁶. W większości są one silnie zabrudzone, występują liczne braki dekoracyjnych elementów szklanych, pęknięte bądź ruchome elementy wielokrotnie w ramach działań ratowniczych mocowano do zwierciadeł za pomocą

²⁹⁶ Przykład stanowią dwa zwierciadła z Muzeum Zamkowego w Pszczynie, gdzie przeprowadzono konserwację z częściową restauracją oraz dwa lustra z Muzeum Narodowego we Wrocławiu.

drutów, ponadto w jednym przypadku, zamiast podkładu z folii cynowej, zastosowano srebrną farbę, malując powierzchnię drewna (patrz: fot. 80).



Fot. 80. Widoczne przemalowania drewnianej ramy zastępujące powszechnie stosowaną w lustrach tego typu, folię cynową, zwierciadło pochodzące z Muzeum Narodowego w Warszawie, fot. N. Moszak

Przed przystąpieniem do konserwacji i restauracji obiektów tego typu, tak jak zostało to zasygnalizowane w poprzednim rozdziale, konieczna jest szczegółowa analiza ich stanu zachowania, identyfikacja techniki wykonania, przeprowadzenie badań z zakresu historii i historii sztuki, działań związanych z inwentaryzacją oraz szczegółową dokumentacją fotograficzną i rysunkową.

Konserwacja i restauracja dwóch XIX-wiecznych luster weneckich pochodzących z Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze, została przez autorkę niniejszej rozprawy przeprowadzona w latach 2020-2023 i jest ona dokonaniem artystycznym stanowiącym bezpośrednią inspirację do powstania niniejszej dysertacji.

Przystępując do konserwacji i restauracji luster, należy wziąć pod uwagę czynniki niszczące, omówione we wcześniejszych rozdziałach. Mają one charakter zniszczeń fizycznych, mechanicznych, chemicznych i biologicznych. Ponadto ich stan zachowania wynika z niewłaściwego przechowywania, użytkowania, a także błędów technologicznych i technicznych związanych z powstaniem obiektu.

Przeprowadzane zabiegi konserwatorskie i restauratorskie przy lustrach można podzielić na techniczne, związane ze stabilizacją obiektu i zahamowaniem dalszych

procesów niszczących. Należą do nich między innymi dezynfekcja i dezynsekcja drewnianego podłoża, prace związane z jego konstrukcją i wzmocnieniem struktury, stabilizacja metalowych elementów montażowych, ewentualnie wymiana zniszczonych, o strukturze niezapewniającej właściwego utrzymania części szklanych, oczyszczanie poszczególnych elementów, zabezpieczenie korozyjne metali, w tym także warstwy metalicznej tafli szkła. Ponadto zabiegi mające na celu integrację rozbitych detali szklanych, do których należy klejenie szkła. Czynności mające na celu przywrócenie właściwości estetycznych omawianych obiektów to między innymi uzupełnianie ubytków drewna i szkła, opracowanie uzupełnień i ich scalenie kolorystyczne, uzupełnienie zdegradowanej folii cynowej.

Środki stosowane w konserwacji i restauracji zwierciadeł, można podzielić na tradycyjne oraz nowoczesne. Poprzez „tradycyjne” rozumie się w przypadku uzupełnień drewna, zastosowanie materiałów takich jak balsa, wióry drewna itp. W przypadku uzupełnień i rekonstrukcji szkła, jest to szkło, podczas gdy nowoczesnym, syntetycznym materiałem jest w tym przypadku, żywica epoksydowa i żywica akrylowa. Z kolei w uzupełnieniach drewna, szpachla do drewna z wiórami o różnej gradacji lub akrylowa sprawdzona w postępowaniach konserwatorskich i restauratorskich o umiarkowanej sile klejenia i posiadającej niewielki skurcz. O wyborze właściwych środków oraz metod decydują różne względy, między innymi stan zachowania obiektu, rozległość uzupełnień i rekonstrukcji, a także wiążące się z tym koszty. Często poszczególne metody stosowane są wymiennie lub obok siebie.

Ponadto, etyka konserwatorska, zakłada takie zastosowanie i połączenie poszczególnych materiałów, aby zapewnić im trwanie i zminimalizować ich wzajemny, negatywny wpływ. Wiąże się to między innymi z zastosowaniem warstw izolujących i zabezpieczających.

3.6. Wdrożenie procedur konserwatorsko–restauratorskich i ich zastosowanie na przykładzie zwierciadeł o numerach inwentarzowych MJG 36s oraz MJG 1245Ps, będących własnością Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze.

Jak wspomniano, celem nadrzędnym niniejszej dysertacji oraz przeprowadzonej konserwacji i restauracji dwóch lusterek, wykonanych w technice srebrzenia szklanych tafli w stylu charakterystycznym dla sztuki II połowy XIX wieku w Wenecji, było oprócz zahamowania ich dalszej destrukcji i przywrócenia walorów estetycznych, wprowadzenie standaryzacji, mającej na celu właściwe rozpoznanie zabytków tego typu i zaprojektowanie postępowania mającego na celu zachowanie ich w zbiorach polskich muzeów. Standaryzacja wiąże się z wprowadzeniem jednolitych norm dla danego obszaru działań i zostanie omówiona w rozdziale pt. *Opracowanie standaryzacji właściwego rozpoznania techniki wykonania lusterek oraz propedeutyka ich konserwacji i restauracji.*

Wybór właściwych dla tego postępowania obiektów, wiązał się z wizytą w magazynie Muzeum Karkonoskiego i wytypowaniem spośród jego zbiorów, dwóch zwierciadeł. Liczba ta dawała możliwość ich porównania podczas prac pod względem techniki wykonania oraz stanu zachowania. Po przetransportowaniu właściwie zabezpieczonych obiektów do Pracowni Konserwacji i Restauracji Szkła w Katedrze Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu, przystąpiono do wykonania szczegółowej dokumentacji fotograficznej. Wykonano fotografie lica zwierciadeł, jak i poszczególnych ich detali, w świetle rozproszonym, na białym oraz szarym tle, zgodnie z kanonami fotografii dokumentacyjnej. Z uwagi na budowę dzieł oraz dużą ilość elementów ruchomych, odwrocie lusterek fotografowano dopiero po demontażu szklanych elementów z lica.

Wykonano rozległe badania historyczne, z zakresu ikonografii oraz badania porównawcze. W celu zapoznania się z techniką wykonania, odbyto wizytę studyjną w firmie *Barbini Specchi Veneziani* produkującej podobne lustera od II połowy XIX wieku na wyspie Murano. Dodatkowo przeprowadzono kwerendę w archiwum Fundacji Giorgio Cini w Wenecji, gdzie zapoznano się z katalogami firm produkujących lustera w Murano w XIX i na przełomie XIX i XX wieku oraz w omawianym stylu.

W pierwszym etapie prowadzono czynności inwentaryzacyjne, tj. pomiar ogólny obiektu (szerokość, wysokość, grubość drewnianej ramy lustra) oraz nadanie poszczególnym elementom szklanym kolejnych numerów i naniesieniu ich na zdjęcie.

Wykonano rysunki obiektów: inwentaryzacyjny, mapę zniszczeń oraz możliwy zakres rekonstrukcji szklanych kwiatów i liści (patrz: rys. 22, 23). Zaleca się wykonywanie rysunków wektorowych w programach graficznych typu Adobe Illustrator® lub Corel Draw®. Podstawową zaletą grafiki wektorowej jest możliwość skalowania obiektów bez utraty jakości rysunku.

Po ujawnieniu elementów ruchomych i ich zabezpieczeniu, przystąpiono do demontażu szklanych elementów zwierciadeł. Czynności te wykonywano biorąc pod uwagę sposób ich zamontowania, budowę oraz ułożenie względem siebie. W pierwszej kolejności zdemontowano osadzone za pomocą wkrętów ze szklanymi główkami, szklane



Fot. 81. Zwierciadło MJG 36s w trakcie demontażu poszczególnych szklanych elementów, fot. N. Moszak

kwiaty, następnie liście, taśmy, pręty, a na końcu poszczególne tafle szkła. Demontaż prowadzono od zewnętrznej strony lustra, ku jego wnętrzu (patrz: fot. 81). W przypadku obiektów o tak skomplikowanej strukturze, z poszczególnymi elementami nałożonymi jedno na drugie, ich rozbiór jest zwykle konieczny ze względu na możliwość wykonania poszczególnych zabiegów na każdym z nich. W przypadku demontażu wkrętów i gwoździ ze szklanymi główkami, konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności, tak aby wykręcając je, nie spowodować uszkodzeń natury mechanicznej, takich jak odpryski i wyszczerbienia szkła na krawędziach. Problem ten rozwiązano konstruując narzędzie pozwalające objąć główkę każdego wkrętu bez ryzyka powstania urazów²⁹⁷. Alternatywnie, w przypadku elementów mocno osadzonych w drewnie, możliwe jest także użycie metalowych szczypiec, których końce okleja się kilkoma warstwami taśmy papierowej, tak aby zminimalizować kontakt twardego metalu ze szkłem. Demontaż należy wykonywać z najwyższą uwagą i skupieniem.

Poszczególne szkła sfotografowano po demontażu w świetle przechodzącym oraz rozproszonym (patrz: fot. 82), tafle szklane w świetle rozproszonym. W przypadku każdego z elementów wykonano dokumentację fotograficzną zarówno lica jak i odwrocica.

²⁹⁷ opracowanie: dr Katarzyna Wantuch



Fot. 82. Zdemonstrowane szkła przed konserwacją i restauracją, światło rozproszone, zwierciadło MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Badania wstępne szkieł, obejmujące identyfikację obecności ewentualnych spoiw, uzupełnień bądź powłok pokrywających ich powierzchnię, a także określenie ich prawdopodobnego składu chemicznego, wykonuje się z wykorzystaniem zjawiska fluorescencji. Polega ono na świeceniu ciał

pod wpływem wzbudzenia zewnętrznym oświetleniem i w przypadku szkła, znika po przerwaniu naświetlania. Wykorzystuje się w niej światło ultrafioletowe o długości fali odpowiadającej zakresowi UV – B: 280-320 nm oraz UV – C: 180-280 nm. Fotony promieniowania są zdolne wywołać jonizację,

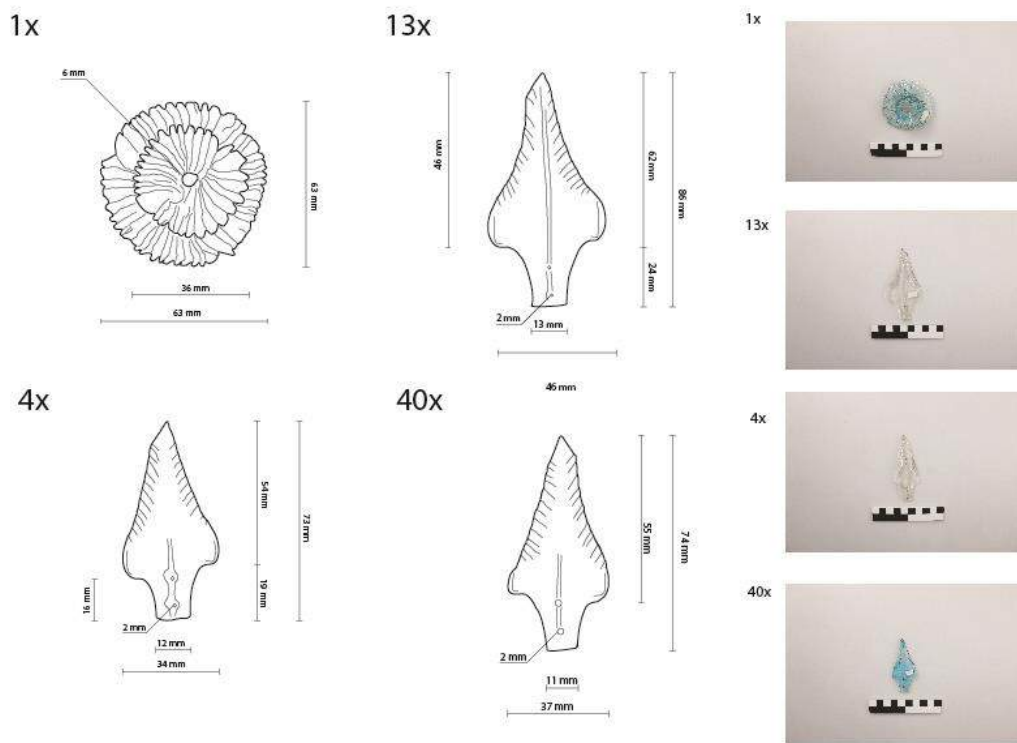


Fot. 83. Fluorescencja szklanej taśmy w świetle UV-B, obiekt MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

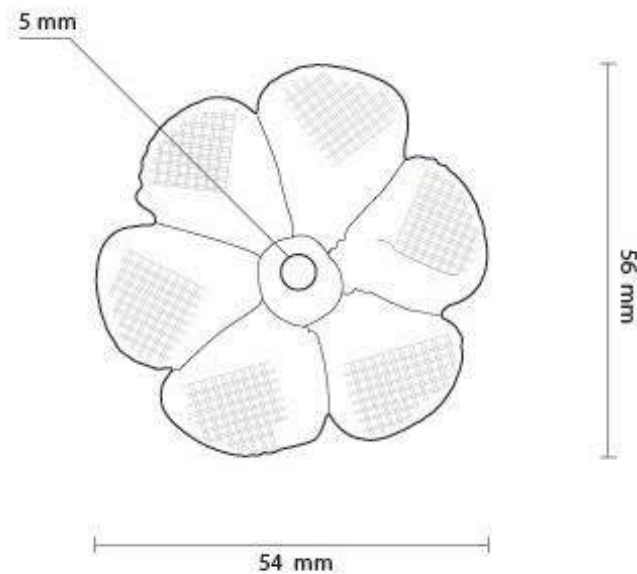
polegającą na wybiciu elektronów z atomów bądź cząsteczek. Podczas ich powrotu do niższego stanu energetycznego następuje emisja światła widzialnego. Rodzaj fluorescencji zależy od składu szkła, koncentracji poszczególnych pierwiastków i polega na subiektywnej ocenie wizualnej, w związku z czym badanie to należy traktować jako wyjściowe (patrz: fot. 83).

Po demontażu szkieł oraz wykonaniu dokumentacji fotograficznej, poszczególne elementy szklane zmierzono uwzględniając ich szerokość oraz wysokość w najbardziej

wysuniętych punktach. Pomiary wykonano nie tylko w celu dokumentacji, ale także pod kątem przyszłych rekonstrukcji (patrz rys: 20, 21).



Rysunek 20. Wymiarowanie poszczególnych elementów szklanych na potrzeby rekonstrukcji, MJG 36s



Rysunek 21. Rysunek wykonawczy uwzględniający poszczególne wymiary kwiatka, MJG 1245Ps

Kolejnym etapem prac konserwatorsko–restauratorskich było wykonanie badań za pomocą spektrometru fluorescencji rentgenowskiej XRF, w celu identyfikacji

położonych na drewnianej ramie, pozostałości folii. Na ich podstawie, w przypadku zwierciadła o numerze inwentarzowym MJG 36s, zidentyfikowano je jako folię cynową. W zwierciadle MJG 1245Ps ustalono występowanie, obok oryginalnej folii cynowej, także dwóch warstw folii aluminiowej, nałożonej wtórnie, prawdopodobnie podczas późniejszych renowacji i zdecydowano o jej usunięciu (patrz: fot. 84, badania aneks I).



Fot. 84. Warstwa folii aluminiowej nałożonej na oryginalną folię cynową, prawdopodobnie podczas późniejszych renowacji, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Tą techniką zidentyfikowano także montażowe elementy metalowe, tj. blaszkę z odwrocia ramy, wkręty, zawieszki oraz gwoździe.

Na tym etapie wykonano także wstępne badania składu chemicznego szkła²⁹⁸ za pomocą spektrometru fluorescencji rentgenowskiej XRF. Na tej podstawie zaprojektowano dalszy program badań. Poszczególne metody badawcze zostały omówione w rozdziale pt. *Cel i metody badawcze srebrzonych luster*.

W celu zachowania pozostałości oryginalnej folii cynowej, podjęto próbę jej konsolidacji, mającej na celu utrzymanie jej wewnętrznej spójności oraz reintegracji z podłożem drewnianym, wykorzystując spoiwo syntetyczne (patrz: fot. 85).



Fot. 85. Konsolidacja i reintegracja zachowanych fragmentów folii cynowej z drewnianym podłożem za pomocą 10% roztworu polialkoholu winylu, MJG 36s, fot. N. Moszak

²⁹⁸ po oczyszczeniu badanej powierzchni

Identyfikacja poszczególnych metali zwierciadeł, przeprowadzona przed zabiegami oczyszczania, pozwoliła na dobór właściwych oraz bezpiecznych metod i środków. Celem usuwania produktów korozji z ich powierzchni jest powstrzymanie dalszych procesów korozyjnych. Ponadto usunięcie nawarstwień ma istotny wpływ na skuteczność zabezpieczeń powłokami antykorozyjnymi, które ściślej przylegają do jego powierzchni. Zabieg ten poprawia także estetykę obiektu.

W przypadku folii cynowej, w miejscach zachowania jej większych fragmentów, w szczególności w przypadku lustra MJG 1245Ps, podjęto próbę oczyszczania chemicznego z czarnych tlenków, przy użyciu wodnego, 10% roztworu wodorotlenku sodu (NaOH), według wykonanych wcześniej prób. Środowisko alkaliczne nie wpływa destrukcyjnie na stopy cynowo – ołowiowe. Zasada działa powierzchniowo, powodując zewnętrzne rozpuszczenie produktów korozji²⁹⁹. Oczyszczanie powinno przeprowadzać się miejscowo, cały czas kontrolując proces i przerywając go poprzez neutralizację za pomocą wody



Fot. 86. Zwierciadło MJG 1245Ps, po zabiegu reintegracji i oczyszczania folii cynowej, fot. N. Moszak

destylowanej, a następnie odwodnienia rozpuszczalnikiem o wysokiej retencji (aceton). Zabiegi te należy przeprowadzać ze szczególną ostrożnością w przypadku oczyszczania folii cynowej, położonej bezpośrednio na porowatym podłożu, jakim jest drewno. Należy mieć na względzie niebezpieczeństwo wniknięcia substancji chemicznych w jego strukturę, mogących na nie oraz sąsiadujące z nim materiały, wpływać destrukcyjnie. W dalszej kolejności dodatkowo wygładzano pozostałości folii cynowej za pomocą kawałka bawełnianego materiału przez folię poliestrową (patrz: fot. 86).

Z uwagi na charakter powierzchni drewna na awersie (chropowatość, szorstkość), w obrębie półwałka (zwierciadło MJG 36s) oraz w zagłębieniach ram dla poszczególnych tafli i powłokę malarską obu luster na rewersie, ograniczono się do oczyszczania ich

²⁹⁹ J. Krause; *Sarkofagi cynowe. Problematyka technologiczna, warsztatowa i konserwatorska.*; Toruń 1995; s. 197.

wykorzystując metody mechaniczne. W miejscach bez zachowanej folii cynowej, zabiegi wykonywano przy użyciu pędzla o nylonowym włosiu i odkurzacza, którego wylot zabezpieczono kawałkiem tkaniny o przepuszczalnym, ale gęstym splocie. Oczyszczanie drewna o gładkiej powierzchni, niepokrytej farbą, prowadzono stosując połączenie metody fizycznej z chemiczną. Z uwagi na tłusty charakter zabrudzeń stosowano mieszaninę rozpuszczalnika polarnego (woda destylowana) oraz rozpuszczalnika alifatycznego (benzyna lakowa).

Na tym etapie prac, wykonano także zdjęcia awersu ram obu luster po etapie oczyszczania oraz zdjęto ich profile w celu dokumentacji.

W dalszej kolejności, z odwrocia ram zdemontowano deskę zabezpieczającą tafłę główną i przystąpiono do oczyszczenia felcu metodami mechanicznymi, za pomocą pędzli, przy użyciu odkurzacza z zabezpieczonym wlotem (patrz: fot. 87). W zamkniętej przestrzeni znajdującej się pomiędzy deską zabezpieczającą, a głównym zwierciadłem, w przypadku braku szczelności, dochodzi do kumulacji różnego rodzaju zanieczyszczeń, stanowiących potencjalne zagrożenie dla pokrywającej tafłę farby, a w związku z tym, także dla jej powłoki metalicznej. Zabiegi oczyszczania mają kluczowe znaczenie dla jej zachowania.



Fot. 87. Oczyszczanie wnętrza ramy zwierciadła MJG 36s, fot. K. Wantuch

W dalszym etapie prac, zabezpieczono drewno znajdujące się w pobliżu żelaznej blaszki w przypadku lustra MJG 36s oraz żelaznych zawieszek w przypadku zwierciadła MJG 1245Ps, w celu poddania ich zabiegom oczyszczającym z powierzchniowych produktów korozji według wykonanych wcześniej prób. Wykorzystano w tym celu metodę chemiczną, w połączeniu z mechaniczną. Stosowanie roztworów w postaci zasad, kwasów czy też soli rzadko prowadzi bowiem do całkowitego rozpuszczenia się nawarstwień, a raczej tylko do ich spulchnienia³⁰⁰. Następnie usuwa się je mechanicznie, na przykład za pomocą delikatnej włókniny ścierniej złożonej z ziaren elektrokorundowych zatopionych w podłożu z włókniny szlifierskiej. Nie zaleca się

³⁰⁰ A. Tomaszewska-Szewczyk, op. cit., s. 520.

stosowania szczotek drucianych zbudowanych z bardziej miękkiego metalu niż ten oczyszczany, ze względu na ryzyko osadzania się jego cząstek na czyszczonej powierzchni i ryzyko powstania zjawiska korozji galwanicznej.

Podobną metodę zastosowano w odniesieniu do oczyszczania z produktów korozji żelaznych wkrętów i gwoździ ze szklanymi główkami, z tym że w ich przypadku, zastosowano kąpiel w roztworze zasadowym według wykonanych wcześniej prób (patrz: fot. 88). Kluczową kwestią była w tym wypadku ochrona szkła oraz odpowiednie zobojętnienie powierzchni metalu po zabiegach, w przeciwnym razie może dojść do zjawiska korozji wtórnej.



Fot. 88. Oczyszczanie żelaznych wkrętów i gwoździ z nawarstwień korozyjnych za pomocą 10% wodnego roztworu NaOH, fot. N. Moszak

Żelazne gwoździe służące do montażu szklanych liści, oczyszczono z nawarstwień korozyjnych, łącząc metody fizyczne, chemiczne i mechaniczne poprzez kąpiel w myjce ultradźwiękowej, w odpowiednim roztworze oraz dalsze oczyszczanie matami ściernymi.

W doborze odpowiednich sposobów oczyszczania metali (okłady, kąpiele, ultradźwięki), istotną kwestią było bezpieczeństwo przeprowadzanych zabiegów, sąsiedztwo innych materiałów, ale także czas i skuteczność metody.

Elementy metalowe wymagają zabezpieczenia antykorozyjnego. Żelazo zabezpieczono powłokowo wykorzystując powłokę organiczną w postaci taniny. Jako koloid ujemny, dezaktywuje ona obecne na powierzchni metalu miejsca anodowe³⁰¹. Istotną cechą powłok służących do zabezpieczania metali jest ich szczelność oraz

³⁰¹ A. Tomaszewska-Szewczyk, op. cit., s. 529.

nieprzepuszczalność. Właściwości te posiada żywica akrylowa Paraloid B-44 (Rohm & Haas, USA) będąca kopolimerem metakrylanu metylu z akrylanem etylu.

Oczyszczanie szkła jest jednym z najistotniejszych etapów ich konserwacji i restauracji. To zabieg przygotowujący je do dalszych czynności, jakimi są klejenie, uzupełnianie oraz konsolidacja powierzchni. Obecne na niej depozyty mogą mieć różny charakter i zależą od historii obiektu, warunków jego przechowywania, ekspozycji i użytkowania. Celem tego zabiegu jest zahamowanie dalszych procesów destrukcji oraz przywrócenie obiektom walorów estetycznych. Istotnym, poprzedzającym zabiegami oczyszczania etapem, powinny być oględziny powierzchni szkła oraz obecnych na niej depozytów okiem uzbrojonym i nieuzbrojonym, wykonanie mikrofotografii, zdjęć w świetle UV, pobranie próbek zanieczyszczeń do badań. Istotne jest także określenie stanu zachowania powierzchni szkła pod kątem występowania ewentualnych zniszczeń korozyjnych. Obecność na niej żelu krzemionkowego, ewentualnych delaminacji lub wżerów determinuje dobór narzędzi, środków oraz technik oczyszczania szkła, a także ma wpływ na decyzję o przystąpieniu do tej czynności lub jej zaniechaniu. Istotny jest także sposób obróbki jego powierzchni lub też jej brak. Szkła formowane metodami hutniczymi, jak liście, taśmy oraz kwiaty posiadają w zewnętrznej warstwie „politurę ogniową”, powstająca na ich powierzchni po gorącej obróbce materiału. Jej odporność jest znacznie wyższa niż w przypadku szkieł, których powierzchnia poddawana jest obróbce technikami szlifierskimi. Czynności polegające na zdzieraniu zewnętrznej powłoki szkła, czynią ją bardziej podatną na działanie czynników zewnętrznych. Grawerowanie i szlifowanie pozostawia szorstką powierzchnię, która przyciąga szereg zanieczyszczeń, nawet jeśli była ona w dalszym etapie obróbki polerowana. Powierzchnia szkła nienaruszona w technikach bez użycia temperatury, jest znacznie bardziej odporna na działanie różnego rodzaju czynników zewnętrznych, posiada niejako barierę ochronną, jest gładka.

Przystępując do zabiegów oczyszczania, należy w pierwszej kolejności określić naturę znajdujących się na szkle zanieczyszczeń i stopień ich przyczepności do powierzchni. W przypadku zwierciadeł, na powierzchni szklanych liści, taśm i kwiatów zidentyfikowano silnie związany z nią kurz, zabrudzenia organiczne, mineralne oraz produkty korozji metalu, które zlokalizowane były w otworach montażowych. Powierzchnia w tych miejscach jest niejednorodna, pełna mikropęknięć i bruzd, a ich natura wynika z techniki i technologii produkcji poszczególnych elementów. Usuwanie

depozytów mocno związanych z powierzchnią szkła jest problematyczne, ponieważ użyty w procesie oczyszczania roztwór odpowiednio dobranych rozpuszczalników, może przyczynić się do jeszcze głębszej ich penetracji w obiekt i osadzania się ich w trudno dostępnych przestrzeniach, zaraz po jego odparowaniu. W związku z tym, kluczowe jest dostosowanie ilości zastosowanego roztworu, zarówno w celu zwilżenia, jak i rozpuszczenia zanieczyszczeń. Zwilżanie osadów, zwłaszcza pochodzenia mineralnego, ma na celu ich rozmiękczenie i ułatwienie dalszego usuwania metodami mechanicznymi. Rozpuszczenie ma przenieść je do roztworu, dzięki zastosowanemu rozpuszczalnikowi. Skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z obszarów o podobnym charakterze determinuje także użycie odpowiednich narzędzi pozwalających na skuteczne się ich pozbycie. W przypadku szkieł o powierzchni wolnej od zjawiska delaminacji, używa się patyczków bawełnianych, ponadto igieł o średnicy 0,25-0,4 mm lub patyczków bambusowych o cienko zakończonych końcach itp.

Wszelkiego rodzaju osiadające na powierzchni szkła zabrudzenia w stanie suchym, mogą powodować zniszczenia natury mechanicznej, jak na przykład zarysowania. W stanie mokrym, po połączeniu z wodą, mogą z kolei tworzyć różnego rodzaju roztwory atakujące szkło na poziomie chemicznym.

Metody oczyszczania szkła, podobnie jak w przypadku innych materiałów, możemy podzielić na mechaniczne, chemiczne i fizyczne. Można je stosować oddzielnie, jednakże wielokrotnie, dla skuteczności przeprowadzanych zabiegów, stosuje się ich połączenie. Należy mieć na uwadze, że wszystkie te sposoby są potencjalnie niebezpieczne. Stopień usunięcia znajdujących się na szkle depozytów, powinien być ustalany dla każdego z nich indywidualnie i uzależniony od stanu zachowania powierzchni. Metoda mechaniczna może być skuteczna i co najważniejsze, bezpieczna dla szkła w rękach świadomego i doświadczonego konserwatora i restauratora szkła. Techniki mechaniczne mogą bowiem spowodować zarysowanie powierzchni. W ich ramach używa się bowiem narzędzi takich jak skalpel, patyczki bambusowe, igły. Służą one złamaniu połączenia pomiędzy powierzchnią obiektu a zabrudzeniem. Kluczowy w bezpiecznym ich stosowaniu jest sposób użycia: odpowiedni kąt działania czy też siła nacisku. Narzędzia te powinno stosować się usuwając nawarstwienia równoległe do powierzchni szkła, pod minimalnym kątem. Ponadto należy określić jak silne jest połączenie pomiędzy powierzchnią szkła, a danym depozytem oraz dokonać oceny jego twardości. W przypadku zanieczyszczeń luźno związanych z powierzchnią szkła,

skuteczne może okazać się użycie podmuchu powietrza pod delikatnym ciśnieniem. Podobnie przydatne może być użycie odkurzacza z regulowaną siłą ssania oraz końcówką zabezpieczoną za pomocą siateczki bądź gazy. Należy unikać używania jakichkolwiek metod związanych z pocieraniem lub przecieraniem suchej powierzchni szkła, a także ścieraniem z niej depozytów takimi materiałami jak papier ścierny, wata stalowa, sztyft z włókna szklanego itp. Konieczne jest także unikanie ryzyka wytworzenia ciepła, przy stosowaniu wyżej wymienionych metod.

Generalnie zaleca się używanie połączenia metod mechanicznych z chemicznymi. Oczyszczanie powierzchni szkła powinno zawsze wykonywać się na mokro. Podstawowym roztworem stosowanym w omawianych zabiegach jest 50% roztwór alkoholu etylowego w wodzie destylowanej. Woda jest podstawowym rozpuszczalnikiem nieorganicznym. Stosowana we właściwy sposób podczas zabiegów konserwatorsko–restauratorskich, nie stanowi zagrożenia dla szkła³⁰². Używa się jej w formie destylowanej, pozbawionej soli mineralnych i zanieczyszczeń. Polarność cząsteczki wody oraz jej zdolność do tworzenia wiązania wodorowego, pozwala na rozpuszczanie substancji polarnych (np. sole). Alkohole są związkami organicznymi, zawierającymi jedną lub więcej grup hydroksylowych. Najczęściej stosowanym jest alkohol etylowy, którego wodny roztwór ma obojętne pH. Przyczynia się on do obniżenia napięcia powierzchniowego wody oraz powoduje jej szybsze odparowanie z powierzchni szkła.

W przypadku konieczności usunięcia produktów korozji metali (w przypadku zwierciadeł z muzeum jeleniogórskiego: żelaza), zdeponowanych na powierzchni szkła, zaleca się używanie słabych (ok 2-2,5%), wodnych roztworów kwasów organicznych, jak na przykład kwasu szczawowego bądź cytrynowego. Stosowanie kwasów organicznych do usuwania produktów korozji żelaza jest znane w literaturze przedmiotu³⁰³. Ich działanie opiera się na spulchnianiu, rozluźnianiu i częściowym rozpuszczaniu nawarstwień, które usuwane są następnie mechanicznie. Istotna jest każdorazowa neutralizacja powierzchni szkła. Wadami metody chemicznej jest brak możliwości precyzyjnego określenia penetracji danej substancji w głąb materiału oraz brak możliwości natychmiastowego zatrzymania reakcji. Jest to szczególnie niebezpieczne

³⁰² używając wody w kontakcie ze szkłem należy mieć także na uwadze fakt, iż jest ona jednocześnie najniebezpieczniejszym rozpuszczalnikiem jego sieci krzemianowej, patrz rozdział *Chemiczne czynniki destrukcji*;

³⁰³ J. Krause, *Badania nad oczyszczaniem żelaznych obiektów zabytkowych metodą chemiczną.*, [w:] Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo V. Nauki Humanistyczno – Społeczne., zeszyt 52, 1973, s. 117-134.

w przypadku stosowania substancji mogących wejść w reakcję ze składnikami szkła oraz trudno usuwalnymi detergentami, które nie są polecane do stosowania w zabiegach konserwatorsko–restauratorskich.

Opisane wyżej metody oczyszczania zastosowano do poszczególnych elementów luster. Łączono metody chemiczne w połączeniu z mechanicznymi (patrz: fot. 89).



Fot. 89. Detale szklane przed (po lewej) i po (po prawej) zabiegu oczyszczania, fot. N. Moszak

W dalszym etapie prac, przystąpiono do oczyszczania tafli szkła, pokrytych warstwą metaliczną i zabezpieczonych farbą. Ich powierzchnia pokryta była równomiernie zanieczyszczeniami, w postaci kurzu oraz tłuszczu, co spowodowało całkowitą utratę ich przejrzystości, w związku z czym, odbijająca warstwa srebra była niewidoczna. Celem zabiegu oczyszczania było zahamowanie dalszych procesów destrukcji tafli oraz przywrócenie szkła transparentności, a co za tym idzie także odsłonięcie jej warstwy metalicznej (patrz: fot. 90 i 91). Oczyszczania wymagały jednocześnie odwrócenia tafli, pokryte warstwami zabezpieczającymi. Oczyszczono je na sucho, za pomocą delikatnych pędzli nylonowych mając jednocześnie na uwadze miejsca odspojen warstw srebra i farby od powierzchni szkła.



Fot. 90. Srebrzona tafla szkła przed zabiegiem oczyszczania, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak



Fot. 91. Srebrzona tafla szkła po zabiegu oczyszczania, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Równoległe do prowadzonych zabiegów oczyszczania powierzchni wyznaczono miejsca pobrania próbek szkła do badań za pomocą mikroskopu elektronowego z mikrofluorescencją rentgenowską SEM EDS, zatopiono je w żywicy epoksydowej i wykonano naszlify. Badania te uzupełniono badaniami za pomocą spektrometrii mas z jonizacją próbki w plazmie indukcyjnie sprzężonej po ablacji laserowej LA ICP MS. Dodatkowo wyznaczono obszary do badań za pomocą koherencyjnej tomografii optycznej OCT w celu lepszego zidentyfikowania i zobrazowania miejsc odspojień warstwy metalicznej od szkła³⁰⁴. Wykonano zdjęcia mikroskopowe wybranych obszarów oraz pobrano próbki do badań, by zidentyfikować produkty korozji warstwy srebrzenia tafli. Poszczególne elementy luster po etapie oczyszczania udokumentowano za pomocą zdjęć w świetle przechodzącym i rozproszonym (patrz: fot. 92 i 93). Fotografia w świetle przechodzącym jest przydatnym narzędziem w celu dokumentacji i analizy materiałów

³⁰⁴ Badania wykonano w ramach oferty MOLAB PL/FIXLAB PL polskiego Konsorcjum do Badań nad Dziedzictwem Kulturowym ERIHS.pl, autorzy badań: SEM EDS: dr Barbara Łydzba-Kopczyńska z Uniwersytetu Wrocławskiego, LA ICP MS: dr hab. Barbara Wagner z Uniwersytetu Warszawskiego, OCT: dr hab. Magdalena Iwanicka z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

transparentnych, pozwalającą między innymi na ocenę koloru, jakości i rozkładu masy szkła, obecności pęcherzy gazowych, wtrąceń itp.



Fot. 92. Szklana woluta po zabiegach oczyszczenia, światło przechodzące, fot. N. Moszak



Fot. 93. Szklana woluta po zabiegach oczyszczenia, światło rozproszone, fot. N. Moszak

W dalszym etapie prac przystąpiono do klejenia drewna: drobnych elementów konstrukcyjnych na licu ramy, deski zabezpieczającej główną tafłę szkła w obiekcie MJG 36s. Klejono za pomocą kleju syntetycznego będącego emulsją na bazie polioctanu winylu, posiadającego odporność na działanie czynników zewnętrznych, między innymi światła (patrz: fot. 94).



Fot. 94. Klejenie drewna na licu ramy zwierciadła, MJG 36s, fot. N. Moszak

Drewniane ramy luster niejednokrotnie wymagają uzupełnień. W przypadku braku części podłoża, bądź też ubytków w miejscach spełniających rolę konstrukcyjną, należy rozważyć wykonanie uzupełnień w tożsamym materiale, wykorzystując odżywiczone drewno. Trzeba mieć jednak na uwadze fakt, iż nowe drewno będzie inaczej reagowało niż to zabytkowe, chociażby ze względu na inne wartości wilgotności bezwzględnej³⁰⁵. Stosując rekonstrukcje drewniane, należy zwrócić uwagę na odpowiednie dopasowanie przekrojów oraz rysunku drewna uzupełnień do oryginału. Kity stosowane w miejscach mniejszych ubytków ramy, powinny być wykonywane z materiałów trwałych i jednocześnie odwracalnych. Powinny one cechować się minimalnym skurczem. Uzupełnienia można wykonywać stosując między innymi kity akrylowe oraz kity na bazie trocin drzewnych nasyconych żywicami syntetycznymi. Kit akrylowy jest elastyczny, możliwe jest nakładanie go warstwami, jest także w pełni odwracalny. Miejsca pęknięć drewna, wąskie szczeliny można uzupełniać wykorzystując elastyczną i miękką balsę (patrz: fot. 95). Poleca się także stosowanie warstw izolujących poszczególne materiały, np. przeklejanie ich wodnym roztworem dyspersji akrylowej. Powierzchnię uzupełnień wygładza się za pomocą papierów ściernych o odpowiedniej gradacji i scala kolorystycznie za pomocą światło-trwałych farb akrylowych.



Fot. 95. Uzupełnianie miejsc pęknięć drewna za pomocą balsy, MJG 36s, fot. N. Moszak

We wszystkich tego typu obiektach, zaobserwowano degradację na poziomie 70-90 % znajdującej się na podłożu drewnianym, folii cynowej. Jej rekonstrukcja jest istotna z punktu widzenia przywrócenia walorów estetycznych zwierciadeł (jej rolę opisano we wcześniejszych



Fot. 96. Montaż izolującej folii poliestrowej, MJG 36s, fot. N. Moszak

³⁰⁵ stosunek wody zawartej w drewnie do masy drewna absolutnie suchego, wyrażona w g/g lub %

rozdziałach). W związku z tym, aby zapobiec szybkiej degradacji cyny, na skutek działania kwasów organicznych z drewna, zaleca się stosowanie warstwy izolacyjnej pomiędzy tymi dwoma materiałami, na przykład w postaci chemicznie obojętnej folii poliestrowej o grubości 50 μm (patrz: fot. 96).

Rekonstrukcję folii cynowej, zarówno w przypadku zwierciadła MJG 36s i MJG 1245Ps, wykonywano w tożsamym materiale (patrz: fot. 97). W przypadku mniejszych ubytków, do uzupełnień można użyć proszku cynowego, który w połączeniu ze spoiwem organicznym, np. białkiem jaja kurzego, nakłada się na powierzchnię ubytków, a następnie po wyschnięciu szlifuje i poleruje. Białko, z uwagi na dużą zawartość tłuszczu, po wyschnięciu daje film charakteryzujący się dużą elastycznością, wykazuje doskonałe właściwości mechaniczne, wysoką siłę klejenia i przyczepność do podłoża³⁰⁶.



Fot. 97. Dopasowywanie folii cynowej do ramy lustra, którą partiami klejono za pomocą spoiwa syntetycznego, żywicy akrylowej, Paraloid B-72, (Rohm & Haas, USA), fot. N. Moszak

Dodatkowo, aby ochronić folię cynową przed degradacją, zaleca się zastosowanie szczelnej ochrony powłokowej w postaci nieprzepuszczalnego dla czynników zewnętrznych, roztworu rozpuszczalnikowego żywicy akrylowej, Paraloidu B-44 (Rohm & Haas, USA), (patrz: fot. 98).

³⁰⁶ opisywaną metodę zastosowano podczas realizacji prac konserwatorsko–restauratorskich przy realizacji dyplomu mgr Weroniki Wiertel, pod kierunkiem dr Katarzyny Wantuch–Jarkiewicz (*Konserwacja i restauracja XIX-wiecznego lustra o numerze inwentarzowym MNWr II 808 ze zbiorów Muzeum Narodowego we Wrocławiu.*)



Fot. 98. Zabezpieczanie powierzchni folii cynowej za pomocą 10% roztworu żywicy akrylowej Paraloid B-44 (Rohm & Haas, USA), w 97%-owym dipropylenie glikolu monometylu eterze, fot. N. Moszak

Równoległe z pracami opisanymi powyżej, prowadzono działania związane z klejeniem i uzupełnieniami elementów szklanych: esownic, wolut, liści oraz kwiatów. Proces ten wymaga właściwego doboru żywic. W konserwacji i restauracji szkła zabytkowego używa się ich dwóch rodzajów: epoksydowych oraz akrylowych. Materiałom tym stawia się określone wymagania:

- powinny być w pełni odwracalne,
- nie powinny ingerować w oryginalną tkankę obiektu,
- być bezpieczne zarówno dla szkła jak i użytkownika,
- posiadać zbliżony do szkła, współczynnik odbicia światła, który różni się w zależności od rodzaju szkła i dla szkieł sodowo-wapniowo-krzemianowych wynosi 1,47-1,51, a dla szkieł ołowiowych 1,54-1,56,
- być stabilne, tzn. odporne na działanie czynników zewnętrznych (np. światło),
- cechować się zerowym lub minimalnym skurczem,
- charakteryzować się szybkim czasem wiązania.

W ujęciu chronologicznym, w historii konserwacji i restauracji szkła, używano dotąd żywic epoksydowych o nazwach: Araldite AY 103/HY956 (Huntsman, USA), Ablebond 342-1 (Ablestick Lab., USA, na rynku od 1979 roku), HXTAL NYL-1 (Hxtal Adhesive LCC, USA, dostępny od roku 1984), Epo-tek 301 i 301-2 (Epoxy Technology,

USA), Fynebond (Fyne Conservation Services, Wielka Brytania) oraz Ciba–Geigy XW396/XW397, obecnie na rynku pod nazwą Araldite 2020 (Huntsman, USA)³⁰⁷.

Jak podaje Jerzy Ciabach, żywice epoksydowe są związkami mało- lub średnio-cząsteczkowymi zawierającymi co najmniej dwie grupy funkcyjne, w postaci trójczłonowych pierścieni oksacyklopropanowych, nazywanych najczęściej grupami epoksydowymi. Ich najistotniejszą cechą jest zdolność do polireakcji zwanych reakcjami utwardzania, w wyniku których powstają produkty usieciowania, nietopliwe i nierozpuszczalne³⁰⁸.

Obecnie najbardziej rozpowszechnionymi w konserwacji i restauracji szkła są żywice epoksydowe o nazwach Epo-tek 301-2 (Epoxy Technology, USA), Hxtal NYL-1 (Hxtal Adhesive LCC, USA), Araldite 2020 (Huntsman, USA)³⁰⁹, ³¹⁰ oraz żywica akrylowa o nazwie Paraloid B-72 (Rohm & Haas, USA). Mają one współczynnik załamania światła najbardziej zbliżony do szkła oraz cechują się krystaliczną czystością (patrz: tabela 6). Dzięki tym właściwościom, linia klejenia może być w niektórych przypadkach praktycznie niewidoczna. Praktyka konserwatorsko–restauratorska autorki niniejszej dysertacji wykazała, iż nie istnieje idealna żywica do klejenia, czy też

³⁰⁷ S. Davison, *Reversible Fills for Transparent and Translucent Materials*, [w:] Journal of the American Institute for Conservation, vol. 37, No. 1, 1998, s. 42.

³⁰⁸ J. Ciabach, *Żywice i tworzywa sztuczne stosowane w konserwacji zabytków*, Toruń 1998, s. 114.

³⁰⁹ Na potrzeby konserwacji i restauracji szkła, prowadzono badania wymienionych żywic epoksydowych. Próbkę umieszczano w komorach starzeniowych, w których poddawano je działaniom takich czynników jak wysoka temperatura, światło oraz atmosfera gazów (tlenku azotu (NO), dwutlenku siarki (SO₂)). Sprawdzano poszczególne parametry, jak odporność na działanie światła (podatność na żółknięcie), a następnie wytrzymałość mechaniczną. Określano cechy sprężyste i plastyczne żywic, w tym odporność na zginanie, moduł odkształcalności liniowej (moduł Younga), odkształcenia przy rozciąganiu (rejestracja zależności przyrostu długości próbki od wielkości siły rozciągającej) oraz wytrzymałość przy zerwaniu. Jednocześnie, starano się zauważyć wzajemne zależności pomiędzy wymienionymi współczynnikami. Autorzy publikacji opisujących fotostarzenie żywic epoksydowych, odpowiedzialnym za żółknięcie wskazują utwardzacz. Próbkę żywicy epoksydowej zawierającej podobne bądź takie same pod względem chemicznym utwardzacz, poddanych naturalnemu starzeniu, bez dostępu do światła, wykazywały podobne tendencje w procesie degradacji. Większość produktów zawierających modyfikowany utwardzacz typu aminowego okazała się lepsza. Jednak proces związany z fotodegradacją nie postępował wprost proporcjonalnie do upływającego czasu. Grupa żywic zawierających utwardzacz skomponowany z prostych związków poliaminowych, początkowo żółkła szybko, po czym proces ten zwalniał. Ponadto, próbki poddane badaniom, wykazywały jednakowy stopień zażółcenia w całej ich grubości (sprawdzano go także na przekrojach). Jednym z ważniejszych wyznaczników stabilności żywic jest przestrzeganie zalecanego przez producenta, daty ważności do użycia. Uważa się, że mechanizm żółknięcia polega na nienasyceniu cząsteczki bisfenolu A w żywicy. Źródło: J. L. Down, *Review of CCI research on epoxy resin adhesives for glass conservation*, [w:] Studies in Conservation, 46: sup 1, s. 39-46.

³¹⁰ ponadto: M. Matuszczyk, *Badania farb stosowanych do barwnych uzupełnień ubytków szklanych ceramicznych w ekspozycji zewnętrznej. Część II.*, ASP Wrocław, 2019.

uzupełnień szkła. Przede wszystkim, pomimo zapewnień producentów o ich światłotrwałości, w pełni odporną na działanie światła jest tylko żywica akrylowa Paraloid B-72 (Rohm & Haas, USA). W przypadku żywic epoksydowych, zawsze należy liczyć się z ryzykiem zmiany przez nie barwy (patrz: fot. 99). Jest ono objawem fotostarzenia zachodzącego na skutek reakcji chemicznych pod wpływem działania światła. Ponadto, żywice epoksydowe tracą w mniejszym lub większym stopniu, swe właściwości mechaniczne. Niemniej jednak pod względem stabilności, która oznacza maksymalnie długi czas zachowania ich pierwotnych właściwości deklarowanych przez producentów, zaliczane są do materiałów klasy A³¹¹.



Fot. 99. Przykład żółkniętej żywicy epoksydowej Hxtal NYL-1, fot. N. Moszak

Tabela 6. Deklarowane przez producentów parametry dla żywic używanych obecnie w konserwacji i restauracji szkła (wg informacji podanych przez producentów)

| nazwa żywicy | czas pracy | czas wiązania | współczynnik załamania światła | lepkość | stabilność | rodzaj żywicy |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------|---------------|
| Hxtal NYL-1 | 8-12 h | 48-96 h | 1,52 | 200-300 cP | ≤ 100 lat | epoksydowa |
| Epotek 301-2 | 6-8 h | 16-24 h | 1,564 | 300-600 cP | ≤ 100 lat | epoksydowa |
| Araldite 2020 | 6-10 h | 16 h | 1,553 | 130 cP | ≤ 50 lat | epoksydowa |
| Paraloid B-72 | zależny od użytego rozpuszczalnika | zależny od użytego rozpuszczalnika | 1,49 | zależna od stężenia roztworu | ≤ 100 lat | akrylowa |

Jedną z cech żywic epoksydowych, jest ich wysoka siła, objawiająca się między innymi dużą wytrzymałością na zginanie. Są one bowiem mocniejsze od samego szkła, co w przypadku przyłożenia siły w stosunku do klejonego zabytku, może spowodować pęknięcie samego obiektu, a nie miejsca klejenia. Należy mieć to na uwadze decydując o wyborze żywicy, a także podczas jej późniejszej obróbki, na przykład w miejscu uzupełnień. Nadmierne ich ścinanie, szlifowanie i polerowanie mogą powodować wokół

³¹¹ W 1975 roku Feller zaproponował trzy klasy stabilności fotochemicznej materiałów. Materiały niestabilne, klasy C, uważane są za najbardziej podatne degradacji w przeciągu 20 lat w warunkach muzealnych. Materiały o średniej stabilności, klasy B, cechują się stabilnością w przeciągu 20 – 100 lat, natomiast klasa A to materiały, które nienaruszone powinny przetrwać ponad 100 lat.

zbyt duże naprężenia. Jest to szczególnie problematyczne w przypadku cienkościennych szkieł, a także szkieł o zdegradowanej strukturze.

W związku z powyższym, w niektórych przypadkach warto rozważyć użycie żywicy akrylowej, Paraloidu B-72 (Rohm & Haas, USA). W porównaniu do żywic epoksydowych daje ona bowiem elastyczne, miękkie spoiny i wykorzystywana jest na przykład w przypadku klejenia szkieł pochodzących z wykopalisk archeologicznych. Ich osłabiona struktura, spowodowana korozją materiału, mogłaby okazać się zbyt słaba dla tych pierwszych. Ponadto, jak wspomniano wcześniej, jest ona stabilna optycznie. Paraloid B-72 (Rohm & Haas, USA) jest kopolimerem złożonym z metakrylanu etylu i akrylanu metylu w proporcji 70:30. Żywica dostępna jest w granulkach i łatwo rozpuszcza się w różnego rodzaju rozpuszczalnikach. W przypadku klejenia szkła najpopularniejszym rozpuszczalnikiem jest aceton, który dzięki swej wysokiej retencji zapewnia szybkie wiązanie. Oznacza ona jednak ryzyko powstania pęcherzyków na przełomie klejonego szkła. Jedną z większych zalet używania spoiwa akrylowego, jest możliwość modyfikacji jego właściwości poprzez zmianę rozpuszczalnika. To od niego zależą takie cechy jak lepkość, lejność i wspomniany czas wiązania. Wadą jest z pewnością jego wrażliwość na podniesione wartości wilgotności względnej podczas stosowania. W warunkach wilgotności względnej wynoszącej ponad 50%, staje się on mętny, traci lepkość i właściwości klejące, a wytrzymałość spoiny jest bardzo niska³¹².

Żywice akrylowe cechują się z pewnością lepszą odwracalnością, zdecydowanie łatwiej jest je usunąć z obiektu. Pewnym rozwiązaniem, zwiększającym odwracalność w przypadku stosowania żywic epoksydowych, jest testowana w ostatnim czasie, metoda polegająca na stosowaniu przed przystąpieniem do klejenia, barier ochronnych z żywicy akrylowej, na przełomach szkła³¹³.

Uzupełnienia fragmentów obiektów szklanych można wykonywać stosując zarówno żywicę epoksydową, jak i akrylową. Podobnie jak w przypadku klejenia, wybór

³¹² N. Moszak, K. Wójcik, *Portugalska szkoła konserwacji i restauracji szkła. Fragmenty witraży z twierdzy Tomar oraz naczyniowe szkło archeologiczne ze stanowiska w klasztorze Santa Clara – a – Velha*, [w:] *Studia i materiały konferencji naukowej studentów Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki*, I. Michalik (red.), tom II, 2013, s. 57-62.

³¹³ T. Schuck, A. Fischer, B. Schwahn, *Acrylic Barrier Surface Coatings for Epoxy Resin Adhesive Bonds in Glass Conservation: Evaluation of Bond Strength and Reversibility*, [w:] *Recent Advances in Glass and Ceramics Conservation*, Londyn 2019, s. 131-140.

odpowiedniej żywicy zależny jest od danego przypadku. Uzupełnienia z żywic epoksydowych i akrylowych wykonuje się stosując odpowiednie techniki.

W przypadku omawianych zwierciadeł, zarówno do klejenia jak i uzupełniania, użyto żywicy epoksydowej. Rozstrzygnął o tym brak objawów korozji materiału, grubość szkła oraz pęknięcia występujące w miejscach kluczowych ze względów konstrukcyjnych (patrz: fot. 100-102).

Kluczowe w utrzymaniu stabilnych i jakościowych połączeń oraz uzupełnień fragmentów szkła jest zachowanie odpowiednich procedur podczas przygotowania do tego procesu zarówno szkła jak i żywicy epoksydowej, a także warunków otoczenia. Istotny jest również sposób wykonywania każdej z czynności. W przypadku żywic epoksydowych do najistotniejszych elementów należą:

- przestrzeganie zalecanego przez producenta terminu przydatności do użycia,
- zachowanie właściwych warunków przechowywania osobnych dla epoksydu i utwardzacza (temperatura, wartość wilgotności względnej, światło, przechowywanie w oryginalnych opakowaniach),
- przestrzeganie ustalonych dla każdej z żywic proporcji komponentu A (epoksyd) i B (utwardzacz),
- odpowiedni czas mieszania wpływający na właściwe połączenie komponentów,
- użycie neutralnych i czystych pojemników do przygotowania żywicy oraz narzędzi do mieszania,
- powolnie mieszanie, niepowodujące zapowietrzenia żywicy,
- odtłuszczenie powierzchni przeznaczonych do klejenia/uzupełnień,
- ścisłe połączenie fragmentów, bez przesunięć,
- właściwa stabilizacja fragmentów: stosowanie odpowiednich taśm (np. Scotch Magic Type®) oraz klamr,
- zastosowanie odpowiedniej ilości oraz właściwej wielkości taśm,
- stosowanie materiałów izolujących klejony obiekt od otoczenia, zapobiegające ich niepożądanemu przyklejeniu się do podłoża (np. folia poliestrowa),
- przemyślna kolejność klejenia,

- aplikacja odpowiedniej ilości żywicy,
- aplikacja żywicy o odpowiedniej lepkości i lejności zapewniającej możliwie jak najlepsze wnikanie w przełomy lub też wypełnienie form,
- zalecane klejenie metodą kapilarną,
- stosowanie neutralnych dla żywic silikonów, w przypadku wykonywania form,
- stosowanie silikonów właściwie odwzorowujących powierzchnię szkła oraz zachowujących odpowiedni współczynnik załamania światła,
- stosowanie form o czystej powierzchni,
- właściwe i przemyślane umiejscowienie otworów wlotowych i wylotowych (np. za pomocą słomek),
- dobór słomek odpowiedniej długości zapewniających właściwe odpowietrzenie odlewu,
- staranne przyklejenie do powierzchni szkła i uszczelnienie formy silikonowej w przypadku wykonywania odlewów „na obiekcie”,
- stosowanie form o odpowiedniej grubości, nie deformujących się pod naporem żywicy,
- powolne wlewanie żywicy o odpowiedniej lepkości,
- zalecana przez producenta temperatura otoczenia podczas wiązania.

Należy mieć także na uwadze, iż wszelkie modyfikacje w postaci różnego rodzaju dodatków do żywic, jak barwniki i wypełniacze mogą znacząco wpływać na jej właściwości oraz czas wiązania.



Fot. 100. Szklana taśma wymagająca klejenia, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 101. Ustabilizowane fragmenty szkła podczas klejenia, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 102. Szklana taśma po sklejeniu, MJG 36s, fot. N. Moszak

W celu wykonania uzupełnień, używa się silikonów cechujących się odpowiednio wysokim stopniem odwzorowania szczegółów oraz powierzchni szkła (stopień odbicia światła). Wykorzystuje się je do wykonania form, z których w dalszym etapie, uzyskuje się odlewy żywiczne. W trakcie uzupełnień luster, użyto transparentnego silikonu

addycyjnego. Formy pobrano wykorzystując zachowane części elementów szklanych, pasujące do brakujących (patrz: fot. 103-112).



Fot. 103. Przygotowanie formy do uzupełnień, właściwe rozmieszczenie otworów wlotowych i odpowietrzających, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 104. Forma silikonowa do uzupełnień szkła, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 105. Odlewanie uzupełnienia z żywicy epoksydowej z wykorzystaniem plastikowej pipety, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 106. Uzupełnienie szkła za pomocą żywicy epoksydowej, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 107. Uzupelnienie szklanego liścia za pomocą żywicy epoksydowej, białe tło, światło rozproszone, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 108. Uzupelnienie szklanego liścia z pomocą żywicy epoksydowej, czarne tło, światło rozproszone, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 109. Uzupelnienie z żywicy epoksydowej, światło przechodzące, MJG 36s, fot. N. Moszak



Fot. 110. Ubytek szklanej taśmy, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak



Fot. 111. Uzupełnienia szklanej esownicy żywicą epoksydową (u góry), światło rozproszone, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak



Fot. 112. Wklejanie uzupełnień płatków szklanego kwiatu, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Ze względu na opisane wyżej ryzyko żółknięcia żywicy, zaleca się dodatkowe stosowanie powłok zabezpieczających, z wykorzystaniem roztworu żywicy akrylowej Paraloid B-72 (Rohm & Haas, USA)³¹⁴. Ponadto, w przypadku ich stosowania, istnieje dodatkowa możliwość nadawania im delikatnego zabarwienia za pomocą barwników dedykowanych żywicą epoksydowym, w celu nadania odlewowi pożądanego odcienia.

Uzupełnienie odlewy żywiczne scalono kolorystycznie. Użyto w tym celu światłotrwałych farb do szkła (patrz: fot. 113). Spośród farb stosowanych do scaleń kolorystycznych w przypadku uzupełnień szkła, znane jest użycie tych, które zapewniają odpowiednio transparentne powłoki po wyschnięciu oraz posiadają odpowiedni współczynnik załamania światła. Ponadto, cechują się stabilnością optyczną³¹⁵.



Fot. 113. Uzupełnienie szklanej taśmy po scaleniu kolorystycznym, światło rozproszone MJG 36s, fot. N. Moszak

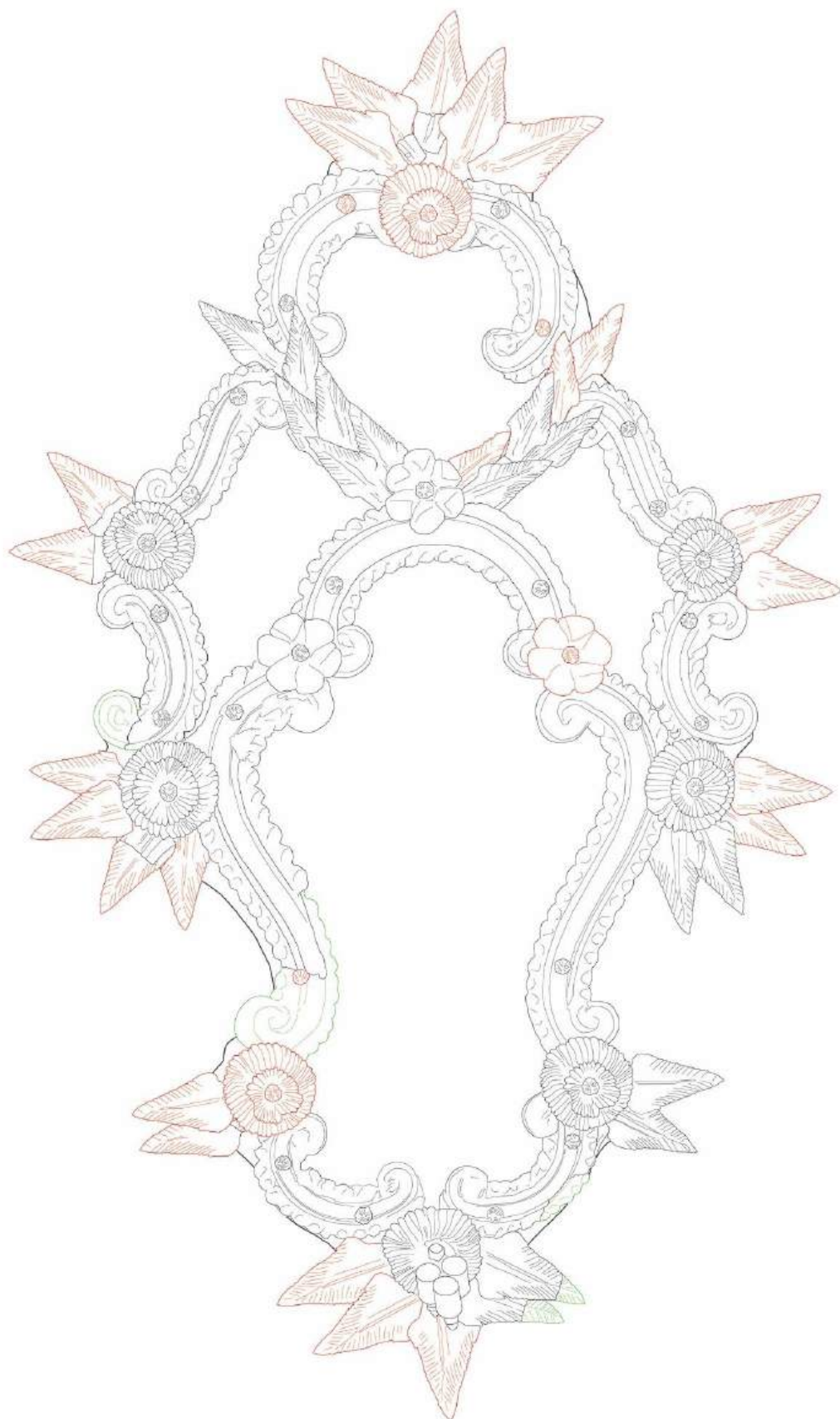
³¹⁴ każdy odlew został dodatkowo zabezpieczony za pomocą 10% roztworu żywicy akrylowej Paraloid B-72 (Rohm & Haas, USA) w 97%-owym dipropylenie glikolu monometylu eterze

³¹⁵ M. Matuszczyk, *Konserwacja i restauracja ceramicznego kominka z 1883 r. znajdującego się w rezydencji Hermanna Fränkla w Prudniku z uwzględnieniem badań farb do punktowania ceramiki metodą „na zimno”*, Warszawa 2013.

Zwierciadła wymagały licznych rekonstrukcji brakujących elementów szklanych. Obraz ilości brakujących detali oraz rozległość uzupełnień, dają rysunki rekonstruujące pierwotną ilość elementów (patrz: rys. 22 i 23).



Rysunek 22. Rekonstrukcja pierwotnego wyglądu lustra MJG 36s, brakujące elementy zaznaczono kolorem, rys. N. Moszak



Rysunek 23. Rekonstrukcja pierwotnego wyglądu lustra MJG 1245Ps, brakujące elementy zaznaczono kolorem, rys. N. Moszak

W pierwszym etapie podjęto samodzielne próby ich odtworzenia wykorzystując hutę Akademii Sztuk Pięknych we Wrocławiu. Starając się zrekonstruować proces tworzenia liści, wykonano formę mającą pozwolić na szybkie ich kształtowanie. Ponadto, w celu odtworzenia kwiatów, poproszono o współpracę profesjonalnego hutnika (patrz: fot. 114-117). Próby nie przyniosły jednak pożądanych efektów. Szkło dostępne w hucie akademii, okazało się być szkłem o formule pozwalającej na krótki czas formowania, podczas styku z formą stygło zbyt szybko i nie pozwalało na dalsze formowanie liści. Podobnie było w przypadku szklanych kwiatów. Próby te dały jednak możliwość teoretycznej rekonstrukcji przypuszczalnego sposobu formowania poszczególnych elementów.



Fot. 114. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, opuszczanie porcji szkła na tzw. „przedformę” fot. N. Moszak



Fot. 115. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, etap formowania płatków, fot. N. Moszak



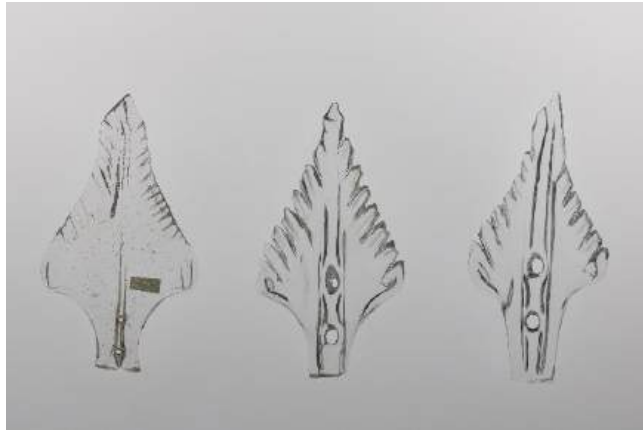
Fot. 116. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, etap nadawania płatkom odpowiedniej faktury, fot. N. Moszak



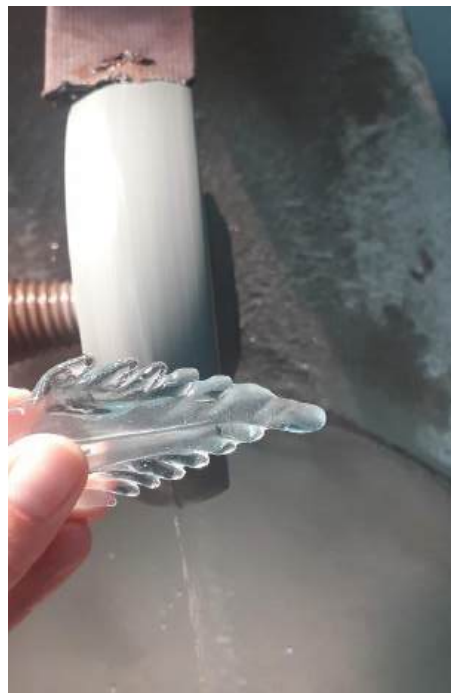
Fot. 117. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, fot. N. Moszak

W przypadku zwierciadła MJG 36s zlecono rekonstrukcję jednego kwiatka o dwurzędowej ilości płatków zabarwionych grysem niebieskim, siedemnastu liści niebarwionych oraz czterdziestu liści barwionych grysem niebieskim. Dla lustra MJG 1245Ps, ilość ta kształtowała się następująco: w związku z zachowaniem się w około 10% powierzchni niektórych liści, zdecydowano o ich całkowitej rekonstrukcji. Zlecono wykonanie dwudziestu trzech liści niebarwionych, jednego sześciopłatkowego kwiatu, zabarwionego grysem różowym oraz dwóch kwiatów o dwurzędowej ilości drobnych płatków również zabarwionych grysem różowym. Pierwsze rekonstrukcje zostały zlecone firmie *Barbini Specchi Veneziani*. Z uwagi na niezadowalający efekt, zbyt odległy od oryginału (za grube szkło i mała ilość nacięć blaszki liścia, patrz: fot. 118),

podjęto kolejne próby ich kształtowania za pomocą technik szlifierskich. Pomimo żmudnego, trwającego około dwóch miesięcy procesu, polegającego na zdzieraniu powierzchni szkła w celu zredukowania ich grubości, polerowania powierzchni, a następnie zastosowania technik grawerskich, w dążeniu do zwiększenia ilości nacięć blaszek, rezultat nadal nie pozwalał na ich użycie.



Fot. 118. Rekonstrukcje szklanych liści wykonanych przez firmę *Barbini Specchi Veneziani* (po prawej) w porównaniu do oryginału (po lewej), fot. N. Moszak



Fot. 119. Szlifowanie powierzchni szklanych liści, próby dopasowania ich do oryginału fot. N. Moszak

W związku z powyższym, kolejne próby wykonał mistrz hutniczy Martin Stefanek (Desná, Republika Czeska). Były one na tyle bliskie oryginalnemu wykonaniu, że zdecydowano o ich użyciu (patrz: fot. 120, 121).



Fot. 120. Rekonstrukcje szklanych elementów wykonane w hucie Martina Stefanka, Desná, Republika Czeska, fot. M. Stefaneček



Fot. 121. Rekonstrukcje szklanych elementów wykonane w hucie Martina Stefanka, Desná, Republika Czeska, fot. M. Stefaneček

Ponadto, mgr Beata Damian–Speruda, zrekonstruowała brakujące, szklane główki gwoździ i wkrętów, w pracowni formowania szkła metodą palnikową. W tym celu użyto form grafitowych (patrz: fot. 122).



Fot. 122. Rekonstrukcja szklanych główek gwoździ i wkrętów w pracowni palników ASP we Wrocławiu, widoczne formy grafitowe, fot. N. Moszak

Głównym problemem podczas restauracji XIX-wiecznych zwierciadeł, były liczne braki szklanych elementów dekoracyjnych. Z uwagi na koszt ich rekonstrukcji oraz trudności w znalezieniu rzemieślnika będącego w stanie odtworzyć ich formę w tożsamym materiale, możliwie najbardziej zbliżoną do oryginału, zaczęto poszukiwać alternatywnego tworzywa umożliwiającego samodzielne ich odtworzenie oraz wykonano próby. Podczas poszukiwań wzięto także pod uwagę koszt materiału, który byłby w zasięgu muzeów będących w posiadaniu podobnych zabytków i obniżyłby koszty konserwacji i restauracji. Możliwe są rekonstrukcje



Fot. 123. Forma silikonowa do odlewu z żywicy na bazie metakrylanu metylu, fot. N. Moszak

przy użyciu żywicy epoksydowej, jednakże ceny oraz czas wiązania żywic używanych w konserwacji szkła, mogłyby stanowić istotną przeszkodę w ich realizacji. W związku z tym, zdecydowano o wykonaniu prób z użyciem kleju przemysłowego, na bazie metakrylanu metylu³¹⁶ (MMA). To klej dwuskładnikowy, w którym metakrylan metylu miesza się z inicjatorem polimeryzacji w stosunku 10:1. Posiada on gwarantowane przez producenta właściwości, odpowiadające standardom materiałów używanych w konserwacji i restauracji szkła. Jest przezroczysty, bezbarwny, odporny na światło UV, sole oraz zasady, a także, co bardzo istotne, nie zawiera styrenów. Jest używany między innymi do klejenia szkła akrylowego, poliwęglanu i uzupełniania ubytków. Pełną wytrzymałość uzyskuje po 6-ciu godzinach, a po godzinie na poziomie 60%. Czas pracy to około 10 minut. W celu przeprowadzenia prób, przygotowano formę silikonową (patrz: fot. 123). Uzyskane odlewy dały zadawalający efekt, biorąc pod uwagę takie współczynniki, jak stopień odbicia światła, stopień odwzorowania szczegółów odlewu, czas pracy oraz łatwość użycia. Pewnym problemem było całkowite pozbycie się pęcherzyków powietrza z odlewów. Z uwagi jednak na ich obecność w szklach oryginalnych, odlewy nie wymagały dalszych modyfikacji (patrz: fot. 124).

³¹⁶ U. Ali, K.J. Abd Karim, N.A. Buang, *A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA)*, [w:] *Polymer Reviews*, 0:1 – 28, 2015.



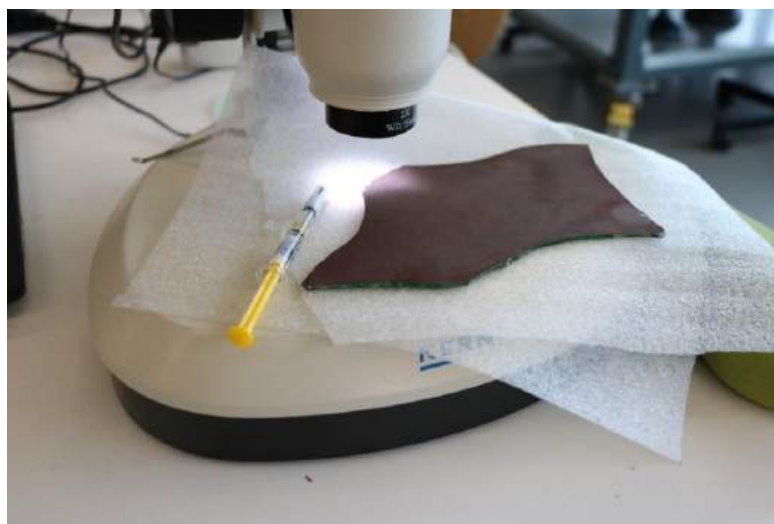
Fot. 124. Rekonstrukcja formy liścia za pomocą kleju na bazie metakrylanu metylu, fot. N. Moszak

Kluczową kwestią podczas przeprowadzanych zabiegów jest konserwacja i zachowanie metalicznej warstwy odbijającej zwierciadeł, czyli powłoki metalicznego srebra. Degradacja srebra na tafli szkła zachodzi zwłaszcza w okolicach jej obrzeży. Obecna jest także pośrodku tafli, w różnych jej częściach, gdzie ma postać charakterystycznych plam. Można ją określić jako korozję występującą lokalnie i punktowo. Działania konserwatorskie zakładające minimum interwencji oraz poszanowanie historii obiektu, nie zakładają usuwania warstw skorodowanych, a jedynie powstrzymanie dalszych procesów destrukcji. W związku z tym, konieczne jest zastosowanie środków hamujących procesy korozyjne oraz stabilizujących i uszczelniających warstwy metaliczne. Taki charakter miała także konserwacja i restauracja luster z Muzeum Karkonoskiego.

W celu zahamowania postępowania korozji srebrnej podlewki tafli w omawianych lustrach, zdecydowano o zastosowaniu w pierwszej warstwie inhibitora korozji w postaci 1% roztworu benzotriazolu (BTA) w alkoholu etylowym (patrz: fot. 125). Związek ten rekomendowany jest jako hamujący rozwój korozji dla miedzi oraz srebra. Benzotriazole powstają w wyniku połączenia triazolu z cząsteczkami benzenu. Tworzą one bardzo stabilne kompleksy z wieloma metalami dając warstwę pasywną na ich powierzchni i zapobiegają reakcjom powierzchniowym, minimalizując powstawanie produktów korozji danego metalu³¹⁷. Badania z jego użyciem wykazały znaczny spadek

³¹⁷ S. Książek, M. Kida, P. Koszelnik, *Benzotriazole – Występowanie i Trwałość w Środowisku.*, [w:] *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), 2016, s. 121-128.

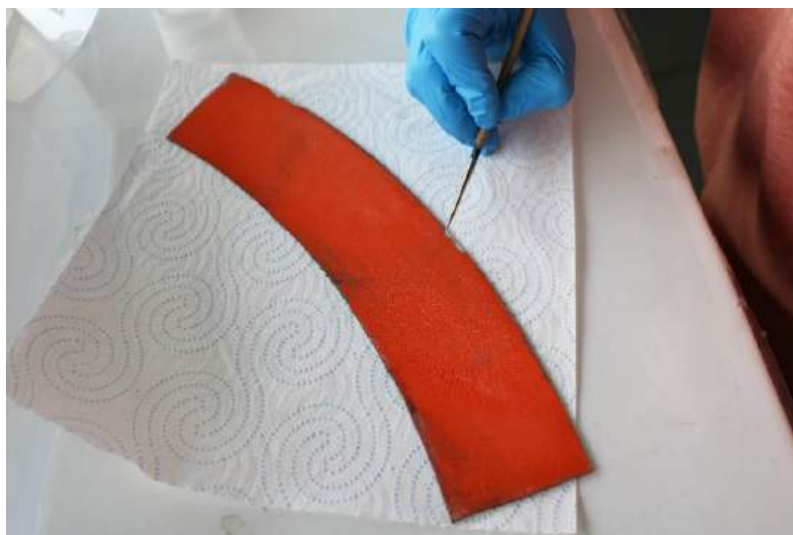
szybkości rozpuszczania srebra oraz wyhamowanie reakcji zachodzących na anodzie. Po zanurzeniu metalu w wodnym roztworze BTA, spłukaniu go wodą oraz azotem N₂ i wysuszeniu, wykazywał on powstanie filmu na powierzchni srebra o grubości około 3 nm. Jest to znacznie lepszy rezultat niż w przypadku pozostałych metali, jak na przykład żelaza, niklu lub glinu. Najlepsze wyniki uzyskano stosując roztwory alkoholu z benzotriazolem. Alkohol znacznie obniża napięcie powierzchniowe, dzięki czemu może on lepiej penetrować powierzchnię, a dodatkowo dzięki jego zastosowaniu, eliminuje się powstawanie na niej białych plam³¹⁸. Niestety benzotriazol nie należy do środków bezpiecznych i obojętnych dla zdrowia żywych organizmów. Jego skuteczność w przypadku stosowania go do zabezpieczania srebra także była poddawana w wątpliwość, jednak do tej pory nie znaleziono lepszej alternatywy.



Fot. 125. Zabezpieczanie i uszczelnianie powłoki srebra, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Dodatkowo, by uszczelnić obszary dotknięte korozją oraz obszary z uszkodzoną warstwą zabezpieczającą, a także obrzeża tafli, zaleca się stosowanie zabezpieczeń powłokowych. W przypadku omawianych zwierciadeł, zastosowano pokrycie z roztworu żywicy akrylowej, Paraloidu B-44 (Rohm & Haas, USA), dającego nieprzepuszczalne powłoki. Zastosowana żywica akrylowa jednocześnie skonsolidowała odspojone warstwy powłoki metalicznej i jej zabezpieczenia oraz skleiła je ponownie z podłożem. Cały proces przeprowadzano w sposób kontrolowany, przy użyciu powiększenia i mikroskopu optycznego (patrz: fot. 125, 126).

³¹⁸ V. Brusica, G.S. Frankel, J. Roldan, R. Saraf, *Corrosion and Protection of a Conductive Silver Paste.*, [w:] Journal of Electrochemical Society, vol. 142., no. 8, 1995, s. 2591-2594.



Fot. 126. Zabezpieczanie i uszczelnianie powłoki srebra za pomocą 10% roztworu żywicy akrylowej, Paraloidu B-44 (Rohm & Haas, USA), w 97%-owym dipropylenie glikolu monometylu eterze, MJG 36s, fot. N. Moszak

Obecnie prowadzone są badania nad możliwym, alternatywnym zastosowaniem powłok ochronnych w postaci chitosanu będącego naturalnym kopolimerem pozyskiwanym z muszli skorupiaków i rozpuszczalnym w wodzie. Strategia badań była oparta na pokryciu srebra, powłokami złożonymi z samego chitosanu oraz chitosanu z kilkuprocentowym dodatkiem benzotriazolu. Następnie próbki poddano badaniom starzeniowym pod kątem możliwego zastosowania w obiektach zabytkowych. W ich wyniku nie stwierdzono zmian kolorystycznych, bądź też zmian przepuszczalności światła powłok kopolimeru. Nie stwierdzono ryzyka mechanicznego ich zniszczenia w wyniku przenoszenia i dotykania obiektu. Ponadto badania wykazały całkowitą odwracalność metody. W warunkach odpowiadającym zanieczyszczoneму środowisku muzealnemu, lepsze rezultaty uzyskano stosując film z samym chitosanem^{319, 320}.

Znane są także systemy ochronne warstwy metalicznego srebra, zakładające zastosowanie ochrony o charakterze katodowym, polegające ona na osadzaniu na niej warstwy miedzi oraz warstw farby ochronnej.

W przypadku zwierciadeł, w których doszło do całkowitej utraty warstwy odbijającej, a zatem do utraty ich pierwotnego przeznaczenia, znane są w literaturze

³¹⁹ Ch. Giuliani et al., *Toward a Green and Sustainable Silver Conservation: Development and Validation of Chitosan-Based Protective Coatings.*, [w:] *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 2022, dostęp online: <https://doi.org/10.3390/ijms232214454>, (data dostępu: 09.01.2024 r.).

³²⁰ dodatkowe badania nad możliwymi sposobami minimalizowania degradacji srebra: H. Zhang, X. Xue, *The Research Progress on Corrosion and Protection of Silver Layer.*, [w:] *SN Applied Sciences*, 1:464, 2019, dostęp online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0495-3>, (data dostępu: 09.01.2024 r.).

przypadki uzupełnień warstwy srebra za pomocą podkładu z polimerowych, metalicznych folii odbijających³²¹. Autorka niniejszej dysertacji także uczestniczyła w pracach konserwatorsko–restauratorskich, w których z powodzeniem ich użyto. Ich stosowanie jest w pełni bezpieczne i zgodne z zasadami pełnej odwracalności, gdyż nie są one w żaden sposób na trwałe związane ze szkłem, bądź też innym materiałem. Dają szansę na ujednoczenie warstwy odbijającej, jednocześnie pozwalając ją odróżnić od oryginalnego otoczenia. Są one bowiem umiejscowione nieco poniżej pierwotnej warstwy srebra bądź amalgamatu cynowo–rtęciowego (patrz: fot. 127). Ponadto umożliwiają modyfikację zabarwienia powierzchni poprzez użycie światło-trwałych farb oraz dostosowanie jej do otoczenia, które w obiektach zabytkowych, w wyniku utleniania powierzchni przeszło pewne zmiany kolorystyczne.



Fot. 127. Przykład zastosowania metalicznej folii polimerowej w tafli pokrytej amalgamatem cynowo–rtęciowym, fot. N. Moszak

Do czynności końcowych w trakcie konserwacji i restauracji zwierciadeł, należało ponowne zamontowanie odwrocia ramy. Zdecydowano dodatkowo skonsolidować i zabezpieczyć farbę pokrywającą powierzchnię ram, za pomocą wosku pszczelego i wosku karnauba o barwie czarnej. Następnie zamontowano ponownie tafle pokryte srebrzeniem oraz pozostałe, dekoracyjne elementy szklane (patrz: fot. 128-134).

³²¹ S. Davison, P.R. Jackson, *The Restoration of Decorative Flat Glass Case Histories.*, [w:] *Annales du 10^e Congrès, Association Internationale pour l'Histoire du Verre*, Amsterdam 1987, s. 465-480.

W dalszej kolejności wykonano zdjęcia po konserwacji i restauracji w świetle rozproszonym oraz przygotowano dokumentację prac konserwatorsko–restauratorskich oraz zabezpieczono obiekt w celu transportu do muzeum.



Fot. 128. Lustro MJG 36s w trakcie montażu, fot. N. Moszak



Fot. 129. Lustro MJG 36s w trakcie montażu, montaż szklanych prętów, fot. N. Moszak



Fot. 130. Zwierciadło MJG 36s w trakcie montażu, fot. N. Moszak



Fot. 131. Lustro MJG 36s w trakcie montażu, fot. N. Moszak



Fot. 132. Zwierciadło MJG 1245Ps w trakcie montażu, fot. N. Moszak



Fot. 133. Zwierciadło MJG 1245Ps w trakcie montażu, fot. N. Moszak



Fot. 134. Zwierciadło MJG 36s w trakcie montażu, fot. K. Wantuch



Fot. 135. Lustro MJG 36s przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak



Fot. 136. Lustro MJG 36s po konserwacji i restauracji, fot. N. Moszak



Fot. 137. Lustro MJG 1245Ps przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak



Fot. 138. Lustro MJG 1245Ps po konserwacji i restauracji, fot. N. Moszak



Fot. 139. Odwrocie zwierciadła MJG 1245Ps po konserwacji i restauracji, fot. N. Moszak

Przeprowadzone prace pozwoliły zahamować dalszą destrukcję obiektów, zabezpieczyć oryginalną materię oraz przywrócić zwierciadłom ich główną funkcję związaną z odbiciem otoczenia. Ponadto, zabiegi związane z oczyszczaniem, ujawniły właściwy kolor szklanych elementów, których powierzchnia szczelnie pokryta była różnego rodzaju zanieczyszczeniami. Szklane detale oraz uzupełnienia poszczególnych szkieł wykonano w ten sposób, że ich formę można z powodzeniem odróżnić od oryginału. Jednocześnie przypominają go w takim stopniu, że przyczyniają się do integracji formy obiektu i uzupełniają ją bez zakłóceń wizualnych.

3.7. Opracowanie standaryzacji właściwego rozpoznania techniki wykonania luster oraz propedeutyka ich konserwacji i restauracji.

Pierwszym krokiem konserwatora dzieł sztuki podejmującego działania przy lustrach zabytkowych są czynności wstępne służące właściwemu rozpoznaniu zabytku. Istotnym zagadnieniem jest trafna identyfikacja techniki osadzania warstwy metalicznej na tafli szkła, czyli rozstrzygnięcie czy dany obiekt został wykonany poprzez podanie go amalgamatem cynowo-rtęciowym, czy poprzez osadzenie na jego powierzchni warstwy metalicznego srebra. Złe rozpoznanie techniki wykonania zwierciadła, może skutkować zastosowaniem niewłaściwych procedur związanych z przechowywaniem podobnych obiektów, ich przenoszeniem oraz prowadzoną konserwacją i restauracją. Wiedzę tę powinien posiadać nie tylko konserwator dzieł sztuki, ale także opiekunowie zbiorów muzealnych, w skład których wchodzi zabytkowe lustro. W związku z tym, konieczne jest wprowadzenie odpowiedniej kwalifikacji dotyczącej technik i idącej za nią standaryzacji postępowania, stanowiących podstawową wiedzę w zakresie ochrony i zachowania zwierciadeł obu typów (patrz: tabela 6, 7, schemat 1, 2). Ponadto, ma ona niebagatelny wpływ na zastosowanie odpowiednich zasad bezpieczeństwa, z uwagi na obecną w amalgamacie rtęć. Udział w wielu pracach konserwatorskich i restauratorskich luster zarówno z amalgamatem oraz srebrzonych, pozwolił na zgromadzenie bogatego materiału porównawczego, czego efektem jest zamieszczona poniżej tabela (patrz tabela 7) oraz zdjęcia. Ma ona posłużyć specjalistom wymienionych dziedzin na wstępnym etapie, w sytuacji, kiedy nie mają oni dostępu do odpowiednich technik badawczych umożliwiających identyfikację, jak na przykład przenośny spektrometr fluorescencji rentgenowskiej pXRF. Użycie spektrometru może okazać się także niemożliwe w sytuacji, w której nie ma bezpośredniego dostępu do metalicznej warstwy tafli szkła.

Tabela 7. Porównanie cech właściwych dla tafli srebrzonej oraz tafli z amalgamatem cynowo – rtęciowym

| Tafla srebrzona | Tafla z amalgamatem cynowo– rtęciowym |
|---|--|
| cieplejsze zabarwienie na skutek obecnej na powierzchni srebra, warstwy tlenku (odcień żółtawy) | chłodne zabarwienie (odcień niebieski) |
| zabezpieczenie za pomocą farby bądź lakieru od odwrocia | zabezpieczenia warstwą papieru, niestrawnie zespolonej ze szkłem (zwyczajowo za pomocą obejmki cynowej bądź żelaznej, patrz uwagi s. 229-230) |
| wyraźne odbicie | mniej wyraźne odbicie |
| widoczne plamy korozji srebra (charakterystyczne okręgi cechujące się koncentrycznie rozchodzącymi się plamami koloru od żółtej, przez fioletową po czarną) | poza produktami korozji o barwie jasno-żółtej, szaroniebieskiej i czarnej, odspojenia warstwy amalgamatu od szkła (widoczne jako „czarne dziury” w metalicznej warstwie) |
| w świetle skośnym, widoczne pociągnięcia pędzla na powierzchni, będące efektem pokrycia odwrocia farbą zabezpieczającą | |
| cienka warstwa metaliczna, bez widocznej „ziarnistości” powierzchni | widoczna „ziarnistość”, gruba warstwa metaliczna |
| | wrażenie „migotania” powierzchni podczas odbicia światła |
| | zacieki w warstwie metalicznej świadczące o obecności ciekłej rtęci |
| | obecność ciekłej rtęci w postaci kropli |



Fot. 140. Widoczne różnice w odcieniu tafli srebrzonej (po prawej) oraz tafli z amalgamatem cynowo-rtęciowym (po lewej) (własność Muzeum Narodowego we Wrocławiu, nr inw. MNWr II – 722), fot. N. Moszak



Fot. 141. Widoczne odspojenia amalgamatu od szkła (własność Muzeum Narodowego we Wrocławiu, nr inw. MNWr II – 722), fot. N. Moszak

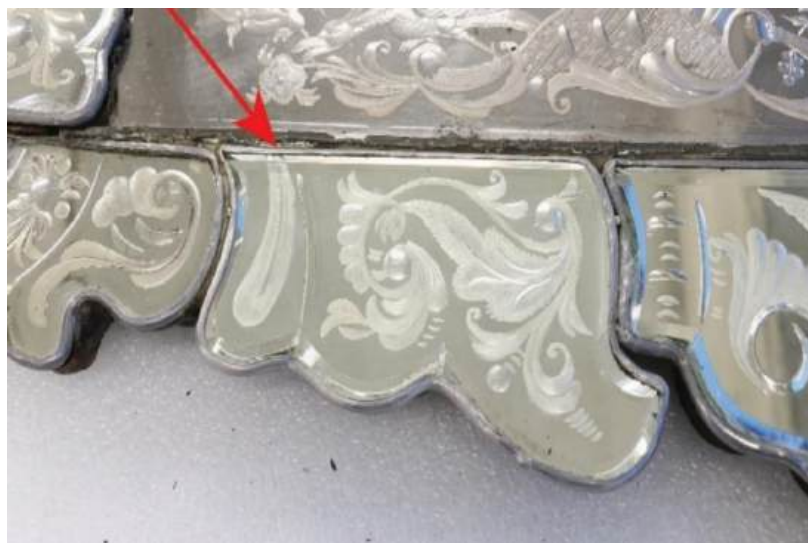
Jak pokazała praktyka konserwatorska, wielokrotnie spotyka się oba rodzaje warstwy metalicznej w obrębie jednego obiektu zabytkowego. Wynika to z wymiany zdegradowanych tafli z amalgamatem, na tafle srebrzone podczas prac restauratorskich prowadzonych w ramach wcześniejszych interwencji ratowniczych (patrz: fot. 140). Te pierwsze zwykle zabezpieczane były jedynie warstwami papieru czerpanego, którego utrzymywano za szkłem poprzez zastosowanie tzw. metalowych obejmek (patrz: fot.

142). Najczęściej były one cynowe, od XIX wieku także stalowe. Cyna jako miękki i niezwykle plastyczny metal, dawała w prosty sposób formować się w kształt litery „U”, dosłownie „obejmując” tafłę szkła oraz papier zabezpieczający. Dla zachowania spójności, późniejsze uzupełnienia z tafli srebrzonych, także oprawiano w obejmki.



Fot. 142. Oprawianie szkła z amalgamatem w tzw. obejmkę cynową, konserwacja i restauracja ramy/retabulum ołtarzowego pochodzącego z kościoła p.w. Narodzenia Najświętszej Maryi Panny w Wichrowie (1750-60 r.), fot. K. Wantuch

Ponadto, w reparacjach podejmowanych przez witrażowników, wykorzystywano profile ołowiane. W związku z tym, rodzaj i występowanie, bądź brak obręczy metalowych, nie może być brane jako pewny wyznacznik rodzaju zastosowanej techniki lustrzenia tafli szkła (patrz: fot. 143).



Fot. 143. Przykład zastosowania profilu ołowianego w tafli srebrzonej w zwierciadle pochodzącym z XVIII wieku (własność Muzeum Narodowego we Wrocławiu, nr inw. MNWr II – 722), fot. N. Moszak

Technika osadzania warstwy metalicznego srebra, zachodzące na niej poszczególne procesy korozyjne oraz profilaktyka mająca na celu ich zachowanie, zostały szczegółowo omówione w poprzednich rozdziałach. W związku z obecnością w zbiorach muzealnych lusterek amalgamatowych, poniżej omówiono także procedury związane z czynnościami wstępnymi, podejmowanymi wokół tego rodzaju zabytków.

Amalgamat jest stopem metali składającym się z dwóch faz: stałej oraz ciekłej. W przypadku amalgamatu cynowo–rtęciowego, faza stała jest bogata w cynę, a faza ciekła w rtęć, przesyconą cyną³²². Jego natura jest zasadniczo niestabilna, ponieważ zawarta w nim, płynna rtęć jest lotna i stopniowo odparowuje. Proces ten jest jednak bardzo powolny i zależy od warunków zewnętrznych. W warstwie amalgamatu odłożonej na szkło, następuje powolny proces rekrytalizacji, objawiającej się powstawaniem mniejszych i większych kryształów. Zwiększenie ich rozmiarów jest wprost proporcjonalne do wzrostu temperatury i szybkości odparowywania rtęci.

Zmiany korozyjne obserwuje się, podobnie jak w przypadku lusterek srebrzonych, głównie na obrzeżach tafli, które mają największy kontakt z czynnikami zewnętrznymi (patrz: fot. 144)³²³. Jest to proces,

którego nie można odwrócić. Możliwe jest natomiast jego spowolnienie poprzez utrzymywanie zwierciadeł z amalgamatem cynowo–rtęciowym w niskiej, niepodlegającej fluktuacjom, temperaturze otoczenia (poniżej 20°C). Ma to na celu zmniejszenie stopnia parowania rtęci i idącej za tym, rekrytalizacji. Rtęć jest jedynym znanym metalem



Fot. 144. Korozja tafli z warstwą amalgamatu, rama/retabulum ołtarzowe pochodzące z kościoła p.w. Narodzenia Najświętszej Maryi Panny w Wichrowie (1750-60 r.), fot. N. Moszak

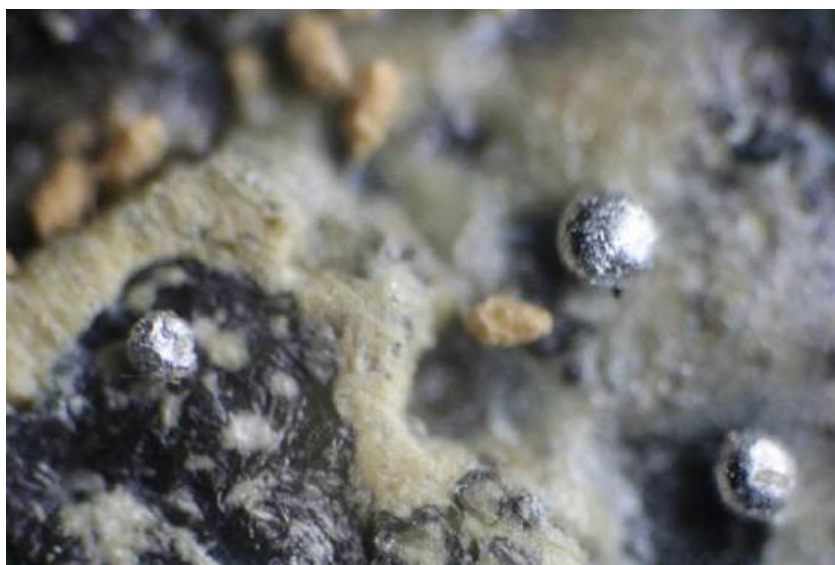
występującym w temperaturze pokojowej, w stanie ciekłym. W przypadku lusterek ustawionych w pionie bądź wiszących, grawitacja sprawia, że płynie ona w stronę dolnej krawędzi lustra i w tych obszarach jest jej zwykle najwięcej.

Prowadzono badania pod kątem toksyczności zwierciadeł pokrytych amalgamatem cynowo–rtęciowym, w których brano pod uwagę przebywanie w pomieszczeniu, w którym znajdują się lustra. Bezpieczna dla człowieka, dopuszczalna koncentracja rtęci w powietrzu wynosi 50 µg m⁻³. Analizy prowadzone między innymi w sali lustrzanej pałacu Rosenborg w Kopenhadze, wykazały jej koncentrację na poziomie 21 µm m⁻³. Badania w innym pomieszczeniu tego pałacu, w którym znajdowało

³²² E. Arizio, E.F. Orsega, R. Falcone, G. Sommariva, *Artificial aging of tin amalgam mirrors: a preliminary study of alteration compounds and kinetics.*, [w:] *Procedia Chemistry*, 8, 2013, 3-10.

³²³ wśród kryształów zdegradowanej warstwy amalgamatu zidentyfikowano między innymi kastyrt, SnO₂

się ogromne lustro ściennie, wykazały wartość $4 \mu\text{m m}^{-3}$, z kolei testy w magazynie luster w Muzeum Narodowym Danii, ujawniły wartość $3 \mu\text{m m}^{-3}$. Pokazały one jednoznacznie, iż samo przebywanie w pomieszczeniu, w którym znajdują się zwierciadła, jest bezpieczne³²⁴. Konieczne jest natomiast stałe jego monitorowanie oraz otoczenia, pod kątem obecności ciekłej rtęci. Występuje wówczas narażenie na wdychanie jej oparów i rozprzestrzenienie się, co niesie za sobą główne ryzyko dla zdrowia. Konieczne jest sprawdzanie dolnych obszarów ramy oraz jej odwrocia. Nie należy jednakże nadto jej uszczelniać, ponieważ powolne odparowywanie rtęci jest procesem naturalnym i niemożliwym jest zastopowanie wzrostu kryształów w amalgamacie. Ponadto, mogłoby to prowadzić do wytworzenia się mikroklimatu wewnątrz drewnianej ramy lustra, trudnego do kontrolowania. Wartość wilgotności względnej nie powinna przekraczać 50%, jednakże ustalając jej wartość, należy mieć na względzie także drewnianą ramę zwierciadła. Ewentualne obniżanie wartości wilgotności względnej otoczenia powinno być wydłużone w czasie, by zapobiec jej pęknięciom.



Fot. 145. Warstwa amalgamatu z obecnością na jego powierzchni ciekłej rtęcią, pow. 20x, fot. N. Moszak

Lustra z amalgamatem cynowo–rtęciowym należy przechowywać, jeśli jest to możliwe, w pozycji w jakiej znajdowały się przez lata, gdyż w przypadku nagłej zmiany ich położenia istnieje niebezpieczeństwo, iż faza ciekła zalałaby pozostałe, stosunkowo bardziej „suche” rejon o ciasniej upakowanych kryształach. W razie zaistnienia potrzeby zmiany pozycji lustra, należy przeprowadzać ją powoli i stopniowo, cały czas monitorując i dokumentując wygląd powierzchni warstwy amalgamatu. Istnieje w tym

³²⁴ P. Hadsund, op. cit.

przypadku także ryzyko wypłynięcia płynnej rtęci poza ramę, w zależności od kierunku jej przechylenia. W tym wypadku możliwe są do zaadoptowania, znane praktyki, związane z opakowywaniem luster w folie polietylenowe, które zawija się na jego dolnej krawędzi tworząc „kieszonkę”, do której trafia kapiąca rtęć³²⁵.

Czynności związane z przenoszeniem bądź konserwacją i restauracją tego typu obiektów, wymagają odpowiednich środków ostrożności. Należy mieć na uwadze możliwość występowania ciekłej rtęci zarówno na odwrociu tafli szkła, jak i w warstwie zanieczyszczeń (patrz: fot. 145). W związku z tym, zaleca się używanie środków ochrony osobistej w postaci rękawiczek foliowych, masek z filtrami zapobiegającymi wdychaniu oparów metali ciężkich oraz zabezpieczającej odsłonięte części ciała i ubrań, roboczej odzieży wierzchniej, wyposażonej w elementy ochronne (m. in. kaptur, mankiety). Kroplek rtęci bezwzględnie nie należy zbierać odkurzaczem, ponieważ może to spowodować jej rozpylenie w powietrzu pomieszczenia. Można zebrać je na kartkę papieru i zamknąć w szczelnym pojemniku, a następnie przekazać do utylizacji.



Fot. 146. Przykład odwrocia szkła pokrytego amalgamatem cynowo–rtęciowym zabezpieczonego wycinkiem włoskiej gazety, widoczne zacieki spowodowane obecnością ciekłej rtęci, własność: Muzeum Narodowe we Wrocławiu, fot. N. Moszak

³²⁵ M. Desrochers, W. Donnelly, M. King, R. Grayburn, Advances in Storing and Monitoring Mercury – Tin Amalgam Mirrors, [w:] Journal of the American Institute for Conservation, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://connectingtocollections.org/wp-content/uploads/2023/06/Advances-in-storing-and-monitoring-mercury-tin-amalgam-mirrors.pdf>, (05.03.2024 r.)



Fot. 147. Szkoło pokryte amalgamatem cynowo–rtęciowym dodane prawdopodobnie w wyniku późniejszych prac naprawczych obok szkła pokrytego metalicznym srebrem, widoczne zacieki spowodowane obecnością ciekłej rtęci, własność: Muzeum Narodowe we Wrocławiu, fot. N. Moszak



Fot. 148. Odwrocie tafli pokrytej amalgamatem cynowo–rtęciowym, widoczna ziarnistość powierzchni oraz postępująca korozja na obrzeżach tafli, fot. N. Moszak

Na tym etapie istotne jest także zdiagnozowanie poszczególnych materiałów pod kątem możliwości występowania porażenia mikrobiologicznego.

Kolejną ważną kwestią przed przystąpieniem do zabiegów konserwatorsko–restauratorskich, jest ujawnienie wszelkich elementów ruchomych lustera. W przypadku weneckich zwierciadeł XIX–wiecznych, będą to głównie szkła dekoracyjne (liście,

kwiaty, woluty, pręty), w których gwoździe montażowe utraciły swe właściwości konstrukcyjne i uległy destrukcji, rzadziej poszczególne tafle. W lustrach starszego typu, zbudowanych z tafli szkła, degradacji mógł ulec klej wykorzystywany do zespojenia ich z drewnianą ramą. Właściwe zabezpieczenie detali, zapobieganie ich utracie (rozbitcie, pęknięcie) podczas podejmowanych czynności. W przypadku rozbitych tafli, zaleca się tymczasowe, ratownicze, sklejenie ich taśmą typu Scotch®.

W dalszej kolejności, jeszcze przed ewentualnym przeniesieniem lustra, należy wykonać jego zdjęcia w świetle rozproszonym oraz przystąpić do czynności inwentaryzacyjnych polegających na ponumerowaniu wszystkich elementów dekoracyjnych i lusterek oraz naniesieniu odpowiednich numerów na zdjęcie. Następnie należy zabezpieczyć wszystkie elementy ruchome, najlepiej umieszczając je w woreczku polietylenowym, w osobnym pojemniku (np. kuweta). Kolejnym krokiem powinno być wykonanie zdjęć dokumentacyjnych zgodnych z kanonami fotografii dokumentacyjnej. Zdjęcia powinny wykonać się na jednorodnym tle, z możliwie równomiernie oświetloną powierzchnią. Fotografie

wykonuje się w świetle rozproszonym. Na obiekcie zaleca się umieszczenie tzw. wzornika kolorów (*color checker, ang.*, patrz: fot. 149), pozwalającego w późniejszych etapach na skalibrowanie zdjęcia metodami obróbki cyfrowej. Zapewnia on uzyskanie spójności kolorów



Fot. 149. Użycie tablicy kolorów w fotografii dokumentacyjnej, fot. N. Moszak

w serii wykonywanych zdjęć. Ponadto, istotne jest także fotografowanie obiektów z użyciem skali. Fotografowanie lusterek jest o tyle problematyczne, iż trudno jest uniknąć odbicia w nich osoby fotografującej oraz samego aparatu fotograficznego. Wówczas, oprócz fotografii na wprost zwierciadła, należy rozważyć wykonanie zdjęć także pod lekkim kątem w stosunku do obiektu.

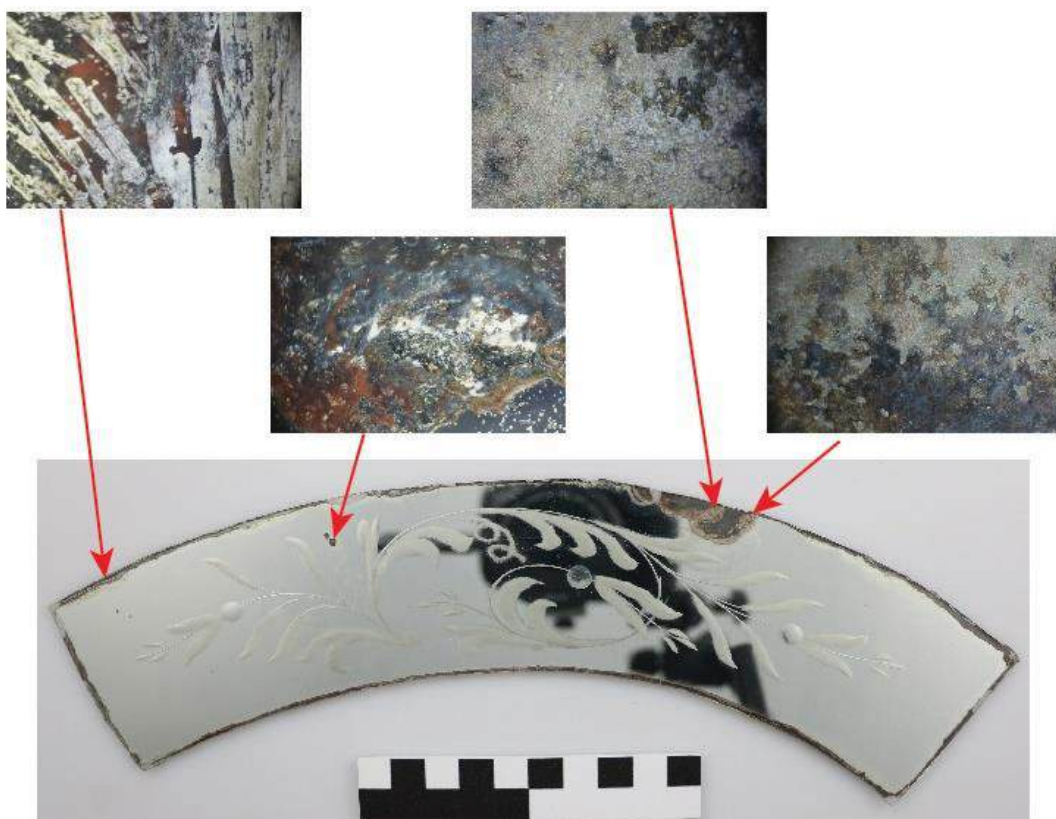
Zarówno w przypadku zwierciadeł z amalgamatem, jak i srebrzonych, istotną kwestią jest właściwe uszczelnienie obrzeży poszczególnych tafli. Ma to na celu

zminimalizowanie dostępu czynników niszczących, jak podwyższone wartości wilgotności względnej otoczenia oraz temperatury.

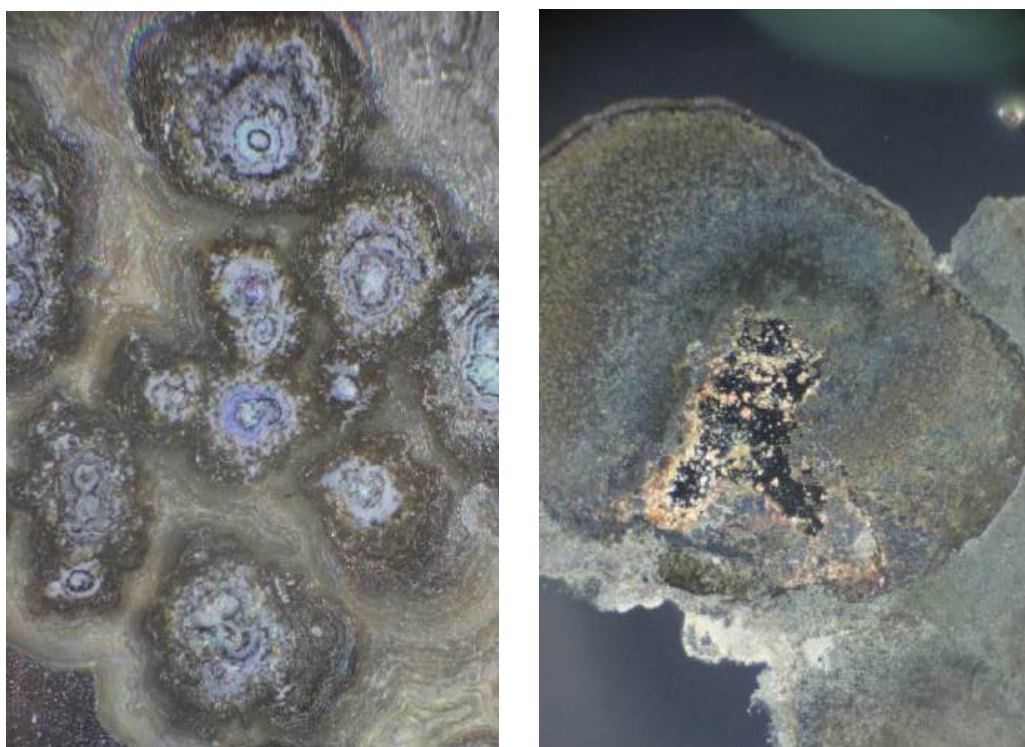
Etapem poprzedzającym jakiegokolwiek działania powinno być również przeprowadzenie badań ikonograficznych, charakteru zastosowanych materiałów, techniki i technologii wykonania, zaprojektowania procesu i rodzaju badań fizykochemicznych oraz, jeśli to konieczne, pobrania próbek. W dalszej kolejności także wykonanie pomiarów, określenie ilości brakujących elementów lustra oraz elementów wymagających ewentualnego klejenia i uzupełniania, jednocześnie mając na względzie fakt, iż krawędzie wielu z nich były celowo obłupywane w celu ich dopasowania do ramy i pozostałych detali. Konieczne jest wykonanie mapy zniszczeń oraz rysunku z pełną rekonstrukcją brakujących elementów.

Kończącym etapem czynności poprzedzających zabiegi konserwatorsko-restauratorskie powinno być ustalenie postępowania konserwatorsko-restauratorskiego z uwzględnieniem wyników przeprowadzonych badań, analiz i stanu zachowania obiektu. Jednocześnie należy mieć na uwadze fakt, iż każde z podejmowanych działań jest dla niego potencjalnie ryzykowne. Dokonując wyboru materiałów do prac, należy kierować się ich maksymalną trwałością oraz bezpieczeństwem.

Pomocne w ustaleniu właściwego programu, a także prawidłowej oceny techniki i stanu zachowania warstwy metalicznej są zdjęcia mikroskopowe z użyciem mikroskopu optycznego (patrz: fot. 150, 151).



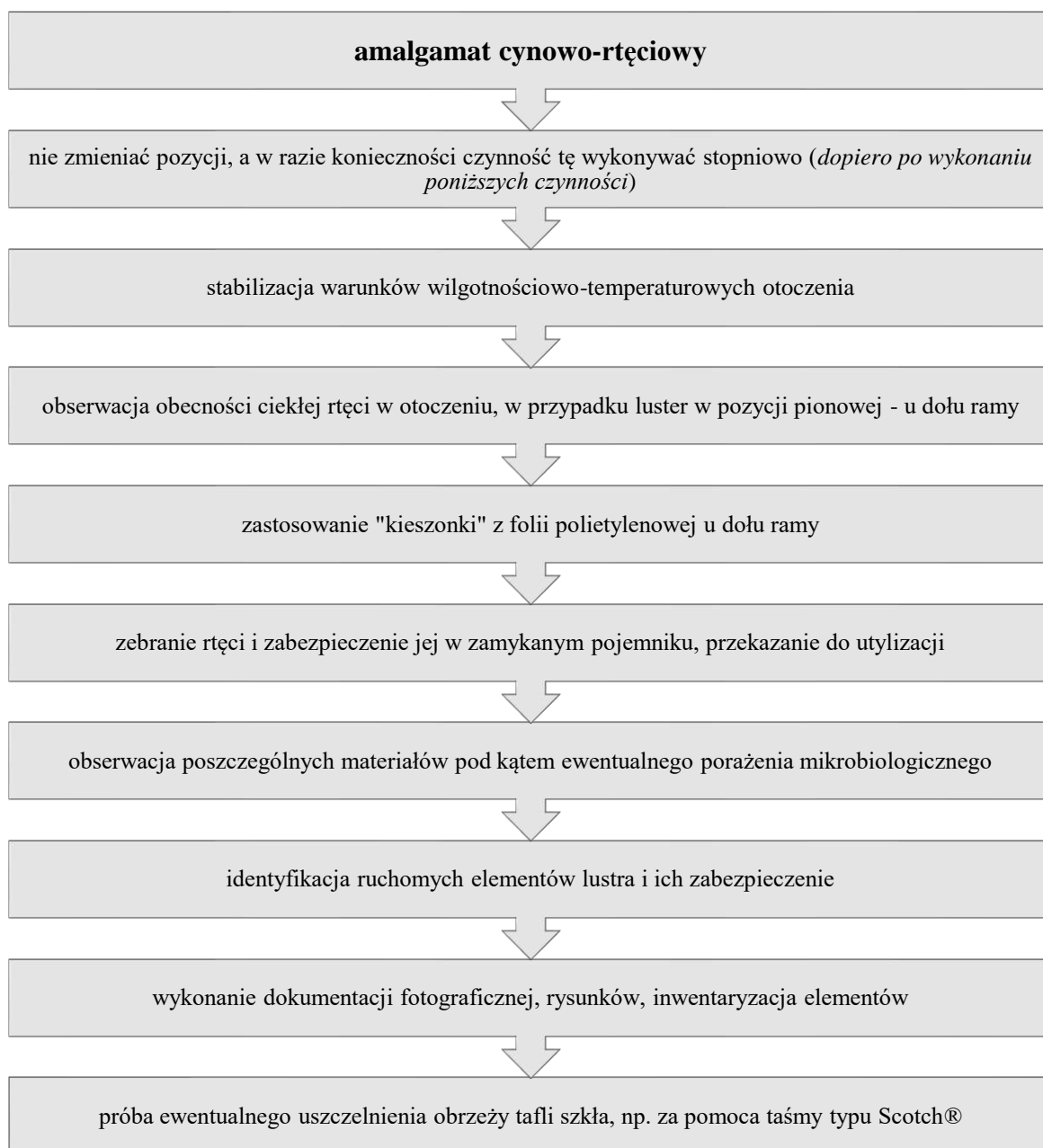
Fot. 150. Lokalizacja zdjęć mikroskopowych dla tafli srebrzonej, MJG 36s, pow. 10x, fot. N. Moszak



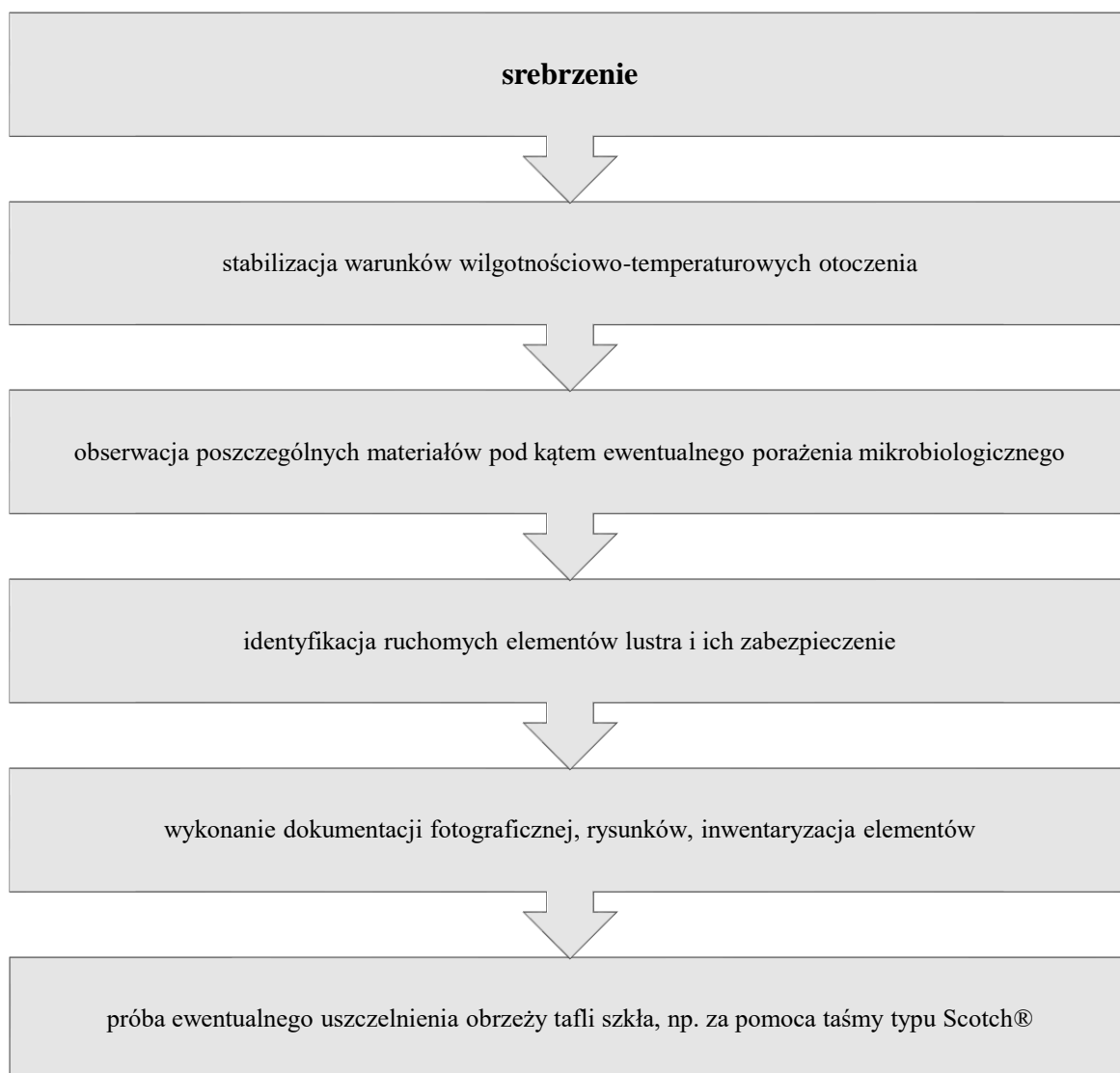
Fot. 151. Korozja amalgamatu cynowo-rtęciowego (po lewej) oraz warstwy srebrzenia (po prawej), w widoku mikroskopowym, pow. 20x, fot. N. Moszak

Tabela 8. Kryteria właściwej kwalifikacji techniki wykonania zwierciadła

| TECHNIKA WYKONANIA | kryteria oceny makroskopowej warstwy metalicznej: | obserwacje: amalgamat cynowo- rtęciowy | |
|-----------------------|---|---|--|
| | 1. odcień | chłodny | |
| | | ciepły | |
| | 2. tekstura powierzchni | widoczna ziarnistość, wrażenie migotliwości | |
| | | gładkość | |
| | 3. odbicie otoczenia | obecne zniekształcenia, mniej wyraźne odbicie | |
| | | wyraźne odbicie | |
| | 4. wygląd korozji warstwy metalicznej | widoczne odspojenia, czarne „dziury”, zacieki | |
| | | skorodowane warstwy przylegające do powierzchni szkła | |
| | 5. grubość warstwy | większa | |
| | | mniejsza | |



Schemat 1. Czynności wstępne w przypadku identyfikacji lusterek z amalgamatem cynowo-rtęciowym



Schemat 2. Czynności wstępne w przypadku identyfikacji lusterek srebrzonych

Zakończenie

W ramach dysertacji podjęto dwa główne problemy badawcze, próbę zakreślenia problematyki konserwatorsko–restauratorskiej XIX–wiecznych luster weneckich oraz wytyczenie standaryzacji właściwego rozpoznania techniki wykonania zwierciadeł i związanego z tym postępowania. Działania, które obejmują te obszary, są efektem przeprowadzonej analizy z dziedziny historii, historii sztuki, styloznawstwa, technik i technologii rzemiosła. W związku z tym, zagadnienia związane z głównym tematem poprzedzają rozdziały skupione wokół wymienionej problematyki.

Metodyka badań w założeniu opierała się o doświadczenia praktyczne związane z przeprowadzonymi pracami konserwatorsko–restauratorskimi dwóch zwierciadeł ze zbiorów Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze. Badania porównawcze obu technik metalizowania tafli szkła, możliwe były także dzięki udziałowi w pracach o tym samym charakterze, nad lustrami pokrytymi amalgamatem cynowo–rtęciowym.

Jak wspomniano we wstępie, opisana problematyka nie była dotąd w Polsce podejmowana. Zagadnienia związane z konserwacją i restauracją szkła są stosunkowo młodą dziedziną. Praca ze studentami na wrocławskiej Akademii Sztuk Pięknych w Pracowni Konserwacji i Restauracji Szkła³²⁶, a także prowadzenie zajęć w ramach Kopii Detalu Szklanego, wymagało zaimplementowania tej dziedziny przez autorkę na gruncie polskim. Pomocne w tym temacie okazały się półroczne studia na Uniwersytecie Nova w Lizbonie, na wydziale Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki w Faculdade de Ciências e Tecnologia. Ponadto udział w kursie konserwacji i restauracji szkła prowadzonym przez głównego konserwatora szkła Corning Museum, Stephena Kooba, a także udział w konferencjach dotyczących tej dziedziny. Dodatkowo, udział w pracach zespołów konserwatorsko–restauratorskich obejmujących konserwację i restaurację drewnianej rzeźby polichromowanej i złoconej, a także metalu. Właściwe rozpoznanie techniki wykonania poszczególnych elementów dekoracyjnych zwierciadeł umożliwiło doświadczenie zdobyte w trakcie studiów w katedrze Sztuki i Wzornictwa Szkła wrocławskiej ASP.

³²⁶ Pracownia Konserwacji i Restauracji Szkła prowadzona jest przez dr Katarzynę Wantuch

Możliwe do ustalenia przez autorkę niniejszej dysertacji, przykłady lusterek weneckich pochodzących z XIX wieku, wykazały ich stosunkowo dużą liczbę na terenie Dolnego Śląska. Zdarza się, że uznaje się je za wytwory hut rodzimych. Badania z zakresu historii, historii sztuki oraz styloznawstwa, wizyta studyjna w pracowni rodziny Barbini w Murano oraz w archiwum Fundacji Cini, połączone z wynikami dotyczącymi składu chemicznego szkła, z użyciem technik fizyko–chemicznych, pozwoliły ostatecznie potwierdzić ich wenecką proveniencję.

W pracy rozwinięto zagadnienia związane z lustrem, scharakteryzowano wenecką wytwórczość szklarską z perspektywy jej historii, w tym okresu największego kryzysu, a następnie odrodzenia i poszukiwania nowych ścieżek rozwoju. Ponadto, skonfrontowano z nią dzisiejszą wytwórczość, która pod względem umiejętności formowania elementów dekoracyjnych zwierciadeł, okazała się nie dorównywać tej dawnej. W związku z tym, wskazano na rozwiązania alternatywne w obszarze ich rekonstrukcji.

W procesie przygotowań niniejszej rozprawy rozpoznano także ogólny problem nieumiejętności właściwego rozpoznania techniki wytwarzania zwierciadeł. Umieszczona w pracy tabela porównawcza, dotycząca właściwej oceny techniki i technologii, ma pomóc na etapie właściwej kwalifikacji zabytków znajdujących się w zbiorach muzealnych. Przysłużyć ma się w tym obszarze także materiał fotograficzny.

Praca umożliwiła także zebranie bogatej bibliografii stanowiącej podstawę do rozwoju zagadnień z poszczególnych zakresów. Omówiona problematyka pozwoliła na wytyczenie poszczególnych obszarów badawczych:

- znaczenie lustra w życiu człowieka, zarówno jako wystroju i wyposażenia wnętrza, jak i w obszarze psychologii, umiejętności rozpoznania swojego oblicza,
- obecność zabytków w opisywanym typie w kolekcjach muzeów w Polsce i wyodrębnienie ich na tle innych zwierciadeł
- import i eksport XIX-wiecznych zwierciadeł weneckich, kierunki ich sprzedaży,
- technologia i technika wytwarzania tafli szkła z warstwą metaliczną,
- opieka nad zabytkowymi lustrami w kolekcjach muzealnych,
- konserwacja i restauracja obiektów złożonych materiałowo,

- wzajemny wpływ poszczególnych materiałów na siebie w procesie ich destrukcji,
- skład chemiczny szkła i jego zmiany związane z dobą industrializacji i poszukiwania nowych metod produkcji
- XIX-wieczne rzemiosło w dobie uprzemysłowienia produkcji.

Obszar wymagający dalszej eksploracji jest związany między innymi z zagadnieniami obejmującymi eksport zwierciadeł z Wenecji, na tereny ówczesnych Prus. Nie udało się bowiem ujawnić możliwego miejsca wcześniejszej lokalizacji na terenie dzisiejszego Dolnego Śląska, zwierciadeł poddanych konserwacji i restauracji. W związku z posiadaniem jedynie pewnych przypuszczeń i niejasnych poszlak, celowo pominięto ten aspekt w niniejszej dysertacji. Zawierucha II wojny światowej na wspomnianym obszarze oraz aspekty związane z przejściem przez Polaków zbiorów należących wcześniej do Królestwa Prus, potęgują problemy badań nad dziedzictwem tych obszarów i czynią z niego zagadnienie na tyle obszerne, że wymagałoby osobnego opracowania. Konieczne jest także przeprowadzenie rzetelnej kwerendy w muzech polskich.

Z pewnością rozwinięcia wymaga także temat poszukiwań lepszego rozwiązania dla zabezpieczania powłok metalicznych na szkłe. Dobre rezultaty mogłyby dać badania materiałów z użyciem komory starzeniowej.

Autorka niniejszej dysertacji ma nadzieję, że praca ta stanowić będzie podstawę do dalszych badań, a wytyczone przez nią kierunki badawcze doczekają się osobnych i dogłębnych dociekań. Jednocześnie obszary, które udało się w jej ramach wypełnić, przysłużą się lepszemu ochronie zwierciadeł w zbiorach muzealnych.

Bibliografia

1. Zagadnienia ogólne dotyczące luster weneckich.

1. Antonio N., Merrett C., Michael C., *The Art of Glass*, Society of Glass Technology, 2001.
2. *Aspetti e problemi della produzione degli specchi etruschi figurati*, red. M. D. Gentili, Rzym 2006.
3. Balci S., Altinbilek-Algül C., *Polished Obsidian Objects: Examples of Prestige Items from Kültepe*, *Colloquium Anatolicum*, 16, 2017, s. 15-29.
4. Barovier R., *Roman Glassware in the Museum of Murano and the Muranese Revival of the Nineteenth Century*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 16., 1974, s. 111-119.
5. Barovier Mentasti R., Tonini C., *Some Questions about Murano Revival*, [w:] *Study Days on Venetian Glass. The Birth of the Great Museums: The Glassworks Collections between the renaissance and Revival*, red. Rosa Barovier Mentasti and Cristina Tonini, Venezia 2016.
6. Basana M. A., *La Produzione Vitrea dei Fratelli Testolini*, [w:] OADI. Rivista dell'Osservatorio per le Arti Decorative in Italia, Palermo 2018.
7. Bontemps G., tłum. Cable M., *Bontemps on Glass Making. The Guide du Verrier of Georges Bontemps.*, 1868, The Society of Glass Technology, Sheffield 2008, s. 329.
8. Bosworth R.J.B., *Italian Venice: A History*, Yale University Press 2014.
9. Buczkowski K., *Dawne szkła artystyczne w Polsce.*, Kraków, 1958.
10. Bussolin D., *Guida Alle Fabbriche Vetrarie di Murano*, Venezia 1853.
11. Carroll B. H. Jr., Allen J. D., *Bead Making at Murano and Venice*, [w:] *Journal of the Society of Bead Researchers*, vol. 16., 2004, 17-37.
12. Carter T., *A true gift of mother earth: the use and significance of obsidian at Catalhöyük.*, [w:] *Anatolian Studies*, Vol. 61, 2011, s. 1-19.
13. Cecchetti B., Sanfermo E., Zanetti V., *Monografia della Vetraria Veneziana e Muranese*, Venezia 1874, s. 104-106.
14. Chłędowski K., *Rokoko we Włoszech*, Kraków 1915, s. 2-3.
15. De Puma R.D., *Etruscan Mirrors*, Rzym, 2005.

16. Dixon J. E., Cann J.R. and Renfrew C., *Obsidian and the Origins of Trade.*, Scientific American, 1968, s.38-47.
17. Dorigato A., *The Glass Museum*, Wenecja 2006.
18. Ericson J. E., Makishima A., Mackenzie J.D., Berger R., *Chemical and physical properties of obsidian: a naturally occurring glass*. [w:] Journal of Non-Crystalline Solids 17 (1), 1975, s.129-142.
19. Feist A., *The Lion of St Mark. Venice: The Story of a City from Attila to Napoleon.*, New York 1971.
20. Filarska B., *Szkło piękne i użyteczne*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1973.
21. Fioratti H. C., *Reflections of Splendor: European Mirrors from the Sixteenth Through the Eighteenth Century*, New York, 2007, s. 14.
22. Freestone I. C., Gorin-Rosen Y., Huges M. J., *Primary glass from Israel and the production of glass in late antiquity and early Islamic period*, [w:] M.N. Nenna (Ed.), *La route du verre, Maison de l'Orient*, Lyon, France, 2000, s. 65–83.
23. Ginsborg P., *Daniele Manin and the Venetian Revolution of 1848-49*, Cambridge University Press, 1979.
24. Grubb J. S., *Elite Citizens*, [w:] Venice Reconsidered. The history and Civilization of an Italian City-State, 1297-1797., J.J. Martin, D. Romano (edit.), Baltimore 2000, s. 348.
25. Grzeluk I., *Słownik terminologiczny mebli*, seria B, tom XCIX, Warszawa 1998.
26. Hartlaub G. F., *Zauber des Spiegels: Geschichte und Bedeutung des Spiegels in der Kunst.*, München 1951.
27. Howells D. W., *Venetian Life*, Boston – Nowy Jork 1907, s. 231-233.
28. Jacoby D., *Raw Materials for the Glass Industries of Venice and the Terraferma, about 1370–about 1460*, [w:] Journal of Glass Studies, vol. 35, 1993, s. 73-74.
29. Koob S. P., *Crizzling Glasses: Problems and Solutions*, [w:] Glass Technology – European Journal of Glass Science and Technology, 53(5), 2012, s. 225-227.
30. Kunicki-Goldfinger J.J., *Szkło w Europie Środkowej od późnego średniowiecza do XVIII wieku. Skład chemiczny – uwarunkowania i interpretacja.*, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2020, s. 25-26.
31. Laven D., *Venice and Venetia under the Habsburgs, 1815-1835*, Oxford University Press 2002.

32. Leciejewicz L., Tabaczynska E., Tabaczynski S., *Torcello Scavi 1961–62*, Istituto Nazionale di Archeologia e Storia dell'Arte, Monografie III, Roma, 1977.
33. Lee M.M., *The Gendered Economics of Greek Bronze Mirrors: Reflections on Reciprocity and Feminine Agency*, [w:] *Arethusa*, Vol. 50, No. 2, Spring 2017, s. 143-168.
34. Liefkes R., *Antonio Salviati and the Nineteenth Century Renaissance of Venetian Glass*, [w:] *The Burlington Magazine*, vol. 136., no. 1094, 1994, s. 283.
35. Lilyquist Ch., *Ancient Egyptian Mirror from the Earliest Times through the Middle Kingdom.*, *Münchener Ägyptologische Studien*, Heft 27, 1977, s. 61.
36. Melchior – Bonnet S., *Narzędzie magii. Historia luster i zwierciadeł.*, tłum. B. Walicka, Warszawa 2007.
37. McCray W. P., *Glassmaking in Renaissance Italy: the Innovation of Venetian Cristallo*, [w:] *JOM* 50, 1998, s. 14-19.
38. Moretti C., *Ricette Vetrarie Muranesi Quaderno Anonimo Del 1847*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 24, 1982, s. 65-87.
39. Norwich J.J., *Historia Wenecji*, J. Bartoszewicz (tłum.), Warszawa 2015.
40. Panciera W., *The Republic of Venice in the 18th Century*; Yamboliev K. (tłum.), Rzym 2021.
41. Panseri C., Leoni M., *Manufacturing Technique of Etruscan Mirrors*, [w:] *Studies in Conservation*, 3:2, 1957 s. 49-63.
42. Pendergrast M., *Mirror Mirror a History of the Human Love Affair with Reflection.*, Nowy Jork 2003.
43. *Polskie szkło*, Kamińska Z. (red.), Wrocław, 1974.
44. *Recent Acquisitions. A selection: 2010-2012.*, The Metropolitan Museum of Art Bulletin, Fall 2012, s.10.
45. Roche S., Courage G., Devinoy P., *Mirrors*, Nowy Jork 1985.
46. Roche S., tłum. Duckworth C., *Mirrors in Famous Galleries and Collections*, Londyn 1957.
47. Schechner S.J., *Between Knowing and Doing: Mirrors and Their Imperfections in the Renaissance* [w:] *Early Science and Medicine*, Vol. 10, No. 2, Optics, Instruments and Painting, 1420-1720 Reflections on the Hockney-Falco Thesis, 2005, s. 137-162.

48. Scoville W. C., *Large Scale Production in the French Plate-Glass Industry, 1665-1789*, [w:] *Journal of Political Economy*, Vol. 50., No. 5, Oct. 1942, s. 690.
49. Scuro R., *Pauly&C. – CVM nella storia della vetraria veneziana d'epoca contemporanea: un caso di studio di storia aziendale*, [w:] *Mafia e storiografia. Premesse culturali e prospettive attuali.*, no. 39,3, 2019, s. 1-17.
50. Scuro R., *Shaping Identity through Glass in Renaissance Venice*, [w:] *Materialized Identities in Early Modern Culture, 1450-1750: Objects, Affects, Effects*, Amsterdam, 2021, s. 99-134.
51. Stachera J., *Badanie skuteczności zabezpieczania powłokami lakierów powierzchni srebrzonych w środowisku H₂S*, [w:] *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo*, 34, 2005, s. 121-139.
52. Sutter F. et. al., *Acceptance Criteria for Accelerated Aging Test of Silvered-Glass Mirrors for Concentrated Solar Power Technologies*, [w:] *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 193, 2019, s. 361-371.
53. Sutter F. et.al., *Durability testing of silvered-glass mirrors*, [w:] *Energy Procedia*, 69, 2015, s. 1568-1577.
54. Torzewski J., *Rozmowa o sztukach robienia szkła*, J. Olczak, L. Lichota (red.), Jelenia Góra 2002.
55. Trivellato F., *Murano Glass, Continuity and Transformation (1400-1800)*, [w:] *At the Center of the Old World: Trade and Manufacturing in Venice and the Venetian Mainland, 1400-1800*, P. Lanaro (red.), Toronto 2006, s. 143-183.
56. Uroš M., *Ancient Egypt. A Comparison of Funerary Iconographic and Burial Contexts from the Old Kingdom to the New Kingdom.*, [w:] *Luxor Times*, No 2, 2019.
57. *Venice Reconsidered. The history and Civilization of an Italian City-State, 1297-1797.*, Martin J.J., Romano D. (edit.), Baltimore 2000.
58. Verità M., Renier A., Zecchin S., *Chemical analyses of ancient glass findings excavated in the Venetian lagoon*, [w:] *Journal of Cultural Heritage* 3, 2002, s. 261-271.
59. Verità M., *Secrets and innovations of Venetian Glass between the 15th and the 17th Centuries: Raw Materials, Glass Melting and Artefacts*, [w:] *Atti. Study Days on Venetian Glass approximately 1600's*, R. Barouvier, C. Tonini (red.), vol. 172, 2014, s. 53-68.

60. Verità M., Zecchin S., *Industrial and Artistic Glass Production in Murano: Late 19th – Middle 20th Centuries*, [w:] Study Days on Venetian Glass. The Origins of Modern Glass Art in Venice and Europe about 1900., R. Barovier Mentasti, C. Tonini (red.), Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, 2017, s. 27.
61. Vit J., Rappenglück M.A., *Looking through a telescope with an obsidian mirror. Could specialists of ancient cultures have been able to view the night sky using such an instrument?*, [w:] Mediterranean Archaeology and Archaeometry, vol. 16, No 4, 2016, s.7-15.
62. Wallis M., *Dzieje zwierciadła i jego rola w różnych dziedzinach kultury.*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, wyd. II uzupełnione, Warszawa 1973.
63. Zecchin L., *Vetro e vetrai di Murano - studi sulla storia del vetro*, Venezia: Arsenale, 1987.
64. Zecchin P., *La Ditta Marietti, Prima Vetreria Industriale a Murano*, [w:] Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro, vol. 36., 2006, s. 11-23.
65. Zecchin P., *La vetreria Salviati a Murano: Cronaca dei primi passi*, [w:] Journal of Glass Studies, vol. 49, 2007, s. 191-205.
66. Zanetti V., *Guida di Murano e delle celebri sue fornaci vetrarie*, Venezia 1866.
67. Zanetti V., *Il museo di Murano. Relazione del Direttore Vincenzo Zanetti.*, Venezia 1873, s. 28.

Źródła internetowe:

1. Beltrami C., *Chefs-d'oeuvre de légèreté et de grace. Il vetro di Murano alle Esposizioni Universali di Parigi*, vol. 6 – luglio 2017, s. 19-33 [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://edizionicafoscari.unive.it/media/pdf/article/mdccc-1800/2017/0le-arti-in-mostra-le-esposizioni-internazionali/art-10.14277-2280-8841-MDCCC-6-17-2.pdf> (18.09.2023 r.).
2. Egipska koncepcja duszy i ciała [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://histmag.org/Ka-Ren-i-Szeut-Egipska-koncepcja-duszy-i-ciala-13014> (19.01.2024 r.)
3. Bonfrante L., *Etruscan mirrors and the grave* [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://books.openedition.org/efr/2741> (17.9.2023 r.)

4. *Najjaśniejsza Republika...masek. Teatralizacja życia w Wenecji w dobie Oświecenia.*, wykład profesora Jarosława Kiliana w Muzeum Łazienki Królewskie, tryb dostępu: <https://www.youtube.com/watch?v=fitazALCwDA> (11.07.2023 r.)
5. Scuro R., Pauly&C. – *CVM nella storia della vetraria veneziana d'epoca contemporanea: un caso di storia aziendale*, [w:] Mafia e storiografia. Premesse culturali e prospettive attuali., no. 39,3, 2019 [dokument elektroniczny] tryb dostępu: Open Edition Journals, <https://journals.openedition.org/diacronie/12134> (6.9.2023 r.).
6. Verità M., S. Zecchin, *Raw Materials and Glassmaking Technology in the Nineteenth – Century Glassworks* [dokument elektroniczny] tryb dostępu: https://www.istitutoveneto.org/pdf/testi/vetro/2016/02_verita_zecchin.pdf (15.09.2023 r.)

Strony internetowe:

1. <https://www.ongaroefuga.com/en/company.html>, (18.09.2023 r.).
2. <https://aavbarbini.it/barbini-glass-mirror/?lang=en>, (19.09.2023 r.).
3. <https://www.fratellitosi.com/en/index.php>, (19.09.2023 r.).
4. <https://archivi.cini.it/centrostudivetro/home.html>, (20.09.2023 r.).

2. Technika i technologia wytwarzania XIX – wiecznych luster weneckich.

1. Arizio E., Boromei I., Vascotto V., Orsega E.F., *Investigation on Corrosion Morphology and Products of Ancient Tin Amalgam Mirrors by AFM, SEM-EDS and Micro-Raman Spectroscopies*, [w:] SN Applied Sciences, 1:358, 2019.
2. Arizio E., Orsega E.F., Falcone R., Sommariva G., Vallotto M., Barberini S., Preo M., *Specchi dal XVII secolo ai giorni nostri: studio chimico fisico preliminare su vetri, strati riflettenti e loro degrado*, [w:] Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro di Murano, no. 2., 2013, s. 33-41.
3. Arizio E., Orsega E.F., Falcone R., Vallotto M., *A Study of The Interaction Between Amalgam and Glass in Ancient Tin Amalgam Mirrors*, plakat konferencyjny: Sci - Società Chimica Italiana XIV Congresso Nazionale Di Chimica Dell'ambiente E Dei Beni Culturali "La Chimica Nella Società Sostenibile" Rimini, 2-5 Giugno 2013.

4. Bontemps G., *Guide du Verrier*, tłum. Cable M., the Society of Glass Technology, Sheffield 2008.
5. Brock W. H., *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper*, Cambridge University Press 2002, s. 136-139.
6. Hadsund P., *The tin – mercury mirror: its manufacturing technique and deterioration processes*, [w:] *Studies in conservation*, 38, 1993, s. 3-16.
7. Nowotny W., *Technologia szkła cz. 1.*, Warszawa 1975.
8. Nowotny W., *Technologia zdobienia szkła.*, Warszawa 1980.
9. Prezbiter T., *Diversarum Artium Schedula i inne średniowieczne zbiory przepisów o sztukach rozmaitych.*, tłum. Kobielus S., Kraków 2009, księga II.
10. Scoville W. C., *Large Scale Production in the French Plate-Glass Industry, 1665-1789*, [w:] *Journal of Political Economy*, Vol. 50., No. 5, Oct. 1942.
11. Skirgajło J., *Szkło walcowane*, [w:] *Technologia szkła.*, red. Rawdanowicz J., Warszawa 1987, s.82.
12. Zecchin P., *Giuseppe Briati, il più famoso vetraio veneziano del Settecento*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 53, 2011.
13. Zecchin P., *Il vetro colato*, [w:] *Journal of Glass Studies*, vol. 58, 2016, s. 197-209.
14. Zywitzki O., Nedon W., Kopte T., Modes T., *Characterisation of baroque tin amalgam mirrors of the historical Green Vault in Dresden*, [w:] *Applied Physics A. Material Science & Processing.*, no. 92, 2008, s. 123-126.

Strony internetowe:

1. ongaroefuga.com Glossary | Ongaro & Fuga, (dostęp: 13.12.2023 r.)

3. Problematyka konserwatorska XIX – wiecznych srebrzonych luster weneckich.

1. Ali U., Abd Karim K.J., Buang N.A., *A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA)*, [w:] *Polymer Reviews*, 0:1 – 28, 2015.
2. Ankersmit H.A. et. al., *The Protection of Silver Collections from Tarnishing*, [w:] *Studies in Conservation*, 45:sup1, 2000, s. 7-13.
3. Arizio E., Orsega E.F., Falcone R., Sommariva G., *Artificial aging of tin amalgam mirrors: a preliminary study of alteration compounds and kinetics.*, [w:] *Procedia Chemistry*, 8, 2013, 3-10.

4. Baker A.J., *Corrosion of Metal in Wood Products*, [w:] Durability of Building Materials and Components, Sereda P.J., Litvan G.G. (red.), American Society for Testing Materials ASTM STP 691, 1980, s. 981-993.
5. Beech I.B., *Corrosion of Technical Materials in the Presence of Biofilms – Current Understanding and State – of – the Art Methods of Study*, [w:] International Biodeterioration & Biodegradation, 53, 2004, s. 177-183.
6. Becker J. et al., *Atmospheric Corrosion of Silver, Copper and Nickel Exposed to Hydrogen Sulphide: a Multi-analytical Investigation Approach*, [w:] Corrosion Science, 209, 2022, s. 1-13.
7. Brusic V., Frankel G.S., Roldan J., Saraf R., *Corrosion and Protection of a Conductive Silver Paste.*, [w:] Journal of Electrochemical Society, vol. 142., no. 8, 1995, s. 2591-2594.
8. Cid R., Palomar T., *Influence of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Alternation of Historical Unstable Glasses*, [w:] Journal of the American Ceramic Society, Volume 105, Issue 11, 2022, s. 1-15.
9. Clark D.E., Zaitos B.K. (red.), *Corrosion of Glass, Ceramics and Ceramic Superconductors. Principles, Testing, Characterization and Applications*, University of Florida, New Jersey 1992, s. 17.
10. Corrêa Pinto A.M. et al., *Fungal Biodegradation of Stained-Glass Windows in Monuments from Belém do Pará (Brazil)*, [w:] International Biodeterioration and Biodegradation, 138, 2019, s. 106-113.
11. Davison S., *Conservation and Restoration of Glass*, Oxford 2006, s. 9.
12. Davison S., *Reversible Fills for Transparent and Translucent Materials*, [w:] Journal of the American Institute for Conservation, vol. 37, No. 1, 1998, s. 42.
13. Davison S., Jackson P.R., *The Restoration of Decorative Flat Glass Case Histories.*, [w:] Annales du 10^e Congrès, Association Internationale pour l'Histoire du Verre, Amsterdam 1987, s. 465-480.
14. Down J. L., *Review of CCI Research on Epoxy Resin Adhesives for Glass Conservation*, [w:] Studies in Conservation, 46: sup 1, s. 39-46.
15. Eggert G., *Corroding Glass, Corroding Metals: Survey of Joint Metal/Glass Corrosion Products on Historic Objects*, [w:] Corrosion Engineering, Science and Technology, vol. 45, no. 5, 2010, s. 414-419.

16. Eggert G., Fischer A., *Curious Corrosion Compounds Caused by Contact: A Review of Glass-Induced Metal Corrosion on Museum Exhibits (GIMME)*, [w:] *Corrosion and Materials Degradation*, 3, 2022, s. 553-565.
17. Emerson D., *The Role of Iron-oxidizing Bacteria in Biocorrosion: a Review*, [w:] *Biofouling* 34:9, 2018, s. 989-1000.
18. Frąckowiak I., Mytko K., Bendowska R., *Content of Formaldehyde in Lignocellulosic Raw Materials for Particleboard Production*, [w:] *Drewno*, 188, 2012, s. 33-45.
19. Gadd G. M., *Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation*, [w:] *Microbiology*, 156, 2010, s. 609-643.
20. Graedel T. E., *Corrosion Mechanisms for Silver Exposed to the Atmosphere*, [w:] *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 139 (7), 1992, s. 1963-1971.
21. Graham R.D., Wilson M.M., Oteng-Amoako A., *Wood – Metal Corrosion. An Annotated Survey.*, Oregon 1976, s. 2-3.
22. Greiner-Wronowa E., Świt P., *The Influence of Selected Organic Compounds on the Corrosion of Historical Glass Based on Their State of Preservation*, [w:] *Acta Physica Polonica A*, vol. 130, no. 6, 2016, s. 1406-1414.
23. Hamilton W.A., *Microbially Induced Corrosion as a Model System for the Study of Metal Microbe Interactions: a Unifying Electron Transfer Hypothesis*, [w:] *Biofouling*, 19:1, 2003, s. 65-76.
24. Hillman D., Wilcoxon R., Wieland A.; *An Examination of the Tin Pest Phenomenon Over a 10-Year Period*, [w:] *Journal of Electronic Materials* 51; 2002; s. 6492-6502.
25. Iwanicka M., Musiela J., Łukaszewicz J.W., Stoksik H., Sylwestrzak M., *The Potential of OCT for Assessing Laser Assisted Removal of Deposits from Ceramic Tiles*, [w:] *Lasers in the Conservation of Artworks XI, Proceedings of the International Conference LACONA XI, Kraków, Poland, 20-30 September 2016*, Targowski P., Walczak M., Pouli P. (eds.), NCU Press, Toruń 2017, doi: 10.12775/3875-4, s. 155-178.
26. Kip N., Veen van J.A., *The dual role of microbes in corrosion*, [w:] *The ISME Journal*, 9, 2015, s. 542-551.
27. Kokare C.R. et al., *Biofilm: Importance and Applications*, [w:] *Indian Journal of Biotechnology*, vol 8, 2009, s. 159-168.
28. Koob S.P., *Conservation and Care of Glass Objects*, Nowy Jork 2006, s. 117-125.

29. Kozakiewicz P., *Fizyka drewna w teorii i zadaniach*, Warszawa 2012, s. 22.
30. Kozakiewicz P., Matejak M., *Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie.*, Warszawa 2013, s. 230.
31. Krause J., *Sarkofagi cynowe. Problematyka technologiczna, warsztatowa i konserwatorska.*, Toruń 1995, s. 142.
32. Książek S., Kida M., Koszelnik P., *Benzotriazole – Występowanie i Trwałość w Środowisku.*, [w:] Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), 2016, s. 121-128.
33. Kunicki-Golfinger J.J., *Unstable Historic Glass: Symptoms, Causes, Mechanisms and Conservation*, [w:] Studies in Conservation, vol. 9., 2008, s. 47-60.
34. Kunicki-Goldfinger J., Pańczyk E., *Badania historycznych szkieł przy użyciu metod jądrowych*, [w:] Postępy techniki jądrowej. Jubileusz 60-lecia Międzynarodowej Agencji Energi Jądrowej, vol. 59, z. 4, 2016, s. 30-33.
35. Krause J., *Badania nad oczyszczaniem żelaznych obiektów zabytkowych metodą chemiczną.*, [w:] Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo V. Nauki Humanistyczno – Społeczne., zeszyt 52, 1973, s. 117-134.
36. Krzysik F., *Nauka o drewnie*, Warszawa 1975, s. 428.
37. Leygraf C., Wallinder I. O., Tidblad J., Graedel T., *Atmospheric Corrosion. Appendix I: The Atmospheric Corrosion Chemistry of Silver.*, John Wiley & Sons 2016, s. 337-347.
38. Lis A., Lis P., *Charakterystyka wytrzymałości drewna jako jego podstawowej właściwości mechanicznej*, [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo., z. 19, 2013, s. 77-86.
39. Marczewska A., Kuśnierz A., *Badania naprężeń w szkle*, [w:] Szkło i ceramika, nr 5, 2014, s. 8-11.
40. Matuszczyk M., *Badania farb stosowanych do barwnych uzupełnień ubytków szkieł ceramicznych w ekspozycji zewnętrznej. Część II.*, ASP Wrocław, 2019.
41. Matuszczyk M., *Konserwacja i restauracja ceramicznego kominka z 1883 r. znajdującego się w rezydencji Hermanna Fränkla w Prudniku z uwzględnieniem badań farb do punktowania ceramiki metodą „na zimno”*, Warszawa 2013.
42. Monnier J. et al., *Reactivity Studies of Atmospheric Corrosion of Heritage Iron Artefacts*, [w:] Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic

- Artefacts, P. Dillman, D. Watkinson, E. Angelini, A. Adriaens (red.), 2013, s. 285-309.
43. Moszak N., Wójcik K., *Portugalska szkoła konserwacji i restauracji szkła. Fragmenty witraży z twierdzy Tomar oraz naczyniowe szkło archeologiczne ze stanowiska w klasztorze Santa Clara – a – Velha*, [w:] *Studia i materiały konferencji naukowej studentów Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki*, Michalik I. (red.), tom II, 2013, s. 57-62.
 44. Piñar G. et al., *Microscopic, Chemical, and Molecular-Biological Investigation of the Decayed Medieval Stained Window Glasses of Two Catalan Churches*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 84, 2013, s. 388-400.
 45. Przybyłowicz K., *Metaloznawstwo*, Warszawa 1999, s. 80.
 46. Rodrigues A. et al., *Fungal Biodegradation of Stained-Glass Windows*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 2014, s. 152-160.
 47. Safarzyński S., Weker W., *Wprowadzenie do Sztuki Konserwacji Metalu*, Warszawa 2010, s. 24.
 48. Sanders C. E. et al., *The Role of Sulfur in the Atmospheric Corrosion of Silver*, [w:] *Journal of the Electrochemical Society* Vol. 162 (12), 2015, s.C630-C637.
 49. Schorpp A., Braun M., Fischer A., Eggert G., *In Search of Frequency: Glass-induced Metal Corrosion in the Deutsches Bergbau-Museum Bochum*, [w:] *Metalla*, nr 25.1, 2019, s. 33-41.
 50. Schuck T., Fischer A., Schwahn B., *Acrylic Barrier Surface Coatings for Epoxy Resin Adhesive Bonds in Glass Conservation: Evaluation of Bond Strength and Reversibility*, [w:] *Recent Advances in Glass and Ceramics Conservation*, Londyn 2019, s. 131-140.
 51. Szklarek M., *Mikroskopia chemiczna i analityczne techniki wielowymiarowe oraz sprzężone*, 2019, s. 60.
 52. Targowski P., Iwanicka M., *Optical Coherence Tomography: its role in non-invasive structural examination and conservation of cultural heritage objects – a review*, [w:] *Applied Physics A*, 106, 2012, s. 265-276.
 53. Tomaszewska-Szewczyk A., *Srebro*, [w:] *Zabytki kamienne i metalowe, ich Niszczenie i Konserwacja Profilaktyczna.*, red. W. Domański, Toruń 2011, s. 504-506.

54. Tomaszewska-Szewczyk A., *Żelazo*, [w:] *Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna.*, W. Domasłowski (red.), Toruń 2011; s. 494-496.
55. Tomczak A., Jelonek T., *Parametry techniczne młodocianego i dojrzałego drewna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.)*, [w:] *Sylvan*, 156 (9), 2012, s. 695-702.
56. Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Grzywiński W., *Jakość drewna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.). Część I. Charakterystyka wybranych cech i właściwości drewna wpływających na jego jakość.*, [w:] *Sylvan*, 153 (6), 2009, s. 363-372.
57. Wagner B. et al., *Complementary Analysis of Historical Glass by Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*, [w:] *Microchim Acta* 162, 2008.
58. Wagner B. et al., *Critical assessment of the elemental composition of Corning archaeological reference glasses by LA-ICP-MS*, [w:] *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011.
59. Wagner B., Syta O., Sawicki M., *A moderate microsampling in Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry analysis of cultural heritage objects: a review*, [w:] *Lasers in the Conservation of Artworks XI, Proceedings of the International Conference LACONA XI, Kraków, Poland, 20-30 September 2016*, Targowski P., Walczak M., Pouli P. (eds.), NCU Press, Toruń 2017, doi: 10.12775/3875-4, s. 155-178.
60. Wdowiak A., *Struktura drewna konstrukcyjnego*, [w:] *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXXIV, z. 64 (4/17), październik-grudzień 2017, s. 365-380.
61. Witkowska J., Lachowicz H., *Zmienność gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w zależności od wybranych czynników*, [w:] *Sylvan*, 157 (5), 2013, s. 336-347.
62. Valbi V. et al., *Bacterial Diversity on Stained Glass Windows*, [w:] *International Biodeterioration and Biodegradation*, 177, 2023, Article 105529.
63. Zachariassen W. H., *The Atomic Arrangement in Glass*, [w:] *Journal of the American Chemical Society*, 1932, s. 3841 – 3851.

64. Zelinka S. L., *Corrosion of Metals in Wood Products* [w:] Developments in Corrosion Protection, red. M. Aliofkhazraei, 2014, s. 567-592.

Źródła internetowe:

1. Baker A.J., *Corrosion of Metal in Wood Products*, Durability of Building Materials and Components – Proceedings of the First International Conference – A Symposium presented at Ottawa, Canada, 1978, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf1980/baker80a.pdf> (02.01.2024 r.).
2. Desrochers M., Donnelly W., King M., Grayburn R., *Advances in Storing and Monitoring Mercury – Tin Amalgam Mirrors*, [w:] Journal of the American Institute for Conservation, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://connectingtocollections.org/wp-content/uploads/2023/06/Advances-in-storing-and-monitoring-mercury-tin-amalgam-mirrors.pdf>, (505.03.2024 r.).
3. Giuliani Ch. et al., *Toward a Green and Sustainable Silver Conservation: Development and Validation of Chitosan-Based Protective Coatings.*, [w:] International Journal of Molecular Sciences, 23, 2022, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://doi.org/10.3390/ijms232214454>), (9.01.2024 r.).
4. Targowski P., Kowalska M., Sylwestrzak M., Iwanicka M., *OCT for Examination of Cultural Heritage Objects*, [w:] Optical Coherence Tomography and Its Non-medical Applications, Wang M.R. (red.), 2020, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://www.intechopen.com/chapters/68201>, (02.01.2024 r.).
5. Wael A. A. Abo Elgat, et al., *The Effects of Iron Rust on the Ageing of Woods and Their Derived Pulp Paper* [w:] Polymers (Basel), 13 (20), 2021, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://doi.org/10.3390/polym13203483> (8.03.2023 r.).
6. Weaver J.L. et al., *Microbial Interactions with Silicate Glasses*, [w:] Materials Degradation, 5:11, 2021, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://doi.org/10.1038/s41529-021-00153-w> , (28.11.2023 r.).
7. Verhaar G., *Glass sickness: Detection and Prevention. Investigating Unstable Glass in Museum Collections.*, rozprawa doktorska, University of Amsterdam, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: https://pure.uva.nl/ws/files/29086476/Thesis_complete_.pdf, (12.10.2023 r.).

8. Zhang H., Xue X., *The Research Progress on Corrosion and Protection of Silver Layer.*, [w:] SN Applied Sciences, 1:464, 2019, [dokument elektroniczny] tryb dostępu: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0495-3>, (09.01.2024 r.).

Strony internetowe:

1. <https://cordis.europa.eu/article/id/151322-biomineralisation-and-nanotechnology/pl>, (dostęp: 28.11.2023 r.)

Spis fotografii:

Fot. 1. Narcyz oglądający swe oblicze w lustrze wody, autor: Jan Cossiers, obraz na płótnie, 1636 – 1638 r., właściciel: Museo del Prado, źródło: <https://www.museodelprado.es/en/the-collection/art-work/narcissus/edba34ac-e145-4a3b-a201-c5b3e6a10aae?searchid=2e881d0e-e631-5297-4155-59f11ddf294b>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 2. Ołtarz w kaplicy Matki Boskiej Częstochowskiej z bocznymi lustrami, ok 1930 r., źródło: <https://sbc.org.pl/de/dlibra/publication/430911/edition/403435/oltarz-z-cudownym-obrazem-w-kaplicy-matki-boskiej-czestochowskiej-na-jasnej-gorze?language=de>, (dostęp: 22.02.2024 r.)

Fot. 3. Prudentia, autor: Jan Collaert (I), grafika, 1574 - 1580 r., właściciel: Museum Boijmans Van Beuningen, źródło: <https://www.boijmans.nl/en/collection/artworks/146216/prudence>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 4. Fragment greckiego naczynia czerwono-figurowego, Acropolis Museum, źródło: <https://www.theacropolismuseum.gr/en/part-loutrophoros-54>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 5. Obraz Lukasa Furtenagela pt. Portret malarza Hansa Burgkmair i jego żony Anny, 1529 r., Kunsthistorisches Museum Wien, źródło: <https://www.khm.at/en/objectdb/detail/768/?offset=0&lv=list>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 6. Hans Baldung, Trzy wieki kobiety i śmierci, 1510, Kunsthistorisches Museum Wien, źródło: <https://artslife.com/2021/01/07/vax-o-no-vax-unironica-riflessione-a-tema-artistico/>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 7. Lustra z obsydianu, Çatalhöyük, 6000-5500 BC., Museum of Anatolian Civilizations, źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Obsidian_mirrors,_%C3%87atalh%C3%B6y%C3%BCk,_6000-5500_BC,_MACA,_99034.jpg, (dostęp: 22.02.2024 r.)

Fot. 8. Lustro egipskie z rękojeścią z głową bogini Hathor, około 1479 – 1425 r. p. n. e., własność: The Metropolitan Museum of Art, Nowy Jork, źródło: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/545165>, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 9. Lustro etruskie z uchwytem, z przedstawieniem skrzydlatej postaci, 4 ćw. VI w p. n. e., własność: Staatliche Museen zu Berlin, źródło: <https://recherche.smb.museum/detail/691330/etruskischer-spiegel-gef%C3%BCgelte-figur?language=de&question=spiegel&limit=15&offset=45&sort=relevance&controls=none&objIdx=55>, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 10. Lustro greckie, stojące, poł. V w. p. n. e., własność: The Metropolitan Museum of Art, Nowy Jork, źródło: https://www.metmuseum.org/art/metpublications/Recent_Acquisitions_A_Selection_20_10_2012_The_Metropolitan_Museum_of_Art_Bulletin_v_70_no_2_Fall_2012, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 11. Lusterko rzymskie pochodzące z Cypru: szkło w oprawie ołowianej, III w. n.e., właściciel: The Metropolitan Museum of Art w Nowym Jorku, źródło: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/244125>, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 12. Oprawa dla okrągłego lusterka w formie postaci, Imperium Rzymskie (?), właściciel: Musée du Louvre, źródło: <https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl010134960>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 13. Wytwórca luster, ilustracja pochodząca z Eygentliche Beschreibung Aller Stände auff Erden Hansa Sachsa, Frankfurt, 1568, źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek_df_tg_0008128_St%C3%A4ndebuch_%5E_Handwerk_%5E_Spiegelmacher.jpg (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 14. Lustro stojące, 1576 - 1600, Victoria & Albert Museum, Londyn, źródło: <https://collections.vam.ac.uk/item/O79780/mirror-unknown/>, (dostęp: 22.02.2024 r.)

Fot. 15. Rama tabernakulum z lustrem (rozsuwana na boki), Włochy, Florencja, 1540-60 r., właściciel: The Metropolitan Museum of Art, źródło: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/460423>, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 16. Lustro w monumentalnej, drewnianej ramie, rzeźbionej i złożonej, Włochy, 1680-1710 r., własność: Victoria and Albert Museum w Londynie, źródło: <https://collections.vam.ac.uk/item/O187214/mirror-unknown/>, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 38. XVIII wieczne lustro weneckie w wyodrębnioną koroną oraz rokokowymi elementami snycerskimi, źródło: <https://www.bertolamifineart.com/uk/auction-0271/gilded-and-carved-wooden-mirror---venice-18th-century-103009>, (dostęp: 04.04.2024 r.)

Fot. 17. Lustro weneckie, 1680-1720 r., własność: Victoria and Albert Museum w Londynie, źródło: <https://collections.vam.ac.uk/item/O960/mirror-unknown/>, (dostęp: 13.02.2024 r.)

Fot. 18. Trumeau, 1725 – 1735 r., Ile-de-France, właściciel: Musée du Louvre, źródło: <https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl010208785>, (dostęp: 14.02.2024 r.)

Fot. 19. Aquamanila, Wenecja, 1525-1550 r., The British Museum, źródło: https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1855-1201-197, (dostęp: 15.02.2024 r.)

Fot. 20. Puchary z pokrywą, emaliowane i złożone, Wenecja, 1450-1500 r., The British Museum, źródło: https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_WB-5 (dostęp: 15.02.2024 r.)

Fot. 21. Puchar z pokrywą, szkło filigranowe, koniec XVI w., The British Museum, źródło: https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1880-0617-27, (dostęp: 15.02.2024 r.)

Fot. 22. Szklą wykonane w technice millefiori, Wenecja, XVII w., The British Museum, źródło: https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_S-805, (dostęp: 15.02.2024 r.)

Fot. 23. Regaty na Grand Canale, Wenecja, Canaletto, olej na płótnie, 1733-4 r., Royal Collection Trust, źródło: <https://www.rct.uk/collection/search#/5/collection/404416/a-regatta-on-the-grand-canal>, (dostęp: 15.02.2024 r.)

Fot. 24. Daniele Manin, przywódca powstania przeciw rządowi austriackim, źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Daniele_Manin.jpg?uselang=fr, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 25. Kobiety wykonujące zawód tzw. impressy, trudniące się nawlekaniem koralików na nitki, źródło: <https://dalvenetoalmondoblog.blogspot.com/2017/09/impiraresse-un-mestiere-quasi-scomparso.html>, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 26. Vincenzo Zanetti, założyciel i dyrektor Muzeum Szkła w Murano, źródło: <https://www.visitmuve.it/it/la-scuola-del-vetro-abate-zanetti/la-scuola/vincenzo-zanetti/>, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 27. Siedziba firmy Marietti w budynkach byłego zakonu Santa Chiara, źródło: <https://santachiamurano.com/history.html>, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 28. Mozaika wykonana przez firmę Salviati, ok. 1900 r., Corning Museum of Glass, źródło: <https://glasscollection.cmog.org/objects/11699/mosaic?ctx=f249ee8a4dfb702f2b4c1e4f9b7fc01d319357be&idx=35>, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 29. Wazonik firmy Salviati Dr. Antonio, 1872-1895 r., Corning Museum of Glass, źródło: <https://glasscollection.cmog.org/objects/44485/vase?ctx=4d9c8f19cdf343a204c09b1bf53730c67c9fd493&idx=79>, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 30. Zdjęcie z archiwum firmy Fratelli Testolini, Fundacja Giorgio Cini, fot. N. Moszak

Fot. 31. Lustro firmy Fratelli Testolini z malowanymi ramami, Fundacja Giorgio Cini, fot. N. Moszak

Fot. 32. Archiwalne zdjęcia luster Campagna di Venezia e Murano (CVM), Fundacja Giorgio Cini, fot. N. Moszak

Fot. 33. Projekty luster Campagna di Venezia e Murano (CVM), 1850-80, The Metropolitan Museum of Art, Nowy Jork, źródło: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/344727>, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Fot. 34. Archiwalne zdjęcia z katalogu luster znajdującego się w siedzibie firmy Barbini Specchi Veneziani, fot. N. Moszak

Fot. 35. Vincenzo Barbini, 2022 r., fot. N. Moszak

Fot. 36. Giovanni Barbini, 2022 r., fot. N. Moszak

Fot. 37. Zwierciadło o numerze inwentarzowym MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 38. Lustro o numerze inwentarzowym MJG 1245Ps, stan przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak

Fot. 39. Mosiężny świecznik, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 40. Zwierciadło o numerze inwentarzowym MJG 36s, stan przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak

Fot. 41. Wkręt żelazny zakończony szklaną główką, fot. N. Moszak

Fot. 42. Odwrocie lustra, widoczne łączenie deski głównej oraz odpowiednio wyprofilowanej, deski bocznej, fot. N. Moszak

Fot. 43. Drewniana rama lustra, odwrocie, widoczna deska zabezpieczająca tafłę główną oraz poprzeczne listwy spajające, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 44. Drewniane podłoże lustra MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 45. Odwrocie zwierciadła MJG 1245Ps po demontażu deski zabezpieczającej tafłę główną, fot. N. Moszak

Fot. 46. Lico podłoża zwierciadła MJG 36s, widoczny sposób obróbki drewna, fot. N. Moszak

Fot. 47. Podłoże lustra MJG 36s, widoczny sposób opracowania drewna oraz wydrążone otwory na tafle szkła, fot. N. Moszak

Fot. 48. Montaż szklanych prętów za pomocą skręconych wokół siebie drucików, zamontowanych do podłoża za pomocą gwoździ, fot. N. Moszak

Fot. 49. Lustro MJG 36s w trakcie demontażu szklanych elementów dekoracyjnych, zamontowanych za pomocą żelaznych gwoździ, fot. N. Moszak

Fot. 50. Odwrocie zwierciadła MJG 1245Ps, montaż głównej tafli za pomocą żelaznych gwoździ i odpowiednio dociętych, kawałków korka, fot. N. Moszak

Fot. 51. Widoczne żelazne gwoździe służące do montażu poprzecznej deski spinającej odwrocie oraz żelazna zawieszka, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 52. Krawędź tafli szkła płaskiego, obiekt MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 53. Dekoracja grawerska na tafli szkła płaskiego, widoczny brak precyzji wykonania poszczególnych detali, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 54. Widoczne fazowanie krawędzi tafli centralnej, fot. N. Moszak

Fot. 55. Roztwór srebrzący, fot. N. Moszak

Fot. 56. Tafle szkła z warstwą metalicznego srebra, efekt prób, fot. N. Moszak

Fot. 57. Warstwa lakieru pokrywająca srebrzenie tafli, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 58. Farba na bazie mini ołowiowej zabezpieczająca srebrzenie tafli, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 59. Formowanie szklanych główek wkrętów i gwoździ za pomocą form grafitowych w ogniu palnika gazowego, fot. N. Moszak

Fot. 60. Pęknięcie drewna, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 61. Ceramiczna nakładka dystansująca lustro od ściany, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 62. Widoczne urazy mechaniczne drewna, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 63. Widoczne pęknięcie deski zabezpieczającej tafle główną zwierciadła, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 64. Znaczne ubytki szklanych liści, szkło pęknięte w pobliżu otworów montażowych, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 65. Obraz otrzymany w wyniku badania OCT, widoczne pęknięcia idące w głąb struktury szkła, w pobliżu otworu montażowego, fot. M. Iwanicka

Fot. 66. Stan zachowania szklanej esownicy, wynikający z urazu mechanicznego, brak około 1/3 materiału, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 67. Widoczny ubytek woluty (pierwsza z prawej), szkła pokryte grubą warstwą zanieczyszczeń, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 68. Tafla pokryta grubą warstwą zanieczyszczeń mogących prowadzić nie tylko do urazów mechanicznych, ale także powodujących niemal całkowity brak transparentności szkła, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 69. Odwrocie srebrzonej tafli, widoczne urazy mechaniczne, odspojenia i ubytki farby na obrzeżach, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 70. Widoczna różnica w kolorze drewna przykrytego szczelnie taflą szkła (drewno jasne po prawej) oraz z dostępem czynników wpływających destrukcyjnie (drewno ciemniejsze po lewej)

Fot. 71. Zdjęcia mikroskopowe zdegradowanej, srebrnej podlewki tafli, MJG 1245Ps, pow. 20x

Fot. 72. Zdjęcia mikroskopowe zdegradowanej warstwy zabezpieczającej srebrną podlewkę tafli, MJG 1245Ps, pow. 20x

Fot. 73. Korozja srebrnej podlewki tafli lustra MJG 1245Ps, SEM EDS

Fot. 74. Stan zachowania folii cynowej, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 75. Korozja żelaznego elementu montażowego, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 76. Żelazne gwoździe korodujące w podłożu drewnianym zwierciadła MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 77. Przykład niewłaściwego zabezpieczenia ruchomych elementów szklanych za pomocą drutu, Muzeum Karkonoskie w Jeleniej Górze, fot. N. Moszak

Fot. 78. Lokalizacja punktów badawczych tafli S2 dla MJG 1245Ps

Fot. 79. Wyniki badania techniką OCT ilustrujące miejsce odspojenia srebrnej podlewki, oprac.: M. Iwanicka

Fot. 80. Widoczne przemalowania drewnianej ramy zastępujące powszechnie stosowaną w lustrach tego typu, folię cynową, zwierciadło pochodzące z Muzeum Narodowego w Warszawie, fot. N. Moszak

Fot. 81. Zwierciadło MJG 36s w trakcie demontażu poszczególnych szklanych elementów, fot. N. Moszak

Fot. 82. Zdemontowane szkła przed konserwacją i restauracją, światło rozproszone, zwierciadło MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 83. Fluorescencja szklanej taśmy w świetle UV-B, obiekt MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 84. Warstwa folii aluminiowej nałożonej na oryginalną folię cynową, prawdopodobnie podczas późniejszych renowacji, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 85. Konsolidacja i reintegracja zachowanych fragmentów folii cynowej z drewnianym podłożem za pomocą 10% roztworu polialkoholu winylu, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 86. Zwierciadło MJG 1245Ps, po zabiegu reintegracji i oczyszczania folii cynowej, fot. N. Moszak

Fot. 87. Oczyszczanie wnętrza ramy zwierciadła MJG 36s, fot. K. Wantuch

Fot. 88. Oczyszczanie żelaznych wkrętów i gwoździ z nawarstwień korozyjnych za pomocą 10% wodnego roztworu NaOH, fot. N. Moszak

Fot. 89. Detale szklane przed (po lewej) i po (po prawej) zabiegu oczyszczania, fot. N. Moszak

Fot. 90. Srebrzona tafla szkła przed zabiegiem oczyszczania, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 91. Srebrzona tafla szkła po zabiegu oczyszczania, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 92. Szklana woluta po zabiegach oczyszczania, światło przechodzące, fot. N. Moszak

Fot. 93. Szklana woluta po zabiegach oczyszczania, światło rozproszone, fot. N. Moszak

Fot. 94. Klejenie drewna na licu ramy zwierciadła, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 95. Uzupełnianie miejsc pęknięć drewna za pomocą balsy, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 96. Montaż izolującej folii poliestrowej, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 97. Dopasowywanie folii cynowej do ramy lustra, którą partiami klejono za pomocą spoiwa syntetycznego, żywicy akrylowej, Paraloid B-72, fot. N. Moszak

Fot. 98. Zabezpieczanie powierzchni folii cynowej za pomocą 10% roztworu żywicy akrylowej Paraloid B-44 w 97%-owym dipropylenie glikolu monometylu eterze, fot. N. Moszak

Fot. 99. Przykład żółkniętej żywicy epoksydowej Hxtal NYL-1, fot. N. Moszak

Fot. 100. Szklana taśma wymagająca klejenia, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 101. Ustabilizowane fragmenty szkła podczas klejenia, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 102. Szklana taśma po sklejeniu, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 103. Przygotowanie formy do uzupełnień, właściwe rozmieszczenie otworów wlotowych i odpowietrzających, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 104. Forma silikonowa do uzupełnień szkła, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 105. Odlewanie uzupełnienia z żywicy epoksydowej z wykorzystaniem plastikowej pipety, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 106. Uzupełnienie szkła za pomocą żywicy epoksydowej, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 107. Uzupełnienie szklanego liścia za pomocą żywicy epoksydowej, białe tło, światło rozproszone, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 108. Uzupełnienie szklanego liścia z pomocą żywicy epoksydowej, czarne tło, światło rozproszone, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 109. Uzupełnienie z żywicy epoksydowej, światło przechodzące, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 110. Ubytek szklanej taśmy, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 111. Uzupełnienia szklanej esownicy żywicą epoksydową (u góry), światło rozproszone, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 112. Wklejanie uzupełnień płatków szklanego kwiatu, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 113. Uzupełnienie szklanej taśmy po scaleniu kolorystycznym, światło rozproszone MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 114. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, opuszczanie porcji szkła na tzw. „przedformę” fot. N. Moszak

Fot. 115. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, etap formowania płatków, fot. N. Moszak

Fot. 116. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, etap nadawania płatkom odpowiedniej faktury, fot. N. Moszak

Fot. 117. Próby rekonstrukcji czteropłatkowego kwiatka barwionego grysem różowym, fot. N. Moszak

Fot. 118. Rekonstrukcje szklanych liści wykonanych przez firmę Barbini Specchi Veneziani (po prawej) w porównaniu do oryginału (po lewej), fot. N. Moszak

Fot. 119. Szlifowanie powierzchni szklanych liści, próby dopasowania ich do oryginału fot. N. Moszak

Fot. 120. Rekonstrukcje szklanych elementów wykonane w hucie Martina Stefanka, Desná, Republika Czeska, fot. M. Stefanek

Fot. 121. Rekonstrukcje szklanych elementów wykonane w hucie Martina Stefanka, Desná, Republika Czeska, fot. M. Stefanek

Fot. 122. Rekonstrukcja szklanych główek gwoździ i wkrętów w pracowni palników ASP we Wrocławiu, widoczne formy grafitowe, fot. N. Moszak

Fot. 123. Forma silikonowa do odlewu z żywicy na bazie metakrylanu metylu, fot. N. Moszak

Fot. 124. Rekonstrukcja formy liścia za pomocą kleju na bazie metakrylanu metylu, fot. N. Moszak

Fot. 125. Zabezpieczanie i uszczelnianie powłoki srebra, MJG 1245Ps, fot. N. Moszak

Fot. 126. Zabezpieczanie i uszczelnianie powłoki srebra za pomocą 10% roztworu żywicy akrylowej, Paraloidu B-44 w 97%-owym dipropylenie glikolu monometylu eterze, MJG 36s, fot. N. Moszak

Fot. 127. Przykład zastosowania metalicznej folii polimerowej w tafli pokrytej amalgamatem cynowo–rtęciowym, fot. N. Moszak

Fot. 128. Lustro MJG 36s w trakcie montażu, fot. N. Moszak

Fot. 129. Lustro MJG 36s w trakcie montażu, montaż szklanych prętów, fot. N. Moszak

Fot. 130. Zwierciadło MJG 36s w trakcie montażu, fot. N. Moszak

Fot. 131. Lustro MJG 36s w trakcie montażu, fot. N. Moszak

Fot. 132. Zwierciadło MJG 1245Ps w trakcie montażu, fot. N. Moszak

Fot. 133. Zwierciadło MJG 1245Ps w trakcie montażu, fot. N. Moszak

Fot. 134. Zwierciadło MJG 36s w trakcie montażu, fot. K. Wantuch

Fot. 135. Lustro MJG 36s przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak

Fot. 136. Lustro MJG 36s po konserwacji i restauracji, fot. N. Moszak

Fot. 137. Lustro MJG 1245Ps przed konserwacją i restauracją, fot. N. Moszak

Fot. 138. Lustro MJG 1245Ps po konserwacji i restauracji, fot. N. Moszak

Fot. 139. Odwrocie zwierciadła MJG 1245Ps po konserwacji i restauracji, fot. N. Moszak

Fot. 140. Widoczne różnice w odcieniu tafli srebrzonej (po prawej) oraz tafli z amalgamatem cynowo-rtęciowym (po lewej) (własność Muzeum Narodowego we Wrocławiu, nr inw. MNWr II – 722), fot. N. Moszak

Fot. 141. Widoczne odspojenia amalgamatu od szkła (własność Muzeum Narodowego we Wrocławiu, nr inw. MNWr II – 722), fot. N. Moszak

Fot. 142. Oprawianie szkła z amalgamatem w tzw. obejmkę cynową, konserwacja i restauracja ramy/retabulum ołtarzowego pochodzącego z kościoła p.w. Narodzenia Najświętszej Maryi Panny w Wichrowie (1750-60 r.), fot. K. Wantuch

Fot. 143. Przykład zastosowania profilu ołowiowego w tafli srebrzonej w zwierciadle pochodzącym z XVIII wieku (własność Muzeum Narodowego we Wrocławiu, nr inw. MNWr II – 722), fot. N. Moszak

Fot. 144. Korozja tafli z warstwą amalgamatu, rama/retabulum ołtarzowe pochodzące z kościoła p.w. Narodzenia Najświętszej Maryi Panny w Wichrowie (1750-60 r.), fot. N. Moszak

Fot. 145. Warstwa amalgamatu z obecną na jego powierzchni ciekłą rtęcią, pow. 20x, fot. N. Moszak

Fot. 146. Przykład odwrocia szkła pokrytego amalgamatem cynowo–rtęciowym zabezpieczonego wycinkiem włoskiej gazety, widoczne zacieki spowodowane obecnością ciekłej rtęci, własność: Muzeum Narodowe we Wrocławiu, fot. N. Moszak

Fot. 147. Szkło pokryte amalgamatem cynowo–rtęciowym dodane prawdopodobnie w wyniku późniejszych prac naprawczych obok szkła pokrytego metalicznym srebrem, widoczne zacieki spowodowane obecnością ciekłej rtęci, własność: Muzeum Narodowe we Wrocławiu, fot. N. Moszak

Fot. 148. Odwrocie tafli pokrytej amalgamatem cynowo–rtęciowym, widoczna ziarnistość powierzchni oraz postępująca korozja na obrzeżach tafli, fot. N. Moszak

Fot. 149. Użycie tablicy kolorów w fotografii dokumentacyjnej, fot. N. Moszak

Fot. 150. Lokalizacja zdjęć mikroskopowych dla tafli srebrzonej, MJG 36s, pow. 10x, fot. N. Moszak

Fot. 151. Korozja amalgamatu cynowo–rtęciowego (po lewej) oraz warstwy srebrzenia (po prawej), w widoku mikroskopowym, pow. 20x, fot. N. Moszak

Spis rysunków:

Rysunek 1. Widok Wenecji, Jacopo de'Barbari, drzeworyt, 1500 r. źródło:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jacopo_de%27_Barbari - View of Venice - Google Art Project.jpg#filelinks](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jacopo_de%27_Barbari_-_View_of_Venice_-_Google_Art_Project.jpg#filelinks), (dostęp: 15.02.2024 r.)

Rysunek 2. Mapa przedstawiająca terytorialny rozwój Republiki Weneckiej źródło:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venice_Republic.png, (dostęp: 16.02.2024 r.)

Rysunek 3. Mapa rejonu Veneto, około 1780 r., Rigobert Bonne, źródło:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1780_Bonne_Map_of_Venice_in_Western Italy - Geographicus - Venice-bonne-1780.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1780_Bonne_Map_of_Venice_in_Western_Italy_-_Geographicus_-_Venice-bonne-1780.jpg), (dostęp: 16.02.2024 r.)

Rysunek 4. Schematyczny rysunek zwierciadła MJG 36s, oznaczenie poszczególnych tafli szkła (S12 – tafla wykonana metodą walcowania gorącej masy szkła, S1-S11 – tafle wykonane metodą dmuchania z cylindrów)

Rysunek 5. Schematyczny rysunek inwentaryzacyjny, lustro MJG 1245Ps, oznaczenie poszczególnych tafli szkła (S1 – tafla wykonana metodą walcowania gorącej masy szkła, S2-S4 – tafle wykonane metodą dmuchania z cylindrów)

Rysunek 6. Grafika przedstawiająca produkcję szkła płaskiego metodą z użyciem walca, źródło: https://www.speednik.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2016/09/2016-09-07_22-48-01.jpg, (dostęp: 17.02.2024 r.)

Rysunek 7. Produkcja tafli z cylindrów, źródło: <https://vercellivetri.it/vetro-dalla-nascita-nel-mito-alla-tecnologia-di-oggi/>, (dostęp: 17.02.2024 r.)

Rysunek 8. Produkcja tafli szkła z cylindrów, źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/PSM_V34_D620_Interior_of_a_sheet_glass_factory.jpg, (dostęp: 17.02.2024 r.)

Rysunek 9. Wytwórcy luster, grafika pochodząca z Encyklopedii Denisa Diderota, źródło: <https://www.cmog.org/article/glassmaking-diderot-encyclopedie>, (dostęp: 17.02.2024 r.)

Rysunek 10. Schemat formowania kwiatów pojedynczych, czteropłatkowych: 1. rolowanie puszczelą z porcją szkła po blacie metalowego stołu w celu jej wycentrowania oraz nabrania kolorowego grysu szklanego, 2. ponowne grzanie porcji szkła w otworze pieca, 3. delikatne rozdmuchanie porcji szkła na puszczeli, 3. opuszczenie porcji szkła na tzw. przedformę w celu jej spłaszczenia i wyznaczenia odpowiednich podziałów, 5. formowanie poszczególnych płatków poprzez ściskanie gorącej masy szkła za pomocą metalowych, płaskich szczypiec z odpowiednią fakturą powierzchni, następnie odbicie od puszczeli i odprężanie

Rysunek 11. Schemat formowania kwiatów z podwójnym rzędem płatków: 1. rozdmuchanie bańki na puszczeli, 2. spłaszczenie banieczki, 3. nadawanie właściwego kierunku oraz faktury za pomocą płaskich, szerokich szczypiec z odpowiednią fakturą powierzchni, 4. nacinanie płatków za pomocą nożyc, 5. podawanie kolejnej porcji szkła za pomocą przylepiaka i „otoczenie” nią już uformowanego, pierwszego rzędu płatków, 6. formowanie zewnętrznej porcji szkła za pomocą płaskich szczypiec z odpowiednią fakturą powierzchni, 7. nacinanie poszczególnych płatków za pomocą nożyc, 8. gotowy wyrób, który następnie odbijano od puszczeli i odprężano

Rysunek 12. Schemat przypuszczalnego sposobu formowania liści barwionych grysem szklanym: 1. nabranie odpowiedniej ilości gorącej masy szkła na rozgrzany przylepiak, 2. rolowanie porcji szkła po metalowym blacie w celu jej wycentrowania oraz nabrania kolorowego grysu szklanego, 3. po ponownym grzaniu w otworze pieca, umieszczenie porcji szkła w formie i jej dociśnięcie za pomocą metalowej łopatki bądź korka, 4. nacięcie brzegów liści nożyczkami, 5. gotowy wyrób, który następnie odbito od przylepiaka i odprężono

Rysunek 13. Schemat formowania szklanej woluty: 1. nabrane odpowiedniej porcji szkła na przylepiak i rolowanie nią po metalowym blacie w celu wycentrowania i nabrania drobinek kolorowego szkła, 2. umieszczenie szkła w formie żeliwnej, 3. właściwie uformowana woluta na przylepiaku, 4. podanie kolejnej porcji szkła na przylepiaku w celu uformowania grzbietu, 5. użycie szczypiec z fakturą w celu podziału falbanki oraz nadania jej właściwej faktury

Rysunek 14. Wytwarzanie szklanych prętów, ok. 1600 r.

Rysunek 15. Schemat formowania pręta szklanego: 1. rozciąganie porcji szkła pomiędzy dwoma przylepiakami, 2. zwiększanie dystansu, a tym samym wydłużanie i ścienianie masy szkła, 3. skręcanie

Rysunek 16. Mapa zniszczeń dla drewna, odwrocie zwierciadła MJG1245Ps

Rysunek 17. Mapa zniszczeń zwierciadła MJG 1245Ps, szkło

Rysunek 18. Schemat cząsteczkowej budowy szkła

Rysunek 19. Mapa zniszczeń warstwy metalicznej tafli S3, MJG 1245Ps

Rysunek 20. Wymiarowanie poszczególnych elementów szklanych na potrzeby rekonstrukcji, MJG 36s

Rysunek 21. Rysunek wykonawczy uwzględniający poszczególne wymiary kwiatka, MJG 1245Ps

Rysunek 22. Rekonstrukcja pierwotnego wyglądu lustra MJG 36s, brakujące elementy zaznaczono kolorem, rys. N. Moszak

Rysunek 23. Rekonstrukcja pierwotnego wyglądu lustra MJG 1245Ps, brakujące elementy zaznaczono kolorem, rys. N. Moszak

Spis tabel:

Tabela 1. Władze okupacyjne w Wenecji w kolejnych latach

Tabela 2. Skład pierwiastkowy dla szkielec zwierciadła MJG 36s (na podstawie badań metodą LA ICP MS)

Tabela 3. Skład pierwiastkowy dla szkielec zwierciadła MJG 1245Ps (na podstawie badań metodą LA ICP MS)

Tabela 4. Wyniki badań składu pierwiastkowego dla tafli szkielec zwierciadła MJG 36s (badania metodą SEM EDS, wyniki uśrednione dla trzech punktów pomiarowych: 3, 4, 5)

Tabela 5. Wyniki badań składu pierwiastkowego dla tafli szkielec MJG 1245Ps (badania metodą SEM EDS, wyniki uśrednione dla trzech punktów pomiarowych: 1, 2, 3)

Tabela 6. Deklarowane przez producentów parametry dla żywic używanych obecnie w konserwacji i restauracji szkielec (wg informacji podanych przez producentów)

Tabela 7. Porównanie cech właściwych dla tafli srebrzonej oraz tafli z amalgamatem cynowo-rtęciowym

Tabela 8. Kryteria właściwej kwalifikacji techniki wykonania zwierciadła

Schematy:

Schemat 1. Czynności wstępne w przypadku identyfikacji lusterek z amalgamatem cynowo-rtęciowym

Schemat 2. Czynności wstępne w przypadku identyfikacji lusterek srebrzonych

Aneksy I-V raporty z badań specjalistycznych

Tabela 1. Wykaz poszczególnych załączników - raporty z badań specjalistycznych

| | Rodzaj badania | wykaz załączników |
|----|--|--------------------------|
| 1. | badanie spektrometrem fluorescencji rentgenowskiej XRF | aneks I (s. 273-291) |
| 2. | Analiza dendrologiczna – identyfikacja gatunków drewna | aneks II (s. 292-299) |
| 3. | LA ICP MS | aneks III (s. 300-308) |
| 4. | OCT | aneks IV (s. 309-354) |
| 5. | SEM EDS | aneks V (płyta CD) |

Aneks I

Badania spektrometrem fluorescencji rentgenowskiej XRF

*Pracownia Badań Fizyko-Chemicznych Obiektów Zabytkowych i Współczesnych
Katedry Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła,
Wydział Ceramiki i Szkła
ASP Wrocław im. Eugeniusza Gepperta
ul. Traugutta 19-21, Wrocław*

Kierownik: dr chemii Marek Weselski

Nr referencyjny badania: 20210224/MJG1245_26_metal_1

Data: 24.02.2021 r.

Wynik badania składu chemicznego za pomocą:

- XRF Bruker Tracer 5

NAZWA OBIEKTU: **neorokokowe zwierciadło o nr inw. 1245 Ps**

DATOWANIE: **pol. XIX w.**

MATERIAŁ: **metalowy wkręt nr 26**

NR INWENTARZOWY: **MJG Ps 1245**

ILOŚĆ I OPIS PRZEKAZNYCH PRÓBEK/MIEJSC BADAWCZYCH: **2**

*NR PRÓBK/NR INW./MIESIĄC/ROK/INICJAŁY ZLECENIODAWCY/NR
REFERENCYJNY LBDS ASP: 1245Ps/02/2021/NM*

ZLECENIODAWCA: Pracownia 209, mgr Natalia Moszak

OPIEKUN: K. Wantuch

ZAŁĄCZNIKI:

MAPA LOKALIZACJI MIEJSCA POBRANIA PRÓBK, ZDJĘCIE VIS, UV, IR, ETC.

1. Metalowy wkręt

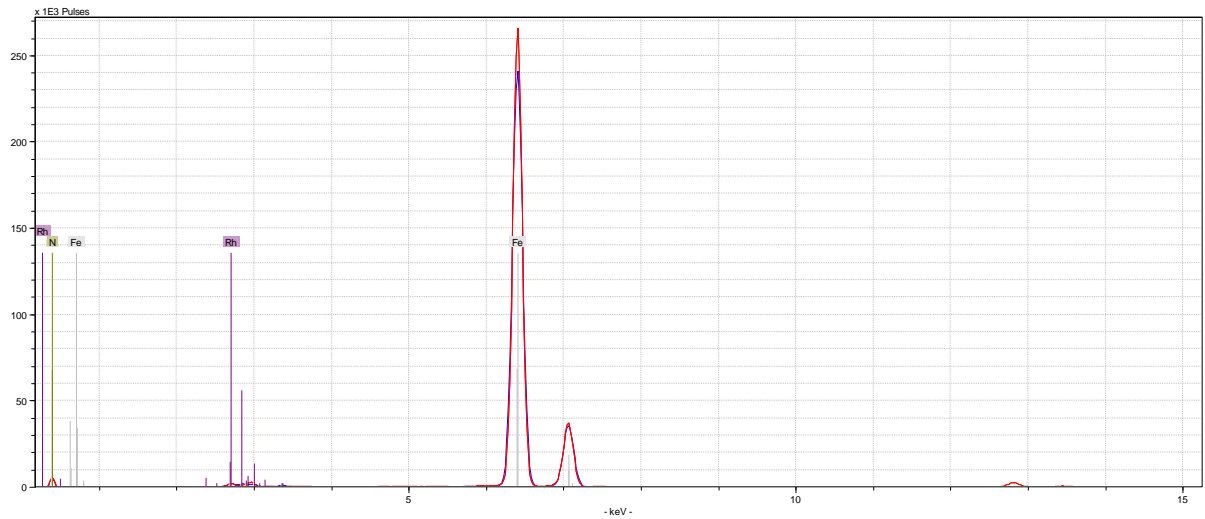
Tabela 1. WYNIKI BADAŃ - TECHNIKA XRF

| Pierwiastek | Zawartość metalu [%] |
|-------------|----------------------|
| Fe | 100 |

WNIOSKI:

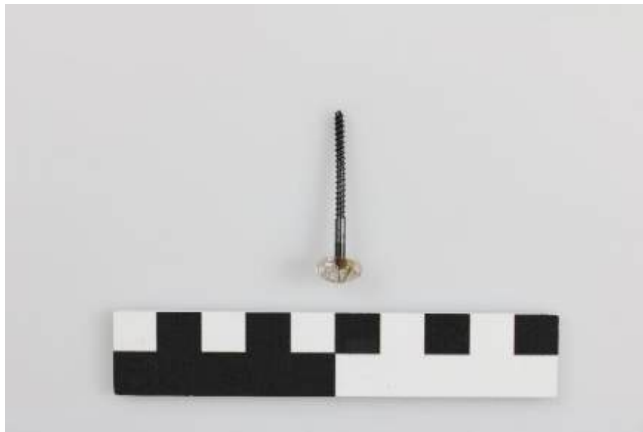
Gwóźdź (metalowy wkręt) został wykonany z żelaza.

WIDMA:



ZAŁĄCZNIKI OBOWIĄZKOWE

1. Zdjęcie obiektu w świetle VIS



Fot. 1. Zdjęcie w świetle VIS

2. Zdjęcie fluorescencji w świetle UVB, UVC



Fot. 2. Zdjęcie w świetle UV-B



Fot.3. Zdjęcie w świetle UV-C

3. Lokalizacja miejsc pobrania próbek obiektu **MJG 1245s**

| Nr. próbki | miejsce badania/pobrania | współrzędne | uwagi |
|------------|--------------------------|-------------------|-------|
| 1. | Środkowa część wkrętu | X:1,2 cm Y:0,6 cm | |



Fot.4. Wskazanie miejsca wykonania badania za pomocą XRF

**Pracownia Badań Fizyko-Chemicznych Obiektów Zabytkowych i Współczesnych
Katedry Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła,
Wydział Ceramiki i Szkła
ASP Wrocław im. Eugeniusza Gepperta
ul. Traugutta 19-21, Wrocław**

Kierownik dr chemii Marek Weselski

Nr referencyjny badania: 20210224/ MJG1245_folia metalowa orygina_1;
20210224/ MJG1245_folia metalowa 2 warst_1;
20210224/ MJG1245_folia metalowa 3 warst_1

Data: 24.02.2021 r.

Wynik badania składu chemicznego za pomocą:
- XRF Bruker Tracer 5

NAZWA OBIEKTU: **neorokokowe zwierciadło o nr inw. 1245Ps**

DATOWANIE: **poł. XIX w.**

MATERIAŁ: **folie metalowe**

NR INWENTARZOWY: **MJG Ps 1245**

ILOŚĆ I OPIS PRZEKAZNYCH PRÓBEK/MIEJSC BADAWCZYCH: **3**

NR PRÓBKI/NR INW./MIESIĄC/ROK/INICJAŁY ZLECENIODAWCY/NR
REFERENCYJNY LBDS ASP: 1245Ps/02/2021/NM

ZLECENIODAWCA: Pracownia 209, mgr Natalia Moszak

OPIEKUN: K. Wantuch

ZAŁĄCZNIKI:

MAPA LOKALIZACJI MIEJSCA POBRANIA PRÓBKI, ZDJĘCIE VIS, UV, IR, ETC.

2. Oryginalna folia metalowa

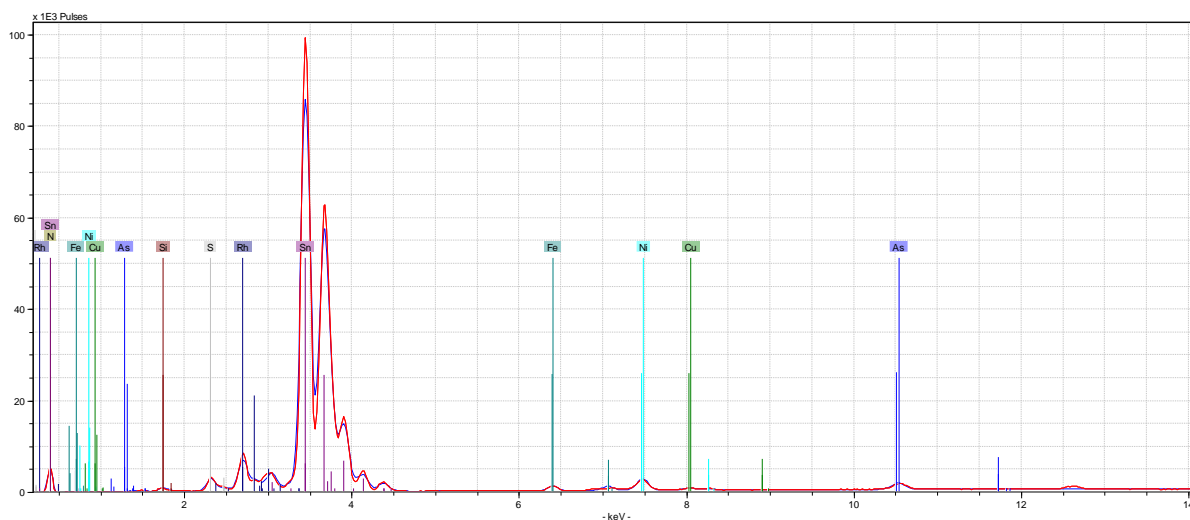
Tabela 1. Zawartości metali znajdujących się w oryginalnej folii metalowej

| Pierwiastek | Zawartość metali [%] |
|-------------|----------------------|
| Si | 0.59 |
| S | 2.10 |
| Fe | 1,04 |
| Ni | 2,76 |
| Cu | 0.53 |
| As | 1,84 |
| Sn | 91,14 |

WNIOSKI:

Oryginalna folia składa się z cyny. Metalami zanieczyszczającymi są arsen, żelazo i nikiel. Resztę zanieczyszczeń stanowi krzem oraz siarka.

WIDMA:



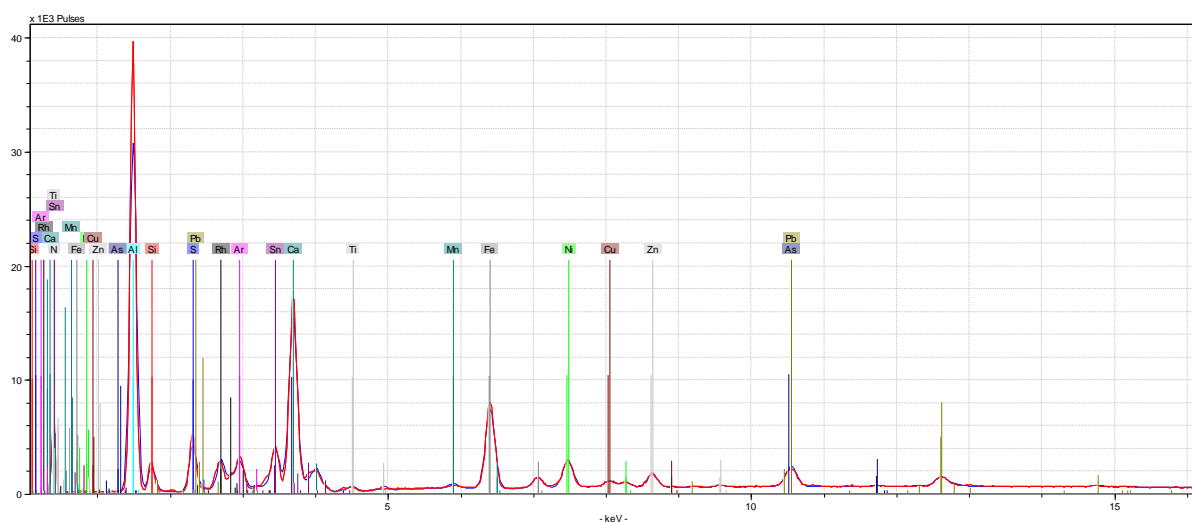
2. Wtórna folia metalowa

Tabela 2. Zawartości metali znajdujących się w wtórnej folii metalowej (punkt 2)

| Pierwiastek | Zawartość metali [%] |
|-------------|----------------------|
| Al | 28,71 |
| Si | 1,97 |
| S | 3,92 |
| Ca | 14,76 |
| Ti | 0,50 |
| Mn | 0,49 |
| Fe | 8,80 |
| Ni | 3,20 |
| Cu | 0,71 |
| Zn | 1,55 |
| As | 0,54 |
| Sn | 32,69 |
| Pb | 2,14 |

WNIOSKI: Warstwa składa się głównie z cyny i aluminium, co sugeruje, iż prawdopodobnie na oryginalną folię została nałożona warstwa folii aluminiowej.

WIDMA:



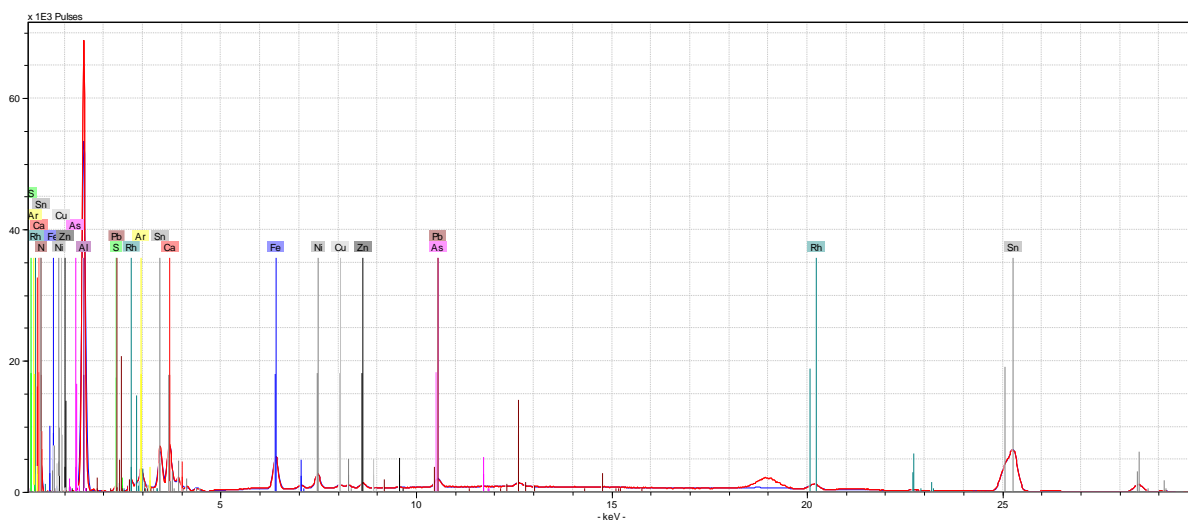
3. Wtórna folia metalowa

Tabela 3. Zawartości metali znajdujących się w wtórnej folii metalowej (punkt 3)

| Pierwiastek | Zawartość metali [%] |
|-------------|----------------------|
| Al | 53,95 |
| S | 0,63 |
| Ca | 3,88 |
| Fe | 6,86 |
| Ni | 3,07 |
| Cu | 0,76 |
| Zn | 1,03 |
| As | 0,40 |
| Sn | 27,54 |
| Pb | 1,86 |

WNIOSKI: Warstwa składa się głównie z glinu i cyny, co sugeruje, iż prawdopodobnie na oryginalną folię została nałożona warstwa folii aluminiowej.

WIDMA:



ZAŁĄCZNIKI OBOWIĄZKOWE

1. Zdjęcie obiektu w świetle VIS



2. Zdjęcie fluorescencji w świetle UVB, UVC

2. lokalizacja miejsc pobrania próbek obiektu **MJG 1245s**

| Nr. próbki | miejsce badania/pobrania | współrzędne | uwagi |
|------------|--|-----------------|-------|
| 1. | Oryginalna folia metalowa znajdująca się bezpośrednio na drewnie | X: 25cm Y: 5cm | |
| 2. | Wtórna folia metalowa | X:19 cm Y: 5 cm | |
| 3. | Wtórna folia metalowa | X: 12cm Y: 5 cm | |



**Pracownia Badań Fizyko-Chemicznych Obiektów Zabytkowych i Współczesnych
Katedry Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła,
Wydział Ceramiki i Szkła
ASP Wrocław im. Eugeniusza Gepperta
ul. Traugutta 19-21, Wrocław**

Kierownik dr chemii Marek Weselski

Nr referencyjny badania: 20210224/MJG36S_folia metalowa_1

Data: 24.02.2021 r.

Wynik badania składu chemicznego za pomocą:

- XRF Bruker Tracer 5

NAZWA OBIEKTU: **lustro**

DATOWANIE: **II poł. XIX w.**

MATERIAŁ: **folia metalowa**

NR INWENTARZOWY: **MJG 36s**

ILOŚĆ I OPIS PRZEKAZNYCH PRÓBEK/MIEJSC BADAWCZYCH: **1**

*NR PRÓBKI/NR INW./MIESIĄC/ROK/INICJAŁY ZLECENIODAWCY/NR
REFERENCYJNY LBDS ASP: 36s/02/2021/NM*

ZLECENIODAWCA: Pracownia 209, mgr Natalia Moszak

OPIEKUN: K. Wantuch

ZAŁĄCZNIKI:

MAPA LOKALIZACJI MIEJSCA POBRANIA PRÓBKI, ZDJĘCIE VIS, UV, IR, ETC.

2. Folia metalowa

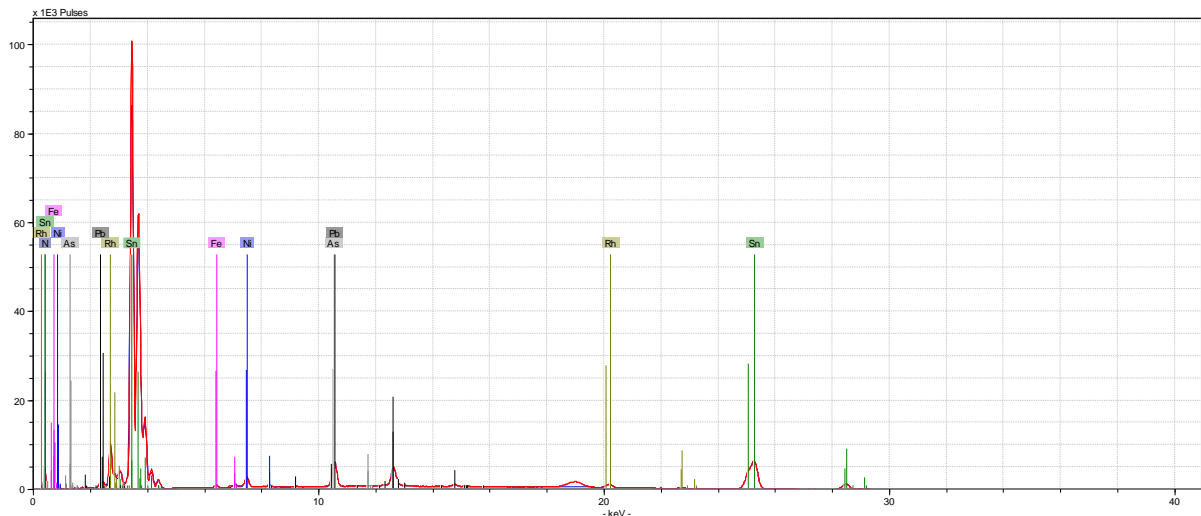
Tabela 1. Zawartości pierwiastków w folii metalowej

| Pierwiastek | Zawartość metali [%] |
|-------------|----------------------|
| Fe | 0.579753 |
| Ni | 2.563859 |
| As | 0.274993 |
| Sn | 89.42942 |
| Pb | 7.151977 |

WNIOSKI:

Badana folia metalowa została wykonana z cyny z domieszką ołowiu i niklu (łącznie ok 97% składu), reszta stanowi zanieczyszczenie.

WIDMA:



Rys. 1. Widmo XRF badanej folii metalowej

ZAŁĄCZNIKI OBOWIĄZKOWE

1. Zdjęcie obiektu w świetle VIS



2. Zdjęcie fluorescencji w świetle UVB, UVC

3. lokalizacja miejsc pobrania próbek obiektu **MJG 1245s**

| Nr. próbki | miejsce badania/pobrania | współrzędne | uwagi |
|------------|--|---------------------|-------|
| 1. | Nieskorodowany fragment folii metalowej znajdujący się pod taflą szkła | X: 30,5 cm Y: 32 cm | |



**Pracownia Badań Fizyko-Chemicznych Obiektów Zabytkowych i Współczesnych
Katedry Konserwacji i Restauracji Ceramiki i Szkła,
Wydział Ceramiki i Szkła
ASP Wrocław im. Eugeniusza Gepperta
ul. Traugutta 19-21, Wrocław**

Kierownik dr chemii Marek Weselski
Nr referencyjny badania: MJG PS1245/01122020
Data: 1.12.2020 r.

Wynik badania składu chemicznego za pomocą:
- XRF Bruker Tracer 5

NAZWA OBIEKTU: lustro MJG 1245Ps

DATOWANIE: poł. XIX w.

MATERIAŁ: szkło tafla S2, farba tafli S2

NR INWENTARZOWY: MJG PS 1245

ILOŚĆ I OPIS PRZEKAZNYCH PRÓBEK/MIEJSC BADAWCZYCH: 2

*NR PRÓBK/NR INW./MIESIĄC/ROK/INICJAŁY ZLECENIODAWCY/NR
REFERENCYJNY LBDS ASP: 1/1245Ps/12/2020/NM*

ZLECENIODAWCA: Pracownia 209, mgr Natalia Moszak

OPIEKUN: K. Wantuch

ZAŁĄCZNIKI:

MAPA LOKALIZACJI MIEJSCA POBRANIA PRÓBK, ZDJĘCIE VIS, UV, IR, ETC.

1. Szkło tafla S2

Tabela 1. Wyniki badań fluorescencji rentgenowskiej (XRF) szkła tafla S2.

| Pierwias tki | Wyniki składu chemicznego szkła Nr MJG PS 1245 metodą XRF | | Porównanie uzyskanych zawartości tlenków (obl.) wybranych pierwiastków w Corningu D z danymi literaturowymi (lit/1 i lit/2) Zawartości tlenków zostały podane w %wag., w nawiasach umieszczono informację o względnych odchyleniach standardowych | | |
|------------------------------------|--|-------------------|---|-------------|--------------|
| | % | Granic a błędu | lit/1 | lit/2 | Obl. |
| Li₂O | - | - | 0,006 (3,4) | 0,006 (1,3) | 0,005(3,1) |
| B₂O₃ | - | - | 0,083 (1,3) | 0,105 (3,0) | 0,106 (15,8) |
| Na₂O | 0,65 | - | 1,31 (2,1) | 1,30 (1,4) | 1,29 (0,5) |
| MgO | 0,05 | - | 4,43 (0,6) | 3,87 (1,3) | 4,21 (0,7) |
| Al₂O₃ | 0,65 | - | 4,82 (1,9) | 5,19 (3,0) | 5,17 (0,7) |
| SiO₂ | 60.5 2 | - | 56,6 (3,3) | 53,9 (1,2) | 55,45 (0,5) |
| P₂O₅ | | - | 2,25 (4,4) | 3,05 (0,9) | 3,05 (0,9) |
| Cl | | - | 8,69 (1,5) | 14,2 (0,7) | 8,82 (0,7) |
| K₂O | 0,25 | - | 18,3 (2,4) | 14,7 (2,4) | 16,7 (1,2) |
| CaO | 32.9 1 | - | 0,413 (2,9) | 0,356 (2,7) | 0,380 (2,5) |
| TiO₂ | 0,19 | - | 0,017 (2,3) | 0,017 (1,1) | 0,017 (1,6) |
| V₂O₅ | - | - | 0,003 (2,2) | 0,003 (4,1) | 0,002 (19,6) |
| Cr₂O₃ | 0,47 | - | 0,499 (3,3) | 0,597 (1,1) | 0,534 (0,6) |
| MnO | - | - | 0,459 (2,9) | 0,460 (2,1) | 0,465 (2,0) |
| Fe₂O₃ | 1.77 | - | 0,018 (2,8) | 0,018 (1,3) | 0,018 (2,1) |
| CoO | - | - | 0,048 (3,3) | 0,048 (1,4) | 0,050 (1,2) |
| NiO | 0.76 | - | 0,356 (1,7) | 0,370 (1,6) | 0,412 (0,9) |
| CuO | - | - | 0,097 (3,7) | 0,102 (1,6) | 0,145 (2,1) |
| ZnO | - | - | 0,005 (1,7) | 0,005 (2,0) | 0,005 (2,2) |

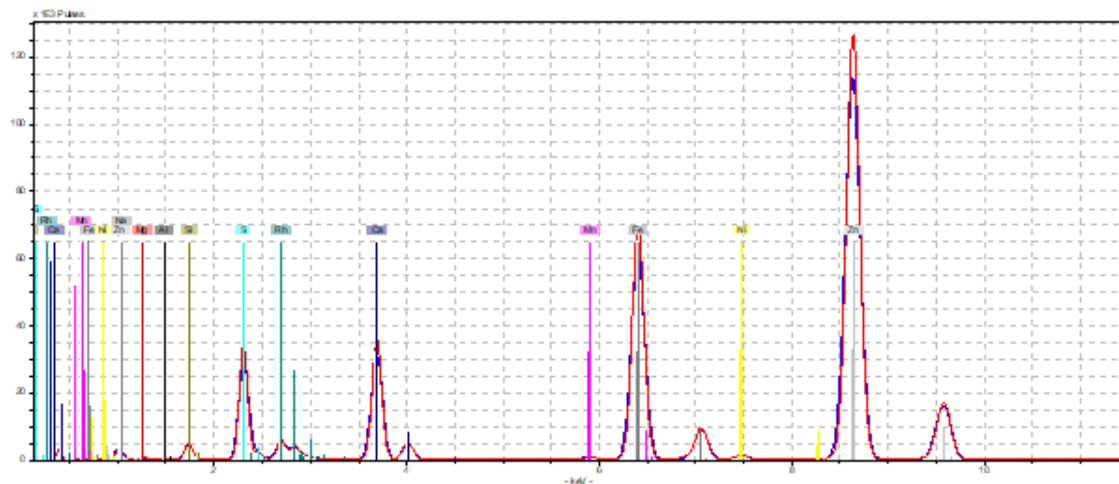
2. Zabezpieczenie srebrzenia tafli S2, odwrocie

Tabela 2. Wyniki badań fluorescencji rentgenowskiej (XRF) zabezpieczenia szkła tafli S2, odwrocie

| Pierwiastki | Wyniki składu chemicznego farby zabezpieczającej srebrzenia na odwrocie tafli S2 MJG PS 1245 metodą XRF | |
|--------------------------------|---|---------------|
| | % (tlenki) | Granica błędu |
| Na ₂ O | 0,63 | - |
| MgO | 0,28 | - |
| Al ₂ O ₃ | 0,30 | - |
| SiO ₂ | 2,43 | - |
| CaO | 14,00 | - |
| MnO | 0,30 | - |
| Fe ₂ O ₃ | 33,71 | - |
| NiO | 0,58 | - |
| ZnO | 30,40 | - |
| SrO | 0,59 | - |
| BaO | 0,22 | - |
| SO ₃ | 16,58 | - |

WNIOSKI: Zabezpieczenie srebrzenia tafli S2 wykonano farbą na bazie pigmentu żelazowego i bieli cynkowej (dostępna w komercyjnym obiegu w XIX wieku).

WIDMA:



Rys. 2. Widmo fluorescencji rentgenowskiej zabezpieczenia szklanej tafli S2

ZAŁĄCZNIKI OBOWIĄZKOWE

1. Zdjęcie obiektu w świetle VIS:

MANDATORY ANNEXES

1. Photo of an object in VIS light

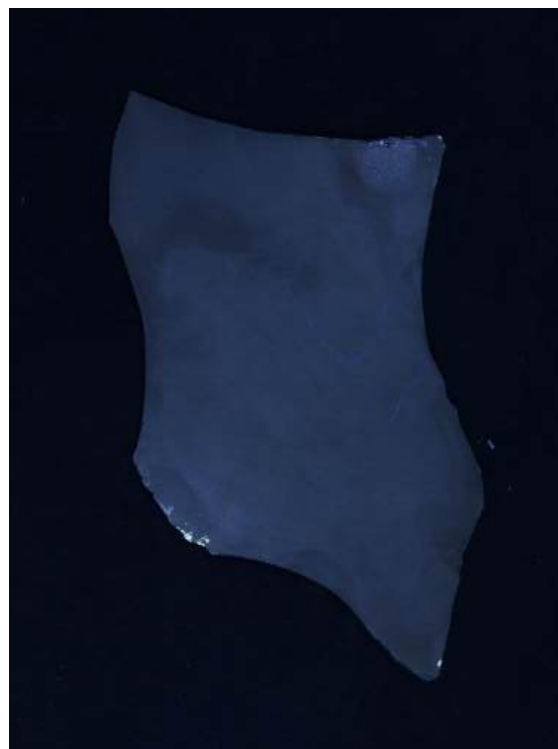


Fot.1. Szkło płaskie ze srebrzoną podlewką, grawerowane (tafla nr S2)

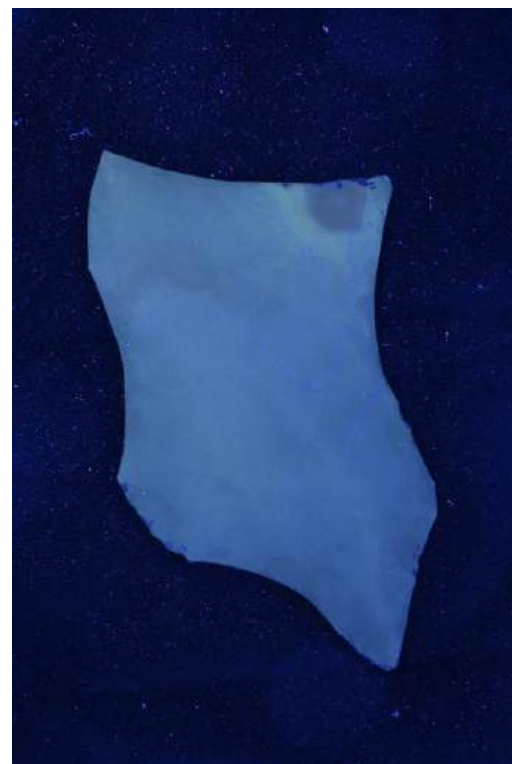


Fot.2. Szkło płaskie, odwrocie srebrzonej tafli zabezpieczone farbą

2. Zdjęcie fluorescencji w świetle UVB, UVC



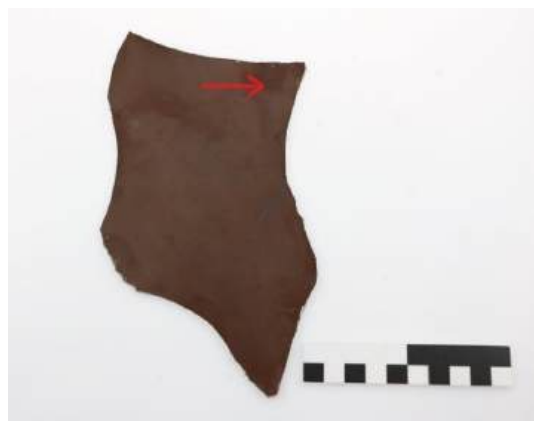
Fot. 3. i 4. Tafla S2 w świetle UV-B



Fot. 5. i 6. Tafla S2 w świetle UV-C

3. lokalizacja miejsc pobrania próbek obiektu **MJG PS 1245**

| Nr. próbki | miejsce badania/pobrania | współrzędne | uwagi |
|------------|------------------------------------|--------------------|-------|
| 1. | Szkło tafla S2 | X: 2cm Y: 2,5 cm | |
| 2. | Zabezpieczenie srebrzenia tafla S2 | X: 2,2 cm Y: 2,4cm | |



Aneks II

Analiza dendrologiczna – identyfikacja gatunków drewna

mgr Barbara Gmińska-Nowak
Laboratorium Dendrochronologiczne
Wydział Sztuk Pięknych UMK
Ul. Sienkiewicza 30/32
07-100 Toruń
b_gminska_nowak@umk.pl

XIX-wieczne lustra weneckie Analiza dendrologiczna – identyfikacja gatunków drewna

1. Materiał i metodyka

Badania mikroskopowe drewna, z którego wykonano dwa XIX-wieczne lustra weneckie (Lustro MJG1245Ps oraz Lustro MJG36s) przeprowadzono w trakcie prac konserwatorskich i badawczych prowadzonych przez Panią Natalię Moszak (Akademia Sztuk Pięknych we Wrocławiu).

Do Laboratorium Dendrochronologicznego UMK przekazanych zostało sześć próbek - po trzy próbki z każdego z obiektów. Miejsca pobrania próbek przedstawiono na fotografiach (Fot. 1, Fot. 2, Fot. 3).

Materiał badawczy został pozyskany w trakcie trwania prac konserwatorskich. Pobrane próbki miały wielkość około 3 x 3 x 8 mm.

Próbki zostały poddane obserwacji makroskopowej oraz mikroskopowej. W powiększeniu od x10 do x40 obserwowano przekrój poprzeczny drewna. Następnie wykonano preparaty mikroskopowe. Dla każdej z próbek wykonano preparaty reprezentujące dwa przekroje drewna: promieniowy oraz styczny. Preparaty wybarwiono safraniną oraz barwnikiem „astra blue” w celu uczynienia anatomii badanego drewna. Następnie przeprowadzono obserwację mikroskopową preparatów w powiększeniu x40, x100 oraz x 200, w świetle przechodzącym (mikroskop biologiczny OLYMPUS BX-43). Identyfikacja gatunku wykonana została na podstawie analizy budowy anatomicznej badanego drewna. Wyniki obserwacji porównano z atlasami anatomii drewna (Kokociński 2002, Schweingruber 1990).



Fot. 1. Lustro weneckie MIG36s, lico. Miejsca pobrania próbki nr 1 i 2.



Fot. 2. Lustro weneckie MIG36s, odwrocie. Miejsca pobrania próbki nr 3.



Fot. 3. Lustro weneckie MIG1245Ps, lico. Miejsca pobrania próbki nr 1, 2 i 3.

2. Wyniki oraz interpretacja

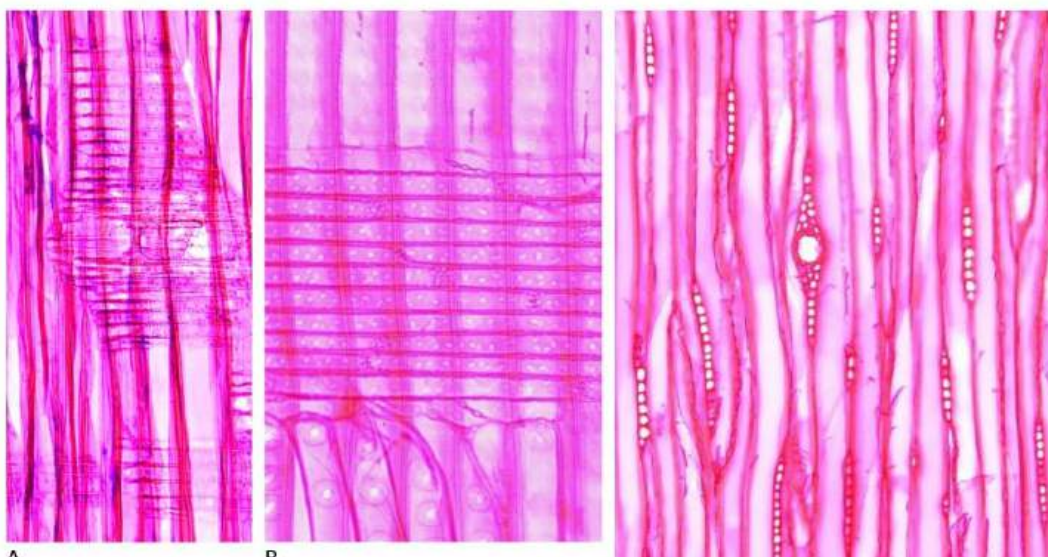
2.1. Lustro weneckie MJG36s

- Próbka nr 1
- Próbka nr 3

Na podstawie obserwacji makroskopowej przekroju poprzecznego próbek 1 oraz 3, drewno zakwalifikowano do grupy gatunków iglastych, wytwarzających kanały żywiczne.

Na przekroju stycznym (Fot.5) zaobserwowano jednorzędowe promienie drzewne o wysokości od 1 do 15 komórek oraz promień wrzecionowate (zawierające poprzeczny kanał żywiczny), osiągające wysokość 20 komórek. Na podstawie obserwacji przekroju promieniowego (Fot.4), ustalono, że promienie drzewne mają strukturę niejednorodną – zbudowane są z grubościennych komórek miękiszowych oraz cewek poprzecznych o gładkich ścianach. Cewki zaobserwowano na obrzeżach promienia w 1 lub 2 rzędach. W polach krzyżowych promieni drzewnych występują jamki piceoidalne.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji, ustalono, że drewno próbek 1 i 3 z lustra weneckiego MJG36s to świerk (*Picea abies*)



Fot. 4. Lustro weneckie MJG36s. Próbka nr 1. Świerk pospolity (*Picea abies*) – przekrój promieniowy. A: . Widoczny promień wrzecionowaty (z kanałem żywicznym w kładzie poprzecznej) B: Widoczny promień o wysokości 12 komórek, w tym po jednym rzędzie cewek poprzecznych na obrzeżach promienia oraz 10 rzędów komórek miękiszowych z jamkami piceoidalnymi w polach krzyżowych.

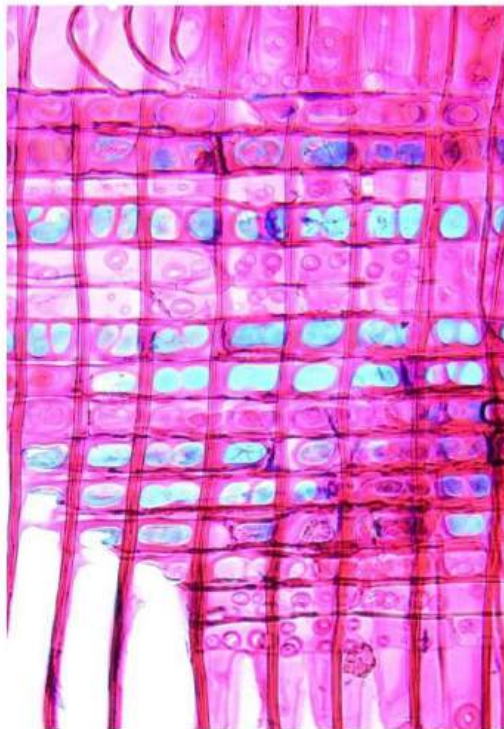
Fot. 5. Lustro weneckie MJG36s. Próbka nr 1. Świerk pospolity (*Picea abies*) – przekrój styczny z widocznymi promieniami jednorzędowymi o wysokości od 1 do 11 komórek oraz promieniem wrzecionowatym o wysokości 15 komórek.

- **Próbka nr 2**

Na podstawie obserwacji makroskopowej przekroju poprzecznego, drewno próbki nr 2 zakwalifikowano do grupy gatunków iglastych, wytwarzających kanały żywiczne.

Na przekroju stycznym zaobserwowano jednorzędowe promienie drzewne o wysokości od 1 do 15 komórek oraz promienie wrzecionowate (zawierające poprzeczny kanał żywiczny), osiągające wysokość 12 komórek. Na podstawie obserwacji przekroju promieniowego (Fot. 6), ustalono, że promienie drzewne mają strukturę niejednorodną – zbudowane są z komórek miększowych oraz cewek poprzecznych o pofałdowanych ścianach. Cewki zaobserwowano na obrzeżach oraz wewnątrz promienia w 1 lub 2 rzędach. W polach krzyżowych promieni drzewnych występują jamki okienkowe, charakterystyczne dla sosny zwyczajnej.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji ustalono, że próbka nr 2 z lustra weneckiego MJG36s to sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.)



Fot. 6. Lustro weneckie MJG36s. Próbka nr 2. Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) Przekrój promieniowy. Widoczne promienie niejednorodne z jamkami okienkowymi w polach krzyżowych.

2.2. Lustro weneckie MJG1245Ps

- Próbka nr 1
- Próbka nr 2

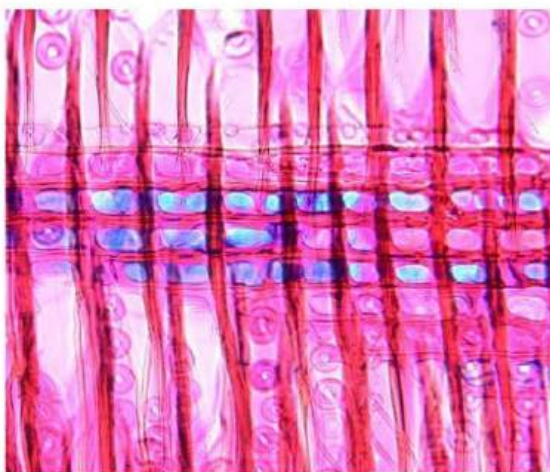
Na podstawie obserwacji makroskopowej przekroju poprzecznego próbek 1 i 2, drewno zakwalifikowano do grupy gatunków iglastych, wytwarzających kanały żywiczne.

Na przekroju stycznym zaobserwowano jednorzędowe promienie drzewne o wysokości od 1 do 15 komórek oraz promienie wrzecionowate (zawierające poprzeczny kanał żywiczny), osiągające wysokość 12 komórek. Na podstawie obserwacji przekroju promieniowego (Fot. 7, Fot. 8), ustalono, że promienie drzewne mają strukturę niejednorodną – zbudowane są z komórek mięksiszowych oraz cewek poprzecznych o pofałdowanych ścianach. Cewki zaobserwowano na obrzeżach promienia w 1 lub 2 rzędach. W polach krzyżowych promieni drzewnych występują jamki okienkowe, charakterystyczne dla sosny zwyczajnej.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji ustalono, że próbki nr 1 i 2 z lustra weneckiego MJG1245Ps to sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.)



Fot. 7. Lustro weneckie MJG1245Ps Próbka nr 1. Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) Przekrój promieniowy. Widoczne promienie niejednorodne z jamkami okienkowymi w polach krzyżowych.



Fot. 8. Lustro weneckie MJG1245Ps Próbka nr 2. Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) Przekrój promieniowy. Widoczne promienie niejednorodne z jamkami okienkowymi w polach krzyżowych.

- Próbka nr 3

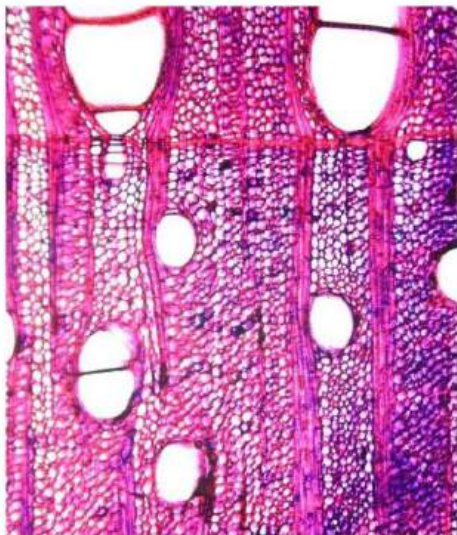
Na podstawie obserwacji makroskopowej i mikroskopowej przekroju poprzecznego, badane drewno zakwalifikowano do grupy liściastych, półpierzściowonaczyniowych.

Na przekroju poprzecznym (Fot. 9) zaobserwowano naczynia owalne, pojedyncze lub w grupach po 2-4, w układzie promieniowym. Miększ apotrachealny występuje w pasmach, nieliczny, paratrachealny występuje jako rozproszony.

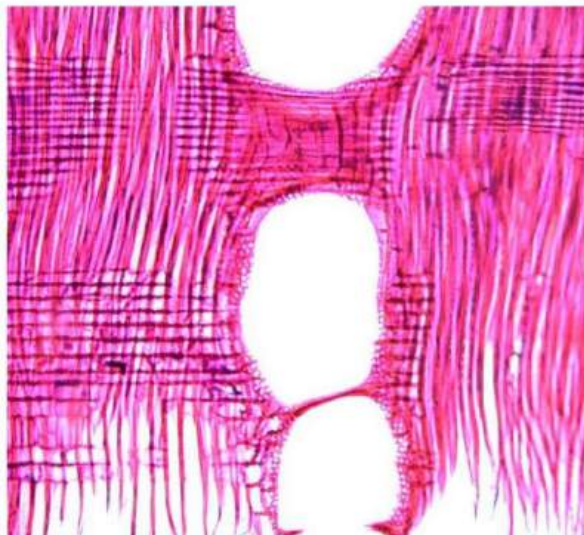
Na przekroju stycznym (Fot. 11) zaobserwowano nieliczne promienie jednorzędowe oraz przeważającą ilość promieni wielorzędowych o szerokości od 2 do 4 komórek i wysokości do 30

komórek. Na przekroju promieniowym (Fot. 10) zaobserwowano promienie jednorodne. W naczyniach występują proste przepusty. Miększ wzdużny w układzie szeregowym.

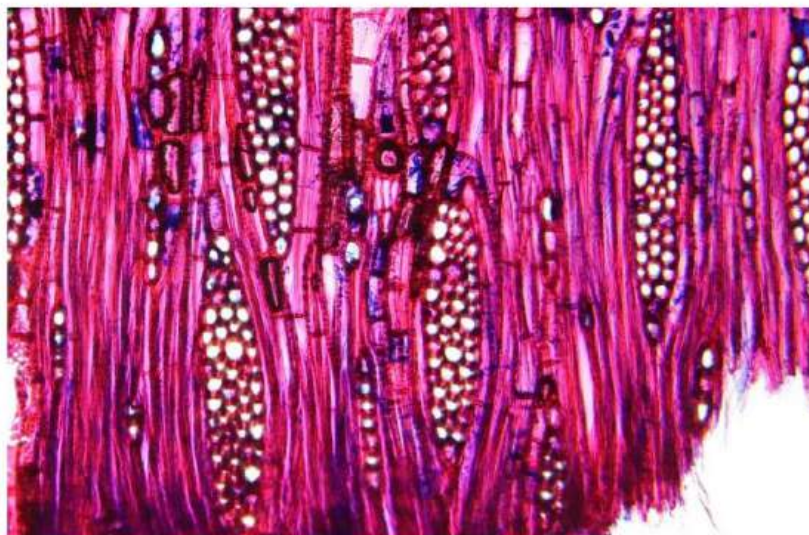
Na podstawie przeprowadzonych obserwacji ustalono, że próbki nr 3 z lustra weneckiego MJG1245Ps orzech (*Juglans regia* L.)



Fot. 9. Lustro weneckie MJG1245Ps. Próbka nr 3. Orzech (*Juglans regia* L.). Przekrój poprzeczny. Widoczne pojedyncze naczynia owalne, oraz podwójne naczynia w układzie promieniowym. Większe naczynia w drewnie wczesnym, mniejsze w drewnie późnym.



Fot. 10. Lustro weneckie MJG1245Ps. Próbka nr 3. Orzech (*Juglans regia* L.). Przekrój promieniowy. Widoczne promienie drzewne jednorodne oraz człony naczyń.



Fot. 11. Lustro weneckie MJG1245Ps. Próbka nr 3. Orzech (*Juglans regia* L.). Przekrój styczny. Widoczne promienie drzewne wielorzędowe o szerokości 3-4 komórek oraz jednorzędowe o wysokości 3-7 komórek. Widoczne komórki mięsiskowe w układzie szeregowym.

3. Wnioski końcowe

Spośród trzech zbadanych elementów lustra weneckiego MJG36s, dwa zostały wykonane z drewna świerku (*Picea abies*), natomiast trzeci badany element wykonano z sosny (*Pinus sylvestris* L.).

Spośród trzech zbadanych elementów lustra weneckiego MJG1245Ps, dwa zostały wykonane z drewna sosny (*Pinus sylvestris* L.), natomiast trzeci badany element wykonano z orzecha (*Juglans regia* L.)

Literatura:

Schweingruber, F.H., 1990. *Microscopic wood anatomy*, WSL FNP. 226 s.
Kokociński, A., 2002. *Anatomia drewna*, Poznań. 138 s.

Aneks III

**Spektrometria mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej po
ablacji laserowej LA ICP MS**


InterLaBAR
Interdyscyplinarne Laboratorium Badań Archeometrycznych
Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych
Uniwersytet Warszawski
Żwirki i Wigury 101; 02-089 Warszawa



Analiza składu pierwiastkowego próbek szkła *neorokokowych zwierciadeł z Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze* metodą LA-ICP-MS

Zleceniodawca : **AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH IM. EUGENIUSZA GEPPERTA WE WROCŁAWIU**
Kierownik projektu : **mgr Natalia Moszak**

Wyniki uzyskano w ramach oferty MOLAB/FIXLAB PL polskiej infrastruktury badawczej E-RIHS.pl podczas realizacji projektu



E-RIHS.pl
POLSKIE KONSORCJUM DLA BADAŃ
NAD DZIEDZICTWEM KULTUROWYM

„*Badania neorokokowych zwierciadeł z Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze o numerach inwentarzowych: MJG 36/s oraz 1245 ps*”

Pomiary przeprowadziła:
dr hab. Barbara Wagner, prof. UW
Opracowanie i interpretacja wyników, autorstwo raportu:
dr hab. Barbara Wagner, prof. UW

Warszawa, listopad 2021 r.

Opis projektu:

Celem badań było oznaczenie składu pierwiastkowego próbek szkła neorokokowych zwierciadeł z Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze o numerach inwentarzowych: MJG 36/s oraz 1245 ps. Na czas pomiarów próbki zostały dostarczone do Interdyscyplinarnego Laboratorium Badań Archeometrycznych (InterLaBAr) znajdującego się w Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego.

POMIARY LA-ICP-MS

Aparatura pomiarowa:

Badania zostały prowadzone z wykorzystaniem metody LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry = spektrometria mas z jonizacją próbki w plazmie indukcyjnie sprzężonej po ablacji laserowej). Metoda charakteryzuje się wysoką czułością i niskimi granicami wykrywalności dla większości pierwiastków układu okresowego i dlatego jest szeroko wykorzystywana do oznaczeń pierwiastków głównych i śladowych w próbkach stałych.

Ablacja laserowa powoduje wyrwanie materiału bezpośrednio z powierzchni próbki i utworzenie aerozolu w gazie nośnym (Ar). Uzyskany aerozol wprowadzany jest do plazmy argonowej, w której następuje jonizacja atomów poszczególnych pierwiastków obecnych w materiale pobranym z próbki. Zasada działania spektrometru mas polega na wytworzeniu jonów, które następnie są rozdzielane pod względem stosunku masy do ładunku (m/z). Intensywność rejestrowanych sygnałów dla poszczególnych m/z odzwierciedla obecność danego izotopu w próbce i może być wykorzystana do przeliczania zawartości pierwiastków w badanych obiektach.

W badaniach zastosowany został spektrometr ICP-MS NeXION 300D firmy Perkin Elmer sprzężony z układem do ablacji laserowej LS-213 firmy CETAC (USA). Układ do ablacji laserowej LS-213 składa się ze stałego lasera Nd:YAG umożliwiającego uzyskanie wiązki promieniowania o długości fali 213nm. Maksymalna energia generowanej wiązki laserowej wynosi 5mJ, z możliwością regulowania częstotliwości pracy lasera w granicach od 1 do 20Hz. Układ umożliwia skupienie energii wiązki lasera na powierzchni analizowanej próbki na obszarze o średnicy od 10 do 300 μ m. Parametry opisujące warunki pracy lasera zostały przedstawione razem z parametrami opisującymi pracę układu ICP-MS w Tabeli 1.

Tabela 1. Parametry pracy układu pomiarowego.

| Parametry pracy układu pomiarowego ICP-MS : | |
|--|------------------|
| Moc Plazmy | 1350 W |
| Przepływ gazu nośnego / Ar | 0,94 l/min |
| Liczba przemian widma | 1 |
| Liczba odczytów | 673 |
| Liczba powtórzeń | 1 |
| Czas odczytu intensywności sygnału dla jednego izotopu | 5 ms |
| Warunki ablacji laserowej : | |
| Długość fali lasera | 213 nm |
| Energia lasera | 5 mJ |
| Średnica wiązki lasera | 150 μ m |
| Częstotliwość pracy lasera | 20 Hz |
| Sposób ablacji | ablacja punktowa |

Analiza metodą LA-ICP-MS obejmowała następujące etapy pracy:

1. Umieszczenie obiektu wewnątrz na stoliku pomiarowym
2. Obserwacja obiektu przy pomocy kamery CCD i wybór odpowiedniego miejsca do analizy.
3. Zarejestrowanie sygnałów ślepej próby (przepływ samego gazu nośnego) oraz próbki uzyskanej w wyniku ablacji laserowej dla następujących izotopów (^7Li , ^{11}B , ^{23}Na , ^{26}Mg , ^{27}Al , ^{29}Si , ^{31}P , ^{35}Cl , ^{39}K , ^{43}Ca , ^{45}Sc , ^{49}Ti , ^{51}V , ^{53}Cr , ^{55}Mn , ^{57}Fe , ^{59}Co , ^{60}Ni , ^{65}Cu , ^{66}Zn , ^{71}Ga , ^{75}As , ^{85}Rb , ^{88}Sr , ^{89}Y , ^{90}Zr , ^{93}Nb , ^{95}Mo , ^{109}Ag , ^{111}Cd , ^{115}In , ^{118}Sn , ^{121}Sb , ^{133}Cs , ^{137}Ba , ^{139}La , ^{140}Ce , ^{141}Pr , ^{143}Nd , ^{147}Sm , ^{153}Eu , ^{157}Gd , ^{159}Tb , ^{163}Dy , ^{165}Ho , ^{166}Er , ^{169}Tm , ^{173}Yb , ^{175}Lu , ^{178}Hf , ^{182}W , ^{197}Au , ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th , ^{238}U).
4. Przeniesienie uzyskanych danych do programu Microsoft Excel i dokonanie stosownych obliczeń.
5. Zaprezentowanie wyników ilościowych w postaci tabel.

Wiarygodność oznaczeń składu pierwiastkowego badanych próbek można oszacować na podstawie uzyskanych zawartości tlenków w szkłe o zdefiniowanym składzie chemicznym (Corning CMG A,B,C,D)[1]. Porównanie uzyskanych wyników wartości średnich (z 3 miejsc pomiarowych dla każdej próbki) oraz względnych odchyłeń standardowych (RSD,%) z danymi literaturowymi niesie informacje o dokładności oznaczeń metodą LA-ICP-MS (Tabela 2).

Zawartości tlenków wybranych pierwiastków we fragmentach szkieł obliczane były na podstawie przeliczenia zarejestrowanego sygnału dla oznaczanych izotopów w próbce względem sygnału zarejestrowanego dla tego izotopu w certyfikowanym materiale odniesienia (wzorzec zewnętrzny) z zastosowaniem SiO_2 jako wzorca wewnętrznego i następnie normalizowane do 100%. Zawartości tlenków wybranych pierwiastków w szklanym materiale w procentach wagowych (%wag) wraz z odchyleniem standardowym (SD) oraz zdjęciem obiektu przedstawione zostały w Tabeli 2.





Tabela 2. Wyniki oznaczeń LA-ICP-MS i dane literaturowe (wartości odniesienia dla szkliw CORNING A-B-C-D)





| Oznaczany pierwiastek | GW [%m/m] | Corning A | | | | Corning B | | | | Corning C | | | | Corning D | | | |
|--------------------------------|-----------|---------------|--------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|--------|-----------|---------------|--------|--------|-----------|--|--|--|
| | | min- max | wynik | SD | min- max | wynik | SD | min- max | wynik | SD | min- max | wynik | SD | | | | |
| Li ₂ O | 0,00008 | 0,0107-0,0113 | 0,0083 | 0,0003 | 0,0029-0,0031 | 0,0014 | 0,0001 | 0,0079-0,0092 | 0,0067 | 0,0002 | 0,0059-0,0061 | 0,0043 | 0,0009 | | | | |
| B ₂ O ₃ | 0,00001 | 0,212-0,289 | 0,136 | 0,045 | 0,0096-0,0119 | 0,0130 | 0,0049 | 0,165-0,189 | 0,177 | 0,056 | 0,102-0,108 | 0,053 | 0,014 | | | | |
| Na ₂ O | 0,0015 | 13,3-13,8 | 15,5 | 0,1 | 15,9-16,6 | 17,8 | 0,1 | 0,837-0,972 | 0,981 | 0,011 | 1,28-1,32 | 1,31 | 0,01 | | | | |
| MgO | 0,00281 | 2,10-2,54 | 2,82 | 0,12 | 0,78-0,99 | 1,04 | 0,06 | 2,00-2,52 | 2,19 | 0,11 | 3,82-3,92 | 4,09 | 0,20 | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 0,00093 | 0,800-1,11 | 0,960 | 0,009 | 3,96-4,69 | 4,23 | 0,02 | 0,727-0,778 | 0,652 | 0,006 | 4,36-5,35 | 5,42 | 0,06 | | | | |
| SiO ₂ | 1,293 | 67,5-69,0 | 65,1 | 0,1 | 61,8-63,7 | 60,5 | 0,4 | 28,3-31,6 | 29,3 | 0,2 | 55,9-57,3 | 54,4 | 0,5 | | | | |
| K ₂ O | 0,00829 | 2,43-3,50 | 2,87 | 0,04 | 0,806-1,32 | 0,958 | 0,019 | 2,44-3,22 | 2,72 | 0,02 | 11,08-14,30 | 11,29 | 0,16 | | | | |
| CaO | 0,33401 | 4,85-5,54 | 5,20 | 0,17 | 8,63-9,01 | 8,84 | 0,31 | 4,71-4,86 | 3,99 | 0,10 | 14,35-15,41 | 14,73 | 0,65 | | | | |
| Ti | 0,00006 | 0,433-0,479 | 0,6412 | 0,0240 | 0,0582-0,0405 | 0,0757 | 0,0034 | 0,421-0,453 | 0,505 | 0,020 | 0,208-0,221 | 0,244 | 0,013 | | | | |
| V | 0,00001 | 0,0038-0,0040 | 0,0032 | 0,0000(1) | 0,0184-0,0193 | 0,0191 | 0,0004 | 0,0033-0,0039 | 0,0031 | 0,0001 | 0,0094-0,0100 | 0,0093 | 0,0006 | | | | |
| Cr | 0,00056 | 0,0019-0,0022 | 0,0011 | 0,0003 | 0,0060-0,0071 | 0,0043 | 0,0002 | 0,0013-0,0022 | 0,0013 | 0,0001 | 0,0020-0,0027 | <GW | | | | | |
| MnO | 0,00038 | 0,962-1,145 | 1,07 | 0,03 | 0,228-0,244 | 0,249 | 0,006 | 0,00095-0,0105 | 0,0009 | 0,0000(3) | 0,527-0,604 | 0,544 | 0,008 | | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 0,00521 | 0,966-0,992 | 1,05 | 0,07 | 0,303-0,316 | 0,345 | 0,034 | 0,260-0,279 | 0,260 | 0,024 | 0,450-0,476 | 0,483 | 0,053 | | | | |
| CoO | 0,00001 | 0,166-0,172 | 0,175 | 0,004 | 0,0426-0,0433 | 0,0460 | 0,0010 | 0,1633-0,171 | 0,1642 | 0,0030 | 0,0178-0,0187 | 0,0162 | 0,0005 | | | | |
| NiO | 0,00277 | 0,0225-0,0311 | 0,0289 | 0,0039 | 0,0896-0,0950 | 0,172 | 0,041 | 0,0177-0,0230 | 0,0283 | 0,0044 | 0,0473-0,0487 | 0,0580 | 0,0324 | | | | |
| CuO | 0,00006 | 1,08-1,20 | 1,34 | 0,03 | 2,55-2,87 | 3,08 | 0,11 | 1,09-1,15 | 1,15 | 0,03 | 0,36-0,38 | 0,41 | 0,02 | | | | |
| ZnO | 0,00051 | 0,0472-0,0522 | 0,0516 | 0,0027 | 0,207-0,215 | 0,309 | 0,010 | 0,0415-0,0462 | 0,0820 | 0,0009 | 0,100-0,104 | 0,109 | 0,004 | | | | |
| PbO | 0,00001 | 0,0089-0,0100 | 0,0095 | 0,0000(8) | 0,00098-0,00102 | 0,0010 | 0,0000(4) | 0,0080-0,0100 | 0,0078 | 0,0001 | 0,0049-0,0051 | 0,0038 | 0,0001 | | | | |
| SnO | 0,00001 | 0,104-0,113 | 0,1222 | 0,0004 | 0,0167-0,0188 | 0,0183 | 0,0003 | 0,303-0,335 | 0,278 | 0,002 | 0,0536-0,0588 | 0,0610 | 0,0003 | | | | |
| SnO ₂ | 0,00008 | 0,169-0,174 | 0,162 | 0,004 | 0,0238-0,0242 | 0,0215 | 0,0007 | 0,162-0,173 | 0,1648 | 0,0024 | 0,082-0,087 | 0,073 | 0,003 | | | | |
| Sb ₂ O ₃ | 0,00011 | 1,42-1,88 | 1,78 | 0,02 | 0,398-0,436 | 0,478 | 0,005 | 0,00007-0,00013 | <GW | | 0,778-0,979 | 0,970 | 0,019 | | | | |
| BaO | 0,00001 | 0,269-0,470 | 0,5167 | 0,0087 | 0,0493-0,0789 | 0,0857 | 0,0008 | 9,26-13,4 | 12,8 | 0,4 | 0,27-0,30 | 0,32 | 0,01 | | | | |
| PbO | 0,00005 | 0,0573-0,0737 | 0,0744 | 0,0011 | 0,323-0,545 | 0,523 | 0,001 | 39,6-47,6 | 44,4 | 0,5 | 0,220-0,244 | 0,246 | 0,005 | | | | |
| B ₂ O ₃ | 0,000005 | 0,0009-0,0011 | 0,0008 | 0,0001 | 0,0039-0,0041 | 0,0044 | 0,0000(4) | 0,0040-0,0071 | 0,0054 | 0,0001 | 0,0010-0,0010 | 0,0010 | 0,0001 | | | | |

[1] B Wägner, A Nowak, E Bułska, K Hametner, D Günther, *Critical assessment of the elemental composition of Corning archeological reference glasses by LA-ICP-MS* Analytical and Bioanalytical Chemistry 402 (2012): 1667–1677

W Tabeli 3 pierwiastki obliczone w formie tlenków podkreślone zostały **boldem**. Dodatkowo komórka zawierające formę tlenkową zaznaczona została szarym tłem. Pozostałe zawartości pokazane zostały jako zawartości w ppm. Druga kolumna przedstawia granice wykrywalności (G.W.) czyli najmniejsze zawartości możliwe do wykrycia metodą LA-ICP-MS. Jednostki odpowiadają wartościom zawartości pokazanym w kolejnych kolumnach Tabeli.

Tabela 3. Wyniki oznaczeń LA-ICP-MS i dokumentacja fotograficzna przekazanych próbek.

| Oznaczany pierwiastek | G.W. [%m/m] | 363_L106 (niebieski) | | 363_L106 (bezbarny) | | 363_L151 | | 363_TB | |
|--------------------------------|-----------------|---|---|---|---|----------|-----------|---------|------------|
| | |  |  |  |  | C[%m/m] | SD | C[%m/m] | SD |
| Li ₂ O | 0,75 ppm | 5,5ppm | 2,5ppm | 0,9ppm | 0,7ppm | 6,1ppm | 0,3ppm | 1,9ppm | 0,7ppm |
| B ₂ O ₃ | 0,01 ppm | < | G.W | < | G.W | 0,00183 | 0,00107 | < | G.W |
| Na ₂ O | 0,0015 | 14,8 | 0,0(3) | 11,7 | 0,4 | 15,1 | 0,1 | 14,4 | 0,1 |
| MgO | 0,0028 | 0,222 | 0,001 | 0,280 | 0,024 | 0,206 | 0,004 | 0,269 | 0,002 |
| Al ₂ O ₃ | 0,0009 | 0,276 | 0,003 | 0,293 | 0,014 | 0,170 | 0,001 | 0,251 | 0,002 |
| SiO ₂ | 1,293 | 72,9 | 0,4 | 76,5 | 0,1 | 75,7 | 0,29 | 73,3 | 0,17 |
| P ₂ O ₅ | 0,0344 | 0,0641 | 0,0042 | 0,0671 | 0,0075 | < | G.W | < | G.W |
| S | 0,6842 | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Cl | 0,1121 | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| K ₂ O | 0,0083 | 2,13 | 0,03 | 2,34 | 0,04 | 2,00 | 0,02 | 2,34 | 0,01 |
| CaO | 0,3340 | 5,46 | 0,22 | 4,80 | 0,24 | 4,92 | 0,10 | 5,60 | 0,14 |
| Sc | 1,2 ppm | < | G.W | 1,4 ppm | 0,4 ppm | < | G.W | < | G.W |
| Ti | 0,64 ppm | 138 ppm | 12 ppm | 44 ppm | 4 ppm | 107 ppm | 11 ppm | 105 ppm | 4 ppm |
| V | 0,07 ppm | 0,1 ppm | 0,1 ppm | 0,4 ppm | 0,3 ppm | 1,0 ppm | 0,4 ppm | 1,4 ppm | 0,1 ppm |
| Cr | 5,6 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| MnO | 0,0004 | 0,148 | 0,002 | 0,15552 | 0,00442 | 0,167 | 0,00 | 0,160 | 0,002 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,0052 | 0,0523 | 0,0034 | 0,03931 | 0,00214 | 0,039 | 0,002 | 0,074 | 0,003 |
| CoO | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 | < | G.W | 0,0001 | 0,0000(3) | 0,0003 | 0,0000(1) |
| NiO | 0,0028 | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| CuO | 0,00006 | 2,10 | 0,09 | < | G.W | 0,0003 | 0,0000(3) | 1,83 | 0,04 |
| ZnO | 0,00051 | 0,0091 | 0,0018 | < | G.W | < | G.W | 0,012 | 0,001 |
| Ga | 0,01 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| As ₂ O ₅ | 0,0023 | 1,38 | 0,06 | 1,23 | 0,01 | 1,39 | 0,05 | 1,29 | 0,02 |
| Rb ₂ O | 0,00001 | 0,00078 | 0,00006 | 0,00083 | 0,00004 | 0,00091 | 0,00001 | 0,0017 | 0,0000(4) |
| SrO | 0,000005 | 0,0018 | 0,0000(2) | 0,00124 | 0,00006 | 0,0019 | 0,0000(2) | 0,0025 | 0,0001 |
| Y | 0,02 ppm | < | G.W | 0,2 ppm | 0,1 ppm | 0,3 ppm | 0,1 ppm | 0,4 ppm | 0,0(4) ppm |
| Zr | 0,01 ppm | 27 ppm | 2 ppm | 21 ppm | 2 ppm | 31 ppm | 3 ppm | 28 ppm | 0,6 ppm |
| Nb | 0,01 ppm | < | G.W | 0,05 ppm | 0,01 ppm | 0,2 ppm | 0,0 ppm | 0,2 ppm | 0,1 ppm |
| Mo ₂ O ₃ | 0,26 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| AgO | 0,4 ppm | 0,00017 | 0,00004 | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| CdO | 8,4 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| In | 1,8 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| SnO ₂ | 0,00008 | 0,0021 | 0,0001 | 0,00061 | 0,00016 | 0,0005 | 0,0003 | 0,0026 | 0,0002 |
| Sb ₂ O ₅ | 0,0001 | 0,221 | 0,003 | 0,157 | 0,003 | 0,189 | 0,00398 | 0,121 | 0,000(4) |
| Cs ₂ O | 0,09 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| BaO | 0,00002 | 0,0019 | 0,0001 | 0,00205 | 0,00052 | 0,0023 | 0,000 | 0,0027 | 0,000(1) |
| La | 0,01 ppm | < | G.W | 0,03 ppm | 0,02 ppm | 0,4 ppm | 0,1 ppm | 0,4 ppm | 0,1 ppm |
| Ce | 0,01 ppm | 0,8 ppm | 0,3 ppm | 0,2 ppm | 0,0(4)ppm | 0,5 ppm | 0,1 ppm | 0,5 ppm | 0,0(4) ppm |
| Pr | 0,02 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Nd | 0,01 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | 0,2 | 0,1 |
| Sm | 0,25 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Eu | 0,05 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Gd | 0,08 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Tb | 0,01 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Dy | 0,05 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Ho | 0,01 ppm | 0,1 ppm | 0,0(3) ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Er | 0,03 ppm | 0,4 ppm | 0,1 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Tm | 0,04 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Yb | 0,27 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Lu | 0,02 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Hf | 0,01 ppm | 0,1 ppm | 0,1 ppm | < | G.W | 0,6 ppm | 0,2 ppm | 0,3 | 0,0 ppm |
| W | 0,26 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Au | 0,31 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| PbO | 0,00005 | 0,0482 | 0,0003 | 0,0377 | 0,0004 | 0,0912 | 0,0064 | 0,107 | 0,003 |
| Bi ₂ O ₃ | 0,05 ppm | 3,0 ppm | 0,1 ppm | < | G.W | < | G.W | 3,4 ppm | 0,1 ppm |
| Th | 0,03 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| U | 0,03 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |

| Oznaczany pierwiastek | G.W. [%m/m] | 1245_T1 | | 1245_T9 | | 1245_7K | | 1245_7K | |
|--------------------------------|-----------------|---|---|---|---|----------|------------|----------|------------|
| | |  |  |  |  | | | | |
| | | C [%m/m] | SD | C [%m/m] | SD | C [%m/m] | SD | C [%m/m] | SD |
| Li ₂ O | 0,75 ppm | 3,1 ppm | 1,6 ppm | 19,2 ppm | 16,5 ppm | 0,8 ppm | 0,6 ppm | 9,2 ppm | 7,1 ppm |
| B ₂ O ₃ | 0,01 ppm | < | G.W | 8,7 ppm | 7,8 ppm | < | G.W | 15,6 ppm | 1,9 ppm |
| Na ₂ O | 0,0015 | 12,2 | 0,0(3) | 14,2 | 0,4 | 13,5 | 0,3 | 11,2 | 0,1 |
| MgO | 0,0028 | 3,37 | 0,08 | 3,57 | 0,06 | 3,57 | 0,06 | 1,23 | 0,05 |
| Al ₂ O ₃ | 0,0009 | 1,24 | 0,03 | 1,16 | 0,01 | 1,33 | 0,04 | 0,633 | 0,005 |
| SiO ₂ | 1,293 | 73,2 | 0,2 | 72,1 | 0,5 | 71,8 | 0,6 | 69,4 | 0,0(3) |
| P ₂ O ₅ | 0,0344 | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| S | 0,6842 | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Cl | 0,1121 | < | G.W | < | G.W | < | G.W | 0,571 | 0,003 |
| K ₂ O | 0,0083 | 1,11 | 0,01 | 1,21 | 0,01 | 1,05 | 0,04 | 3,48 | 0,02 |
| CaO | 0,3340 | 6,15 | 0,09 | 6,22 | 0,04 | 6,69 | 0,15 | 2,73 | 0,11 |
| Sc | 1,2 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Ti | 0,64 ppm | 533 ppm | 11 ppm | 573 ppm | 26 ppm | 702 ppm | 6 ppm | 279 ppm | 4 ppm |
| V | 0,07 ppm | 4,3 ppm | 0,6 ppm | 3,1 ppm | 0,1 ppm | 2,2 ppm | 0,1 ppm | 2,9 ppm | 0,3 ppm |
| Cr | 5,6 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| MnO | 0,0004 | 0,135 | 0,001 | 0,137 | 0,00170 | 0,125 | 0,003 | 0,058 | 0,000(4) |
| Fe ₂ O ₃ | 0,0052 | 0,182 | 0,011 | 0,067 | 0,00048 | 0,049 | 0,007 | 0,213 | 0,003 |
| CoO | 0,00001 | 0,0003 | 0,0000(1) | 0,0003 | 0,0000(1) | 0,0002 | 0,0000(2) | 0,0003 | 0,0000(0) |
| NiO | 0,0028 | 0,003 | 0,001 | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| CuO | 0,00006 | 0,0039 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0001 | 0,0004 | 0,0001 | 0,0019 | 0,0001 |
| ZnO | 0,00051 | 0,0007 | 0,0002 | 0,0007 | 0,0001 | 0,0017 | 0,0004 | 0,0013 | 0,0002 |
| Ga | 0,01 ppm | 0,4 ppm | 0,1 ppm | 0,3 ppm | 0,1 ppm | 0,6 ppm | 0,1 ppm | 0,4 ppm | 0,1 ppm |
| As ₂ O ₃ | 0,0023 | 1,54 | 0,05 | 1,07 | 0,01 | 1,38 | 0,00(4) | 5,46 | 0,04 |
| Rb ₂ O | 0,00001 | 0,0022 | 0,0000(2) | 0,0024 | 0,0001 | 0,0021 | 0,0002 | 0,0022 | 0,0001 |
| SrO | 0,000005 | 0,0061 | 0,0000(4) | 0,0073 | 0,0001 | 0,0070 | 0,0002 | 0,0062 | 0,0001 |
| Y | 0,02 ppm | 1,4 ppm | 0,0 ppm | 1,0 ppm | 0,1 ppm | 1,0 ppm | 0,1 ppm | 0,5 ppm | 0,0 ppm |
| Zr | 0,01 ppm | 28 ppm | 0,00006 | 0,00260 | 0,00022 | 0,00276 | 0,00001 | 0,00155 | 0,00005 |
| Nb | 0,01 ppm | 1,4 ppm | 0,1 ppm | 1,0 ppm | 0,1 ppm | 0,9 ppm | 0,1 ppm | 0,5 ppm | 0,0(3) ppm |
| Mo ₂ O ₃ | 0,26 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| AgO | 0,4 ppm | 0,4 ppm | 0,2 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| CdO | 8,4 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| In | 1,8 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| SnO ₂ | 0,00008 | 0,0016 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0000(1) | 0,0001 | 0,0001 | 0,0006 | 0,0001 |
| Sb ₂ O ₃ | 0,0001 | 0,0578 | 0,0025 | 0,0569 | 0,0008 | 0,0574 | 0,0009 | 0,616 | 0,009 |
| Cs ₂ O | 0,09 ppm | 0,1 ppm | 0,0(1)ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| BaO | 0,00002 | 0,0162 | 0,0005 | 0,0176 | 0,0002 | 0,0170 | 0,0003 | 0,0067 | 0,0001 |
| La | 0,01 ppm | 1,6 ppm | 0,1 ppm | 1,9 ppm | 0,1 ppm | 1,6 ppm | 0,2 ppm | 1,0 ppm | 0,1 ppm |
| Ce | 0,01 ppm | 3,9 ppm | 0,2 ppm | 3,2 ppm | 0,1 ppm | 2,6 ppm | 0,1 ppm | 1,8 ppm | 0,2 ppm |
| Pr | 0,02 ppm | 0,2 ppm | 0,0(1) ppm | 0,2 ppm | 0,0(1) ppm | 0,1 ppm | 0,0(1) ppm | 0,1 ppm | 0,0(2) ppm |
| Nd | 0,01 ppm | 0,6 ppm | 0,1 ppm | 0,4 ppm | 0,1 ppm | 0,2 ppm | 0,2 ppm | 0,6 ppm | 0,2 ppm |
| Sm | 0,25 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Eu | 0,05 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Gd | 0,08 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | 0,3 ppm | 0,1 ppm |
| Tb | 0,01 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Dy | 0,05 ppm | < | G.W | 0,1 ppm | 0,0(3) ppm | < | G.W | < | G.W |
| Ho | 0,01 ppm | < | G.W | < | G.W | 0,02 ppm | 0,01 ppm | < | G.W |
| Er | 0,03 ppm | < | G.W | < | G.W | 0,1 ppm | 0,0(4) ppm | < | G.W |
| Tm | 0,04 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Yb | 0,27 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Lu | 0,02 ppm | < | G.W | < | G.W | < | G.W | < | G.W |
| Hf | 0,01 ppm | 0,1 ppm | 0,0 | 0,2 ppm | 0,0(4) ppm | 0,2 ppm | 0,1 ppm | 0,1 ppm | 0,0(3) |
| W | 0,26 ppm | < | G.W | < | G.W | 0,3 ppm | 0,1 ppm | < | G.W |
| Au | 0,31 ppm | 1,2 ppm | 0,1 ppm | < | G.W | < | G.W | 207 ppm | 9 ppm |
| PbO | 0,00005 | 0,632 | 0,054 | 0,0583 | 0,0005 | 0,200 | 0,001 | 4,24 | 0,07 |
| Bi ₂ O ₃ | 0,05 ppm | 0,6 ppm | 0,2 ppm | 0,1 ppm | 0,0 ppm | 0,1 ppm | 0,0(4) ppm | 8,3 ppm | 0,9 ppm |
| Th | 0,03 ppm | 0,3 ppm | 0,1 ppm | 0,3 ppm | 0,1 ppm | 0,7 ppm | 0,2 ppm | 0,3 ppm | 0,01 ppm |
| U | 0,03 ppm | 0,1 ppm | 0,1 ppm | 0,2 ppm | 0,1 ppm | 0,2 ppm | 0,0(3) ppm | 0,1 ppm | 0,0(2) ppm |

Próbka 1245_7K jest niejednorodna i wyniki zależą od miejsca mikropróbkowania pomimo podjęcia próby oceny wizualnej i wyboru miejsc o podobnej kolorystyce. Przygotowanie próbek w postaci szlifów pozwoliłoby na uzyskanie informacji bardziej miarodajnej.

Aneks IV

Optyczna koherencyjna tomografia OCT



**Analiza wyników badań fragmentów luster MJG1245SP oraz MJG 36/S
wykonanych z zastosowaniem
optycznej koherencyjnej tomografii (OCT)**

Zleceniodawca: AKADEMIA SZTUK PIĘKNYCH IM. EUGENIUSZA GEPPERTA WE WROCŁAWIU,
kierownik projektu: mgr Natalia Moszak



**Wyniki uzyskano w ramach oferty MOLAB/FIXLAB PL
polskiej infrastruktury badawczej E-RIHS.pl
podczas realizacji projektu: BADANIA NEOROKOKOWYCH
ZWIERCIADEŁ Z MUZEUM KARKONOSKIEGO W JELENIEJ
GÓRZE O NUMERACH INWENTARZOWYCH: MJG 36/s oraz
1245 Ps**

Pomiary przeprowadzili:

dr hab. Magdalena Iwanicka, prof. UMK – Wydział Sztuk Pięknych UMK

Opracowanie i interpretacja wyników, autorstwo raportu:

dr hab. Magdalena Iwanicka, prof. UMK

Badania wykonano w Interdyscyplinarnym Centrum Nowoczesnych Technologii UMK

Toruń 2021 r.

Prawa autorskie zastrzeżone

© Uniwersytet Mikołaja Kopernika i Autorzy

Spis treści

| | |
|------------------------------|----|
| Informacje o obiektach..... | 4 |
| Cel badań..... | 4 |
| Metodyka badań | 5 |
| Metoda | 5 |
| Instrument..... | 5 |
| Opis panelu wynikowego | 6 |
| Wyniki pomiarów OCT..... | 8 |
| Lustro MJG 1245 Ps..... | 8 |
| Lustro MJG 36/s..... | 25 |

Informacje o obiektach

[Na podstawie wniosku]

Lustra o numerach inwentarzowych MJG 36/s oraz 1245 Ps, ze zbiorów Muzeum Karkonoskiego w Jeleniej Górze, pozyskano do Pracowni Konserwacji i Restauracji Szkła, Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu, w celu ich konserwacji oraz restauracji, w ramach pracy doktorskiej. Obiekty te datowane są na II poł. XIX w. - I poł. XX w.

Lustro o numerze inwentarzowym MJG 36/s ma rozmiary 120 x 70 cm, natomiast lustro o numerze inwentarzowym 1245 Ps: 84,5 x 46 cm.

Opisywane obiekty mają złożoną budowę, na którą składa się drewniane podłoże, odpowiednio docięte, grawerowane i lustrzone związkami srebra tafle szkła płaskiego, formowane na gorąco, barwione grysem, montowane do drewnianej ramy za pomocą gwoździ i drucików dekoracyjne elementy szklane i znajdująca się pod nimi folia. Lustrzane tafle zabezpieczone są od spodniej strony minią ołowianą lub farbą olejną.

Stan zachowania obiektów wskazuje na niewłaściwe, wcześniejsze ich przechowywanie oraz szkodliwe warunki otoczenia. Widoczne okiem nieuzbrojonym, liczne ogniska korozyjne dotyczą głównie srebrzonych tafli szkła. Dodatkowo, folia znajdująca się pod elementami dekoracyjnymi, uległa niemal całkowitemu zniszczeniu. Dekoracja składająca się ze szkła w formie liści, kwiatów i taśm jest niekompletna i wymaga rekonstrukcji elementów.



Od lewej: Lustro o numerze inwentarzowym MJG 36/s, lustro o numerze inwentarzowym 1245 Ps

Cel badań

- określenie stanu zachowania srebrnej podlewki oraz jej przyczepności do podłoża
- ocena stanu zachowania szkła

Metodyka badań

Metoda¹

Koherencyjna (a. koherentna) tomografia optyczna z zastosowaniem interferometrii światła częściowo spójnego (ang. optical coherence tomography – OCT) to nieinwazyjna, nieniszcząca i bezdotykowa metoda badania struktury obiektów składających się z przejrzystych lub półprzejrzystych warstw, częściowo przezroczystych dla promieniowania świetlnego z zakresu bliskiej podczerwieni, pozwalająca otrzymać obrazy ich przekrojów stratygraficznych.

Metoda wykorzystuje zjawisko interferencji światła, którego wąski promień pada na badany obiekt i wnika weń na głębokość determinowaną właściwościami absorpcyjnymi materiału. Badanie polega na rejestracji i analizie sygnału powstałego z nakładania się światła rozproszonego na heterogenicznych warstwach struktury badanego obiektu z wiązką odniesienia odbitą od zwierciadła referencyjnego. W ten sposób uzyskuje się i rozróżnia informacje pochodzące z różnych głębokości badanego materiału. Analiza sygnału uzyskanego w OCT dostarcza informacji o rozkładzie centrów rozpraszających wzdłuż kierunku wiązki promienia (z). Otrzymaną pojedynczą linię nazywa się, analogicznie jak w ultrasonografii, A-skanem. Dwuwymiarowy obraz przekroju (B-skan) powstaje poprzez złożenie kolejnych pomiarów wykonanych wzdłuż wiązki przesuwanej prostopadle do kierunku padania światła. Przesuwając promień sondujący dodatkowo w płaszczyźnie x, y otrzymuje się trójwymiarowy obraz badanej struktury (dane z objętości).

Na tomogramach OCT skala fałszywych kolorów koduje natężenie światła rozproszonego na różnych głębokościach w obiekcie. Kolejno kolory: biały, czerwony, żółty, zielony i niebieski ilustrują rozkład natężenia światła od największego do najmniejszego; obszary nie rozpraszające widoczne są jako czarne. Płynny zanik koloru świadczy o wielokrotnym rozproszeniu i absorpcji w warstwie (co wynika z właściwości optycznych badanego materiału). Im większa jest różnica rozpraszania i współczynnika załamania światła w poszczególnych warstwach, tym granice między nimi są lepiej widoczne. Wyraźna biała linia oddzielająca powierzchnię badanego obiektu od powietrza jest wynikiem dużej różnicy współczynnika załamania światła sąsiadujących ośrodków (powietrze-warstwy w obiekcie). Z kolei warstwa werniksu jest widoczna zazwyczaj jako ciemny pasek, ponieważ czyste spoiwo (podobnie jak szkło) w swojej objętości nie rozprasza światła ani go nie pochłania, lecz tylko przepuszcza w głąb, dzięki czemu możliwa jest obserwacja warstw spodnich. Leżące pod werniksem warstwy malarskie, zależnie od składu wykazują różną zdolność rozpraszania światła i pewnej jego absorpcji. Jeżeli absorpcja lub rozproszenie jest zbyt silne, na tomogramie nie będzie widoczna dolna granica warstwy (a jedynie linia lub płynny zanik koloru).

Instrument

Badania wykonano za pomocą przenośnego prototypu instrumentu OCT skonstruowanego w Zakładzie Biofizyki i Fizyki Medycznej IF UMK.

Parametry układu OCT:

- centralna długość fali: 845 nm
- rozdzielczość w głąb w materiale: $\Delta z = 2,2 \mu\text{m}$
- rozdzielczość poprzeczna: $\Delta x \sim 30 \mu\text{m}$
- czułość: 101 dB
- naświetlenie obiektu: 1,3 mW

¹ Szczegółowe informacje na temat metody i jej zastosowania do badania dzieł sztuki oraz bibliografię tego tematu znaleźć można na stronie internetowej: www.oct4art.eu.

Opis panelu wynikowego

Wyniki badań OCT umieszczone są w panelach, zawierających tomogram (obraz przekroju). Wynik obróbki pojedynczego B-skanu ma formę pliku graficznego *.jpg o nazwie utworzonej z nazwy odpowiedniego pliku *.oct przez dodanie na końcu przyrostka: _0001 dla pojedynczych danych 2D albo numeru klatki dla danych 3D. Obraz w pliku wynikowym (zob. punkt 5.3 – przykłady wyników badań) składa się z następujących elementów:

- **Tomogram (B-skan):**

W przypadku skanów poziomych, prawa i lewa strona tomogramu odpowiadają prawej i lewej stronie skanowanego obszaru. Dla skanów pionowych, lewa strona tomogramu odpowiada górnej części skanowanego obszaru, natomiast prawa strona – dolnej części skanowanego obszaru. Warstwy obiektu leżące najbliżej powierzchni widoczne są na tomogramach jako pierwsze od góry.

- **Belki skali:** Pionowa i pozioma belka skali (umieszczona pod tomogramem po lewej stronie panelu) odpowiadają wskazanej długości (najczęściej 200 μm) w powietrzu. Belka pionowa jest zazwyczaj dłuższa od poziomej (tomogramy są prezentowane rozciągnięte w pionie dla lepszej czytelności układu warstw). UWAGA: odległości w kierunku pionowym są odległościami optycznymi. Aby uzyskać rzeczywistą odległość w badanym ośrodku (np. werniksie), należy podzielić odległość optyczną przez współczynnik załamania światła ośrodka (w przypadku materiałów malarskich – zwykle pomiędzy 1,4 i 1,6)

- **Reflektogram w podczerwieni:** w przypadku danych zbieranych z powierzchni obiektu, poniżej tomogramu OCT, po prawej stronie panelu wynikowego, widoczny jest reflektogram w podczerwieni utworzony z danych OCT, z naniesioną żółtą linią (pionową lub poziomą w zależności od kierunku skanowania) wskazującą dokładną lokalizację danego tomogramu.

- **Informacje o pomiarze:**

“Wymiar (H|V|Z) [mm]”:

| Rodzaj skanu | X | Y | Z |
|--------------------------------|---|---|--|
| Pojedynczy poziomy skan | poprzeczny (poziomy) wymiar skanu: szerokość tomogramu | 0 | głębokość obrazowania = wysokość tomogramu |
| Pojedynczy pionowy skan | 0 | poprzeczny (pionowy) wymiar skanu: szerokość tomogramu | |
| Jeden z serii skanów poziomych | poprzeczny (poziomy) wymiar skanu: szerokość tomogramu | poprzeczny wymiar obszaru skanowania w przeciwnym kierunku (pionowym) | |
| Jeden z serii skanów pionowych | poprzeczny wymiar obszaru skanowania w przeciwnym kierunku (poziomym) | poprzeczny (pionowy) wymiar skanu: szerokość tomogramu | |

“Obiekt”:

- pierwszy wiersz: nazwa katalogu (dla danego obiektu),
- drugi wiersz: nazwa podkatalogu z danymi OCT (dla danego pomiaru).

“Tomogram”: numer tomogramu w serii (dla danych zebranych z powierzchni)/ całkowita liczba tomogramów w serii.

“Pomiar”:

- pierwszy wiersz: data i godzina pomiaru, długość ogniskowej obiektywu,
- drugi wiersz: konfiguracja instrumentu (położenie głowicy, kierunek skanowania).

“Opis”: miejsce na komentarze użytkownika.

- **Fotografia z zaznaczonym miejscem badania**: w prawym dolnym rogu panelu wynikowego umieszczona jest fotografia wraz z precyzyjnym oznaczeniem lokalizacji pomiaru (linia pionowa bądź pozioma dla danych pojedynczych, krzyż dla danych zebranych z powierzchni)

Wyniki pomiarów OCT

Lustro MJG 1245 Ps

Oznaczenie badanych obszarów

Tafla S2:



Tafla S4:



Element dekoracyjny – kwiat – 4K:



Tab. 1. Zestawienie pomiarów OCT

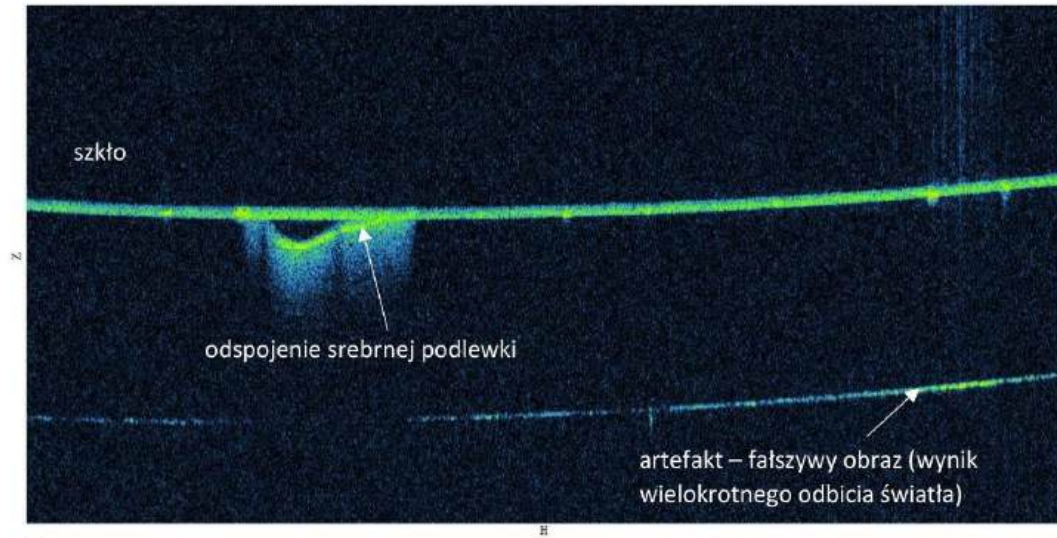
| Miejsce | Kierunek skanowania | Folder | Nr tomogramu | Rozmiar skanowanego obszaru w mm |
|---------------------------|---------------------|----------------------------|--------------|----------------------------------|
| S2, #1 | H | 2021-10-14_100724_3000x100 | 0052 | 12,0 x 12,0 |
| S2, #2, rysa | H | 2021-10-14_102713_3000x100 | 0055 | 12,0 x 12,0 |
| S2, #3, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_103130_3000x100 | 0044 | 12,0 x 12,0 |
| S2, #4, grawerunek | H | 2021-10-14_103823_3000x100 | 0052 | 12,0 x 12,0 |
| S2, #5, poler | H | 2021-10-14_104234_3000x100 | 0053 | 12,0 x 12,0 |
| S4, #6, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_105013_3000x100 | 0045 | 12,0 x 12,0 |
| S4, #7, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_105641_3000x100 | 0034 | 12,0 x 12,0 |
| S4, #8, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_105936_3000x100 | 0042 | 12,0 x 12,0 |
| S4, #9, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_110320_3000x100 | 0044 | 12,0 x 12,0 |

| | | | | |
|--|---|----------------------------|------|-------------|
| S4, #10, ogniska korozyjne, wczesny etap powstawania odspojień | H | 2021-10-14_110845_3000x100 | 0049 | 12,0 x 12,0 |
| 4K, #11, szkło barwione w masie (smugi czerwieni) | H | 2021-10-14_125803_3000x150 | 0044 | 6,0 x 6,0 |
| 4K, #11, szkło barwione w masie (smugi czerwieni) | V | 2021-10-14_130159_3000x150 | 0054 | 6,0 x 6,0 |
| 4K, #12, szkło barwione w masie (smugi czerwieni) | V | 2021-10-14_130615_3000x150 | 0077 | 6,0 x 6,0 |
| 4K, #13, szkło barwione w masie (smugi czerwieni) | H | 2021-10-14_131231_3000x150 | 0075 | 6,0 x 6,0 |

Wnioski

Obrazowanie OCT zilustrowało odspojenia srebrnej podlewki (na różnym etapie powstawania) oraz profil powierzchni w przypadku miejsc z grawerunkiem i polerem. W przypadku szkła częściowo barwionego widoczny jest rozkład barwionego szkła w strukturze przezroczystego szkła.

S2, #1



200 um in air

Object:

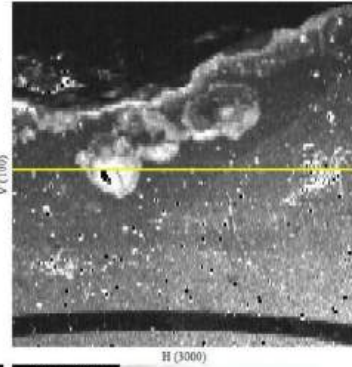
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_100724_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

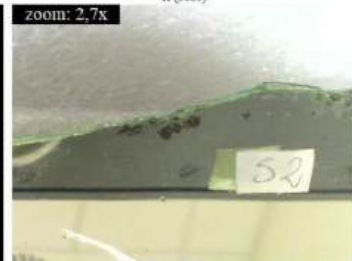
Measurement:

14-10-2021 (10:07:24), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

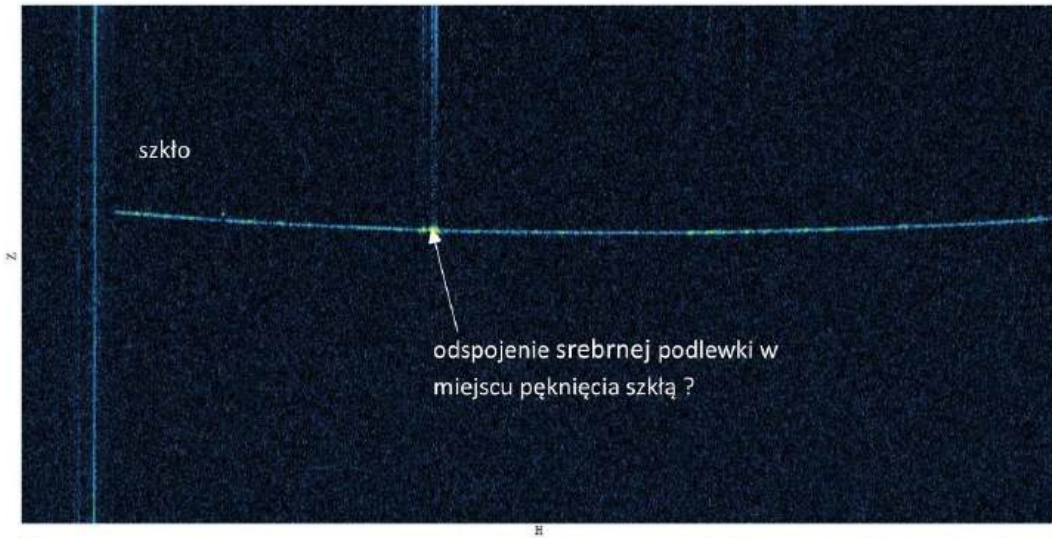
Tomogram:
52/100



Description:
S2, #1



S2, #2, rysa



200 um in air

Object:

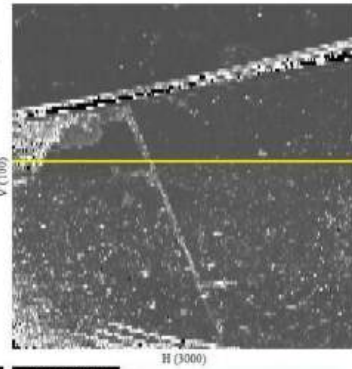
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_102713_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

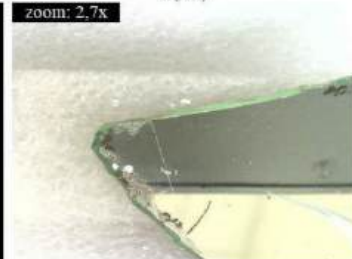
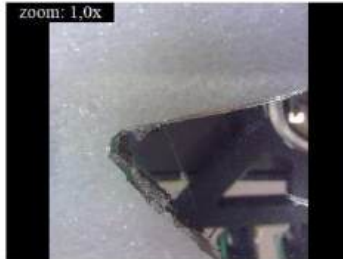
14-10-2021 (10:27:13), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
55/100

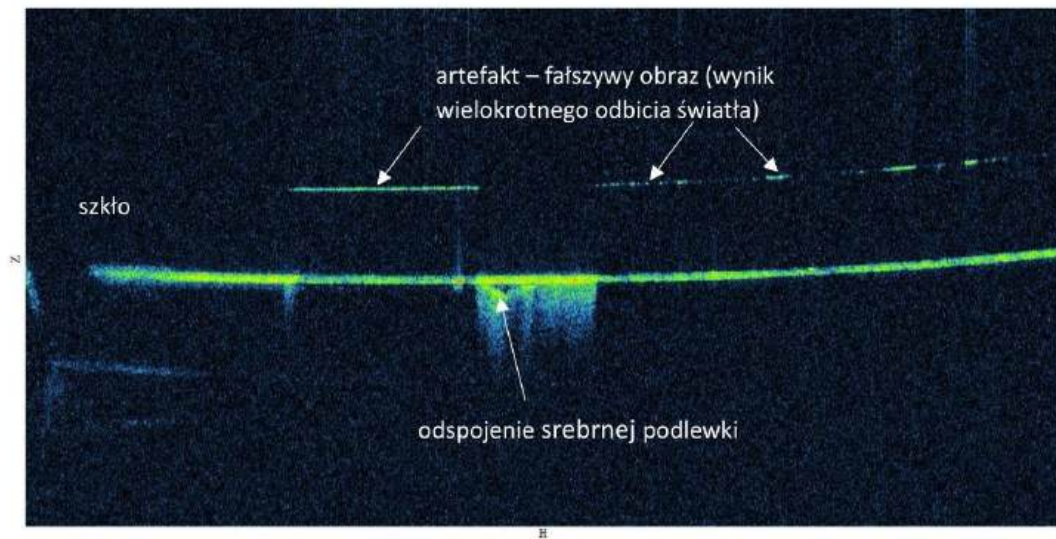


Description:

S2, #2, rysa



S2, #3, ogniska korozyjne



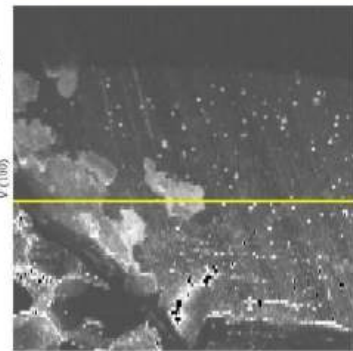
200 um in air

Object:
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_103130_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:
14-10-2021 (10:31:30), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

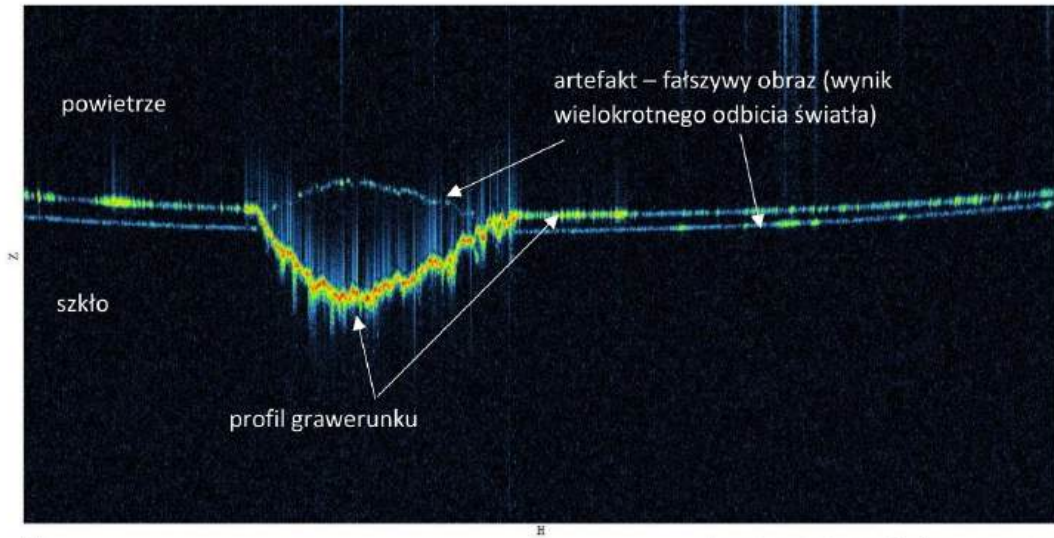
Tomogram:
44/100



Description:
S2, #3, ogniska korozyjne



S2, #4, grawerunek



200 um in air

Object:

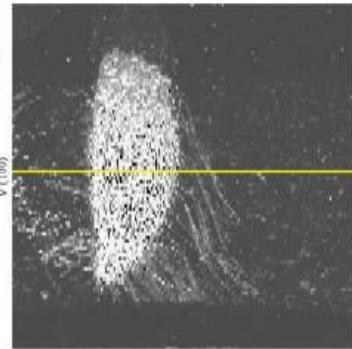
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_103823_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

14-10-2021 (10:38:23), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
52/100

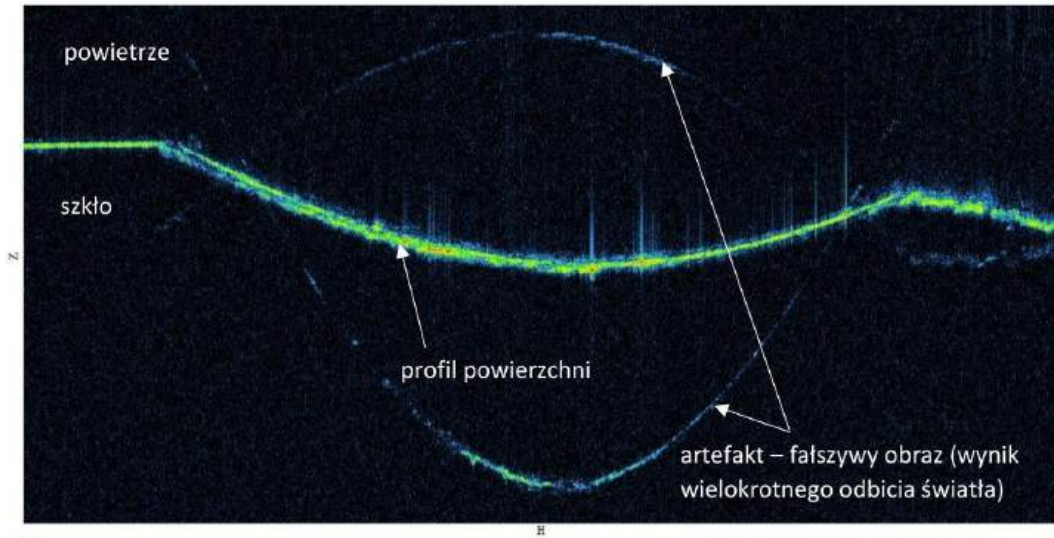


Description:

S2, #4, grawerunek



S2, #5, poler



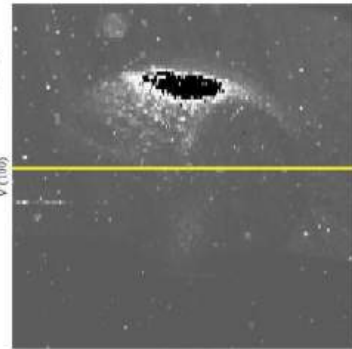
200 um in air

Object:
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_104234_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:
14-10-2021 (10:42:34), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

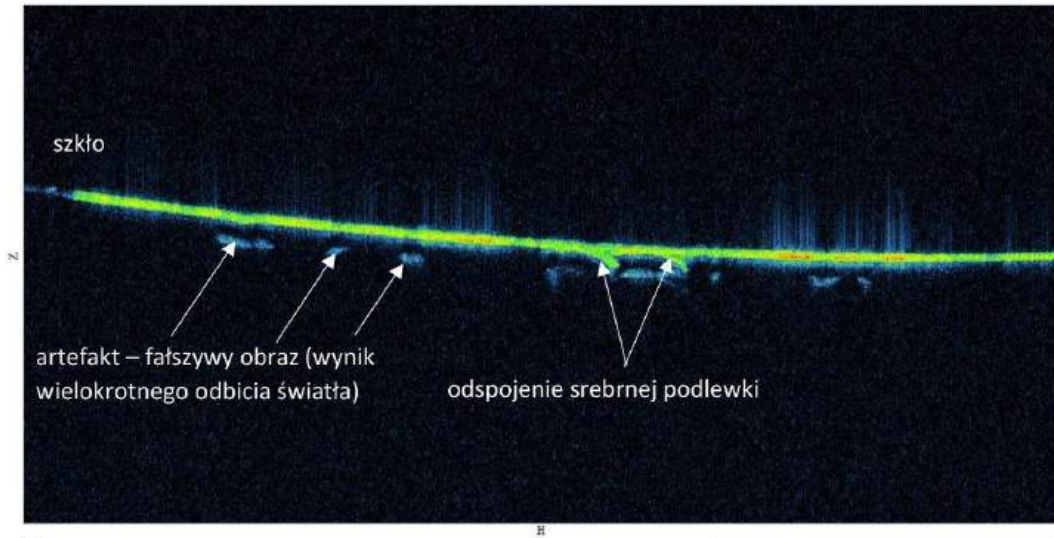
Tomogram:
53/100



Description:
S2, #5, poler



S4, #6, ogniska korozyjne



200 um in air

Object:

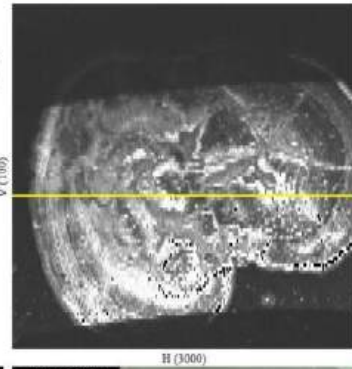
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_105013_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

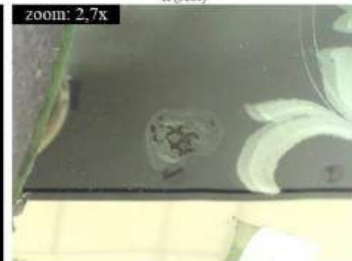
14-10-2021 (10:50:13), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
45/100

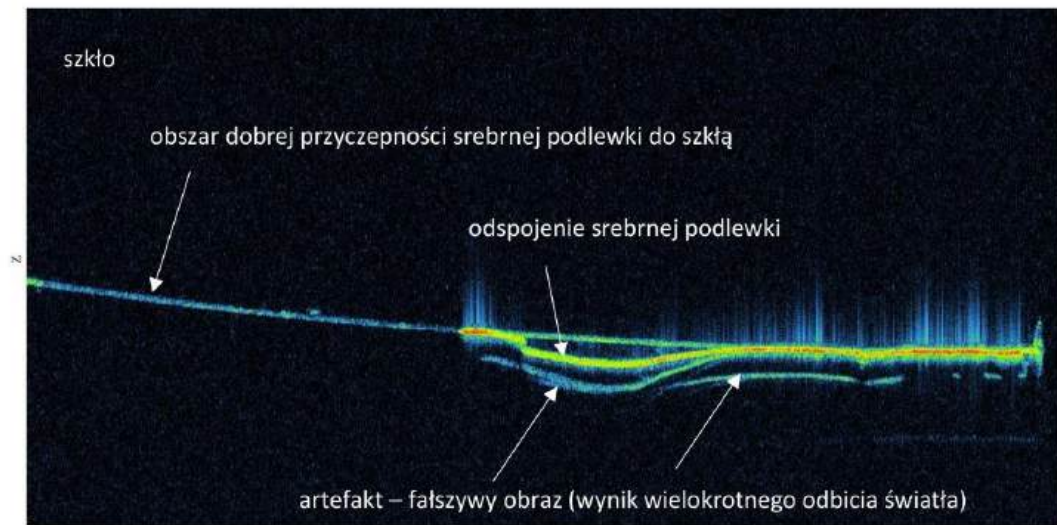


Description:

S4, #6, ogniska korozyjne



S4, #7, ogniska korozyjne



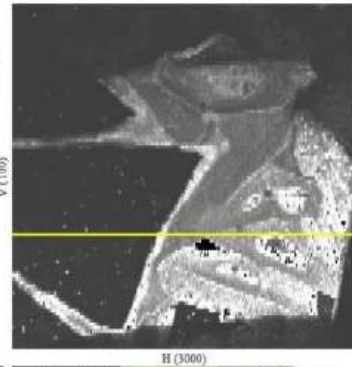
200 um in air

Object:
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_105641_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:
14-10-2021 (10:56:41), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

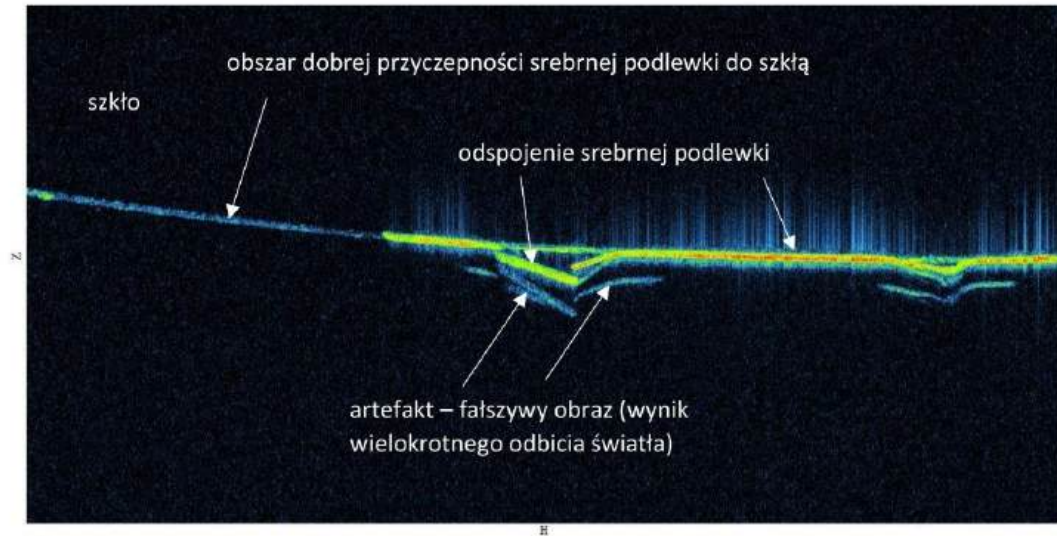
Tomogram:
34/100



Description:
S4, #7, ogniska korozyjne



S4, #8, ogniska korozyjne



200 um in air

Object:

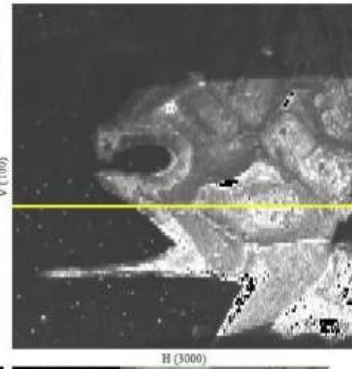
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_105936_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

14-10-2021 (10:59:36), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
42/100

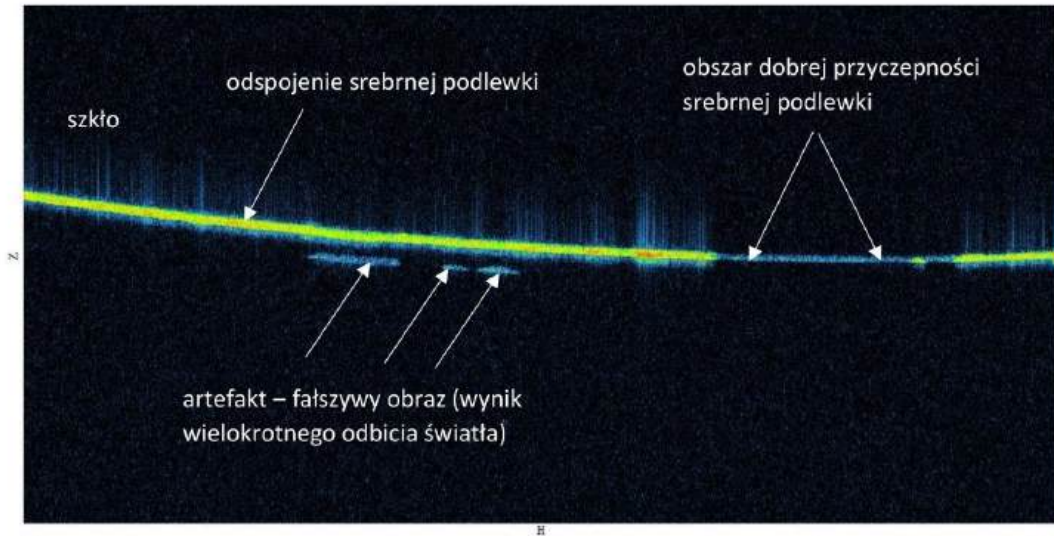


Description:

S4, #8, ogniska korozyjne



S4, #9, ogniska korozyjne



200 um in air

Object:

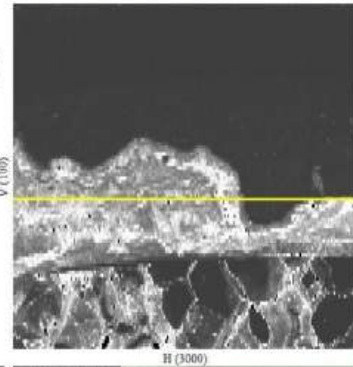
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_110320_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

14-10-2021 (11:03:20), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
44/100

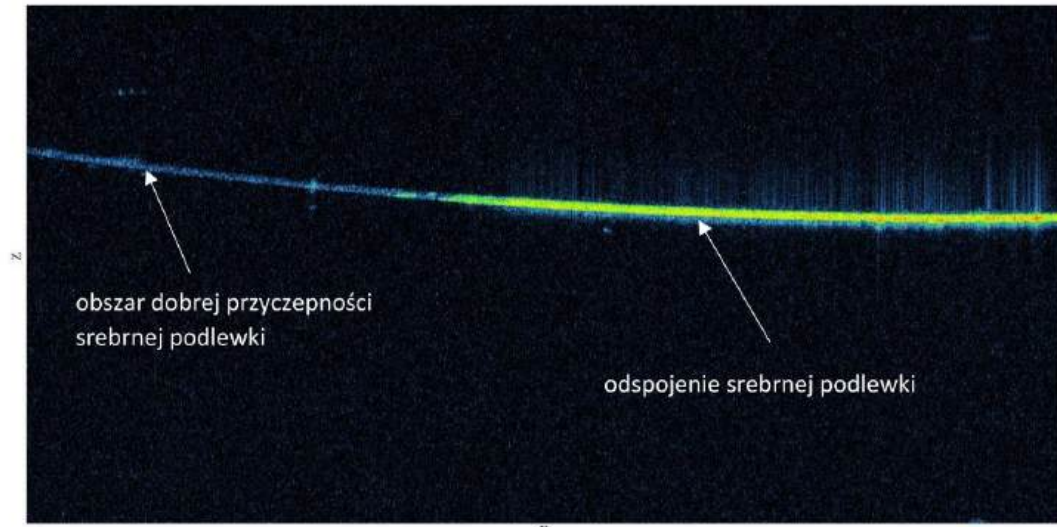


Description:

S4, #9, ogniska korozyjne



S4, #10, ogniska korozyjne, wczesny etap powstawania odspojień



200 um in air

Object:

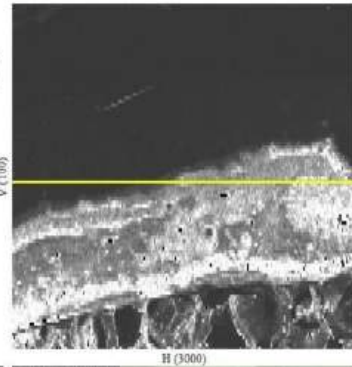
Lustro MIG1245PS
2021-10-14_110845_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

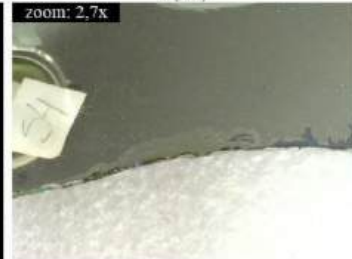
14-10-2021 (11:08:45), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
49/100



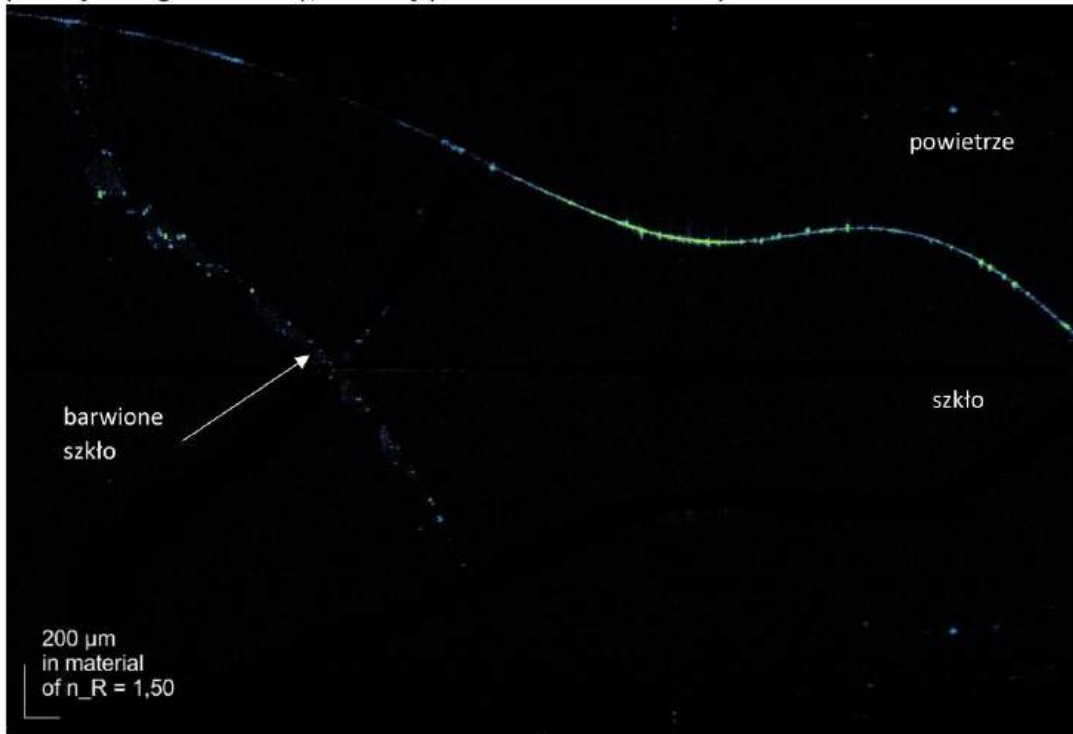
Description:

S4, #10, ogniska korozyjne,
wczesny etap powstawania
odspojień



4K, #11, szkło barwione w masie (smugi czerwieni)

poniżej tomogram złożony, z usuniętymi obrazami artefaktowymi



Object:

Lustro MJG1245PS
2021-10-14_125803_3000x150

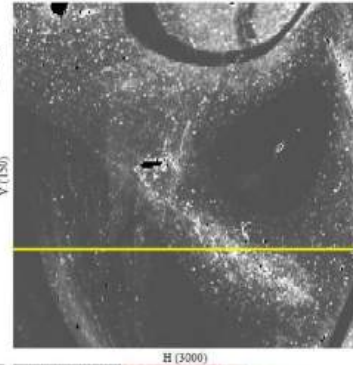
Dimension (H|V|Z) [mm]:

6,0 | 6,0 | 2,03

Measurement:

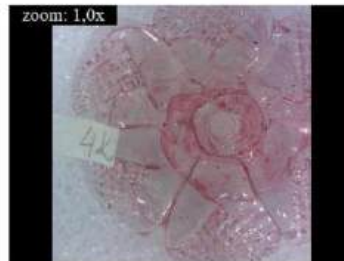
14-10-2021 (12:58:03), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
44/150



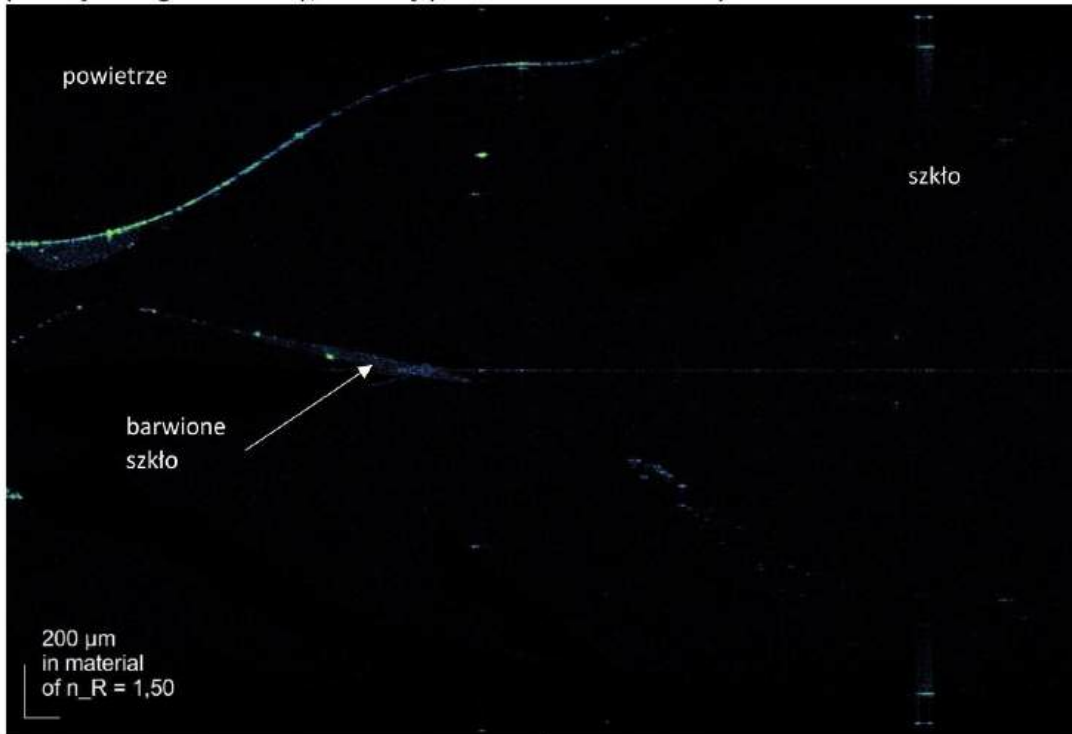
Description:

4K, #11, szkło barwione w masie (smugi czerwieni),
(pionowa struktura po prawej - artefakt)



4K, #11, szkło barwione w masie (smugi czerwieni)

poniżej tomogram złożony, z usuniętymi obrazami artefaktowymi



Object:

Lustro MJG1245PS
2021-10-14_130159_3000x150

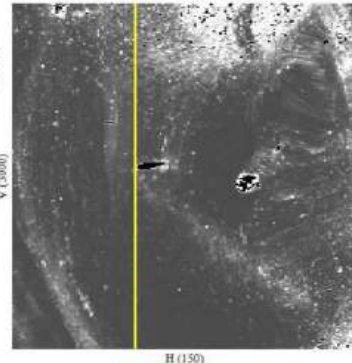
Dimension (H|V|Z) [mm]:

6,0 | 6,0 | 2,03

Measurement:

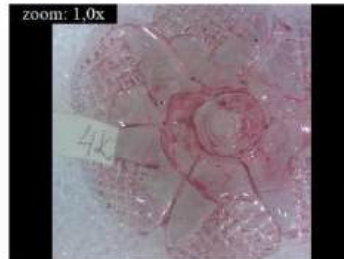
14-10-2021 (13:01:59), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

Tomogram:
54/150



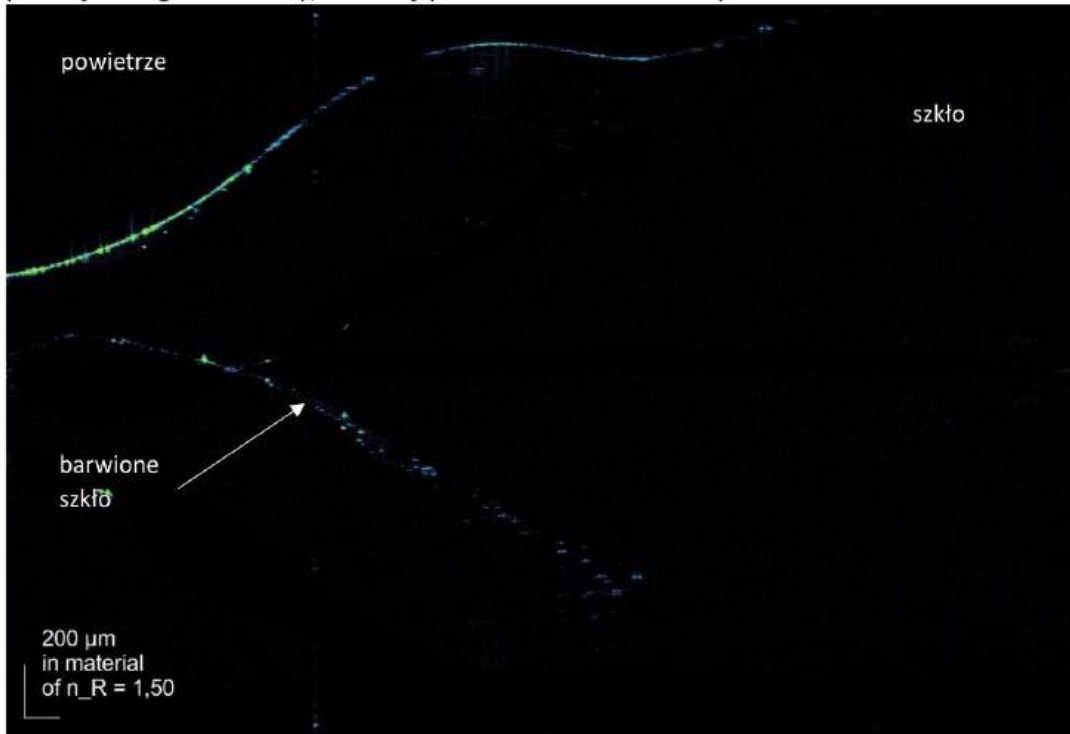
Description:

4K, #11, szkło barwione w masie (smugi czerwieni),
(pionowa struktura po prawej - artefakt)



4K, #12, szkło barwione w masie (smugi czerwieni)

poniżej tomogram złożony, z usuniętymi obrazami artefaktowymi



Object:

Lustro MJG1245PS
2021-10-14_130615_3000x150

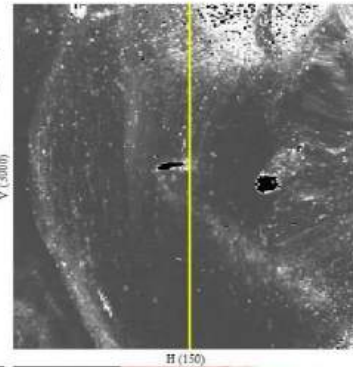
Dimension (H|V|Z) [mm]:

6,0 | 6,0 | 2,03

Measurement:

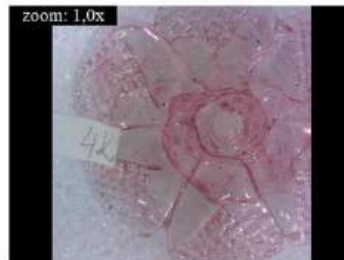
14-10-2021 (13:06:15), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

Tomogram:
77/150



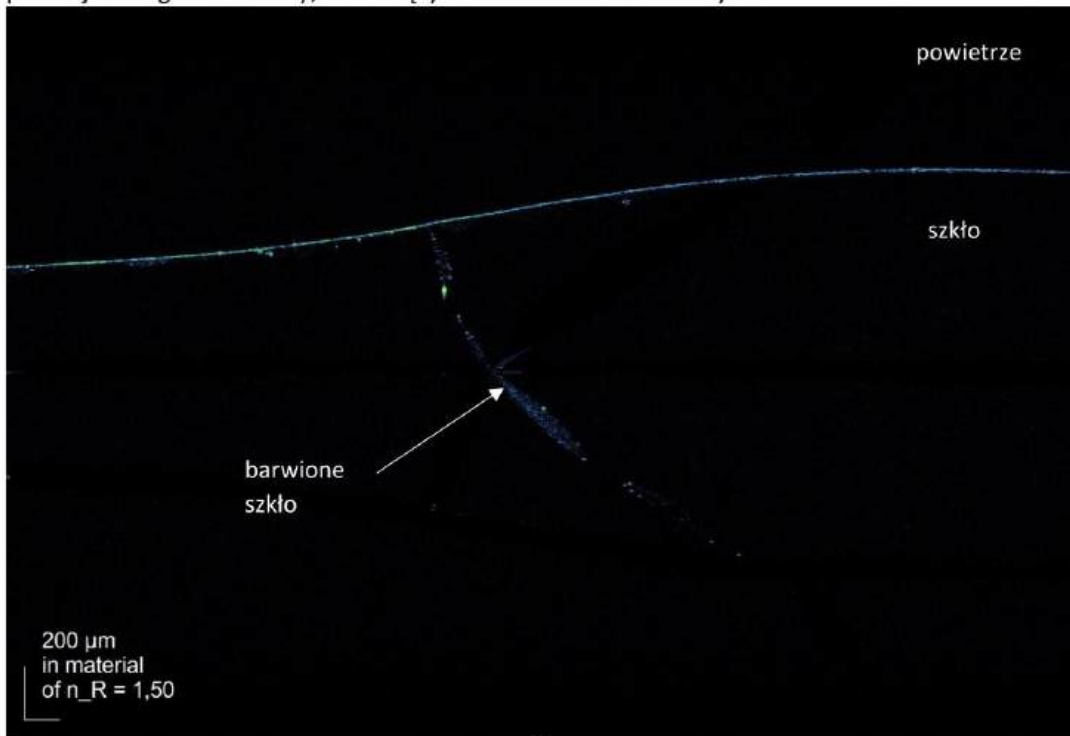
Description:

4K, #12, szkło barwione w masie (smugi czerwieni),
(pionowa struktura po prawej - artefakt)



4K, #13, szkło barwione w masie (smugi czerwieni)

poniżej tomogram złożony, z usuniętymi obrazami artefaktowymi



Object:

Lustro MJG1245PS
2021-10-14_131231_3000x150

Dimension (H|V|Z) [mm]:

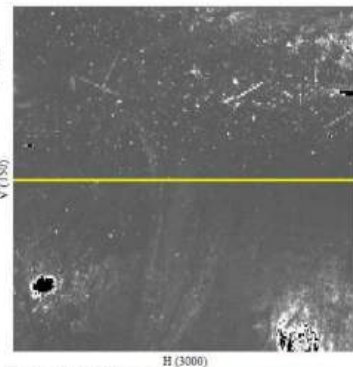
6,0 | 6,0 | 2,03

Measurement:

14-10-2021 (13:12:31), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

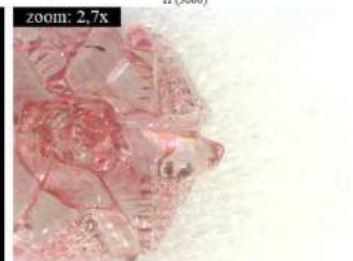
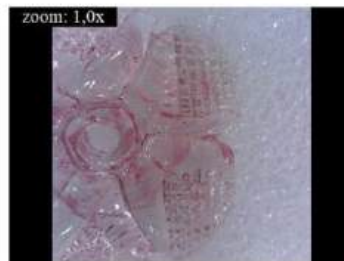
Tomogram:

75/150



Description:

4K, #13, szkło barwione w masie (smugi czerwieni),



Lustro MJG 36/s

Oznaczenie badanych obszarów

Tafla S4:



Tafla S6:



Tafla S9:



Tafla S11:



Element L59:



Wnioski

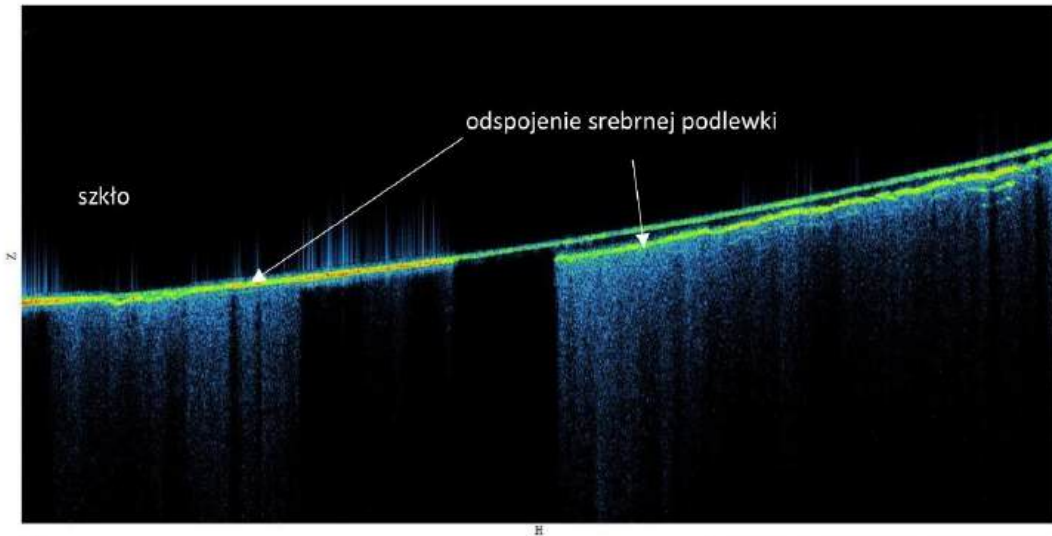
Obrazowanie OCT zilustrowało odspojenia srebrnej podlewki (na różnym etapie powstawania). W przypadku elementu dekoracyjnego wykonanego ze szkła częściowo barwionego widoczny jest rozkład barwionego szkła (grysu) w strukturze przezroczystego szkła – grys zlokalizowany jest przy powierzchni. Stwierdzono też uszkodzenia i pęknięcia szkła wokół otworu montażowego w tym elemencie. Zobrazowano też uszkodzenia szkła obok pręta metalowego służącego do montażu elementów.

Tab.2. Zestawienie pomiarów OCT

| Miejsce | Kierunek skanowania | Folder | Nr tomogramu | Rozmiar skanowanego obszaru w mm |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|--------------|----------------------------------|
| S6, #1, ogniska korozyjne, ubytek | H | 2021-10-14_112900_3000x100 | 0047 | 12,0 x 12,0 |
| S6, #2, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_113027_3000x100 | 0055 | 12,0 x 12,0 |
| S9, #3, ogniska korozyjne | H | 2021-10-14_114122_3000x100 | 0054 | 12,0 x 12,0 |
| S9, #4, ogniska korozyjne, rysy? | H | 2021-10-14_114533_3000x100 | 0053 | 12,0 x 12,0 |
| S9, #5, ogniska korozyjne, rysy? | H | 2021-10-14_114904_3000x100 | 0051 | 12,0 x 12,0 |
| S4, #6, ognisko korozyjne | H | 2021-10-14_115547_3000x100 | 0052 | 12,0 x 12,0 |
| S11, #7, ognisko korozyjne | H | 2021-10-14_120437_3000x100 | 0052 | 12,0 x 12,0 |
| L59, #8, szkło barwione w masie | V | 2021-10-14_122111_3000x100 | 0057 | 12,0 x 12,0 |
| L59, #8, szkło barwione w masie | V | 2021-10-14_122111_3000x100 | 0051 | 12,0 x 12,0 |

| | | | | |
|---|---|----------------------------|------|-------------|
| L59, #9, szkło barwione w masie | H | 2021-10-14_123139_3000x100 | 0003 | 12,0 x 12,0 |
| L59, #9, szkło barwione w masie | H | 2021-10-14_123139_3000x100 | 0051 | 12,0 x 12,0 |
| L59, #10, szkło barwione w masie | V | 2021-10-14_123455_3000x100 | 0061 | 12,0 x 12,0 |
| L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy | V | 2021-10-14_123728_3000x100 | 0051 | 12,0 x 12,0 |
| L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy | V | 2021-10-14_124245_3000x150 | 0082 | 6,0 x 6,0 |
| L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy | H | 2021-10-14_124504_3000x150 | 0079 | 6,0 x 6,0 |
| pręt, #12 | H | 2021-10-14_132214_3000x150 | 0085 | 6,0 x 6,0 |

S6, #1, ogniska korozyjne, ubytek



200 um in air

Object:

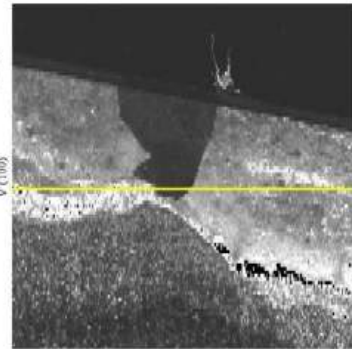
Lustro MIG36s
2021-10-14_112900_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

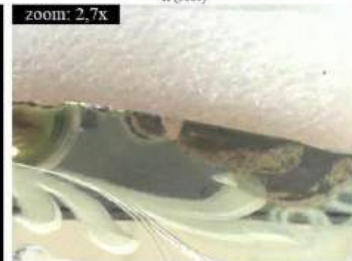
14-10-2021 (11:29:00), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
47/100

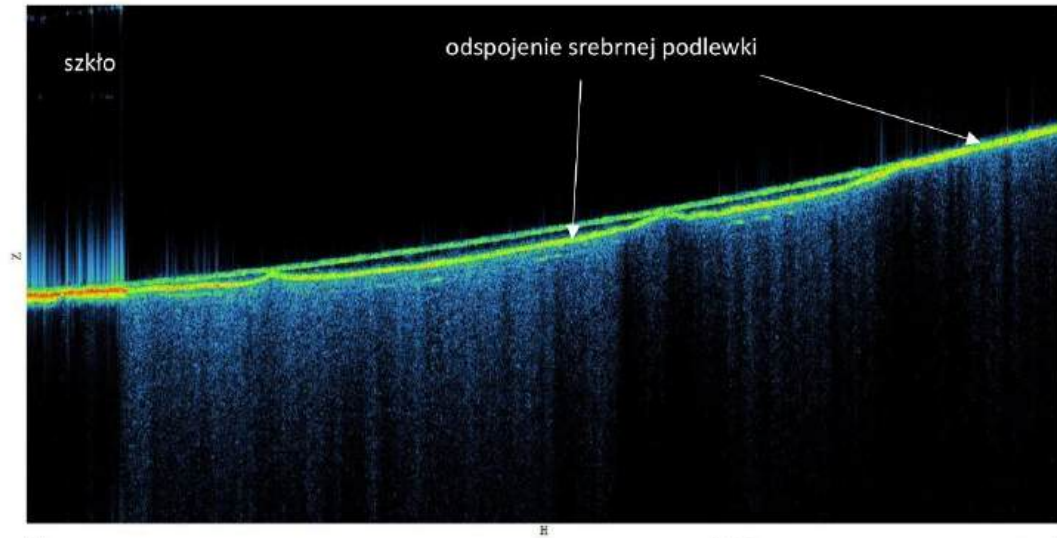


Description:

S6, #1, ogniska korozyjne,
ubytek



S6, #2, ogniska korozyjne



200 um in air

Object:

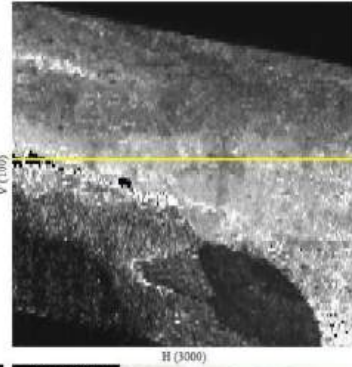
Lustro MIG36s
2021-10-14_113027_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

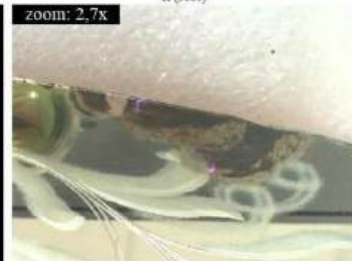
14-10-2021 (11:30:27), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
55/100

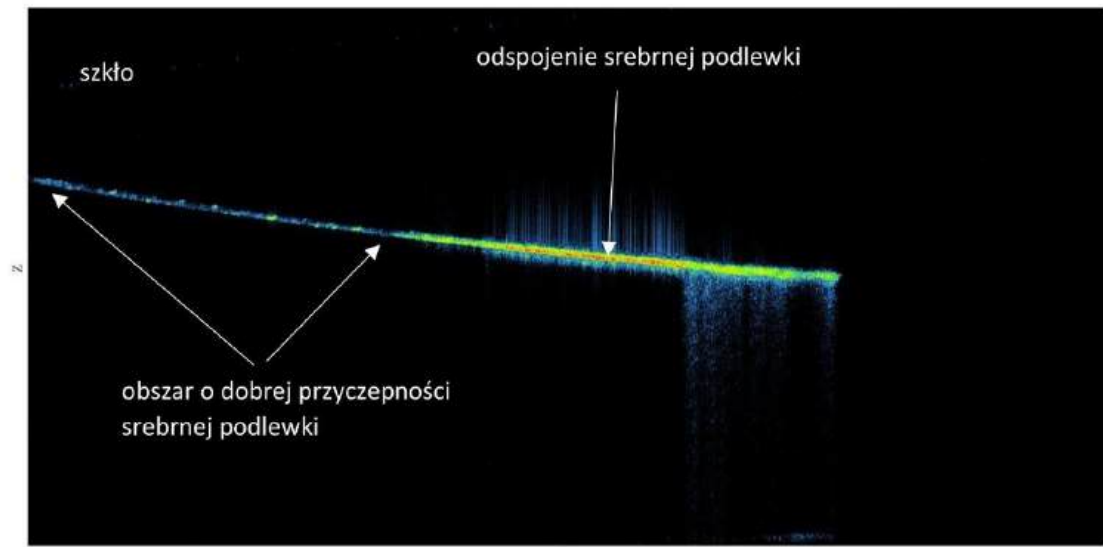


Description:

S6, #2, ogniska korozyjne



S9, #3, ogniska korozyjne



200 um in air

Object:

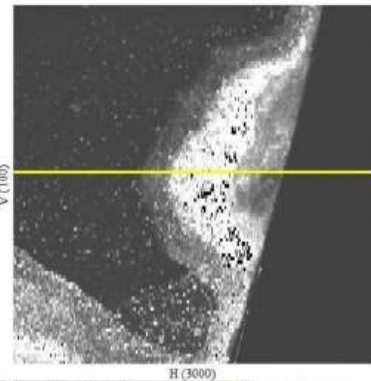
Lustro MJG36s
2021-10-14_114122_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

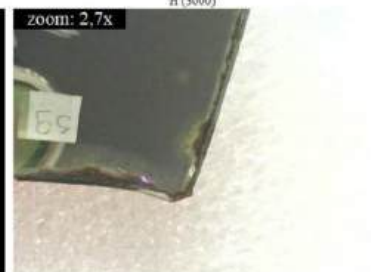
14-10-2021 (11:41:22), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

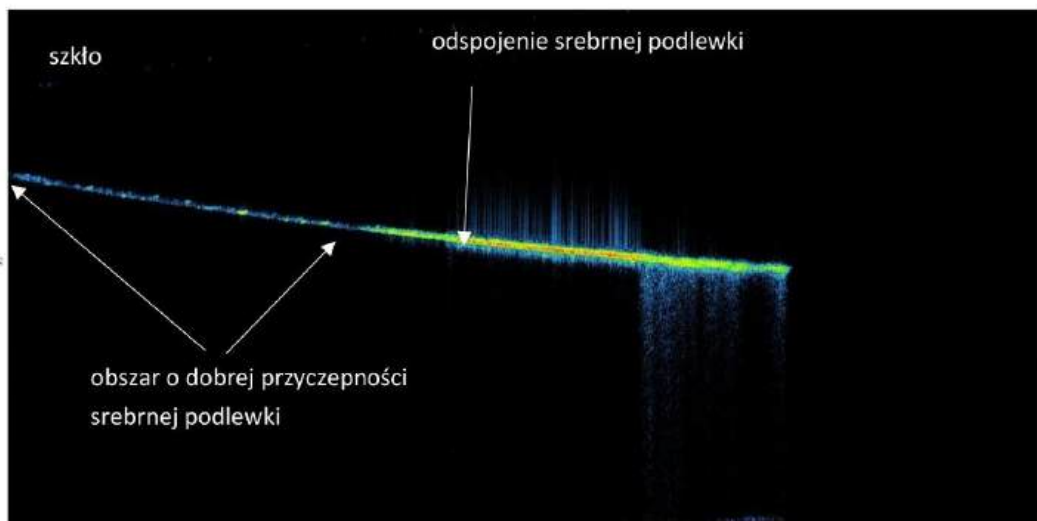
Tomogram:
54/100



Description:

S9, #3, ogniska korozyjne





200 um in air

Object:

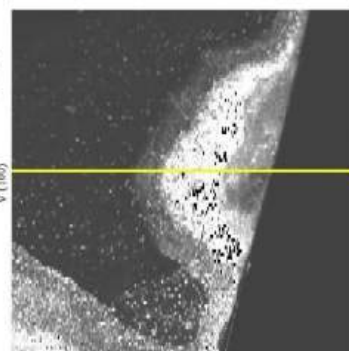
Lustro MJG36s
2021-10-14_114122_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

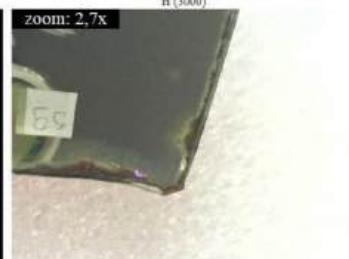
14-10-2021 (11:41:22), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
54/100

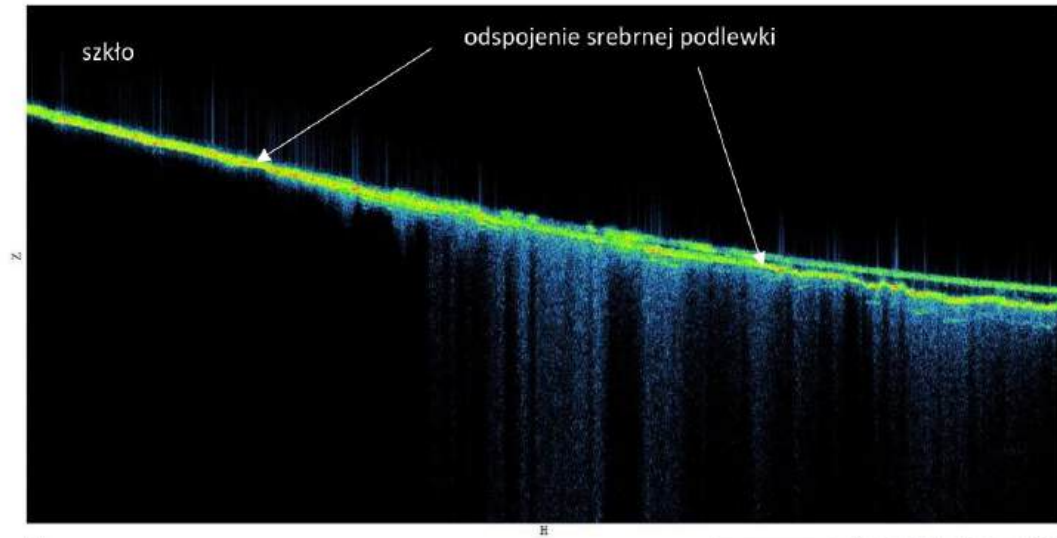


Description:

S9, #3, ogniska korozyjne



S9, #4, ogniska korozyjne, rysy?



200 um in air

Object:

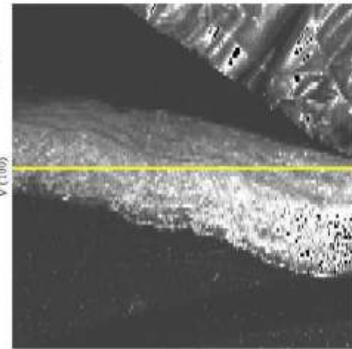
Lustro MIG36s
2021-10-14_114533_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

14-10-2021 (11:45:33), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
53/100

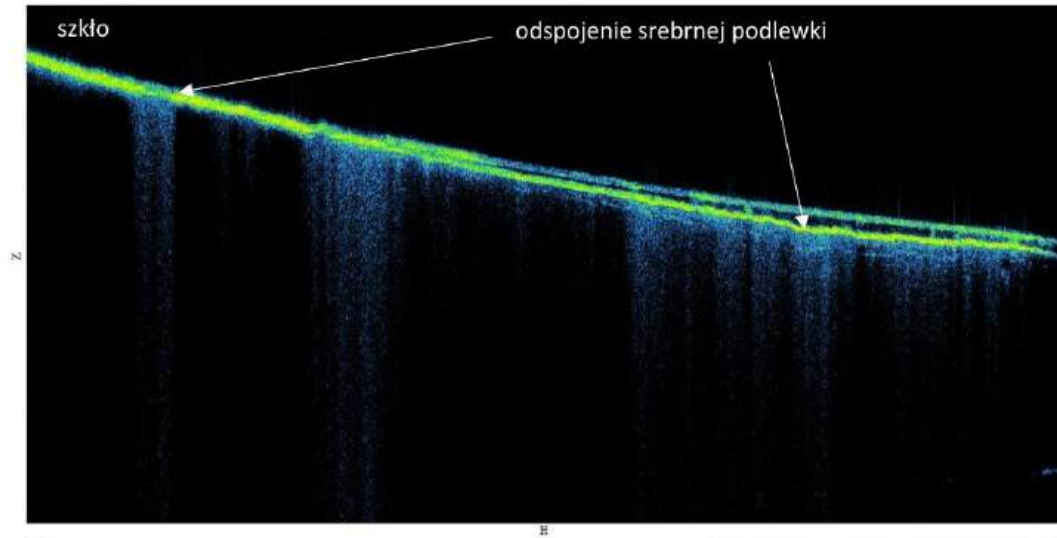


Description:

S9, #4, ogniska korozyjne,
rysy?



S9, #5, ogniska korozyjne, rysy?



200 um in air

Object:

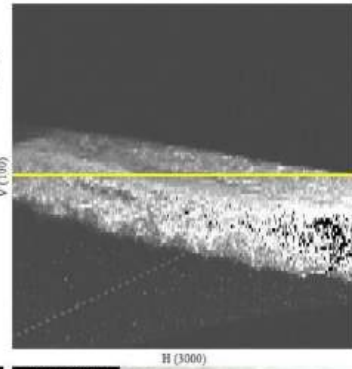
Lustro MIG36s
2021-10-14_114904_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

14-10-2021 (11:49:04), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
51/100

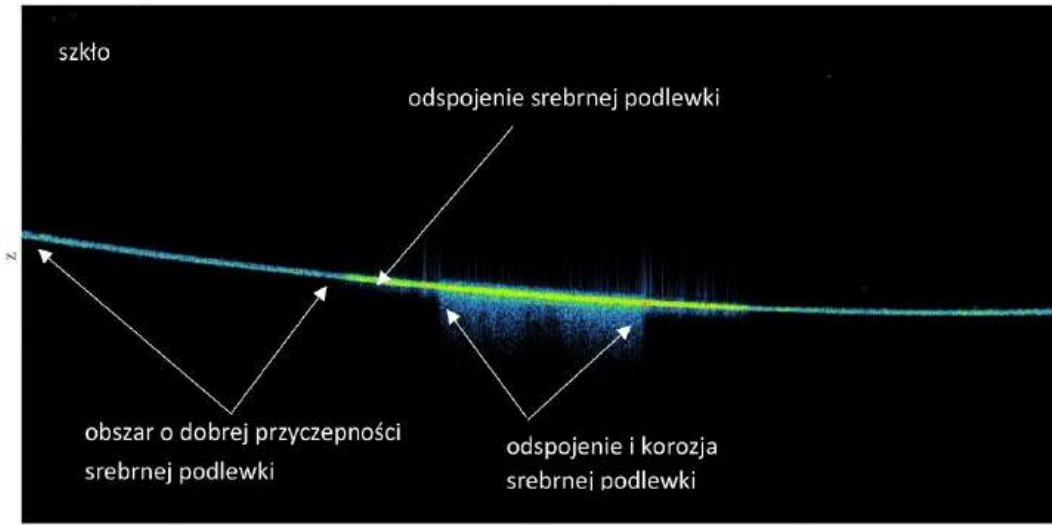


Description:

S9, #5, ogniska korozyjne,
rysy?



S4, #6, ognisko korozyjne



200 um in air

Object:

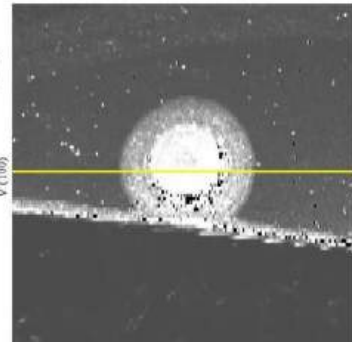
Lustro MIG36s
2021-10-14_115547_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

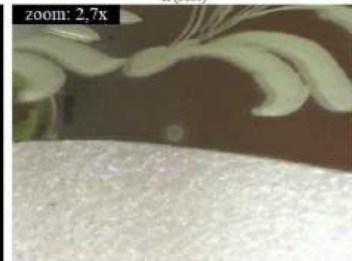
14-10-2021 (11:55:47), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
52/100

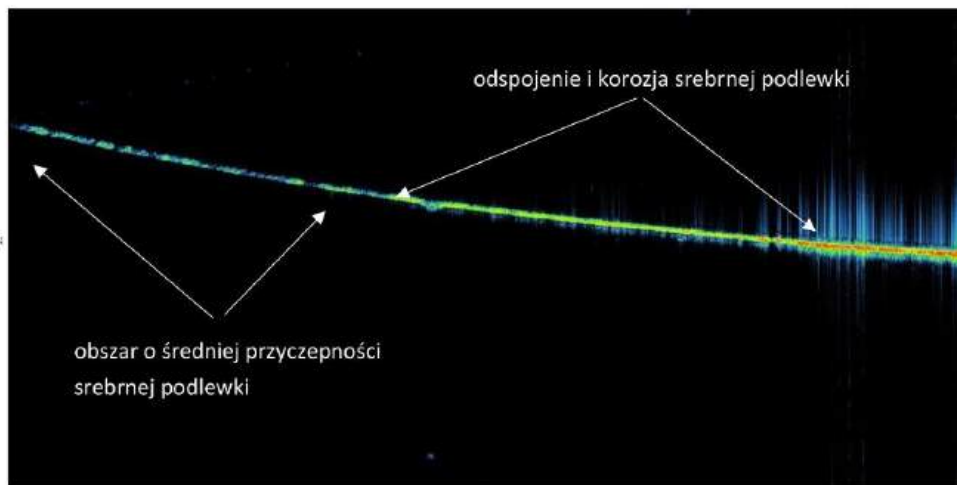


Description:

S4, #6, ognisko korozyjne



S11, #7, ognisko korozyjne



200 um in air

Object:

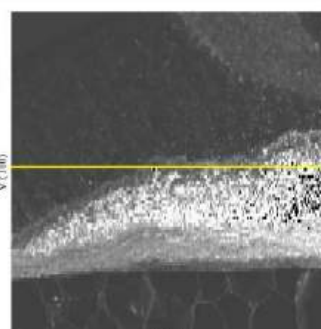
Lustro MJG36s
2021-10-14_120437_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,04

Measurement:

14-10-2021 (12:04:37), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
52/100



Description:

S11, #7, ognisko korozyjne



L59, #8, szkło barwione w masie



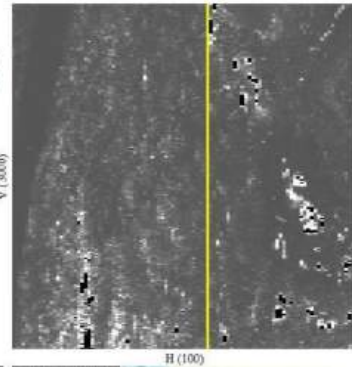
200 um in air

Object:
Lustro MIG36s
2021-10-14_122111_3000x100

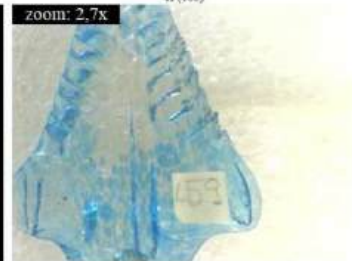
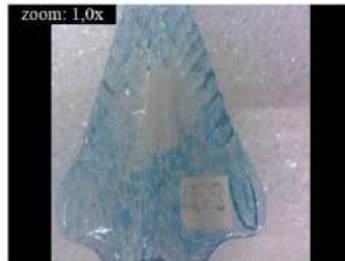
Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,43

Measurement:
14-10-2021 (12:21:11), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

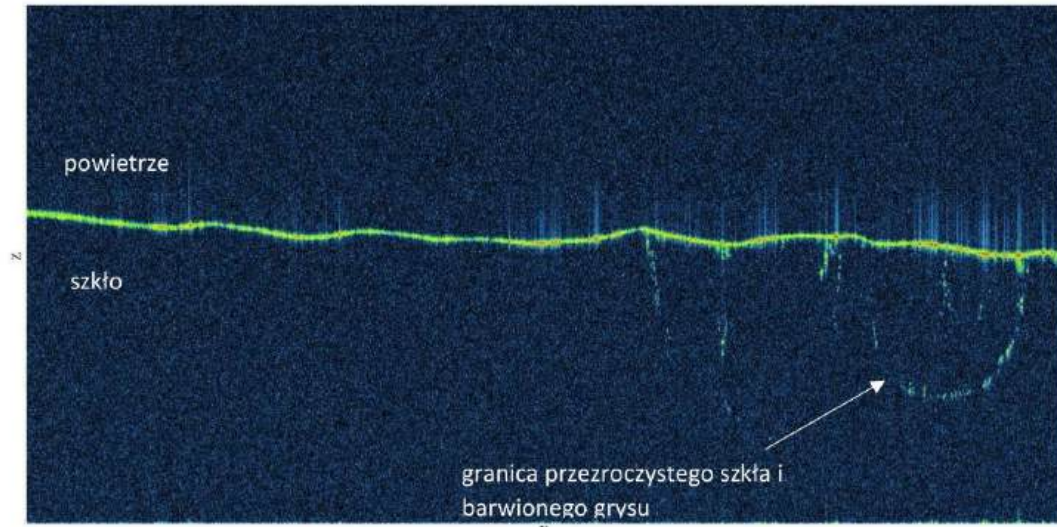
Tomogram:
57/100



Description:
L59, #8, szkło barwione w masie



L59, #8, szkło barwione w masie



200 um in air

Object:

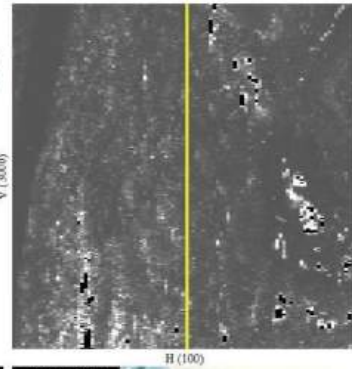
Lustro MIG36s
2021-10-14_122111_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,43

Measurement:

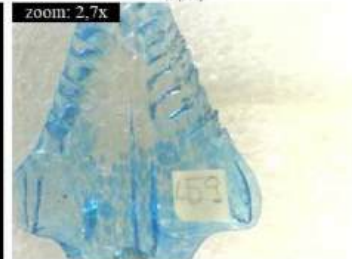
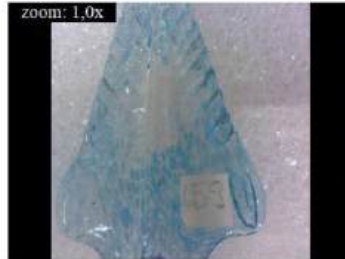
14-10-2021 (12:21:11), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

Tomogram:
51/100

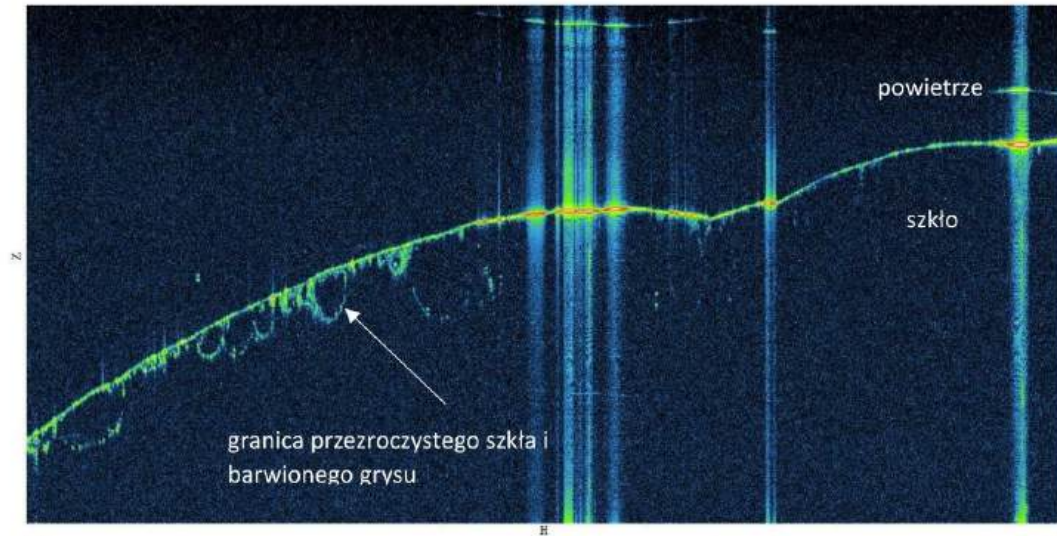


Description:

L59, #8, szkło barwione w masie



L59, #9, szkło barwione w masie



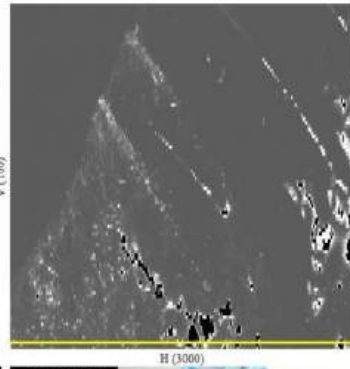
200 um in air

Object:
Lustro MIG36s
2021-10-14_123139_3000x100

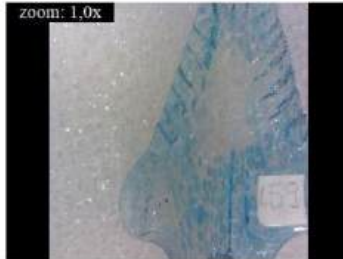
Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,98

Measurement:
14-10-2021 (12:31:39), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

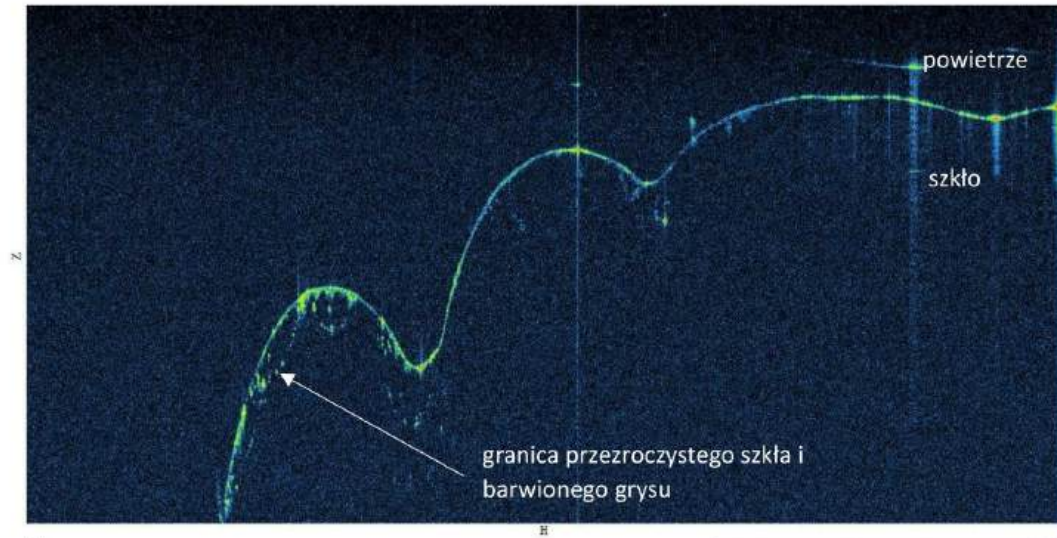
Tomogram:
3/100



Description:
L59, #9, szkło barwione w masie



L59, #9, szkło barwione w masie



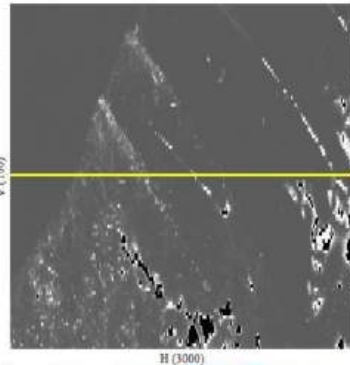
200 um in air

Object:
Lustro MIG36s
2021-10-14_123139_3000x100

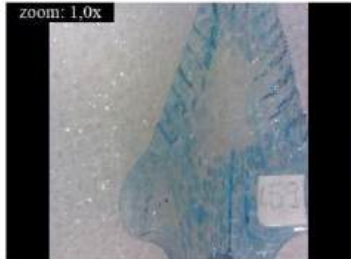
Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,98

Measurement:
14-10-2021 (12:31:39), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

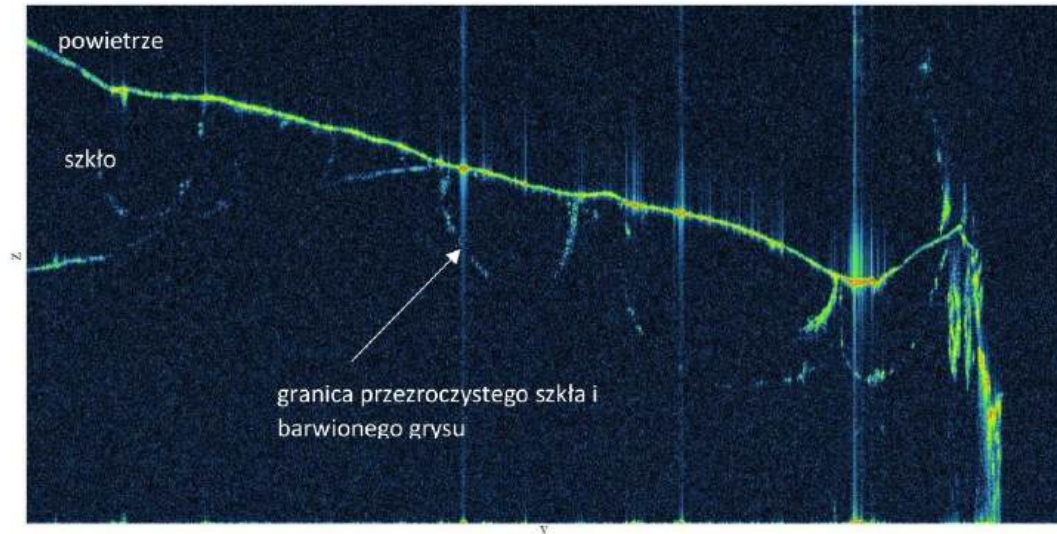
Tomogram:
51/100



Description:
L59, #9, szkło barwione w masie



L59, #10, szkło barwione w masie



200 um in air

Object:

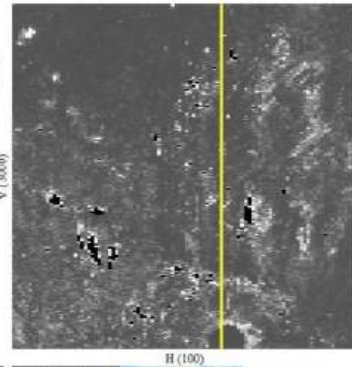
Lustro MIG36s
2021-10-14_123455_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,63

Measurement:

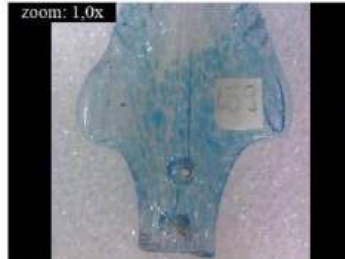
14-10-2021 (12:34:55), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

Tomogram:
61/100

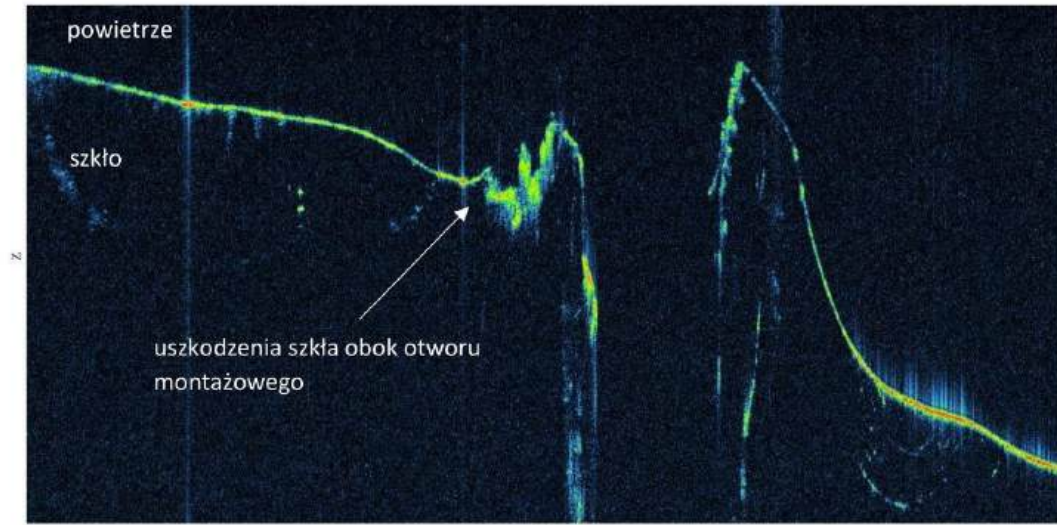


Description:

L59, #10, szkło barwione w masie



L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



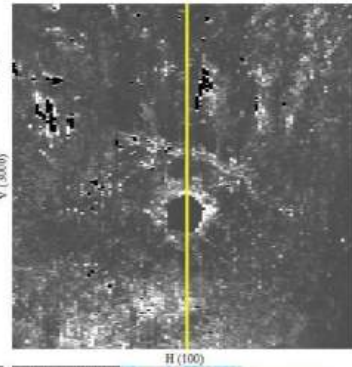
200 um in air

Object:
Lustro MIG36s
2021-10-14_123728_3000x100

Dimension (H|V|Z) [mm]:
12,0 | 12,0 | 1,63

Measurement:
14-10-2021 (12:37:28), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

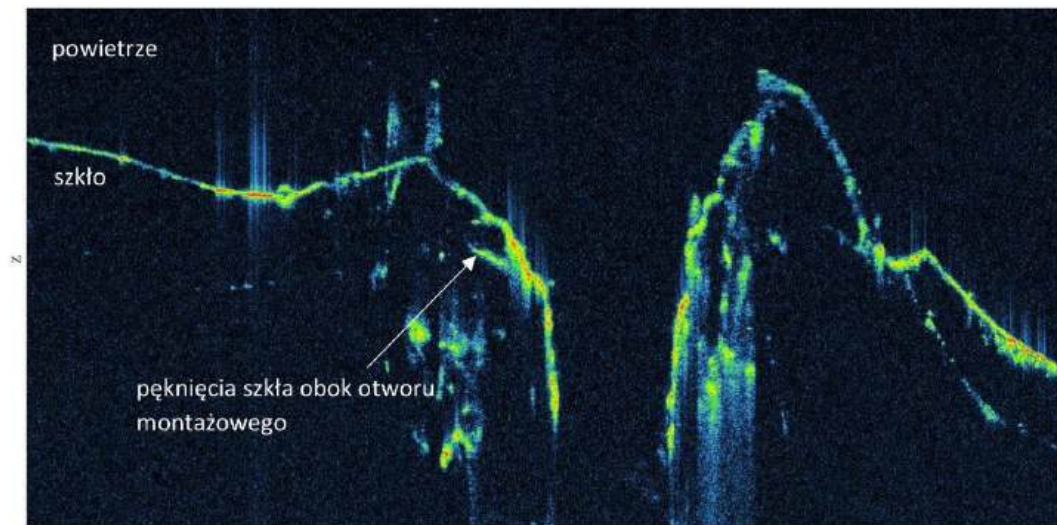
Tomogram:
51/100



Description:
L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



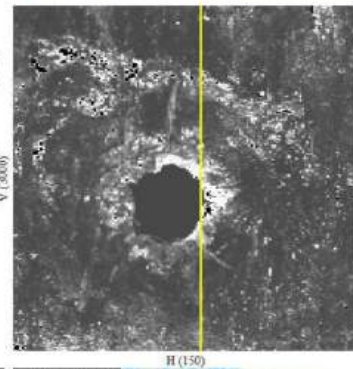
200 um in air

Object:
Lustro MIG36s
2021-10-14_124245_3000x150

Dimension (H|V|Z) [mm]:
6,0 | 6,0 | 1,63

Measurement:
14-10-2021 (12:42:45), focal length: 54mm
Single measurement, vertical

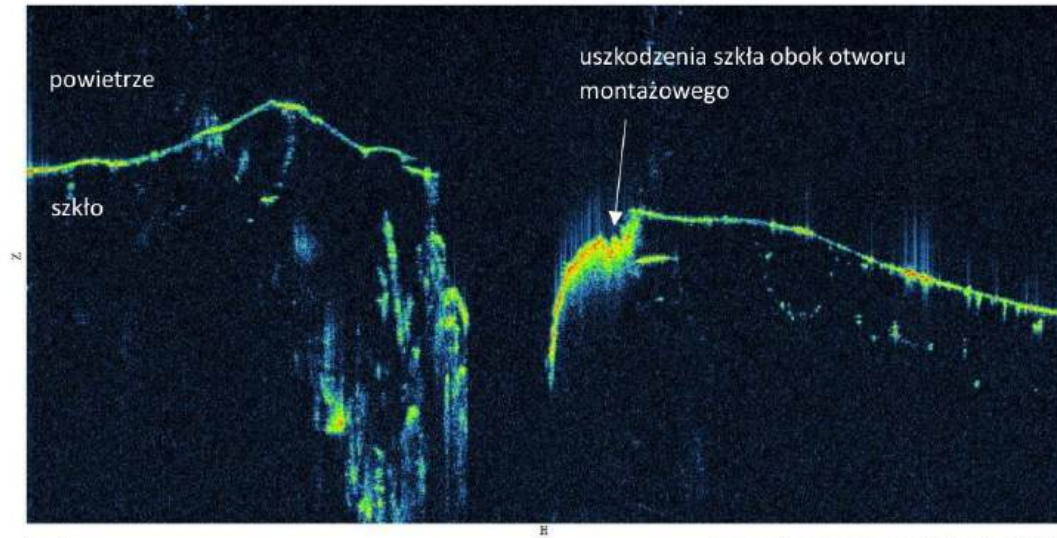
Tomogram:
82/150



Description:
L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



200 um in air

Object:

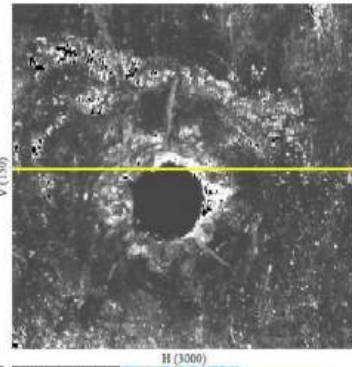
Lustro MIG36s
2021-10-14_124504_3000x150

Dimension (H|V|Z) [mm]:
6,0 | 6,0 | 1,63

Measurement:

14-10-2021 (12:45:04), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
79/150

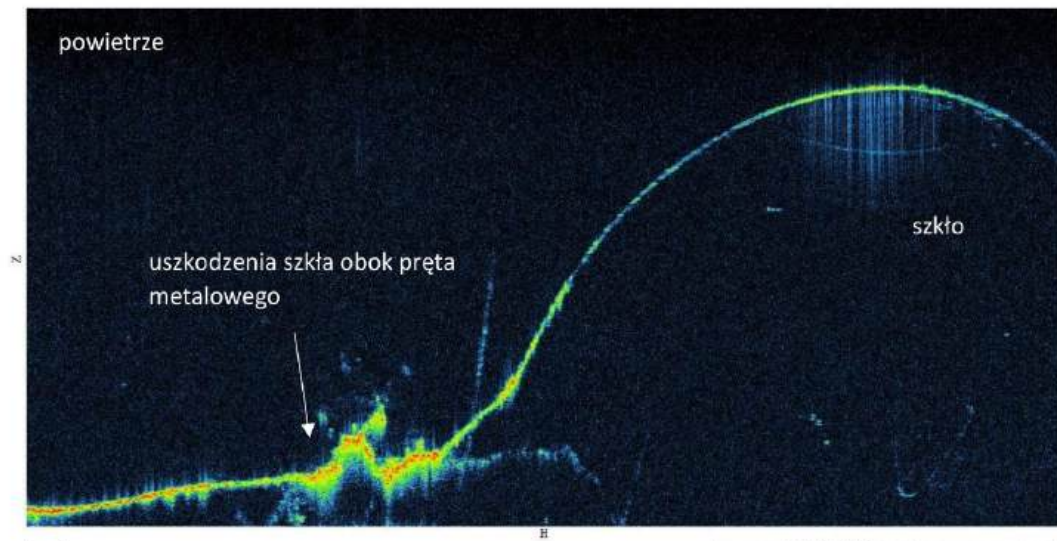


Description:

L59, #11, szkło barwione w masie, otwór montażowy



pręt, #12



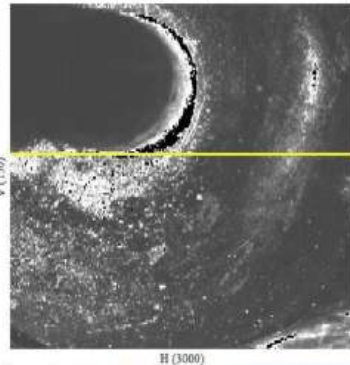
200 um in air

Object:
Lustro MIG36s
2021-10-14_132214_3000x150

Dimension (H|V|Z) [mm]:
6,0 | 6,0 | 1,98

Measurement:
14-10-2021 (13:22:14), focal length: 54mm
Single measurement, horizontal

Tomogram:
85/150



Description:
pręt, #12

