

Józef Bolesławski

Metrologia laboratoryjna w konserwacji zabytków : pomiary odkształceń podobrazii drewnianych

Ochrona Zabytków 14/3-4 (54-55), 93-101

1961

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

METROLOGIA LABORATORYJNA W KONSERWACJI ZABYTKÓW. POMIARY ODKSZTAŁCEŃ PODOBRAZI DREWNIANYCH

Proces niszczenia zabytków malarstwa sztalugowego na skutek ruchów i odkształceń podobrazii drewnianych pod wpływem czynników atmosferycznych jest w ogólnych zarysach każdemu znany. Jednak dokładne zbadanie oraz ilościowe przedstawienie wymienionego zjawiska, jest możliwe wyłącznie na drodze należyście ugruntowanego postępowania mierniczego. Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na możliwości zastosowań w miernictwie konserwatorskim czujników pomiarowych, wykorzystywanych przecież tak powszechnie w technice.

Przyczyny nieustannego procesu niszczenia zabytków są liczne i nie jest tematem niniejszej pracy ich wyliczanie i analizowanie. Jednak spośród nich chyba największe znaczenie mają zmiany temperatur i wilgotności. Pod ich wpływem obiekt zabytkowy, który jest strukturalnie zbudowany z kilku warstw różnych materiałów i w odmiennym stopniu wrażliwych na wilgoć i różnicę temperatur — zaczyna „pracować“. Powstają napięcia międzywarstwowe i międzycząsteczkowe. Warstwy elastyczniejsze poddają się pod naciskiem sił rozszerzalności, inne natomiast łamią się, kruszą i rozpadają. Na obiektach przeniesionych do pracowni powstają wzdłuż słoii pęcherze (ryc. 1), kruszeje i odpada zaprawa. Dzieje się to na skutek odmiennych warunków klimatycznych, których efektem jest rozszerzanie się po-

przezne podobrazia, a następnie jego kurczenie i wypaczanie.

Konieczność dokładnych pomiarów i zaobserwowanie różnic w zachowaniu się odmiennych gatunków podobrazii i tworzyw artystycznych, pod wpływem narzuconych w doświadczeniu warunków, jak też powzięcie odpowiednich kroków zapobiegawczych nadmiernemu powstawaniu szkodliwych naprężeń, jest oczywiste i nie wymaga chyba głębszej dyskusji. Konserwatorzy, którzy podejmują walkę ze szkodliwymi objawami odkształceń podobrazii drewnianych, na ogół nie dysponują odpowiednimi przyrządami pomiarowymi, określającymi z dostateczną precyzją, zmiany ruchów w odniesieniu do czasu trwania procesu, temperatury i wilgotności.

Używany w Państwowych Zbiorach Malarstwa w Monachium przyrząd¹ do mierzenia pączenia się desek (ryc. 2), zbudowany z przymiarów kreskowych i oparty na zasadzie głębokosciomierza, nie daje możliwości ciągłych i jednostajnych pomiarów. Z jego pomocą można określać jedynie już istniejące wypaczenie podobrazii przez odpowiednie ustawienie środkowego bolca względem dwu punktów odniesienia, znajdujących się na końcach pozostałych prętów. Różnica położenia punktu środkowego względem dwu punktów skrajnych, wyznacza-

¹ „Museum“ vol. VIII. 3.1955. fot. 21.

jących szerokość wypaczonej deski, daje szukaną wartość w jednostkach długości.

Założenie trójpunktowe do pomiaru odkształcenia przedmiotu od linii prostej jest znane od dawna i daje dobre wyniki przy spełnieniu pewnych warunków:

- 1) stałości rozstawienia trzech punktów względem siebie i względem obiektu;
- 2) jednakowego i stałego nacisku na badany obiekt każdego z trzech punktów styku;
- 3) wywierania jak najmniejszego nacisku na przedmiot, dla uniknięcia dodatkowych odkształceń.

Jak łatwo się domyślić wspomniany przyrząd warunków tych nie spełnia, gdyż powtarzanie doświadczeń pociąga za sobą duże błędy, zarówno w uzyskiwaniu stałego rozstawienia punktów względem siebie i obiektu, jak też jednakowego i stałego nacisku na badane podobrazia. Poza tymi zasadniczymi czynnikami dochodzi wiele innych, wpływających pośrednio na dokładność pomiarów jak:

- a) trudność zachowania określonych i dokładnych odstępów czasu między kolejnymi pomiarami, wynikająca z konieczności każdorazowego ustawiania i regulacji przyrządu;
- b) nieuchwytna przez przyrząd wielkość odkształcenia podobrazia, zachodząca przecież w sposób płynny również podczas regulacji i obserwacji wyniku na podziałce;
- c) nieuniknione błędy wywzorcowania przyrządów kreskowych;
- d) trudności w oszacowaniu ułamków podziałek elementarnych, zależnych od grubości i prostoliniowości kresek przyrządu, postać ograniczenia badanej długości, oświetlenia itd.

Przy pomiarach sztucznie i celowo przyspieszonego procesu odkształcenia podobrazi drewnianych ma duży wpływ fakt wymieniony w punkcie „a“, gdyż całkowity czas, który upłynie od momentu decyzji dokonania pomiaru, poprzez czas zamontowania i regulacji, do chwili odczytania wyniku jest praktycznie rzędu kilkudziesięciu sekund. Czas ten nigdy nie może być dokładnie określony. Pomimo wielu niedogodności i stosunkowo dużych uchybów pomiaru, przyrząd monachijski doskonale nadaje się do pomiaru dużych odkształceń w warunkach pracownianych. Natomiast klasa uży-

skiwanej dokładności, jak też brak możliwości ciągłych i jednostajnych pomiarów, wyklucza jego stosowanie w laboratorium przy pomiarach małych odchyłeń od pierwotnego kształtu. Nie opracowano też dokładnych przyrządów, którymi dałoby się mierzyć na drodze laboratoryjnej ruchy poprzeczne podobrazi.

Dla wspomnianych celów konieczne jest wypracowanie odpowiedniej metrologii laboratoryjnej, która nadawałaby się szczególnie w doświadczeniach nad tworzywami zabytkowymi. Następnie rozciągnięcie tych eksperymentów przy badaniach wpływu wilgotności i różnic temperatur na rozszerzalność liniową i objętościową innych materiałów, używanych jako środki przeciwdziałające paceniu się podobrazi, lub też wprowadzanych przy impregnacji. Duże usługi technologiczne może dać również wypracowanie metod pomiaru odkształceń niewielkich próbek różnych materiałów używanych przy konserwacji zabytków.

Próbie opracowania takich metod pomiarów oraz zastosowania specjalnych przyrządów, rozpocząłem w oparciu o dostępne mi materiały i środki miernicze. Doszedłem przy tym do przekonania, że do wymienionych celów nadają się specjalne przyrządy, z dużą czułością progową, zawierające element powiększający skalę, czyli odpowiednie przełożenie wskazań. Ta cecha mierników, w której minimalna zmiana mierzonej wielkości, przy zastosowaniu odpowiedniej przekładni, zdolna jest wywołać powiększoną zmianę wskazań na tarczy przyrządu w sposób ciągły, wpływa decydująco nie tylko na łatwość odczytania wartości, ale również na dokładność pomiarów. Dlatego też czujniki pomiarowe, które charakteryzują się tymi własnościami staną się — jak przypuszczam — bardzo pożytecznymi i niemal uniwersalnymi przyrządami w miernictwie wszelkiego rodzaju ruchów i odkształceń tworzyw zabytkowych. Łatwe do wmontowania w różne układy pomiarowe zdolne są do określania nawet kilku wartości. Istnieje cały szereg czujników, wykorzystywanych do najrozmaitszych pomiarów wielkości w technice, a różniących się konstrukcją, przełożeniem wskazań oraz użytkowym obszarem mierniczym. Spośród nich jednak należy brać pod uwagę tylko te, których obszar mierniczy i wymagana dokładność spełniać bę-



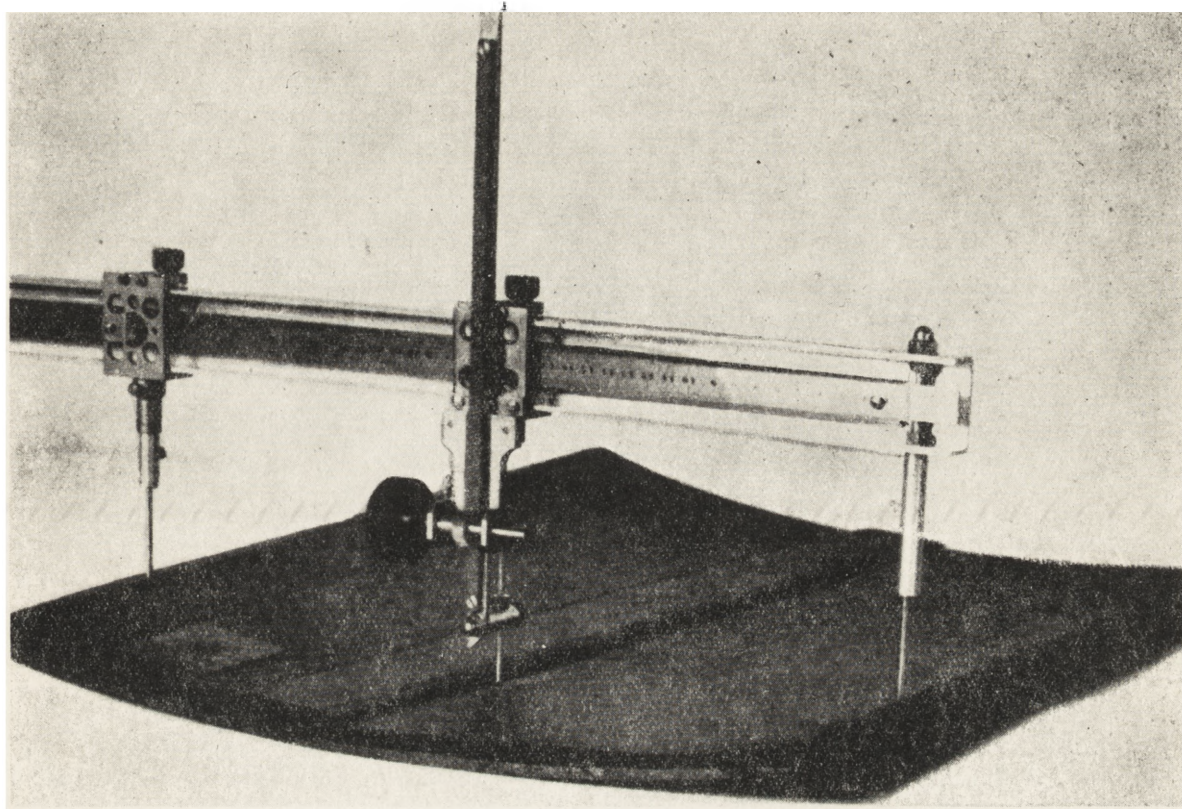
Ryc. 1. „Misericordia Domini“, XVIII w., wł. Z. Mysłakowskiego w Krakowie. Obraz malowany olejno, na płótnie naklejonym na desce; widoczne pęcherze wzdłuż słoju drewna powstały na skutek dużej różnicy w rozszerzalności poprzecznej płótna i deski. (fot. T. Knaus)

dą warunki stawiane w doświadczeniach. Należy przy tym pamiętać, że obszar mierniczy czujnika, jako odwrotnie proporcjonalny do jego przełożenia, musi być zawsze nieco większy od zakresu mierzonych wielkości. W wypadku stwierdzenia większych różnic odkształceń przedmiotu aniżeli obszar mierniczy posiadanego czujnika należy stosować odpowiednie zabezpieczenie dla przesuwanego trzpienia mierniczego.

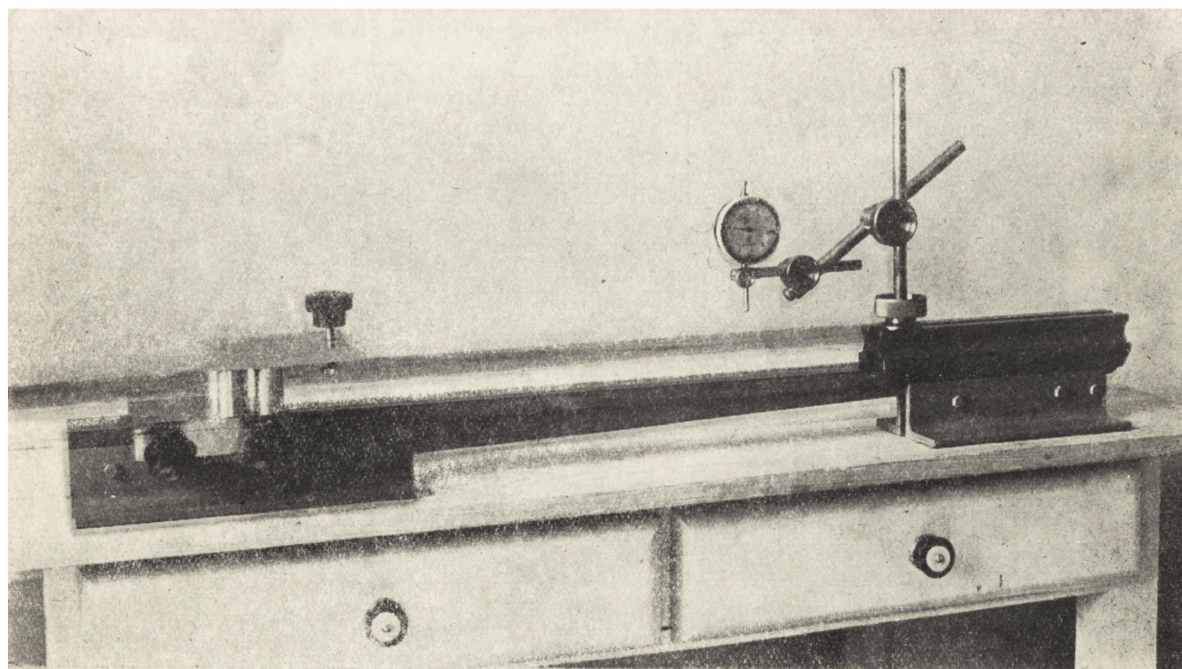
Do pomiarów ruchów poprzecznych niewielkich podobrazii drewnianych oraz stopnia paczienia się desek drewnianych w określonej wilgotności powietrza, użyłem przyrządu (ryc. 3) zbudowanego z następujących części: korpusu z prowadnicą, suportu z zaciskiem, statywu uniwersalnego i czujnika zegarowego. — Symetryczna prowadnica trapezowa, wykonana ze stali, służy za korpus przyrządu. W części środkowej jest ona wzmocniona dla zabezpieczenia przed ugięciem. Na wierzchu prowadnicy znajduje się przytwierdzony przymiar kreskowy. Po wygładzonym szlifie prowadnicy przesuwają się suport z zaciskiem do ustalania jednego z brzegów (ramion) podobrazia. Po przeciwnej stronie znajduje się uniwersalny statyw do mocowania czujnika zegarowego. W razie potrzeby statyw ten można przesuwają po gładkiej powierzchni prowadnicy. Statyw (ryc. 5) zawiera: osadę czujnika, zaciski przegubowe dla ustalania czujnika w żądanym położeniu, ramię, kolumnę, nakrętkę, mocującą kolumnę w podstawie. Podstawa wykonana jest w przekroju poprzecznym w kształcie litery H. Najważniejszą częścią tego przyrządu jest czujnik zegarowy z przekładnią zębatą, o obszarze mierniczym 10 mm. (ryc. 4). Ruchoma tarcza czujnika umożliwiająca nastawienie przeciwwskaźnika (wskazówki) na zero, podzielona jest na 100 działek. Posuwisto-zwrotny ruch trzpienia mierniczego, który jest prowadzony w tulei, przenosi się za pomocą naciętej na nim zębatki na koła zębate i dużą wskazówkę. Ta natomiast wykonuje jeden pełny obrót na każdy milimetr przesunięcia trzpienia mierniczego. Mała wskazówka pokazuje na podziałce pełne obroty wskazówki dużej. Trzpień mierniczy w dolnej części ma wymienną końcówkę z zakończeniem kulistym. Dwa pierścienie umieszczone wzdłuż obwodu podziałki są nastawnymi wskaźnikami

tolerancji. Wartość działki elementarnej w tym czujniku wynosi 0,01 mm (10 μ). Różnice miar, które już pewnie można rozpoznać takim czujnikiem wynoszą więc 0,01 mm. Zazwyczaj im przyrząd ma większą dokładność, tym zawiera mniejszą wartość działki elementarnej. Jednak w tym przypadku w zastosowaniu do pomiarów odkształceń porowatych i mało twardych podobrazii drewnianych, rozpoznawalna wartość różnic miar wynosząca 10 μ jest w zupełności wystarczająca. Przyrząd pokazany na ryc. 3, wykorzystujący działanie czujnika, daje możliwość określania miary przez porównanie z wzorcami nie tworzącymi części przyrządu. Wyznaczanie poszukiwanej wielkości (określane w jednostkach długości) odbywa się w miejscu styku zakończenia trzpienia mierniczego z powierzchnią przedmiotu (ryc. 6). Inne punkty w tym samym czasie mogą posiadać różne wielkości odchyłeń, zależnie od miejsca położenia względem ustalonego w uchwycie ramienia (obrzeża) podobrazia. Dla uniknięcia dodatkowych błędów, spowodowanych odkształceniem się powierzchni deski w punkcie styku trzpienia mierniczego z podobrazem, zastosowałem wypolerowaną płytkę metalową. Siła nacisku rozkłada się wówczas na większą powierzchnię, nie pozwalając na wgłębianie się zakończenia kulistego w miękkie drewno. W trakcie doświadczenia czujnik wskazuje o ile jednostek długości (wyrażanych z dokładnością do setnych części milimetra) odkształcił się badany obiekt od chwili rozpoczęcia pomiarów do momentu odczytania wyników, przy zmianie wilgotności podobrazia o pewną określoną wartość.

Przyrządem można dokonywać dwojakiego rodzaju pomiarów odkształceń obiektów pod wpływem wilgotności: stosując nasycenie podobrazia wilgocią, przez odpowiednie przechowywanie w pomieszczeniu o określonym procencie wilgotności powietrza, a następnie osuszenie; lub odwrotnie, stosując na początku pomiarów pozbawiony wilgoci (wysuszony) obiekt, a w trakcie doświadczenia przez odpowiednie jego nasycanie wilgocią, mierzymy odkształcenie. W zależności od tego jakie chcemy uzyskać informacje, możemy stosować albo nasycanie obiektu wilgocią w pomieszczeniu o dokładnie określonym procencie wilgotności powietrza, albo nasycanie odważoną ilością wody względ-



Ryc. 2. Przyrząd do precyzyjnego pomiaru podobrazy drewnianych używany w Państwowych Zbiorach Malarstwa w Monachium (wg „Museum“ UNESCO)



Ryc. 3. Przyrząd wykonany przez autora do mierzenia ruchów prostopadłych do powierzchni deski; stosując odpowiednie uchwyty oraz rolkę toczną można mierzyć także ruchy poprzeczne deski (fot. autor)

nie roztworu równo i jednocznie rozprowadzonego na powierzchni badanego obiektu. Dla przebadania np. działania różnych roztworów na pęcznienie i szybkość odkształcania spaczonych podobrazy w celu przywrócenia im pierwotnego kształtu, celowe jest stosowanie ostatnio wspomnianej metody. W obu przypadkach musimy dokładnie mierzyć zawartość wilgoci w pomieszczeniu i czas zachodzących procesów fizycznych. Bardzo ważnym momentem w zastosowaniu opisywanego przyrządu jest możliwość porównania za jego pomocą zachowania się pod wpływem wilgotności obiektów przed nasyceniem i po nasyceniu środkami wzmacniającymi podobrazia i zabezpieczającymi przed wpływami atmosferycznymi.

W podobny sposób można też wykazać skuteczność zabezpieczeń mechanicznych przed szkodliwym wypaczaniem się desek podobrazy. Następnie można dokonywać porównawczych pomiarów zachowania się różnych gatunków drewna pod wpływem wilgoci. Należy tu mierzyć nie tylko odkształcenia zachodzące prostopadle do płaszczyzn desek, ale również ich ruchy poprzeczne. Przyrząd pozwala bowiem również, przy zastosowaniu odpowiedniego uchwytu, mierzyć ruchy poprzeczne (kurczenie i rozszerzanie się) desek drewnianych pod wpływem stopnia ich nawilgocenia (ryc. 1). Należy tylko uwzględnić w pomiarach poprawkę na przyrost długości korpusu i mierzonej deski, wywołany różnicą temperatur.

Przy specjalnym wykonaniu korpus przyrządu winien być odpowiednio uformowany ze stopu żelaza z niklem np. inwaru o małym współczynniku rozszerzalności cieplnej, lub innego stopu posiadającego jeszcze większą stabilizację wymiarów w czasie. Takim materiałem jest np. stop o zawartości 42% Ni + 58% Fe. Jego liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej wynoszący $8 \cdot 10^{-6}/1^{\circ} \text{C}$ jest zbliżony do współczynnika rozszerzalności cieplnej międzynarodowego prototypu metra.

Dla uzyskania pewnych i dobrych wyników pomiarów, należy brać pod uwagę szereg czynników związanych bezpośrednio z wymiarami geometrycznymi badanego obiektu i ze sposobem jego ustalania w uchwycie. I tak np. przy badaniu ruchów prostopadłych do powierzchni deski ważnym czynnikiem dla sprawdzalności

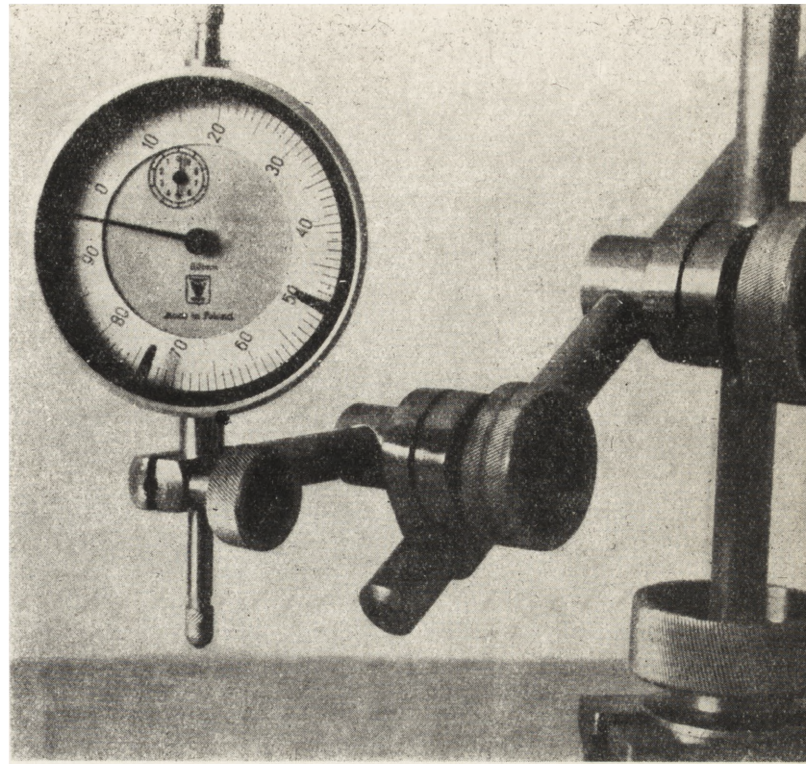
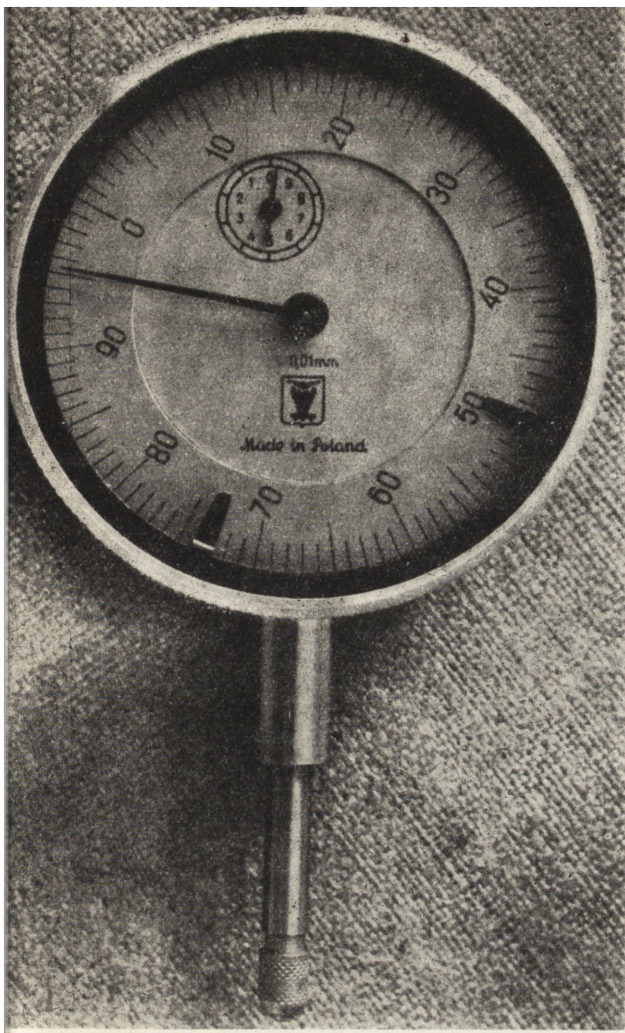
przeprowadzonych doświadczeń jest określenie następujących zależności:

- 1) długości „ramienia” pomiarowego“ tzn. odległości punktu pomiarowego od punktów ustalenia obiektu (na ryc. 2 odpowiada to odległości BD. Bowiem punkty znajdujące się między B i D zakreslają w czasie pomiarów odpowiednio mniejszą drogę);

- 2) grubości oraz długości deski;

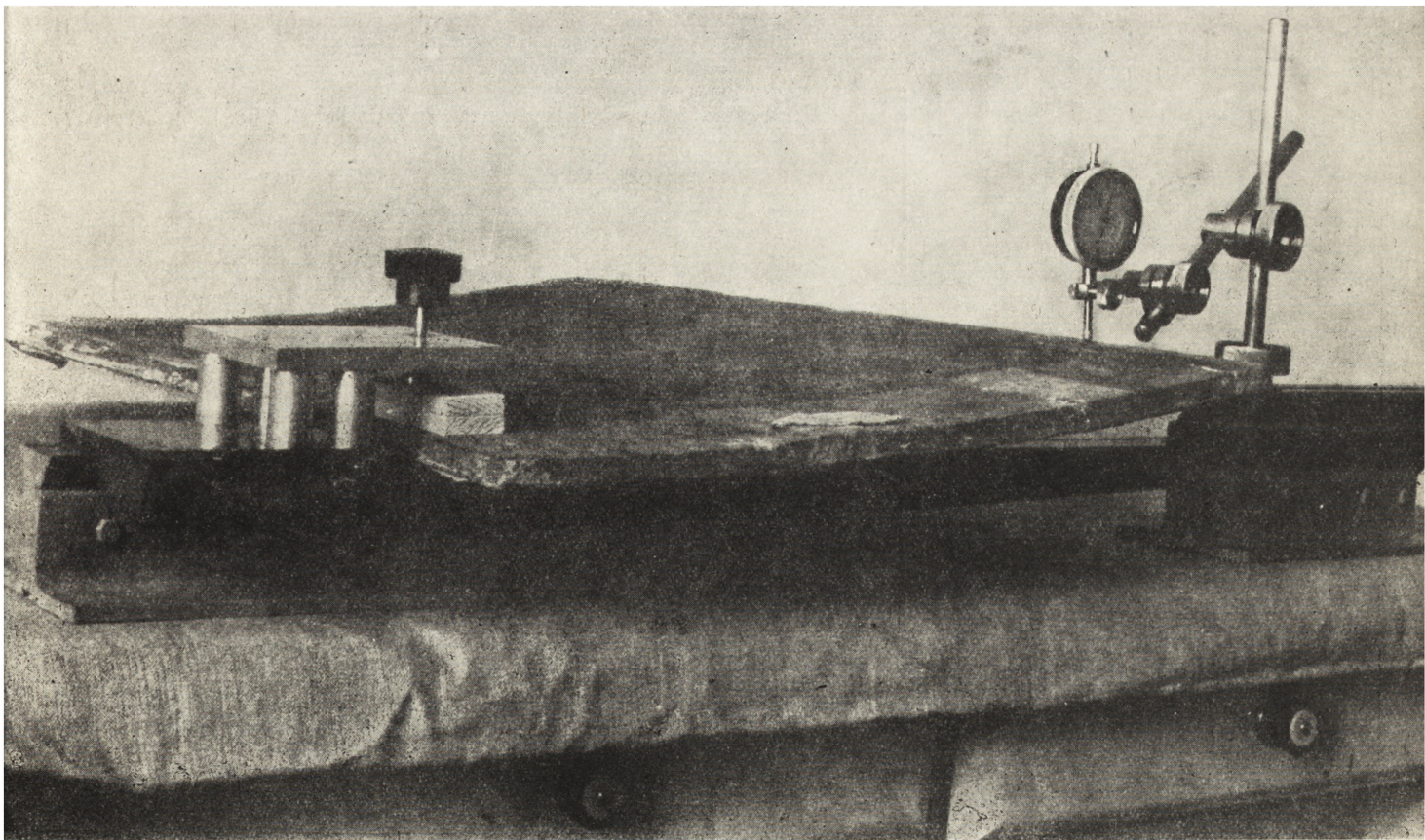
- 3) sposobu cięcia deski, np. cięcie poprzeczne promieniowe lub styczne (od rozcięcia pnia może zależeć nierównomierny rozkład naprężeń po obu stronach deski);

- 4) stanu zachowania (przy deskach zabytkowych), jak: zbutwienie pęknięcia, zaatakowanie przez owady itp. Zależność wymienioną w punkcie 1 jako mającą bezpośredni wpływ na dokładność pomiarów i ich sprawdzalność, należy bezwzględnie podawać, natomiast pozostałe, wymienione w punktach 2, 3, 4, można zastąpić określeniem stopnia sztywności badanej deski, przez dokonanie odpowiedniego pomiaru. Przy szerszych podobrazjach, o stosunku liczbowym szerokości deski do grubości większym aniżeli 500 mm/20 mm, należy odpowiednio zmniejszyć odległość punktu mierniczego od punktu ustalenia deski. Czynności tej dokonujemy dla zachowania określonej sztywności deski, oraz zmieszczenia wartości odkształceń w obszarze mierniczym czujnika. Stosując odpowiednie ustalenie wypaczonego podobrazia za prowadnicą przyrządu, można przez przesuwanie po niej statywu z czujnikiem zdjąć charakterystykę krzywizny deski. Należy tylko w razie potrzeby sztucznie rozszerzyć obszar mierniczy czujnika, aby był nieco większy od różnicy najniżej i najwyżej położonego punktu na powierzchni podobrazia. W trakcie przesuwania statywu z zamocowanym czujnikiem należy odczytywać z przymiaru kreskowego, znajdującego się na prowadnicy, wartość poziomego położenia punktu mierniczego a na skali czujnika wartość pionowego położenia tego punktu w milimetrach. Pomiar najlepiej rozpoczynać od środka krzywizny, stawiając ruchomą tarczę czujnika na 0. W wyniku pomiarów zaobserwowane wartości należy odnieść w stosunku do osi współrzędnych i nakreślić punkt po punkcie na papierze milimetrycznym (ryc. 3).

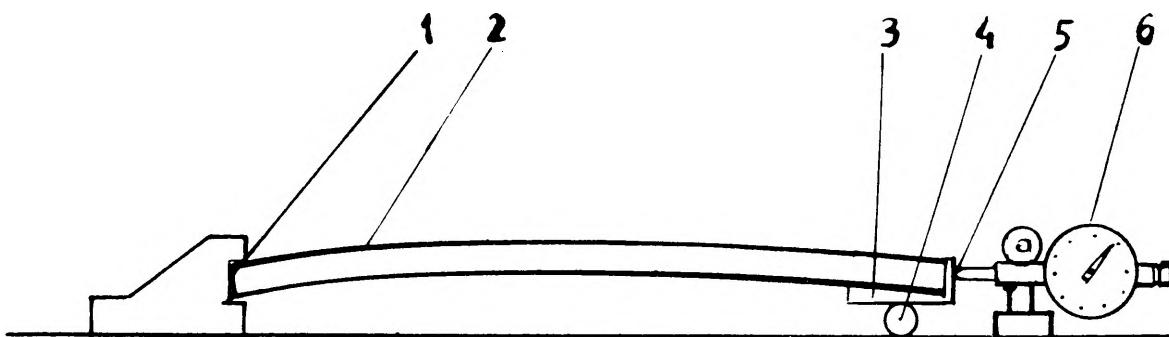


Ryc. 4. Czujnik zegarowy z przekładnią zębatą o obszarze miernicz; 10 mm (fot. aut.)

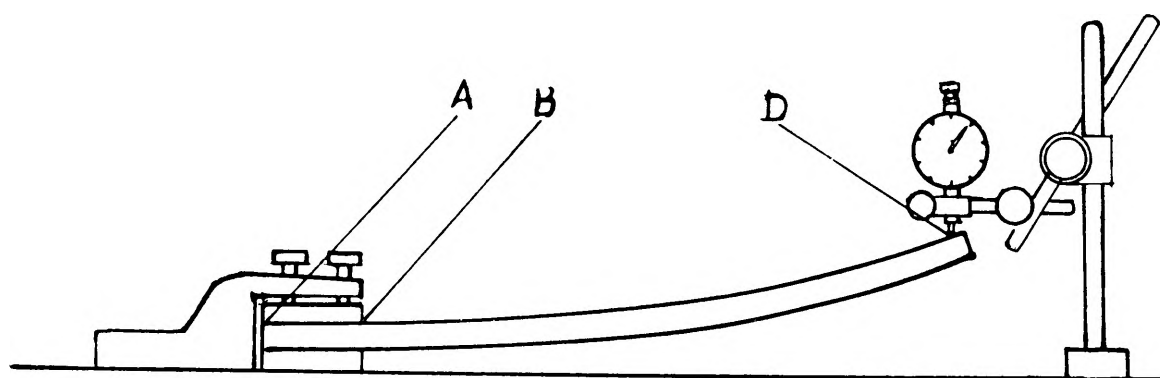
Ryc. 5. Uniwersalny statyw z dwoma ruchomymi ramionami i kolumną, zamocowaną w rowku teowym podstawy; do krótszego ramienia przytwierdzony jest czujnik zegarowy, który można stosować w dowolnym położeniu dzięki zaciskom przegubowym statywu (fot. aut.)



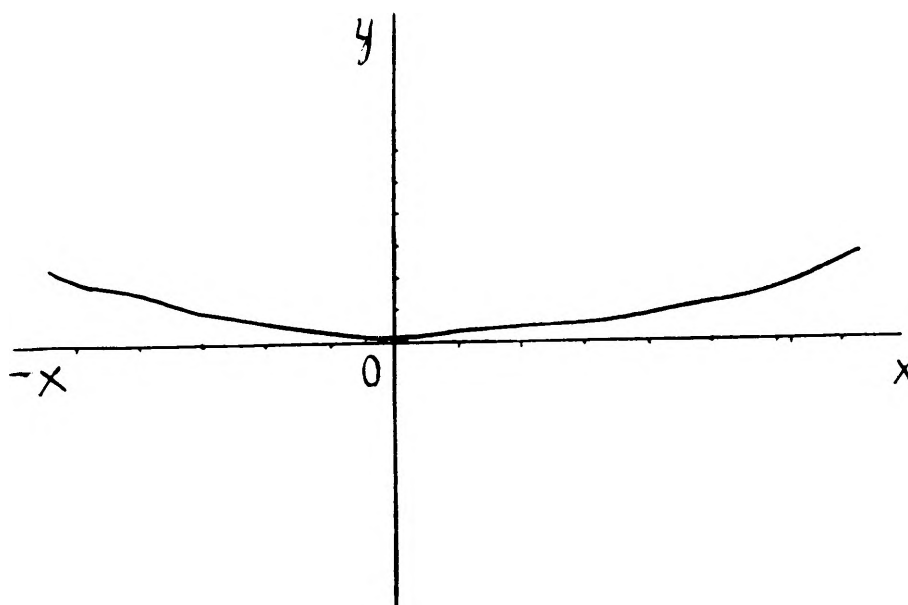
Ryc. 6. Podobrazie drewniane ustalone w zacisku przyrządu w chwili dokonywania pomiarów odkształceń, zachodzący prostopadle do płaszczyzny deski (fot. aut.)



Ryc. 7. Pomiar odkształcenia poprzecznego deski. 1 — punkt oparcia deski, 2 — deska, 3 — uchwyt, 4 — punkt pomiarowy, 5 — rolka zmniejszająca tarcie, 6 — czujnik zegarowy (rys. autor)



Ryc. 8. Pomiar odkształcenia zachodzącego prostopadle do powierzchni deski. AB — szerokość deski pozostająca w uchwycie, BD — szerokość deski mająca wpływ na wskazania czujnika, D — punkt pomiarowy (rys. autor)



Ryc. 9. Charakterystyka krzywizny podobrazia odniesiona w stosunku do osi współrzędnych X i Y (rys. autor)

Omawiany dotychczas system pomiarów dotykowych charakteryzuje się występowaniem zawsze pewnego większego lub mniejszego nacisku przyrządu pomiarowego na obiekt. Nacisk mierniczy konieczny do zapewnienia dostatecznego zetknięcia powierzchni mierniczych narzędzia z przedmiotem mierzonym, oraz pokonania mechanizmu sprężyny w czujniku, zawsze jednak prowadzi do mniejszego lub większego odkształcenia sprężystego podobrazia i przyrządu pomiarowego. Odkształcenia te można z grubsza podzielić na:

- 1) odkształcenia całego przedmiotu;
- 2) odkształcenia narzędzia i jego elementów jak wydłużenia, skrócenia i ugięcia;
- 3) odkształcenia powierzchni podobrazia występujące w miejscu zetknięcia czujnika z obiektem. Nacisk mierniczy czujnika zegarowego wynosi w zależności od konstrukcji od 100 do 300 G i nie jest on stały w całym obszarze mierniczym. Ponadto zmiana kierunku trzpienia mierniczego w przyrządzie zmienia dodatkowo nacisk mierniczy o podwójną siłę tarcia. W celu uniknięcia zbyt dużych różnic w nacisku mierniczym nowoczesnych czujników, stosuje się długie sprężyny oraz urządzenia kompensacyjne. Warunkiem bowiem dokładności pomiarów dotykowych jest jednostaj-

ność nacisku mierniczego w całym obszarze mierniczym przyrządu.

Nie istnieją przyrządy idealne, lecz każdy z nich cechuje oprócz wspomnianych uchybów, pewna zmienność wskazań, czyli największa różnica między wskazaniami tego przyrządu przy pomiarach tej samej wielkości w identycznych warunkach. Na zmienność wskazań ma wpływ wiele nieuniknionych czynników, między innymi różnice tarcia, odkształcenia i luzy w przyrządzie, nieuchwytne zmiany zewnętrzne, jak wstrząsy, kurz oraz cechy osobowe i fizjologiczne obserwatora przeprowadzającego pomiary.

W niniejszym artykule nie omówiłem jeszcze wielu zagadnień dotyczących możliwości różnorodnych pomiarów jak np. z wyeliminowaniem wpływu siły ciężkości badanego przedmiotu oraz przyrządów z tymi pomiarami związanych. Zagadnienia te jak również metody pomiarów odkształceń i badań małych próbek materiałów, oraz zastosowanie środków mierniczych z tym nieodłącznie związanych wymagają osobnego omówienia.

art. kons. Józef Bolesławski
Akademia Sztuk Pięknych
Kraków

LITERATURA

1. G. Berndt, *Ablezen und Messen*, „Feingeräte Technik“, 1954, 9; *The care of wood panels*, „Museum“ VIII, 1955, nr 3.
2. W. Ciepielski, St. Perliński, *Technika pomiarów warsztatowych*, Warszawa 1954.
3. A. L. Czestnow, *Technologia izgotowlenija izmierzitelnych instrumentow i priborow*, „Maszgiz“, 1952.
4. M. M. Filonienko-Borodicz, *Teorija uprugosti*, Ogiz 1947.
5. R. Gierlich, *How gage blocks are made*, „American Machinist“, 1950, 9, (January).
6. W. A. Jodin, *Miechanizmy priborow*, „Maszgiz“ 1949.
7. C. H. Klawe, *Essentials of Metrology*, Toronto 1945.
8. F. Kohlrausch, *Fizyka laboratoryjna I*, Warszawa 1959, (tłumaczenie: *Praktische Physik I*, Stuttgart 1955, wyd. 20).
9. M. F. Malikow, *Osnowy metrologii*, Moskwa 1949.
10. H. Mierzejewski, *Metrologia techniczna*, Warszawa—Lwów 1924.
11. J. Mikoszewski, *Maszyny i przyrządy wytrzymałościowe*, Warszawa 1957.
12. J. Obalski, *Podstawowe pojęcia metrologii*, „Mechanik“ XIX.
13. W. Pogorzelski, *Zarys rachunku prawdopodobieństwa i teorii błędów*, Warszawa 1948.
14. K. Rantsch, *Genauigkeit von Messgeräten*, München 1950.
15. B. Slánský, *Technika malarstwa I* (tłumacz. St. Gawłowski).
16. A. Tomaszewski, *Pomiary warsztatowe*, Warszawa 1950.
17. A. Tomaszewski, *Zarys metrologii warsztatowej*, Warszawa 1955.