

# Józef Bolesławski

---

## Badania i pomiary wilgotności podobrazii drewnianych

---

Ochrona Zabytków 15/4 (59), 38-54

---

1962

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](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

## BADANIA I POMIARY WILGOTNOŚCI PODOBRAZI DREWNIANYCH

W artykule omawiającym możliwość zastosowania czujników do pomiarów odkształceń podobrazii drewnianych<sup>1</sup> wspomniałem o konieczności równoczesnego określania wilgotności drewna. Od zmian wilgotności zależy wiele zjawisk pęcznienia, kurczenia, pękania i paczania się drewna. Pomiary odkształceń tablic drewnianych w połączeniu z możliwie ścisłym określaniem procentowej zawartości wilgoci, zarówno przy sorpcji jak i desorpcji pary wodnej z otoczenia, mogą wykazać o ile jednostek długości odkształcił się obiekt przy zmianie jego wilgotności o pewną wartość. Nie bez znaczenia byłoby rejestrowanie i podawanie wilgotności obiektu w dokumentacji opisowej. W wielu innych wypadkach pomiary wilgotności mogą oddać duże usługi konserwatorom, sprowadzającym z terenu zabytki o różnej wilgotności do pracowni konserwatorskiej lub magazynu. Przechowywanie takich obiektów w pomieszczeniach suchych, jakimi mogą być pracownie konserwatorskie lub magazyny z centralnym ogrzewaniem, prowadzi nieuchronnie do szybkiej utraty części wilgoci, następstwem czego są silne skurcze lub wypaczenia podobrazii. Nie elastyczne i kruche warstwy gruntu sprowadzonych malowideł reagują nawet przy najmniejszych ruchach drewna, którego niestabilność wymiarowa stwarza niebezpieczeństwo powstawania nowych spękań oraz prowa-

dzi do osłabienia adhezji zaprawy z podobraziami. Obrazy na drewnie o znacznie podwyższonej wilgotności, sprowadzone z terenu, muszą być przechowywane do czasu ich konserwacji w odpowiednio dobranych warunkach klimatycznych. Z doraźnego zbadania wilgotności powietrza w pomieszczeniach, w których podobrazia drewniane dotychczas się znajdowały, nie można wnioskować o wilgotności tworzyw, z których są zbudowane. Zmiany wilgotności obiektów drewnianych, mających pewną grubość, nie zachodzą przecież równocześnie ze zmianami nawilgocenia powietrza w pomieszczeniach, w których przebywały.

Określanie wilgotności podobrazii drewnianych, zarówno w doświadczeniach przy pomiarach odkształceń jak i innych specyficznych sytuacjach, nastrocza zawsze dużo trudności. Pierwsza z nich to dokonywanie pomiarów wilgotności bez naruszania zabytkowego podobrazia; następnie wyznaczenie wilgotności bez względu na gatunek drewna i rozmieszczenie wilgoci wewnątrz deski i wreszcie — tolerancja uzyskiwanej dokładności i szybkość dokonywania pomiarów, niesłychanie ważna przy pomiarach odkształceń i wszelkiego rodzaju deformacji drewna.

Dotychczas znane są trzy zasadnicze systemy określania wilgotności tego materiału. Do pierwszego można zaliczyć często stosowaną metodę suszarkowo-wagową oraz metodę destylacyjną do badania wilgotności drewna, zawierającego eteryczne olejki lub impregnaty. Wil-

<sup>1</sup> „Ochrona Zabytków” XIV, nr 3—4, 1961, s. 93.

gotność określa się tu jako stosunek ilości wody zawartej w jednostce drewna do jego ciężaru i wyraża w procentach. Przy tym rozróżnia się wilgotność drewna bezwzględną i względną. Wilgotnością bezwzględną nazywamy stosunek ciężaru zawartej w drewnie wody do jego ciężaru w stanie zupełnie suchym i obliczamy z wzoru:

$$W_0 = \frac{G_w - G_0}{G_0} 100$$

gdzie:  $W_0$  — wilgotność bezwzględna w %,  
 $G_w$  — ciężar drewna wilgotnego w g,  
 $G_0$  — ciężar drewna zupełnie suchego w g.

Wilgotnością względną jest natomiast stosunek ciężaru wody, zawartej w drewnie, do ciężaru drewna w stanie wilgotnym. Wilgotność tę oblicza się na podstawie wzoru:

$$W_w = \frac{G_w - G_0}{G_w} 100$$

gdzie:  $W_w$  — wilgotność względna drewna w %,  
 $G_w$  — ciężar drewna wilgotnego w g,  
 $G_0$  — ciężar drewna zupełnie suchego w g.

W metodzie suszarkowo-wagowej próbki drewna suszy się w temperaturze 100°C ( $\pm 5\%$ ) do stałego ciężaru. Uważa się, że ciężar stały został osiągnięty wtedy, jeśli różnica między dwoma kolejnymi ważeniami nie przekracza 0,3% ciężaru stwierdzonego przy ostatnim ważeniu. Ważenie przeprowadza się z dokładnością do 0,01 g przy ciężarze próbki ok. 20 g oraz z dokładnością do 0,001 g przy ciężarze próbki mniejszym od 20 g. O wilgotności masy drzewnej sędzi się według wilgotności charakteryzujących ją sztuk próbnych, pobieranych w ilości nie mniejszej niż trzy. Dla zbadania wilgotności drewna o długości np. ponad 1 m i grubości do 35 mm, wycina się szybko w odległości nie mniejszej niż 0,25 m od czoła deski, wzdłuż włókien, próbki wielkości 10—15 mm. Przy mniejszych niż 1 m wymiarach materiału, próbki na wilgotność pobiera się w środku długości. Pierwsze ważenie kontrolne próbek miękkich gatunków drewna odbywa się dopiero po 5 godzinach, a próbek gatunków twardych — nie wcześniej niż po

8 godzinach od chwili umieszczenia ich w suszarce. Następne ważenie przeprowadza się po upływie dwu godzin. Metoda ta pozwala na określanie wilgotności w szerokim zakresie z dokładnością do ok. 1%.

Metoda destylacyjna stosowana do określania wilgotności drewna, zawierającego eteryczne olejki lub impregnaty, polega na oddestylowaniu wody z tej substancji z jakimkolwiek lotnym płynem, jak np. ksylolem lub czterochlorkiem etylenu.

Określanie wilgotności trwa ok. 1,5—2 godzin. Objętość wyparowanej wody określa się z dokładnością 0,1 cm<sup>3</sup>. Jak wiadomo, 1 cm<sup>3</sup> wody waży 1 g, dlatego objętość wyparowanej wody wyrażona w centymetrach sześciennych, będzie się równać ciężarowi w gramach ( $G_2$ ). Wilgotność oblicza się z wzoru:

$$W_0 = \frac{G_2}{G_1 - G_2} 100$$

gdzie:  $G_1$  — początkowy ciężar drewna.

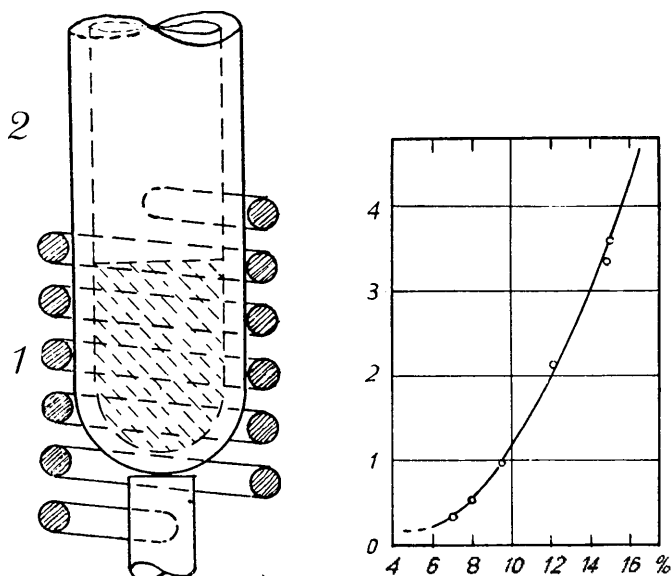
Wspomniane sposoby wymagają znacznego czasu i nakładu pracy oraz pewnych obliczeń są natomiast dokładne (specjalnie suszarkowo-wagowe) i nadają się do określania każdego stopnia wilgotności drewna. Jednak dokonywanie pomiarów związane jest z pobieraniem dość znacznych próbek z obiektu, a więc ze stratą materiału drzewnego. Z tego względu metody te, *jakkolwiek precyzyjne, nie nadają się do pomiarów wilgotności podobrazii zabytkowych*. Należało jednak o nich wspomnieć dokładniej, gdyż w pewnych szczególnych wypadkach, konieczność stosowania systemu suszarkowo-wagowego może się okazać niezbędna, jak np. przy skalowaniu aparatów elektrycznych do określania wilgotności drewna zabytkowego. Do tej samej grupy można by było włączyć jeszcze inne, mniej dokładne, metody, jak np. higrometryczną, kolorymetryczną Diakun<sup>2</sup> i pomiaru prężności pary wodnej próbki drewna umieszczonego w autoklawie z manometrem rtęciowym.

Do drugiej grupy pomiarów wilgotności można zaliczyć wypracowaną niedawno metodę magnetycznego rezonansu jądrowego<sup>3</sup>. Jądra atomu wodoru, będące

<sup>2</sup> Metoda kolorymetryczna Diakun, stosowana przy niskiej wilgotności, może dać dokładne wyniki, lecz niszczy badany materiał.

<sup>3</sup> Kurt S. Lion Przyrządy do badań naukowych — patrz s. 158 Literatura.

w polu magnetycznym, zostają spolaryzowane w dwóch różnych kierunkach, zależnych od ich momentu kąowego. Obydwa te sposoby polaryzacji odpowiadają dwóm różnym poziomom energii. Przejście od niższego do wyższego poziomu energii zachodzi kosztem energii pobieranej z pola elektromagnetycznego. Pobór energii przez proton jądra odbywa się przy czę-



Ryc. 1. Schemat konstrukcji przetwornika do pomiaru wilgotności, opartego na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego: 1 — cewka indukcyjna, zasilana prądem w wielkiej częstotliwości; 2 — zbiornik z próbką badanego materiału. (rys. autor wg K. S. Liona, s. 158, rys. 1—155)

Ryc. 2. Typowa krzywa skalowania przetwornika w przypadku pomiaru zawartości wilgoci w materiale. Na osi x — wagowa zawartość wody w ciele stałym; na osi y — ostrość rezonansu (jednostki względne). (rys. autor wg K. S. Liona s. 158, rys. 1—156)

tliwości  $f_0 = 4258 B$ , gdzie  $B$  jest indukcją w polu magnetycznym (Gs). Przy wartości indukcji kilku tysięcy gausów, częstotliwość ta jest rzędu megaherców. Energię pobraną z pola elektromagnetycznego określa się metodą elektryczną, przy czym charakterystyka pochłaniania jej ma kształt ostrej krzywej rezonansowej. Wysokość szczytu krzywej rezonansowej i stromość opadania jej zboczy zależą od liczby jąder atomowych wodoru, zawartych w badanej próbce materiału. Na tej zasadzie oparta jest metoda określania ilości wody (protonów jądra

wodoru) w ciałach organicznych. W zbiorniku wewnątrz cewki indukcyjnej, przez którą płynie prąd wysokiej częstotliwości, znajduje się próbka badanego materiału. Całość (cewka z próbką materiału) umieszczona jest w jednorodnym polu magnetycznym (ryc. 1). Wielkością mierzoną jest ilość energii wielkiej częstotliwości, pobranej przez układ, w zależności od częstotliwości źródła energii wielkiej częstotliwości zasilającego cewkę, lub od wielkości indukcji magnetycznej pola<sup>4</sup>. Pobraną energię mierzy się mostkiem wielkiej częstotliwości. Wyszczególnioną wyżej metodę stosuje się do badania substancji organicznych i drewna w zakresie wilgotności (wyrażonej stosunkiem masy wody do masy substancji suchej od 1 do 5, drewna — w zakresie wilgotności od 0 do 1). Na ryc. 2 pokazana jest typowa krzywa skalowania przyrządu. W przypadku jądrowej metody rezonansowej wymagana jest duża jednorodność rozkładu pola magnetycznego. Ewentualna niejednorodność pola powoduje znaczne błędy określania wilgoci. Właściwie dobrane warunki pola magnetycznego sprawiają, że maksymalny błąd pomiaru wilgotności nie przekracza  $\pm 0,3\%$ . Do wyżej opisaney metody konieczne jest bardzo rozbudowane i dość skomplikowane oprzyrządowanie oraz urządzenia dodatkowe. *Metoda rezonansu jądrowego nadaje się jedynie do badania i pomiaru wilgotności (w pewnych granicach) nowych podobrazy, z których można pobierać próbki. Mimo dużej dokładności nie nadaje się, z uwagi na to ostatnie, do podobrazy zabytkowych.*

Do trzeciej grupy można zaliczyć sposoby elektrometryczne, dające się przeprowadzić dzięki zależności niektórych właściwości elektrycznych drewna od jego wilgotności. Takimi zależnościami jest opór elektryczny (odwrotność przewodnictwa elektrycznego) i stała dielektryczna. Zależności te występują dość znacznie wskutek dużej różnicy wielkości oporu, stałej dielektrycznej i kąta stratności suchej substancji drzewnej w porównaniu z tymi samymi własnościami wody. Stała dielektryczna drewna jest bardzo nie-

<sup>4</sup> Kurt S. Lion, Przyrządy do badań naukowych, patrz. s. 158. Literatura.

wielka i wynosi około 2, natomiast stała dielektryczna wody jest bardzo duża — około 80. Jak z tego widać, mała zmiana wilgotności musi znacznie powiększać stałą dielektryczną drewna. Powiększenie zaś stałej dielektrycznej pociąga za sobą zwiększenie pojemności kondensatora, w którym znajduje się próbka drewna. W rezultacie wielkość pojemności elektrycznej odpowiednio zbudowanego kondensatora, zawierającego próbkę drewna, jest wykorzystywana do pomiaru wilgotności. *Metoda ta, jakkolwiek stosunkowo szybka i pozwalająca uzyskiwać szeroki zakres mierzonych wartości, nie daje się również zastosować w konserwacji z powodu strat materiałowych na pobieranie próbek.*

*Dokonywanie pomiarów wilgotności bez naruszania podobrazii możliwe jest wyłącznie na drodze określania oporu elektrycznego.* Realizacja pomiaru jest bardzo prosta i stosunkowo szybka, umożliwiającą uzyskiwanie informacji również w czasie trwania doświadczenia przy badaniu odkształceń tablic drewnianych oraz innych eksperymentów. Pomiar wilgotności drewna sprowadza się do określenia wartości oporności pomiędzy odpowiednio rozstawionymi igłami, wcisniętymi w deskę na określoną głębokość. Przy badaniu zależności deformacji od wilgotności podobrazia, elektrody aparatu muszą być oczywiście specjalnie dostosowane do tego rodzaju pomiarów i nie wyjmowane podczas doświadczenia, dla uniknięcia działania dodatkowych sił. Wielka zależność oporności elektrycznej próbki drewna od jej wilgotności sprawia, że małej różnicy wilgotności towarzyszy duża zmiana oporności. Tak więc zmniejszanie się oporu elektrycznego drewna od stanu całkowicie suchego (0% wilgotności) do stanu nasycenia włókien (ok. 24—30% wilgotności) wyraża się tu w szerokiej skali od około 25 000 megohmów do około 0,5 megohma. Na skutek niejednorodności porowatości i anizotropii drewna, przewodzenie prądu w tym materiale jest zjawiskiem skomplikowanym i niezupełnie należyście zbadanym. Przepływ prądu elektrycznego w drewnie, polegający na przewodnictwie jonowym, może się odbywać dzięki rozpuszczonym w nim solom mineralnym. Zasadniczy jednak wpływ na przewodnictwo elektryczne drewna ma jego wilgotność. Zależność

oporności elektrycznej drewna od zawartej w nim wilgotności można podzielić na dwie różniące się części: od punktu nasycenia włókien (24—30% wilgotności) oraz powyżej tego punktu do całkowitego nasycenia masy drzewnej. W przedziale od 0 do 24—30% oporność drewna maleje wykładniczo. E. Nusser podaje, że dla europejskich gatunków drewna (nie uwzględniając topoli), których wilgotność mieści się w granicach 8—18%, można przyjąć następującą zależność spadku oporności drewna:

$$\lg R = 0,32 W + 13,25$$

gdzie: R — oporność drewna,  $\Omega$

W — wilgotność drewna w %.

W przedziale wilgotności do 28% C. G. Suits i M. E. Dunlap ustalili podwójną logarytmiczną zależność:

$$\lg(\lg R) = bw$$

gdzie: R — oporność drewna,  $\Omega$

b — współczynnik,

w — wilgotność drewna w %.

Powyżej punktu nasycenia włókien spadku oporności drewna, jako funkcji wilgotności, nie można już wyrazić równaniem logarytmicznym.

Turiczin podaje, że zależność oporności ciał stałych, jak np. drewno, tektura, płótno itp. od wilgotności wyrazić można funkcją wykładniczą w postaci:

$$R = \frac{A}{W^n}$$

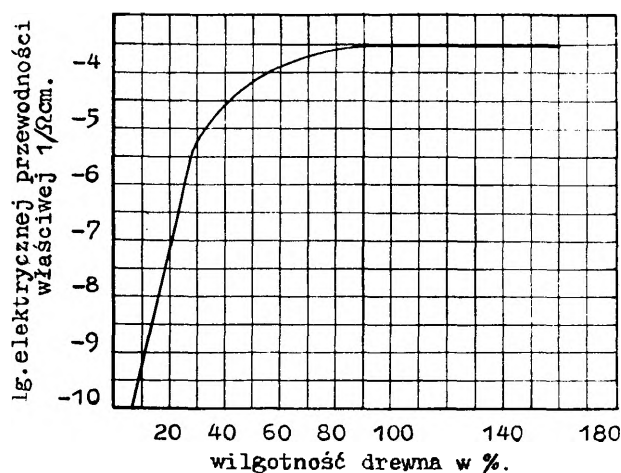
gdzie: R — oporność przedmiotu badanego,

A — stała zależna od rozmiarów przedmiotu badanego i zawartości w nim soli,

W — wilgotność materiału w procentach (w stosunku do masy substancji suchej),

n — wykładnik, który zależy od struktury i od właściwości badanego przedmiotu.

Należy pamiętać, że w metodzie oporowej próbka drewna, zawarta między dwoma igłami, stanowi równoległe połączenie oporności czynnych i pojemności, przy czym stosunek prądu upływnościowego do prądu pojemnościowego zależy tylko od oporności właściwej i przenikalności



Ryc. 2a. Zależność przewodności elektrycznej od wilgotności drewna (wg Kühnego i Stresslera poz. 15, rys. 4, str. 269. — rys. autor)

dielektrycznej materiału, a także od częstotliwości napięcia źródła zasilającego układ pomiarowy, a nie zależy od kształtu geometrycznego i od rozmiarów elektrod. Przykład charakterystyki zmian oporności drewna w zależności od wilgotności przedstawiono na ryc. 2a. Ze wzrostem zawartości wody oporność skrośna materiału maleje według funkcji, zbliżonej do wykładniczej. Jednak otrzymana w ten sposób charakterystyka skalowania jest różna dla rozmaitych gatunków drewna a nawet dla różnych próbek tego samego gatunku. Oporność skrośną próbki drewna można mierzyć prądem stałym, przykładając lub wciskając elektrody bezpośrednio w deski. Zazwyczaj stosuje się w tym przypadku duże wartości napięcia pomiarowego (rzędu 100 V), nie uwzględniając zjawiska polaryzacji.

Istnieją stosunkowo proste aparaty elektryczne, które pozwalają szybko ustalić wilgotność drewna, zarówno w czasie pomiarów odkształcenia podobrazia jak i przed każdym zabiegiem konserwatorskim. Stosunkowo niewielki, jak na potrzeby przemysłu drzewnego, przedział mierzonych wilgotności tych aparatów (ok. 6—30%) jest zupełnie wystarczający dla dokonywania pomiarów podobrazia zabytkowych. Nie spotyka się bowiem obrazów całkowicie pozbawionych wilgoci, lub w stanie nasycenia włókien. Z takimi możemy mieć do czynienia jedynie w wyjątkowych situa-

cjach, np. przy prostowaniu desek lub pewnych eksperymentalnych pomiarach odkształceń nowych tablic drewnianych. W obecnej dobie precyzyjne określanie oporności elektrycznej materiałów nie przedstawia specjalnej trudności. Jednak bardzo dokładne ustalenie wilgotności drewna na podstawie oporu elektrycznego nie jest osiągalne, gdyż w wodzie zawartej w drewnie rozpuszczone są substancje o charakterze elektrolitycznym, zakłócające dokładność pomiaru. Dlatego minimalne zwiększenie w wodzie zawartości soli, podlegającej dysocjacji, może być powodem znacznego powiększenia przewodności elektrycznej badanego podobrazia. Dla skompensowania niedokładności, wynikających z odmiennych gatunków drewna, wilgotnościomierze oporowe wyposażone są w tabele lub wykresy pozwalające obliczyć poprawkę. Często zaopatrzone są one w wymienne skale, dostosowane do poszczególnych gatunków drewna, co w dużym stopniu usprawnia i skraca czas pomiarów. Z innych czynników wpływających na dokładność metody oporowej można wymienić kierunek przepływu prądu (prostopadle lub równoległe do przebiegu włókien). Oporność mierzona w kierunku równoległym do włókien jest około dwa razy mniejsza od oporności w kierunku prostopadłym. Dalej, nierównomierność rozkładu wilgoci w desce, gładkość i czystość powierzchni, ciężar właściwy oraz temperaturę drewna.

Odległość pomiędzy elektrodami oraz kierunek przepływu prądu w stosunku do kierunku włókien drewna, uzależniony przeważnie od konstrukcji elektrod, jest podawany przez wytwórcę w instrukcji obsługi przyrządu. Elektrody wilgotnościomierza np. firmy K. Weiss załącza się w ten sposób, aby prąd mógł płynąć tylko prostopadle do włókien; natomiast elektrody wilgotnościomierza firmy G. Lange trzeba wbić dwukrotnie w oznaczonym miejscu deski: prostopadle do włókien i drugi raz — równoległe. W wyniku ostatecznym przyjmujemy średnią wartość z dwu pomiarów. Należy też wziąć pod uwagę błędy, spowodowane nierównomiernym rozkładem wilgoci. Tablica drewniana, pozostająca przez dłuższy czas w jednakowych warunkach higrometrycznych, będzie miała w przekroju poprzecznym bardziej wyrównaną wilgotność aniżeli podobrazia, które uległo gwałtownej

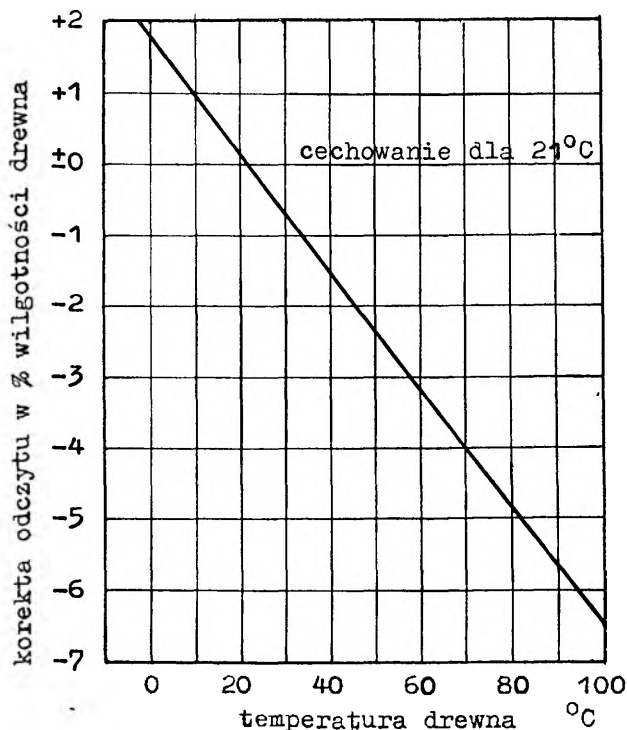
zmianie tych warunków, np. podczas intensywniejszego wysychania.

Sprawa jeszcze bardziej się komplikuje jeśli uwzględnimy wpływ warstw polichromii. Jak wiemy, każda warstwa na powierzchni drewna jak grunt, malatura czy też werniks stanowi pewną zaporę dla sorpcji lub desorpcji wilgoci z deski. Możliwość łatwiejszego wchłaniania wilgoci z odwrocia podobrazia aniżeli od strony malatury prowadzi w konsekwencji do niesymetrycznego rozłożenia wilgoci w przekroju deski. Oporową metodą elektrometryczną nie można posługiwać się w wypadku badania drewna powierzchniowo zwilżonego, gdyż pomiar przeprowadzony natychmiast po zwilżeniu daje wyniki za wysokie. Gdy jednak doświadczenie wznowimy po kilkunastu minutach, pozwalając na odparowanie nawilżonej powierzchni wynik jest bardziej miarodajny. W dążeniu do uzyskania informacji, dotyczącej ogólnej ilości znajdującej się w podobrazii wilgoci, staramy się ustalić średnią wilgotność drewna. Aby otrzymać wartości zbliżone do średniej wilgotności, należy w metodzie elektrometrycznej uwzględnić różnice wilgotności w warstwach przypowierzchniowych oraz wewnętrznych badanej deski. Ponieważ podobrazie malowidła zabytkowego jest dostępne dla dokonania pomiaru jedynie od strony odwrocia, przeto elektrody należy wbijać na różne głębokości, tak, aby zorientować się w rozkładzie wilgoci. W deskach niepolichromowanych, wilgotność średnia występuje pod powierzchnią, w odległości równej około 1/5 jej grubości. W wypadku polichromowanych tablic drewnianych należy każdorazowo doświadczalnie przebadać i wyszukać średnią wilgotność. Rozmieszczenie wilgotności, uzyskane na tej drodze, może się również przydać do opisowej dokumentacji obiektu.

Dalszym czynnikiem wpływającym na dokładność wyników jest temperatura drewna. Z badań Jeżewskiego wynika, że przewodność elektryczna drewna zmienia się o 2% na 1°C. Podziałki wilgotnościomierzy są przeważnie cechowane przy 21°C. Turiczin podaje, że z powiększeniem się wilgotności wartość ujemnego współczynnika temperaturowego wzrasta. Aby więc zapobiec błędom, spowodowanym tym zjawiskiem, wspomniany autor powołuje się na doświadczenia P. M. Płacka, który zaproponował

zastosowanie do kompensacji temperaturowej uchybu opornika z półprzewodnika (termistor), mającego ujemny współczynnik temperaturowy o zbliżonej wartości bezwzględnej do ujemnego współczynnika wilgotności. Włączając termistor albo szeregowo z przetwornikiem, albo do sąsiedniego z przetwornikiem ramienia układu mostkowego można by było wyrównać charakterystykę temperaturową i jej wpływ na pomiar wilgotności. W braku takiej kompensacji, dla uzyskania dokładniejszych danych o wilgotności badanego materiału, należy wprowadzać poprawki. Według Nussera, różnicy temperatur, wynoszącej 10°C odpowiada w przybliżeniu poprawka o 1% wilgotności. Podobne wartości podali Kühne i Strässler (ryc. 3). Odnosi się to wszystko oczywiście, do drewna niezabytkowego. W jakim stopniu zmiana temperatur może wpłynąć na dokładność wyniku w doświadczeniach ze starym drewnem, należałoby przeprowadzić odpowiednie badania.

Dużą przeszkodą w określaniu wilgotności podobrazi zabytkowych, silnie zaatakowanych



Ryc. 3. Wpływ temperatury drewna na określanie wilgotności drogą pomiaru oporności elektrycznej (wg Kühnego i Stresslera poz. 15, rys. 5 str. 270 — rys. autor)

przez owady, są otwory i korytarze wydrążone w różnych miejscach i na rozmaitych głębokościach deski. Wiadomo bowiem, że dokładny pomiar oporności może się odbyć jedynie przy zapewnieniu dobrego styku elektrod z przedmiotem. Natrafienie igłą elektrody na otwór wydrążony przez owada, nie zapewnia dobrego styku lecz stwarza dodatkową oporność, wywierającą bezpośredni wpływ na jakość pomiaru. Również wszelkie zanieczyszczenia ołówkiem, atramentem itp. wywierają ujemny wpływ na wynik, gdyż boczniują mierzoną oporność drewna. Dlatego miejsca, przeznaczone do pomiaru, powinny być czyste i gładkie, bez śladu wosku, ołówka, atramentu czy farby olejnej. Przy zbyt cienkich podobrazjach warstwa polichromii, znajdująca się po przeciwnej stronie elektrod, może w pewnych przypadkach (w zależności od oporności elektrycznej lokalnych barwników) boczniować mierzoną oporność drewna. Podobrazia impregnowane, bez współczynników określających stałą zależną od zawartości soli i właściwości badanego przedmiotu, z góry wykluczają możliwość zastosowania metody oporowej. Pewne zmiany wewnętrzne w drewnie, zaistniałe na skutek grzybni i pleśni, mogą również zmienić właściwości przewodzenia, a więc spowodować błędy w pomiarze wilgotności drewna starego.

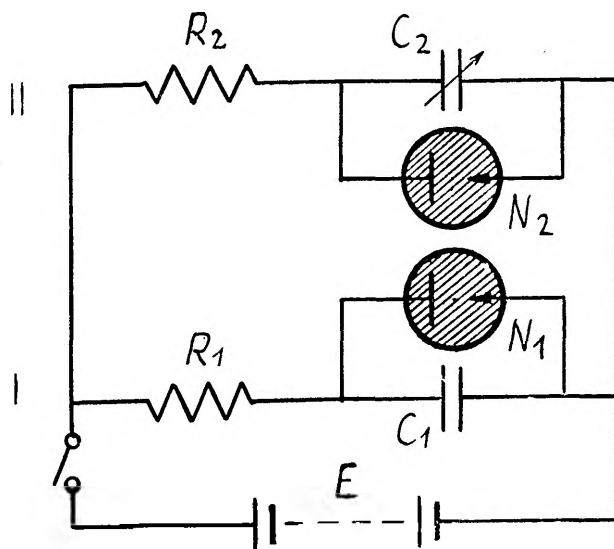
W dążeniu do uzyskania jak najlepszych wyników w określaniu wilgotności metodą elektrometryczną należy, oprócz wyżej wyszczególnionych uwag, przestrzegać następujących warunków:

1. deska i elektrody oraz wszystkie gniazda i wtyczki przewodów elektrycznych muszą być w stanie czystym, aby mogły zapewnić dobre połączenia;
2. tablica podobrazia, której wilgotność badamy, powinna być odizolowana od ziemi;
3. w razie potrzeby należy przeskalować aparat (porównując wyniki np. z metodą suszarkowo-wagową), dostosowując go do potrzeb pomiarów wilgotności drewna starego;
4. nie wbijać elektrod blisko brzegów tablicy obrazu;
5. przy stosowaniu aparatów na prąd zmienny, w razie dużych różnic w napięciu sieci, stosować stabilizator zasilania.

Przestrzegając wszystkich prawideł można osiągnąć opisywaną metodą dokładność ok.  $\pm 1-2\%$ .

Obecnie istnieje szereg wilgotnościomierzy oporowych o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych i sposobach zasilania. Aparaty sieciowe, często ze stabilizacją napięcia, są łatwe w obsłudze, dokładne i wygodne; nie mogą mieć natomiast zastosowania w niezelektryfikowanym terenie (np. przy pomiarach wilgotności obiektów w niektórych kościołach). Do tego celu nadają się wilgotnościomierze łatwo przenośne, z wbudowaną baterią zasilającą.

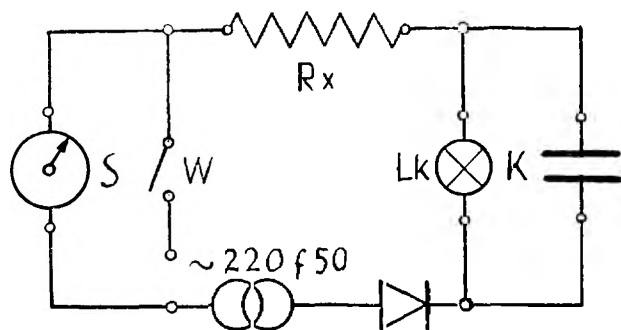
Prototypem omawianych aparatów był wilgotnościomierz błyskowy z roku 1930, skonstruowany w oparciu o prace doświadczalne Forest Products Laboratory w Madison, ogólnie znany jako wilgotnościomierz General Electric Company Shenectandy. Na konstrukcję tego aparatu składają się dwa podobne obwody elektryczne, zasilane równolegle baterią E o napięciu 180 V (ryc. 4). Z chwilą włączenia prądu kondensator  $C_1$  ładuje się poprzez stały opór  $R_1$  do momentu wzbudzenia jonizacji w kontrolnej lampce neonowej  $N_1$ . Po osiągnięciu potrzebnego napięcia zapłonu pojawia się w lampce błysk i następuje rozładowanie kondensatora, po czym cykl się powtarza. Obwód pierwszy jest więc oscylatorem, którego częstotliwość przy danym na-



Ryc. 4. Schemat wilgotnościomierza błyskowego (rys autor wg F. Kollmanna, s. 373, rys. 270)



pięciu baterii i cechach lampki neonowej zależy od wielkości oporu ładującego lub pojemności kondensatora. Z chwilą włączenia za pomocą dwu elektrod igłowych oporu badanej próbki drewna  $R_x$  obwód II staje się podobny do I, zaczynając oscylować z częstotliwością zależną od wielkości oporu badanego odcinka drewna. Nieznaczna nawet różnica w wilgotności tego ma-

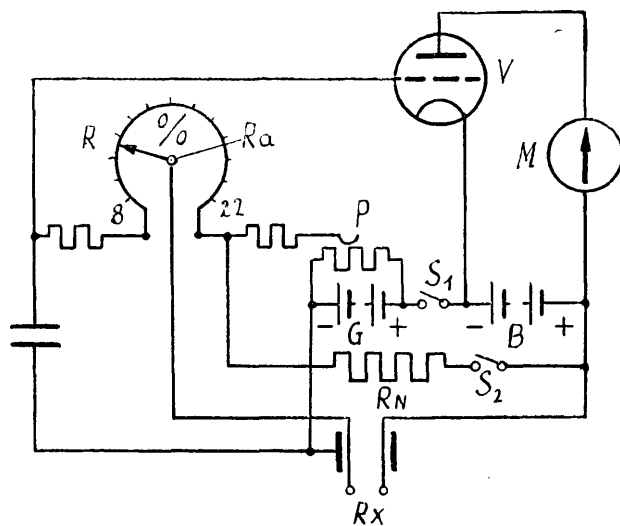


Ryc. 5. Schemat wilgotnościomierza Langego (rys. autor wg F. Krzysika, s. 495, rys. 268)

teriału powoduje duże zmiany w oporności, a tym samym i w częstotliwości błysków II obwodu. Częstotliwość oscylacji można tu regulować kondensatorem zmiennym  $C_2$ , wyskalowanym w wilgotności drewna. Dzięki temu przybliżone zsynchronizowanie błysków obu lamp wystarcza, by zapewnić odpowiednią dokładność pomiaru. Chcąc osiągnąć wymaganą do synchronizacji częstotliwość błysków należy nastawić kondensator zmienny na właściwą pojemność, zależną od wilgotności badanej próbki. Przy nastawieniu kondensatora na wilgotność niższą od istniejącej wilgotności drewna, liczba błysków lampki  $N_2$  jest większa, przy nastawieniu na wilgotność wyższą — mniejsza od ilości błysków neonówki kontrolnej  $N_1$ . Dla ułatwienia pomiarów w wyjątkowo jasnym oświetleniu, gdzie błyski lampek mogłyby być słabo widoczne, aparaty te wyposażono w sygnalizację dźwiękową i słuchawki. Tabele poprawek, załączone do tych przyrządów, umożliwiają badanie różnych gatunków drewna.

Nieco innej konstrukcji, lecz również pracujący na zasadzie pomiaru oporności, wilgotnościomierz firmy G. Lange (ryc. 5) składa się z następujących zasadniczych części: kondensatora K, lampy kontrolnej Lk, silnika synchro-

nicznego S i wyłącznika W. Symbol Rx oznacza tu próbkę drewna. Aparat zasilany jest prądem zmiennym o napięciu 220 V 50 okr./sek. Przyrząd łączy się z siecią i uruchamia wyłącznikiem silnik synchroniczny S, który ze stałą szybkością porusza strzałkę wokół wycechowanej skali wilgotności drewna. Równocześnie włącza się obwód kondensatora, który ładuje się przez opór drewna tak długo, aż napięcie na okładzinach kondensatora osiągnie wartość, potrzebną do zapłonu lampy kontrolnej Lk. W momencie zabłyśnięcia lampy należy przerwać obwód wyłącznikiem i odczytać wskazaną wartość na okrągłej skali przyrządu. Następnie cofa się wskazówkę do położenia wyjściowego. Tak jak i w poprzednim układzie, miarą wilgotności jest tu czas ładowania kondensatora, który zależy od wielkości oporu, a tym samym i od wilgotności badanej próbki. Czas ten mierzy strzałka, poruszana silnikiem synchronicznym z jednostajną szybkością wokół skali wilgotności. Całkowity obrót wskazówki dookoła skali wynosi 30 sek. W związku z dużymi różnicami w wielkości oporu elektrycznego drewna, zastosowano tu 4 zakresy skali w formie kolorowych pierścieni. Każdemu zakresowi odpowiada inna pojemność kondensatora włączonego w obwód za pomocą przełącznika, którego strzałka wskazuje równocześnie punkt tej samej barwy co żądany zakres pomiaru. Jeśli

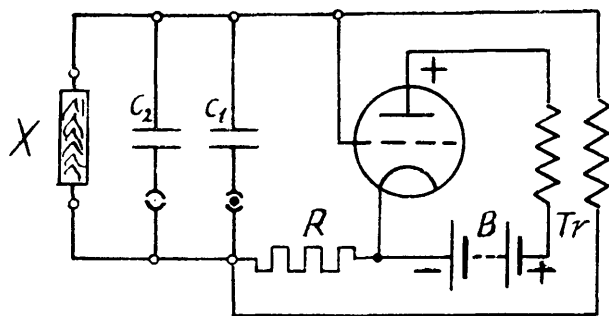


Ryc. 6. Schemat wilgotnościomierza TAG-Heppenstall (rys. autor wg F. Kollmanna, s. 374, rys. 271)

nie mamy żadnych danych o wilgotności badanego drewna, dokonujemy pomiaru na najwyższych wartościach skali. W przypadku słabego, lub w krótkich odstępach czasu, błyskania lampki kontrolnej należy przejść na następny, niższy zakres wilgotności. Wilgotnościomierz oporowy Langego zaopatrzone jest w dwie pary elektrod igłowych o różnej długości, służących do badania desek i drewna grubego. Elektrody wbija się zawsze na jednakową głębokość tak, aby odległość między nimi wynosiła 3—6 cm.

Wilgotnościomierz oporowy TAG — Heppenstall konstrukcji firmy Tagliabue w USA (ryc. 6), działa na następujących zasadach. Od bieguna dodatniego baterii anodowej B o napięciu 45 V płynie prąd przez próbkę drewna o oporze  $R_x$  i przez zmienny opór  $R$  dostaje się do bieguna ujemnego. Napięcie punktu Ra, nastawione na potencjometrze, jest przekazywane na siatkę lampy wzmacniającej i może być, w pewnych granicach, zmieniane za pomocą układu baterii siatkowej G i dzielnika napięcia P. Przed rozpoczęciem pomiaru zostaje włączony za pomocą wyłącznika  $S_2$  opór  $R_N$ . Dzielnikiem napięcia P zostaje zrównoważone położenie woltomierza M. Następnie wyłącza się opór  $R_N$ , umieszcza próbkę drewna  $R_x$  i oporem zmiennym  $R$  reguluje wychylenie miernika M. Procent wilgotności drewna odczytuje się bezpośrednio z położenia wskazówki zmiennego oporu  $R$ .

Przyrządem opartym na zasadzie mekapionu, służącym do określania dużych oporów jest Hygrofon (ryc. 7). Różnica wyników otrzymana tym instrumentem oraz metodą suszarkowo-wa-



Ryc. 7. Schemat Hygrofonu (rys. autor wg F. Kollmanna, s. 374, rys. 272)

gową wynosi dla drewna świerkowego i dębowego  $\pm 0,5\%$ . Zasada pracy Hygrofonu polega na rozładowaniu kondensatora o dużym ładunku elektrostatycznym opornością próbki drewna. Chwilowy ubytek ładunku, spowodowany rozładowaniem kondensatora, jest wyrównany natychmiast, po czym zjawisko rozładowania powtarza się cyklicznie. Im większa wilgotność próbki tym mniejszego trzeba potencjału do wyładowania kondensatora. Czyli ze zwiększeniem się wilgotności badanego drewna występuje zawsze wzrost częstotliwości wyładowań. Sygnalizacja zachodzących zjawisk może się odbywać dźwiękowo lub błyskiem lampek. Z ilości wyładowań na minutę określa się, za pomocą tabel lub wykresów, wilgotność drewna. Całkowity czas pomiaru wynosi ok. 2 min. Instrument może być zasilany z sieci prądu zmiennego, z baterii o napięciu 135 V lub akumulatora 4 V.

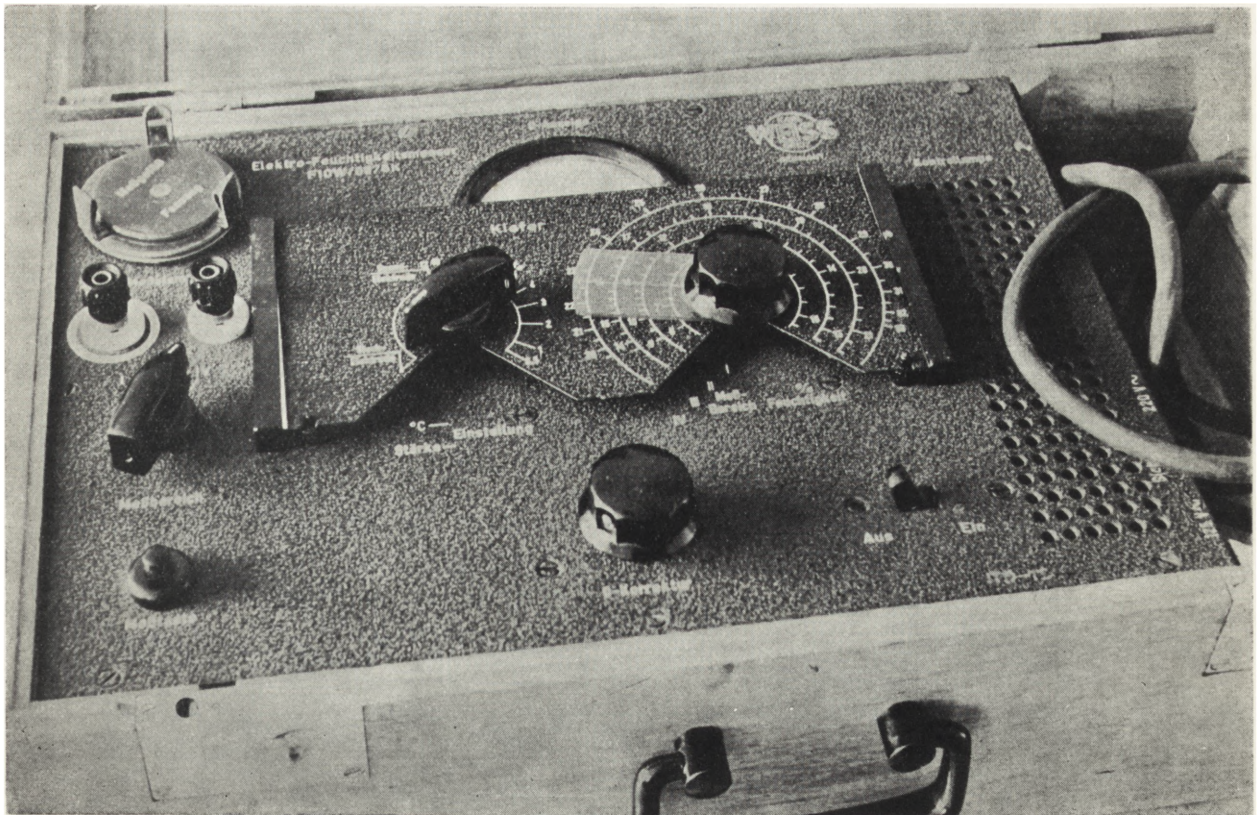
Miarę wilgotności innego układu, produkowanego przez firmę K. Weiss (ryc. 8) typ F8W i F10W/K stanowi nie jak dotąd czas ładowania lub rozładowania kondensatora, lecz różnica pomiędzy oporem drewna a oporem wzorcowym wbudowanym w przyrząd. W celu dokonania pomiaru włączamy opór wzorcowy i ustawiamy wskazówkę miliwoltomierza w położenie zerowe. Następnie włączamy próbkę drewna w miejsce wspomnianego oporu i korygujemy powtórnie wychyloną wskazówkę do zera. Wartość wskazana przez strzałkę oporu korekcyjnego jest szukaną wilgotnością (ryc. 9). Wilgotnościomierz Weissa ma podzieloną skalę na 4 zakresy z przedziałem mierzonych wilgotności pomiędzy 7 a 33%. Zaopatrzone jest on w płaskie elektrody stykowe oraz trójkątne elektrody nożykowe, które wbija się wzdłuż włókien drewna za pomocą specjalnej metalowej oprawy. Wymienne skale, dostosowane do różnych gatunków drewna, oraz stabilizator niwelujący zmiany napięcia sieci, z której przyrząd jest zasilany, ułatwiają pomiar.

Układ wilgotnościomierza Siemens-Halske przystosowany jest do baterijek o napięciu 4,5 V, których prąd przechodzi przez wibrator i prostownik, ładując kondensator do napięcia 400 V. Zamiast kondensatorów różnej pojemności występuje tu kombinacja szeregu lamp i oporów, które włączają się samoczynnie, odpowied-



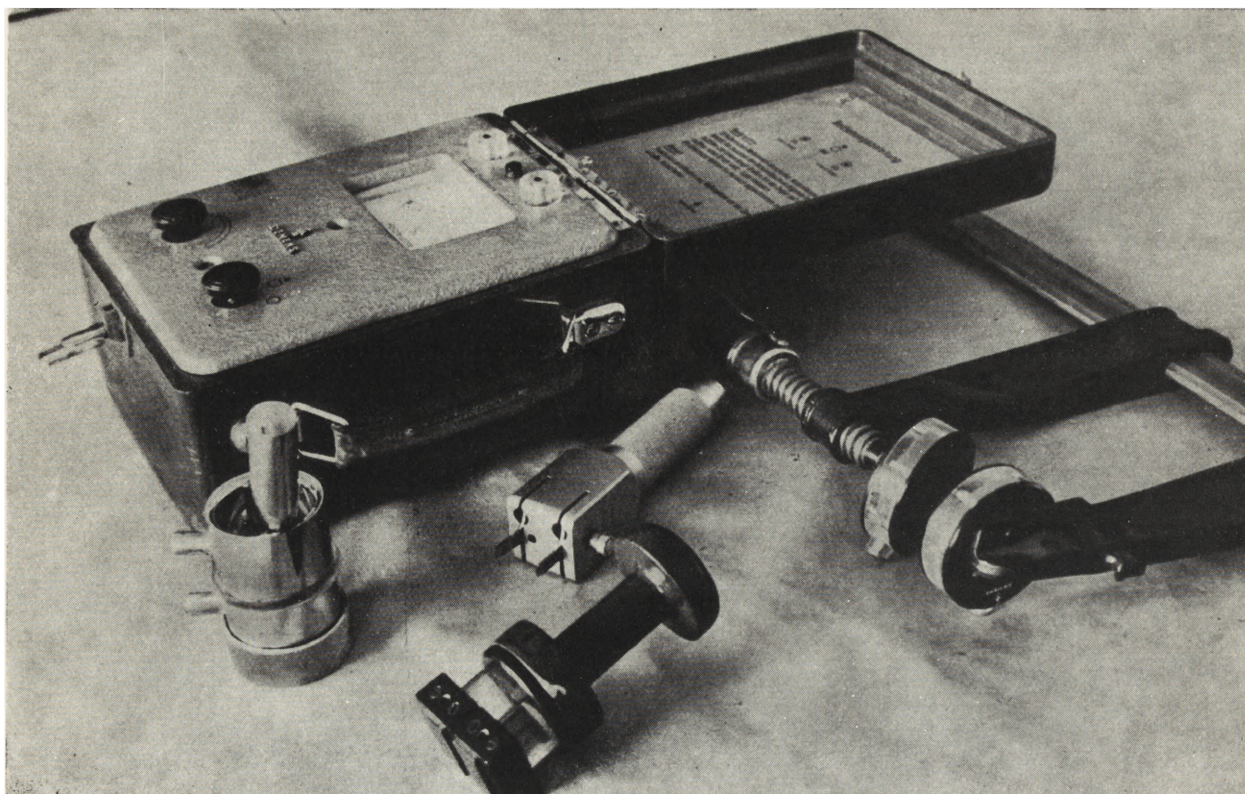


Ryc. 8. Ogólny widok niemieckiego wilgotnościomierza do drewna firmy K. Weiss. Na zdjęciu pokazane są również elektrody stykowe do cienkich desek lub sklejk, elektrody nożowe do wbijania w badany materiał i wymienna skala gatunku drewna (fot. autor)

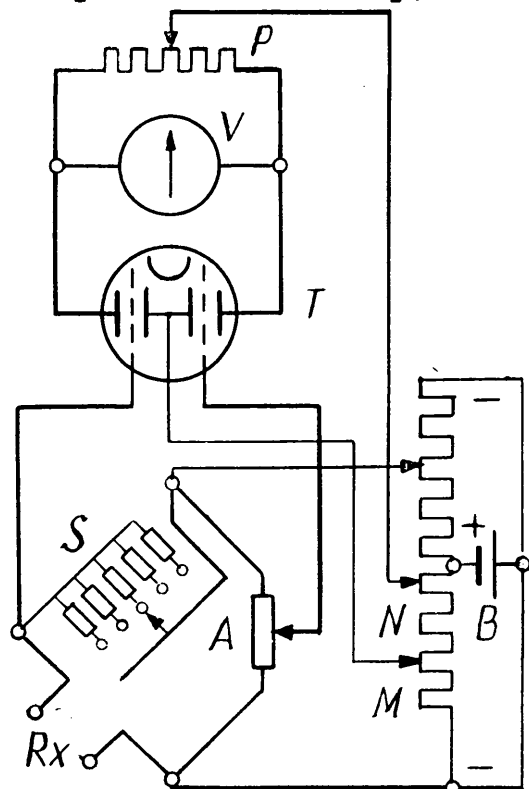


Ryc. 9. Płyta wilgotnościomierza firmy Weiss z uwi docznionymi przełącznikami i pokrętłami (fot. autor)





Ryc. 10. Wilgotnościomierz do drewna firmy Siemens-Halske z uwidocznionymi elektrodami: śrubową do sklejki, nożową do desek, kubkową do materiałów sypkich i stykową płaską do powierzchniowego pomiaru wilgotności drewna obrabionego. (fot. autor)



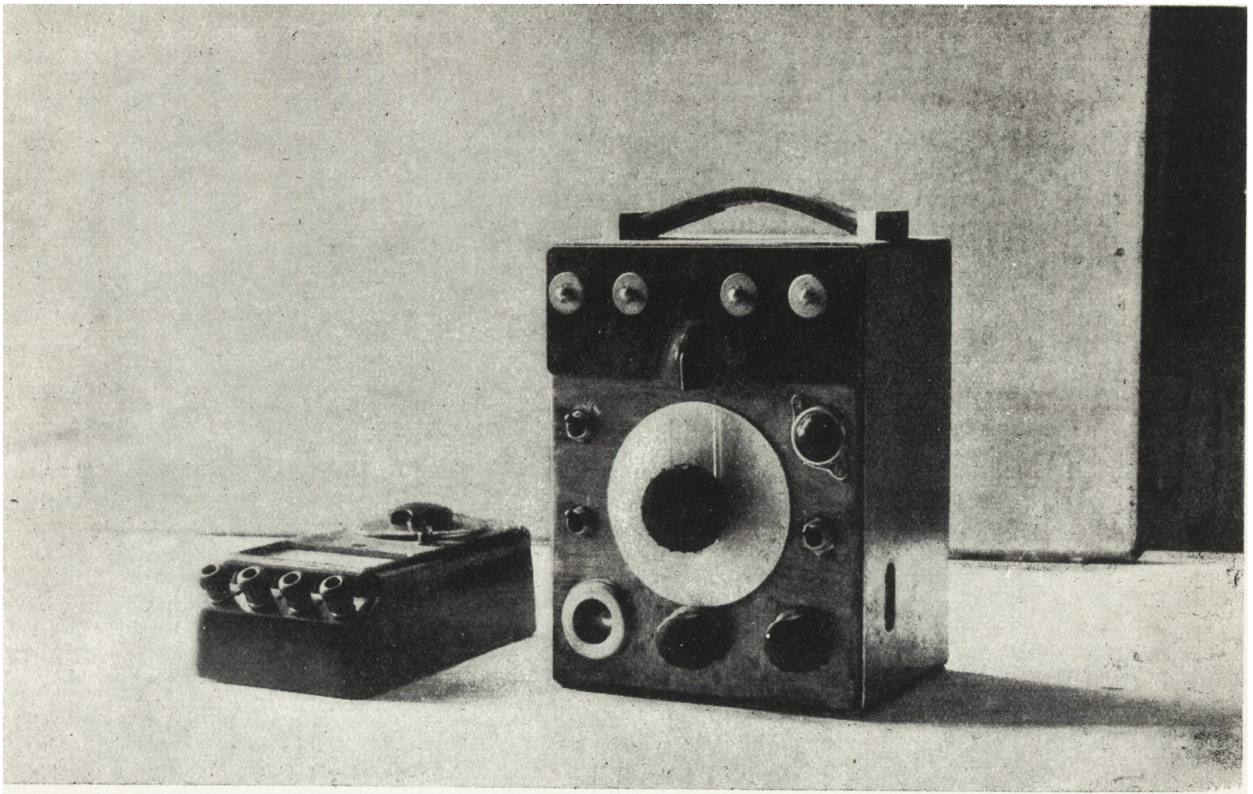
Ryc. 11. Schemat Megometra Dawesa. (rys. autor wg F. Kollmanna, s. 376, rys. 275)

nio do wilgotności drewna. Wskazówka woltomierza, mierzącego spadek napięcia, wskazuje, na odpowiednio cechowanej skali, wilgotność drewna. Zakres pomiaru wynosi 3–25% wilgotności. W przedziale 3–13% wilgotności można uzyskać dokładność  $\pm 1\%$ , natomiast w przedziale 13,1–25% uchyb wynosi już  $\pm 2\%$ . Przyrząd wyposażony jest w zestaw elektrod, dostosowanych do różnych materiałów drzewnych (ryc. 10).

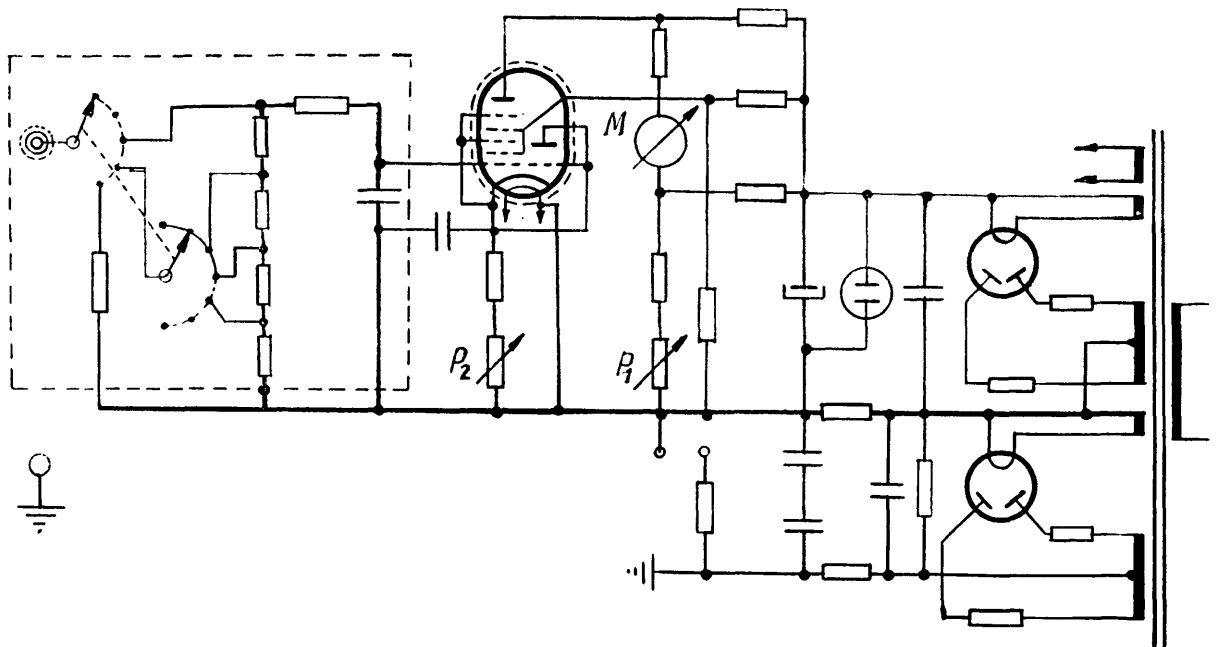
Oprócz wymienionych wilgotnościomierzy istnieją jeszcze inne typy aparatów, jak np. zasilany za pomocą ręcznego induktora korbowego Ksylohigrometr J. N. B., mierzący opór elektryczny drewna w megohmach.

Oparty na mostku Wheatstone'a Megometr Dawesa (ryc. 11) obejmuje zakresy 7–40% wilgotności. Wynik z dokładnością do  $\pm 1\%$  można otrzymać na tym aparacie w granicach 7–24%. Wartości powyżej 30% mogą być tylko orientacyjne.





Ryc. 12. Aparat doświadczalny do pomiaru wilgotności drewna oparty na mostku Wheatstone'a, wykonany przez autora. Na zdjęciu po lewej stronie widoczny zwykły miernik (fot. autor)

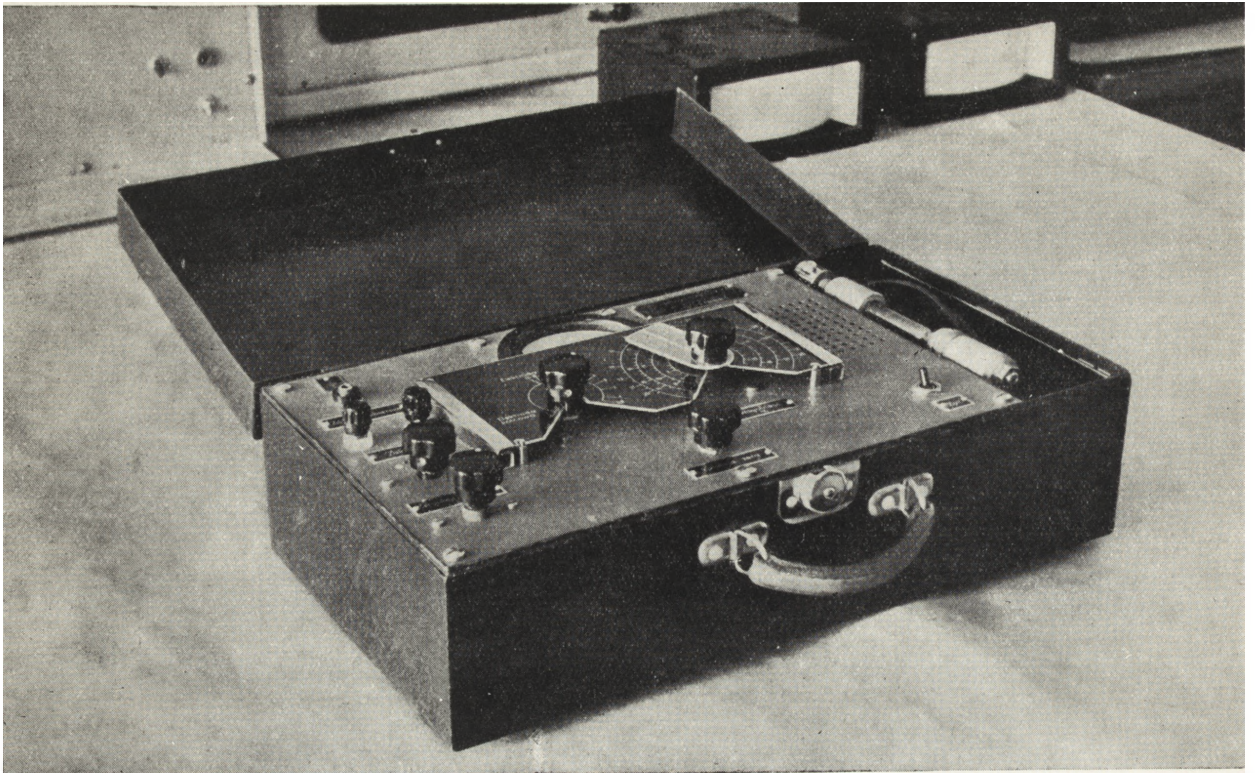


Ryc. 13. Przykład megomierza lampowego pracującego w układzie mostka pomiarowego (rys. autor)

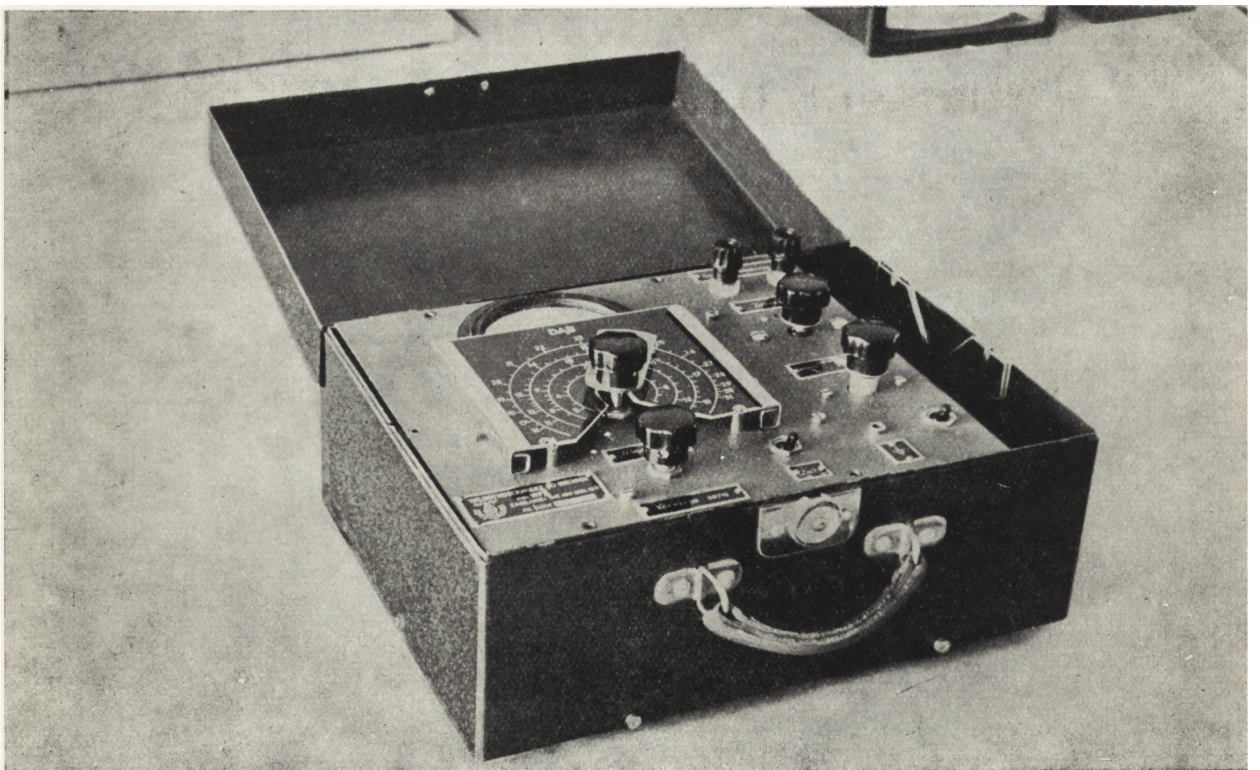
Przyrząd skonstruowany i wykonany we własnym zakresie przez autora jako aparat doświadczalny (ryc. 12), opiera się również na

mostku Wheatstone'a. Zasilany jest on napięciem stałym 100 lub 500 V, pochodzącym z wewnętrznego zasilacza sieciowego, lub napięciem



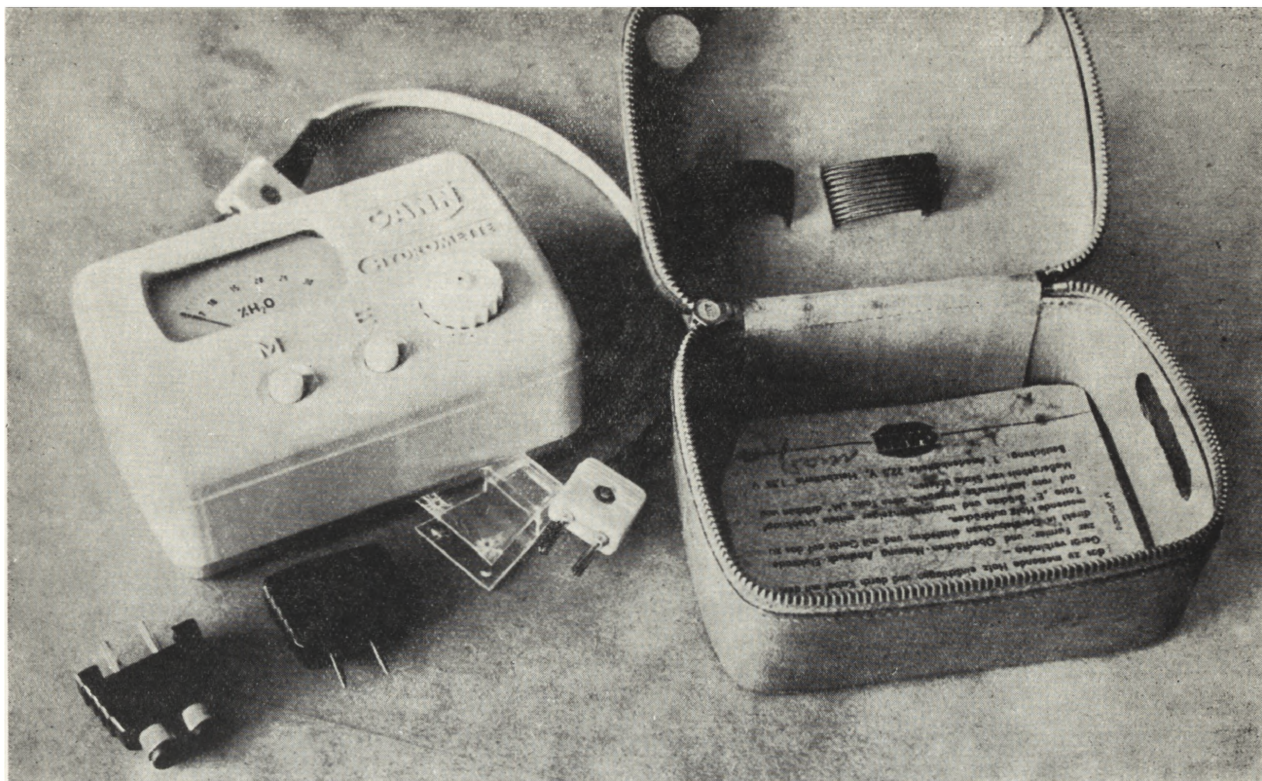


Ryc. 14. Wilgotnościomierz do pomiaru wilgotności drewna, typ WP1, produkcji krajowej (fot. autor)

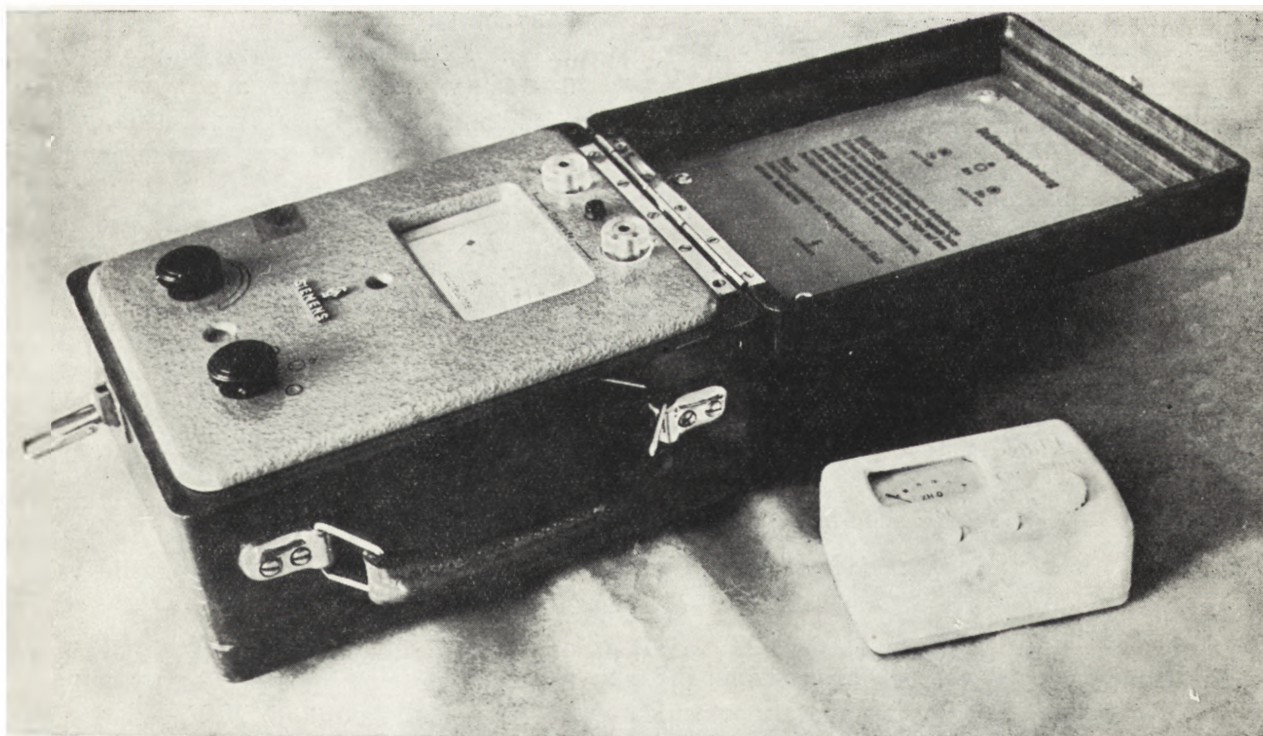


Ryc. 15. Wilgotnościomierz do pomiaru wilgotności drewna, typ WP2, produkcji krajowej (fot. autor)





Ryc. 16. Miniaturowy aparat Hydromette produkcji niemieckiej firmy Gann. Obok widoczny na zdjęciu futerałik oraz elektrody: stykowa płaska do powierzchniowego określania wilgotności drewna obrabianego i elektroda kolcowa (z igłami wielkości szpilek gramofonowych). (fot. autor)



Ryc. 17. Porównanie wielkości wilgotnościomierza Hydromette firmy Gann z aparatem do pomiaru wilgotności firmy Siemens. (fot. autor)

90 V z baterii suchej. Aparat mierzy oporności czynne w pięciu zakresach. Wskaźnikiem zerowym przy pomiarze oporności jest, odpowiednio przyłączony, woltomierz lampowy.

Układy mostkowe bywają stosowane wszędzie tam, gdzie zależy na powiększeniu czułości i dokładności przyrządu pomiarowego z równoczesną możliwością kompensacji na wpływy czynników zewnętrznych, jak np. temperatury.

Ciekawym rozwiązaniem wilgotnościomierzy elektrycznych są megomierze lampowe, pracujące w układzie mostka pomiarowego (ryc. 13). W jednym z odgałęzień takiego mostka włączona jest lampa elektronowa, natomiast w pozostałych — opory rzeczywiste. Do poprzecznej gałęzi mostka załączony jest czuły wskaźnik magnetoelektryczny. W stanie spoczynkowym układ mostkowy przyrządu znajduje się w równowadze elektrycznej. Z chwilą podłączenia do niego szukanej oporności próbki drewna, prąd płynący przez badany obiekt wywołuje spadek napięcia na oporze siatkowym lampy elektronowej. Zmiana potencjału siatki, wywołana tym zjawiskiem, powoduje naruszenie równowagi mostka oraz wychylenie miernika wskazówkowego. Ujemny spadek napięcia, występujący podczas pomiaru na oporze siatkowym lampy o zmiennym nachyleniu (charakterystyki) oraz nieliniowość charakterystyki układu mostkowego są czynnikami wzajemnie się dopełniającymi. W wyniku tego proporcjonalnym zmianom oporności mierzonej odpowiadają prawie proporcjonalne zmiany prądu zerowego (dlatego można otrzymać w takim przyrządzie prawie równomierny rozkład skali oporności). Podczas stanu spoczynkowego układu, regulacja prądu różnicowego w gałęzi poprzecznej mostka dokonuje się przez zmianę spadku napięcia, który występuje na oporze katodowym lampy  $P_2$ . Natomiast regulacja czułości układu daje się zrealizować przez zmianę oporu  $P_1$  w jednym z ramion mostka. Przez zastosowanie oporów o różnych wartościach w obwodzie siatkowym lampy, uzyskano prostą zmianę zakresów. Pomiar oporności w takim układzie odbywa się wysokim napięciem stałym. Dla uzyskania możliwie dużej stabilności pracy aparatu, stosuje się stabilizację oporową prądu zmiennego oraz neonową napięcia stałego, zasilającego układ.

Praktycznym rozwiązaniem podobnego układu elektrycznego były wyżej wspomniane już wilgotnościomierze oporowe TAG — Heppenstall oraz niemieckiej firmy K. Weiss.

Bywają też aparaty do pomiaru oporności (nie wykonane w formie wilgotnościomierzy), zasilane stabilizowanym napięciem uzyskiwanym za pomocą lamp katodowych. Dokładność tych napięć wynosi  $\pm 0,01\%$  przy wahaniami sieci nie przekraczających  $\pm 10\%$ . Dokładność pomiaru oporności tymi aparatami (o innym układzie) jest większa od wyżej opisanego założenia i wynosi przy wartości  $10^4$ ,  $10^5$  i  $10^6$  M kolejno 3, 4 i  $5\%$ .

Aparaty krajowe, skonstruowane na podobieństwo aparatów marki Weiss — to wilgotnościomierze WP1 i WP2 (ryc. 14, 15), produkowane przez Wrocławską Spółdzielnię Pracy „Radiotechnika“. Są one również megomierzami, pracującymi w układzie mostkowym. Pomiar wilgotności sprowadza się, jak w poprzednich, do pomiaru oporności drewna. Czterozakresowy wilgotnościomierz WP2 umożliwia pomiar wilgotności w granicach od  $5\%$  do  $33\%$ . Wyposażony jest w kolcowy wbijak z elektrodami nożowymi i w cztery wymienne skale, zezwalające na badanie czterech, często spotykanych, gatunków drewna jak: sosna, dąb, świerk i buk. Dokładność pomiaru w zakresie  $6\text{—}13\%$  wynosi  $\pm 1\%$ , a powyżej  $13\%$   $\pm 2\%$  odczytanej wartości. Aparat zasilany jest 45 V baterią anodową i 1,5 V baterią żarzeniową.

Bardzo małych wymiarów jest, niedawno wypuszczony na rynek, aparat produkcji niemieckiej firmy Gann, Hydromette (ryc. 16, 17). Łatwy w obsłudze i wygodny w transporcie może oddać duże usługi przy określaniu wilgotności zabytków w terenie.

W Instytucie Technologii Drewna w Poznaniu przeprowadzono badania nad opornością drewna sosnowego w zależności od jego wilgotności z równoczesnym ustaleniem rozrzutu wilgotności. Praca miała za zadanie stwierdzenie z jaką dokładnością pozwalają określić wilgotność drewna sosnowego:

- a) Mostek oporowy typu Wheatstone'a,
- b) Wilgotnościomierze oporowe typu:  
Siemens, produkcji NRF,  
Orion, produkcji WRL (6 zakr.),  
Weiss, produkcji NRD.



Na podstawie wyników stwierdzono, że najdokładniejsze wartości otrzymano mostkiem Wheatstone'a  $\pm 1$ —2% wilgotności w zakresie do punktu nasycenia włókien (około 27% wilgotności). Następnie kolejno: Siemens z maksymalnym błędem 2,5%, Weiss — 2,8%, Orion — 3%.

Jak wynika z ogólnego przeglądu różnych układów wilgotnościomierzy elektrycznych, opierających się na zasadzie pomiaru oporności, zakresy tych przyrządów są różne, zawierające się mniej więcej w granicach 6—30%. Nieco go-

rzej jest z dokładnością oporowej metody pomiaru wilgotności drewna, gdyż jak dotychczas tolerancja błędu w najlepszym wypadku jest zbliżona do  $\pm 1\%$ . Jednak w przypadku zastosowania opisanej metody do zabytków na drewnie, największą zaletą jest nie niszczący charakter pomiarów i szybkość uzyskiwania wyników.

art. kons. Józef Bolesławski  
Akademia Sztuk Pięknych  
Kraków

#### LITERATURA

- St. Bielczyk, *Określanie wilgotności drewna*, Warszawa 1951.
- M. E. Dunlap, For. Prod. Lab., Madison, Wisc., Rep. No 1660, October 1951.
- M. E. Dunlap i E. R. Bell, *Electrical Moisture Meters for Wood*, U.S. Dept. of Agr., For. Prod. Lab., Rep. No 1660, Madison 1953.
- J. Durst, *Verfahren zur Bestimmung der Holzfeuchtigkeit*. „Die Holzindustrie” 1953, Nr 2 — s. 38 i Nr 3 — s. 82.
- J. Grabowski, T. Niwiński, *Produkcja celulozy z drewna*, Wyd. Przemysłu Lekkiego i Spożywczego, Warszawa 1957, s. 30.
- T. Grzeźniński, *Uproszczony sposób oznaczania wilgotności drewna zaimpregnowanego*, „Przemysł drzewny” 1953, nr 11, s. 18.
- T. Grzeźniński, M. Fabisiak, Z. Szymanekiewicz, *Metoda higrosondy do oznaczania wilgotności drewna w czasie jego suszenia*. Dodatek do miesięcznika „Przemysł drzewny”, Poznań 1957, nr 1—2 (11—12).
- M. Jeżewski, *O określaniu wilgotności drewna przy pomocy pomiarów elektrycznych i o nowym aparacie do mierzenia wilgotności*, „Prace rolniczo-leśne”, nr 71, nakładem PAN, Kraków 1953.
- R. Keylwerth, Delf Noack, Reinbek, *Über den Einfluß höherer Temperaturen auf die elektrische Holzfeuchtigkeitsmessung nach dem Widerstandspinzip*.
- F. Kollmann, *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Berlin-Göttingen Heidelberg 1951, t. I, s. 362.
- A. Korzeniowski, *Zasady działania i obsługi wilgotnościomierzy elektrycznych do drewna*, „Prze-
- mysł drzewny”, 1953, zeszyt nr 2 — s. 57, zeszyt nr 4 — s. 29.
- J. Krieczetow, *Suszenie drewna*, wyd. II, PWRiL, Warszawa 1955, s. 288.
- F. Krzysik, *Nauka o drewnie*, PWRiL, Warszawa 1957, s. 469.
- F. Krzysik, *Wpływ wilgoci i wody na podstawowe własności drewna*, „Ochrona Zabytków” XIV, nr 1—2, Warszawa 1961, s. 50.
- H. Kühne, H. Strässler, *Über die Bestimmung der Holzfeuchtigkeit*, Schweizer Archiv für angewandte „Wissenschaft und Technik” 1952, Nr 8, s. 264.
- Kurt S. Lion, *Przyrządy do badań naukowych (elektryczne przetworniki wejściowe)*, Warszawa, s. 156; oryginał: *Instrumentation in Scientific Research. Electrical Input Transducers*, New York Toronto, London 1959.
- E. Nusser, *Die Bestimmung der Holzfeuchtigkeit durch Messung des Elektrischen Widerstandes*, Forschungsber. Holz. Fachausschuss Holzfragen, Berlin 1938, Nr 5.
- T. M. Shaw, R. H. J. Elskens, *Chem. Phys.*, 18, 1113, 1950.
- Z. Szafruga, *Nowe metody oznaczania wilgotności drewna*. Praca magisterska w Wyższej Szkole Rolniczej w Poznaniu, Poznań 1952.
- A. M. Turiczin, *Pomiary elektryczne wielkości nieelektrycznych*, PWT, Warszawa 1957, przekład z rosyjskiego, s. 414. Tytuł oryginału: *Elektricheskie izmierenija nieelektricheskich wieliczin*, Gosenergoizdat., Moskwa—Leningrad 1954.
- S. Wanin, *Nauka o drewnie*, PWRiL, Warszawa 1953, s. 93.

T. Zagajewski, St. Malzacher, W. Kulisiewicz, *Elektronika przemysłowa*, PWT, Warszawa 1954, s. 248.

T. Zagajewski, St. Malzacher, A. Kwieciński, *Elektronika przemysłowa*, PWT, Warszawa 1961, s. 221, (ukł. mostkowe).

R. Zimmermann, *Przyrządy pomiarowe radio-techniki*, Warszawa 1962.

Zeszyty naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektryka, nr 8, PWN, Warszawa 1955, Elektryka nr 11, PWN, Warszawa 1956.

*The Care of Wood Panels*, „Museum” (UNESCO) VIII, 1955, nr 3.

Praca zespołowa pracowników Instytutu Technologii Drewna: *Badania nad określaniem wilgotności drewna za pomocą pomiaru jego oporności elektrycznej* (pracę wykonano w 5 egz.), Poznań 1959.

Praca zespołowa: *Mechanicke a fyzikalne vlastnosti dreva*. Praca — vydavateľstvo Roh-Bratislava 1952, s. 129.

Prospekt firmowy wilgotnościomierza do drewna typ WP1 i WP2.

### ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБМЕРЫ ВЛАЖНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ПОДОБРАЗОВ

Обмеры деформации деревянных подобразов а также установление свойственного климата для хранения достопримечательностей требуют определения влажности древесины.

Применяемый метод для определения влажности древесины делится на три группы: весово — сушильную и дистилляционную, ядерного резонанса и группу электрического образа действия. Автор кратко обсуждает каждый метод, отличая притом метод электрического отпора, так как наиболее относительно скорого и не требующего побраяния образцов из старинной древесины. Обмер влажности получается при помощи определения мощи сопротивляемости между соответственно расставленными

иголками электродов, втиснутых в доску на определённую глубину.

В продолжении этой статьи автор обсуждает характерные особенности различного вида гигрометров отпора, применяемых для определения обмера влажности древесины, описывая одновременно каким образом следует пользоваться их услугами.

Результаты исследований, проведенных в Институте Технологии Древесины в Познани, утвердили, что наиболее точную и подробную стоимость получено, когда произведено обмер влажности древесины при помощи мостика отпора типа „Wheatstone'a”; в дальнейшей последовательности поступают обмеры, получаемые при помощи гигрометров отпора типа „Siemens”, „Weiss” и „Orion”.

### STUDIES AND MEASURE OF MOISTURE IN A WOODEN “SUBSTRATUM” FOR PAINTINGS

Definition of moisture in wood is required to measure deformations in the wooden “substratum” for paintings as well as to establish a proper climate for the monument preservation.

There are three methods to define the moisture of wood: weight-desiccator, distillation, nuclear resonance and there are also some electrical ones. The author describes, in brief, all the methods pointing out that the electrical resistance method is rapid one and does not require the taking out samples of the monument wood. The measure of moisture is

obtained by the definition of the resistance among the electrode needles set apart and put into the wooden board within a defined depth.

The author describes a gamut of the resistance hygrometers for wood as well their service.

In a result of the studies carried out in the Wood Technological Institute in Poznań it has been established that the most accurate data are obtained by the Wheatstone bridge; and in the second turn by the Siemens, Weiss and Orion resistance bridges.