

Pirometria (Techniczne mierzenie wysokich temperatur).

Przez J. J. Boguskiego.

(Ciąg dalszy do str. 508 w Nr 42).

33) Technicznym termometrom rtęciowym nadają za-
wyczaj formę niemiecką, a nadto umieszczają je w drewnia-
nej lub metalowej oprawie. Typem oprawionego w drzewo
termometru jest zwykły termometr kąpielowy. Oprawę meta-
lową, mosiężną lub żelazną, można dawać tylko do mierzenia
temperatury środowisk nie działających na metale. Kwaśne
i alkaliczne środowiska działają na mosiądz. Do środowisk
alkalicznych może służyć oprawa żelazna lub stalowa. Kształt
i wymiary termometru zależą całkowicie od okoliczności
i warunków technicznych. Termometrom do mierzenia tem-
peratur w wielkich zamkniętych kotłach należy nadawać
wielkie wymiary, niejednokrotnie do 2 m i wyżej, a nadto
oprawiać je całkowicie—i kulkę i rurę.

Termometry typu francuskiego bywają rzadziej stosowa-
ne w technice. Nadają im wtedy duże wymiary zewnętrzne,
to znaczy, że rurka termometryczna o włoskowatym prze-
świcie ma wtedy średnicę zewnętrzną od 1 1/2 do 2 cm,
a to dla nadania jej mocy.

W tych razach, w których kierownicy zakładów lub
ich właściciele życzą sobie, aby temperatury, przy których
prowadzą prace, były ściśle zatajone przed obcymi, termo-
metry robią się zgoła bez skali, lub ze skalą rozmyślnie fał-
szywą, do której klucz znany jest tylko kierownikom. Na
termometrach bez skali znajduje się zazwyczaj jedna tylko
kreska, do której majster lub kierownik przykładac może
skalę, noszoną w kieszeni, przez co zyskuje się możliwość po-
znania zawsze na każde żądanie temperatury. W cukro-
wnictwie tych metod zatajania temperatury nie praktykują,
ale w wykończalniach, farbiarniach i fabrykach chemicz-
nych jest to na porządku dziennym. Budowa termometrów
rtęciowych doszła do wysokiej doskonałości. Nabycie do-
brego przyrządu jest zawsze możliwe, ceny zaś, w stosunku
do oddawanych usług, nadzwyczaj niskie. Firmy Baudina,
Tonnelota, Poulenza we Francji, Fuessa, Capellera, Geissle-
ra, Hellige, Hacka w Niemczech, Negretti i Zambra, Grif-
fitta i innych w Anglii, dostarczają przyrządów uznanej do-
skończoności.

34) Czułość termometrów rtęciowych można oceniać
w dwojaki sposób: albo długością, jaką na skali zajmuje je-
den stopień Celsjusza, i czułość jest oczywiście do tej dłu-
gości proporcjonalna, albo też liczbą stopni Celsyuszowych,
mieszczących się w jednostce długości, np. w jednym centy-
metrze lub w jednym calu bieżącym, i, oczywiście, czułość
termometru jest do tej ostatniej liczby odwrotnie propor-
cyonalna. Zazwyczaj do użytku laboratoryjnego budują
termometry w ten sposób, że długość jednego stopnia Cel-
syusza równa się w przybliżeniu 1 — 2 mm, cenniki je-
dnak wszystkich firm obejmują także i termometry dzielone
na półstopnie (0,5° C.), na piątą część stopnia (0,2° C.) i na
dziesiątą część stopnia (0,1° C.). W celach naukowych i ka-
lorymetrycznych robią termometry dzielone na pięćdziesiątą
(0,02° C.) i na setną (0,01° C.) część stopnia. We wszystkich
jednak tych razach odległość pomiędzy sąsiednimi kreskami
wynosi około 1 mm. Tę odległość można jednak jeszcze od
oka w chwili obserwacji podzielić na 10 części, a więc od-
czytywanie termometru może iść o jeden znak dziesiętny da-
lej niż podziałka.

Dwa są środki powiększania, a właściwiej regulowania
czułości termometru, a mianowicie, powiększać możemy czu-
łość przez powiększanie objętości zbiornika rtęciowego
i przez zmniejszanie średnicy rurki włoskowatej.

Jeżeli czułością termometru, l , nazwiemy długość je-
dnego stopnia Celsjusza w milimetrach, to oznaczwszy

przez V objętość naczynka termometrycznego, przez d —
średnicę rurki termometrycznej i przez δ — współczynnik
rozszerzalności rtęci, oczywiście otrzymujemy zależność:

$$\delta V = \frac{1}{4} \pi d^2 l \quad (30),$$

gdzie V należy wyrazić w milimetrach sześciennych.

Stąd czułość

$$l = \frac{4 \delta V}{\pi d^2} \quad (31).$$

Jeżeli średnica rurki termometrycznej jest dana i wy-
nosi, dajmy na to, 0,1 mm, to wielkość naczynka, któreby
w takiej rurce wytwarzało stopień długi na 1 mm, obliczy-
my z wzoru (30):

$$V = \frac{0,0025 \pi}{\delta},$$

a podstawiając zamiast π i δ ich wielkości, otrzymamy osta-
tecznie, że objętość naczynka dla termometru, w którym
1° C. ma długość 1 mm w rurce o średnicy 0,1 mm, wyniesie

$$V = \frac{0,0078540}{0,0001812} = 5524 \times 0,007854 = 43,3 \text{ mm}^3.$$

Rezultat ten jest dla bardzo cienkiej rurki, o śred-
nicy 0,1 mm. Dla rurki o średnicy 2, 3, . . . n razy więk-
szej, objętość V będzie oczywiście 4, 9 . . . n^2 razy więk-
sza. Tak np., dla średnicy 0,2 mm objętość V wyniesie
174,4 mm.

W obliczeniu tem nie jest uwzględniona rozszerzalność
szkła, która dla rozmaitych jego gatunków bywa rozmaita.
Oczywiście, iż otrzymaną objętość należy tak powiększyć,
aby rozszerzalność szkła na 1° C., skompensować przez po-
większenie objętości naczynka. W tym celu, zamiast współ-
czynnika istotnej rozszerzalności
rtęci w powyższym obliczeniu
($\delta = 0,0001812$), należy wstawić
współczynnik rozszerzalności po-
zornej ($\delta - \alpha$), gdzie α jest współ-
czynnikiem rozszerzalności szkła.
Łatwo obliczyć, że istotną objętość naczynka, \mathfrak{B} , z poprzed-
nio obliczoną, V , łączy związek:

$$\mathfrak{B} = V - 0,0078540 \left(\frac{\alpha}{\delta^2} + \frac{\alpha^2}{\delta^3} + \frac{\alpha^3}{\delta^4} + \dots \right) \quad (32),$$

$$\mathfrak{B} = V - 0,0078510 \left(\frac{1}{\delta/\alpha - 1} \right) \quad (33),$$

gdzie α jest współczynnikiem rozszerzalności szkła, a

$$\delta = 0,00018120.$$

35) Termometry techniczne muszą być łatwe do od-
czytywania, a więc wyraźne. Długość stopnia musi być
znaczna. A więc zarówno rurka jak i naczynko termometru
powinny być duże. Ponieważ zbyt wielkie naczynia termo-
metryczne są niedogodne, przeto, pragnąc termometrom za-
pewnić czułość znaczną i wyrazistość, robią często przeswit
w rurkach termometrycznych o przecięciu eliptycznym,
a więc szerokim dla oka, a o małym polu przecięcia, a więc
o wysokiej czułości (rys. 8 i 9).

Początkowo w Anglii, a obecnie i w Niemczech, chcą
zapewnić wyrazistość termometrom o bardzo małym prze-
świcie, a więc bardzo czułym, dają rurce termometrycznej
taki kształt, że jest ona zarazem lupą cylindryczną dla ob-
serwatora, odczytującego temperaturę (rys. 10). Obserwator

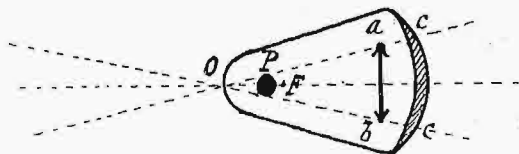


Rys. 8.



Rys. 9.

bowiem, patrząc od lewej strony ku prawej, widzi, zamiast rzeczywistego prześwitu P , jego obraz domniemany $a b$. Na rys. 10 jest wykreślone działanie optyczne takiej rurki termometrycznej, istotnie bardzo dogodnej. Znalazła ona szerokie zastosowanie w termometrach lekarskich, wątpię wszakże, czy znajdzie w technicznych, w których, bez szkody dla sprawy, można powiększać dowolnie i naczynko termometru i prześwit jego rurki.

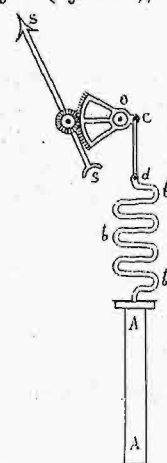


P —rtęć w prześwicie. ab —obraz domniemany prześwitu. F —ognisko główne. O —środek optyczny. cc —część zaizolowana na białą $\left(\frac{5}{1}\right)$.

Rys. 10. Prześwit powiększony optycznie.

36) Termometr o bardzo nawet wyraźnej skali jest przyrządem, który tylko stosunkowo z bliska, bo z odległości dokładnego widzenia, odczytać można. W tych więc razach, w których pożądana jest możliwość odczytania temperatury ze znacznej odległości, urządza się rzeczy bardzo dla celów fabrycznych dogodnie przez przekształcenie prostolinijnych ruchów rtęci, lub wogóle ciała termometrycznego, na ruchy obrotowe, co pozwala na budowanie termometrów z tarczą okrągłą i poruszającą się około jej środka wskazówką. Takie termometry noszą nazwę talpotasimetrów i posiadają najrozmaitszą budowę, której zasady jednak sprowadzają się zawsze do jednego i tegoż samego pomysłu, t. j. do przekształcenia ruchu postępowego prostolinijnego na ruch obrotowy.

Poniższe figury przedstawiają talpotasimetr rtęciowy na rysunku schematycznym (rys. 11), oraz z egz-



Rys. 11. Schemat talpotasimetru. Rys. 12. Talpotasimetr Politechniki Warszawskiej.

emplarza okazowego (rys. 12), stanowiącego własność Politechniki warszawskiej.

Wyobraźmy sobie naczynie stalowe AA , połączone z rurką stalową bbb , cienkościenną, sprężystą, zgiętą wielokrotnie, jak wskazuje rysunek. Przecięcie rurki jest eliptyczne, aby odkształcenia jej postaci były łatwiejsze. Naczynie i połączona z nią rurka są całkowicie wypełnione cieczą (rtęcią, eterem, wodnym roztworem chlorku wapniowego) i zupełnie szczelnie zamknięte. Podniesienie temperatury wywołuje rozszerzanie się cieczy, wskutek czego ciśnienie wewnątrz układu wzrasta i rurka zgięta prostuje się, wskutek czego górny jej koniec d wznosi się ku górze. Dalsze przekształcenie prostolinijnego ruchu punktu d ku górze (w miarę ogrzewania cieczy) i ku dołowi (w miarę jej ochładzania) na ruch obrotowy wskazówki, może być urzeczywistnione w dowolny sposób. Na rys. 11 przekształcenie ruchu dokonywa się za pomocą drążka dc i dwóch kół zębatach. Rzecz prosta, że

oś koła zębatego O musi być nieruchomo (sztywnie) połączona ze zbiornikiem A , co na rysunku nie jest uwidocznione, aby go nie gmatwać.

Rys. 12 przedstawia fotografię okazowego przyrządu, dostarczonego przez firmę Berent i Plewiński. Działkowanie tarczy talpotasimetrów dokonywa się na drodze doświadczalnej (empirycznie) przez porównanie stanowisk wskazówki na tarczy ze wskazaniami dokładnego termometru.

Podane rysunki talpotasimetru przedstawiają tylko jedną z bardzo wielu konstrukcji, w których zmiany objętości lub postaci wywołują obrotowy ruch wskazówki. Zasada jednak wszystkich talpotasimetrów jest wspólna, a mianowicie: Jeżeli prostolinijny kanał z materiału sprężystego o dowolnem przecięciu zginamy, to wewnętrzna jego objętość maleje. I naodwrot: objętość krzywodrożnego kanału sprężystego przy prostowaniu wzrasta. Zasada ta znalazła początkowo zastosowanie przy budowie manometrów sprężynowych systemu Bourdona, w następstwie dotarła i do termometrów wskazówkowych, oraz zapanowała w pięknych termografach braci Richard, o których niżej.

37) Ciepłojemność talpotasimetrów bywa zazwyczaj dość duża, ale znów nie o wiele większa od ciepłojemności dużych termometrów fabrycznych rtęciowych, zwłaszcza uzbrojonych metalem.

Duża ciepłojemność przyrządów, mierzących temperaturę spowodowywa: 1) obniżenie temperatury środowiska, którego temperaturę mierzymy. 2) Długotrwałość ustalania się temperatury przyrządu, a więc powolne dochodzenie wskazówki do decydującego stanowiska. 3) Zupełną niemożność notowania krótkotrwałych zmian temperatury.

Wszystkie trzy przytoczone okoliczności są bez znaczenia, gdy talpotasimetr jest zanurzony w dużej kadzi i gdy mierzymy nim temperaturę cieczy, które same mają olbrzymią ciepłojemność i na skutek tego krótkotrwałym i szybkim zmianom temperatury w dużych masach ulegać nie mogą. Natomiast do mierzenia temperatury gazów talpotasimetry i wogóle termometry o dużej ciepłojemności wcale się nie nadają, bo krótkotrwałych zmian temperatury wcale wykazać nie mogą.

Nie od rzeczy tu będzie zauważyć, że na szybkość wymiany ciepła pomiędzy środowiskiem i ciałem zanurzonym (termometrem) wpływa głównie wielkość, zwana ciepłojemnością objętościową danego ciała i będąca iloczynem z ciepła właściwego c , przez gęstość d , czyli iloczyn cd .

Iloczyn ten cd , jest oczywiście miarą utraty ciepła (w kaloryach) przy ochłodzeniu jednostki objętości ciała na $1^{\circ} C$. Jest to ilość bardzo charakterystyczna, gdy bowiem np. 1 l wody ochładza się na $1^{\circ} C$. przez utratę 1000 jednostek ciepła, to litr powietrza, ochładzając się także na $1^{\circ} C$, utraci tylko $0,23741 \times 0,0012931 \times 1000 = 0,307$ jednostki ciepła, czyli 3257 razy mniej, aniżeli woda. W obliczeniu tem $0,23741$ jest ciepłojemnością właściwą powietrza (między 0° — $100^{\circ} C$), zaś $0,0012931$ gęstością powietrza przy $0^{\circ} C$. i $760 mm$. Iloczyn ten należy jeszcze powiększyć 1000 razy, gdyż liczby powyższe odnoszą się do centymetra i małej kalorii, a litr ma $1000 cm^3$.

Przykład ten uwydatnia wyraźnie, jak nieracjonalne jest mierzenie temperatury gazów zapomocą przyrządów o dużej ciepłojemności.

Chociaż talpotasimetry fabryczne mają bardzo dużą ciepłojemność, to jednak nie można tego uważać za regułę dla ogółu przyrządów tego typu. Autor miał możliwość oglądania przed wielu laty talpotasimetru do pomiarów lekarskich, a właściwie do mierzenia temperatury skóry, w którym już w ciągu kilkunastu, jeśli nie kilku sekund, ustalało się stanowisko wskazówki. Przyrząd ten jednak cechowało artystyczne wykonanie i miał on odpowiednią do tego cenę. Zewnętrzna postać i wielkość zbliżała go do małego damskiego zegarka. Wykonawcą był, jeśli mnie pamięć nie zawodzi, p. Immisch z Gorlic.

38) Zakładanie termometrów i talpotasimetrów w kadziach, kotłach, autoklawach i t. p. odbywa się w dwojaki sposób: Albo oprawę termometru lub talpotasimetru umocowywa się poprostu w kołnierzu, który przytwierdza się śrubami nad otworem kotła, kadzi, autoklawu, albo też w ścian-

kach kotła umieszczona jest ślepa rura, zanurzona ślepym końcem w przestrzeń, której temperaturę badamy. Tę ślepa rurę wypełnia się olejem mineralnym, drobnymi opilkami metalowymi, lub rtęcią i w niej zanurza się czułą część termometru albo talpotasimetru.

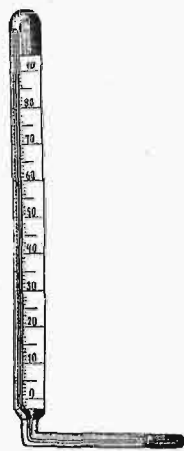
W kotłach, warnikach, kadziach i piecach praktykuje się zazwyczaj pierwszy sposób zakładania termometrów, w autoklawach zaś przekładają sposób drugi. Decydującym motywem jest tu jednak nie forma przyrządu, lecz chemiczny charakter badanego środowiska. W cieczach silnie alkalicznych byłoby nierozważą zanurzać przyrząd szklany, lub mosiężny, a więc jest w tym razie wskazana ślepa rura żelazna. W autoklawach

są zazwyczaj cieczy silnie działające, więc i do nich stosują rury ślepe, ponieważ i dlatego, że pokrywy autoklawu wypadają często zdejmować, przy czym delikatny przyrząd naraża się zawsze na zabicie. Tam, gdzie okoliczności tego wymagają, termometrom i talpotasimetrom dają postać zgiętą w dowolny sposób, wskazany przez kształt aparatu i przez topografię fabryki.

39) Termometry techniczne wszelkich form, o ile pochodzą z do-



Rys. 13.

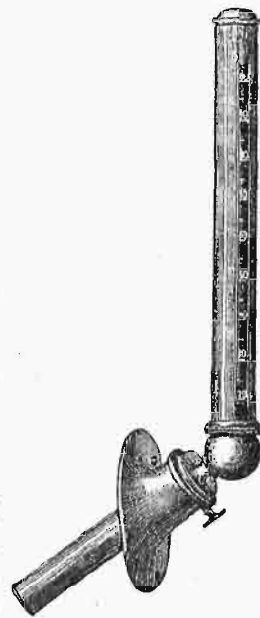


Rys. 14.

brych źródeł, bywają zazwyczaj wystarczająco dokładne do celów technicznych. Są jednak okoliczności bardzo poważne, które poprostu nakazują je sprawdzać. A mianowicie w wielu przemysłach, jak np. biologicznych, różnica kilku stopni w temperaturze może zmieniać nie tylko szybkość reakcji, ale nawet jej kierunek. W tych razach przeświadczenie o dokładności przyrządu jest niezbędne. Co więcej, talpotasimetry, jako wyposażone we względnie złożone i czułe mechanizmy, mogą ulegać zepsuciu przez rdzę, przez przegrzanie lub wstrząśnienia i, dając w danej chwili wskazania poprawne, mogą wkrótce dawać zupełnie błędne. Jeżeli, bez ryzyka większego ponad 1°C . lub 2°C ., można poprze-

stać na jednokrotnym sprawdzeniu termometru rtęciowego, to talpotasimetry i wogóle przyrządy o złożonych mechanizmach należy sprawdzać peryodycznie, co pewien czas.

Sprawdzanie można powierzać albo zaufanym specjalistom, jak np. u nas—pracownikom fizycznej przy Muzeum Przemysłu i Rolnictwa, albo też wykonywać je samemu na miejscu. Ta ostatnia droga zdaje się być bardziej wskazana, szczególnie dla przyrządów o wielkich wymiarach i dużej cieplonośności. Istotnie: zarówno duży, dwumetryowy dajmy na to, termometr, jak i każdy talpotasimetr daje wskazówki, zależne od głębokości, do jakiej jest zanurzony. Często nawet bardzo bogata pracownia nie rozporządza dość wielkimi termostatami, aby badany przyrząd umieścić w nich należycie i w warunkach ściśle takich samych, w jakich przyrząd pracuje na miejscu w fabryce. Myślę więc, że daleko praktyczniej jest zaopatrzyć się w dokład-



Rys. 15.



Rys. 16.

ny, ściśle w pracowni sprawdzony termometr laboratoryjny normalny, i z nim porównywać przyrządy użytkowe. Wystąpić tu może trudność chwilowego umieszczenia tego normalnego termometru w środowisku badanym, jak np. w kadzi lub warniku. Ale nie wątpię, że dodanie do każdego takiego przyrządu specjalnej małej ślepej rurki dla czasowego umieszczenia w niej termometru normalnego, opłaciłoby się, dając każdorazowo fabryce możność ścisłego sprawdzania przyrządów użytkowych. Sposób i miejsce umieszczania ślepych rur zawsze wskaże logika po rozważeniu budowy przyrządu, koszt zaś całej instalacji nie może być wielki, zważywszy, że zupełnie dokładny i sprawdzony termometr normalny można posiłkować za kilka lub kilkanaście rubli i że może on służyć niezmiennie przez całe szeregi lat. (C. d. n.)

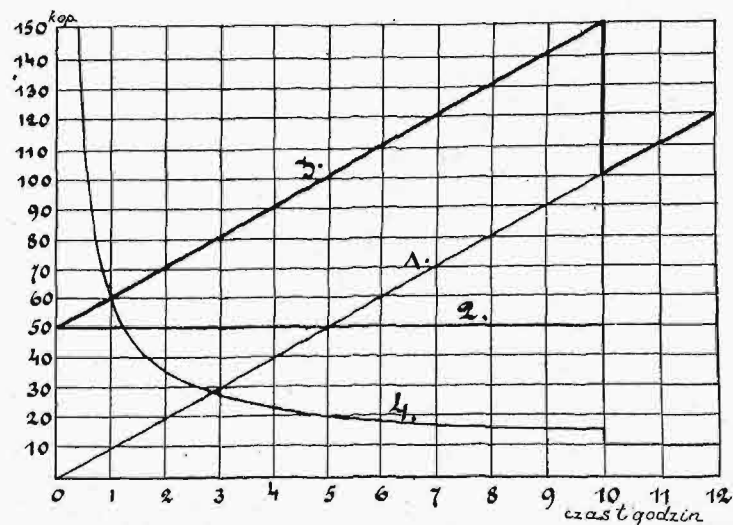
O systemach płacy, mających na celu podniesienie produktywności robotnika.

Podał Aleksander Rothert.

(Ciąg dalszy do str. 505 w Nr 42 r. b.).

Jeszcze jedna forma mieszana bywa często stosowana w postaci kombinacji płacy od sztuki, ze zwykłą płacą godzinową. Aby zachęcić robotnika do pilności, otrzymuje on, prócz swej normalnej płacy godzinowej, jeszcze t. zw. premie za każdą sztukę wykonaną. Im więcej sztuk wykona w ciągu dnia albo godziny, tem większy jego zarobek. Wypłacenie takiej premii może być uzależnione od pewnego minimum wytwórczości, poniżej którego robotnik premii tej nie otrzymuje. Taki system premiiowy w rezultacie wychodzi na system Halseya. Wykres rys. 11 łatwo nas o tem przekona. Przypuśćmy, że robotnik otrzymuje płacę godzinową w wysokości 10 k. i premię dodatkową w rozmiarze 25 kop. od sztuki, o ile wykona co najmniej 2 sztuki w ciągu 10-godzinnej doby roboczej. Jeżeli w ciągu 10 godzin wykona więcej niż dwie sztuki, lub, co na to samo wyjdzie, zużyje mniej niż 10 godzin na wykonanie 2 sztuk, to zarobek jego odpowiednio wzrośnie. Koszta robocizny za 2 sztuki składają się z dwóch elementów: 1) płacy godzinowej, po 10 kop. za godzinę, pomnożonej na ilość godzin, reprezentowanej przez pochyłą prostą 1 w rys. 11 i 2) premii, wynoszącej 50 kop. za dwie sztuki, niezależne od czasu zużytego na nie, o ile ten czas nie przekracza 10 godzin. Premię tę reprezentuje pozioma

prosta 2. Suma obu składowych, czyli całkowite koszty robocizny daje pochyłą linię 3. Wykres ten dla czasu t od



Rys. 11.