

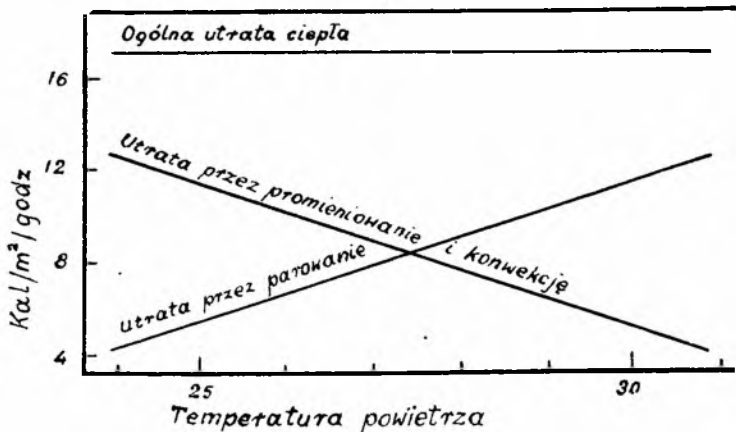
J. Nofer

METODYKA OCENY MIKROKLIMATU W POMIESZCZENIACH DO PRACY

Z Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi
Dyrektor: Prof. dr E. Paluch

Zagadnienie jakości powietrza w pomieszczeniach do pracy jest u nas całkowicie niedoceniane. Wprawdzie, na co niedawno zwracał uwagę Nowakowski, niektóre zakłady pracy posiadają instalacje wentylacyjne, służące jednak przeważnie ochronie powietrza przed zanieczyszczeniem pyłami, parami lub gazami, z pominięciem własności klimatycznych atmosfery pomieszczeń. Nie docenia się faktu, że powietrze jest nie tylko rezerwuarem niezbędnego dla nas tlenu, lecz również tą częścią środowiska zewnętrznego, która ma decydujący wpływ na prawidłową gospodarkę cieplną całego ustroju.

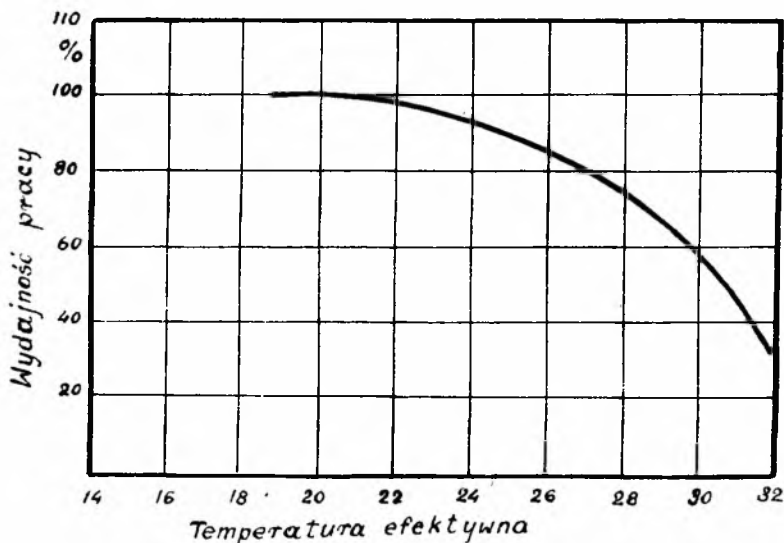
Człowiek będąc istotą o prawie niezmiennej ciepłocie ciała, co jest konieczne dla normalnego funkcjonowania wszystkich narządów i tkanek, w przebiegu procesów życiowych wytwarza stale ciepło. Niezbędne jest więc stałe wydalenie ciepła z ustroju odbywające się w pewnych granicach, tak aby utrata ciepła nie była ani zbyt mała, ani zbyt duża, lecz



Ryc. 1.

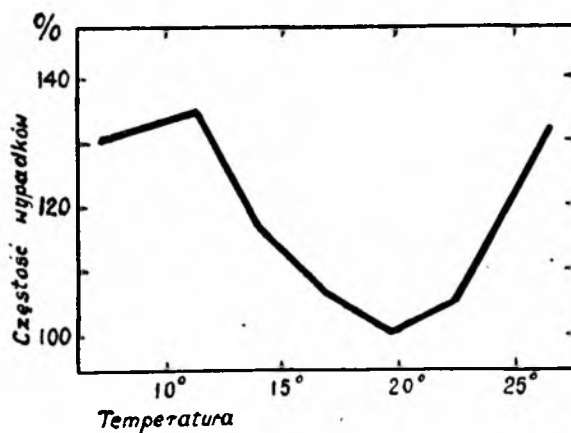
Wielkość utraty ciepła przez organizm ludzki w zależności od temperatury powietrza (wg Houghtena)

ściśle dostosowana do aktualnych potrzeb ustroju. Tracimy ciepło przeważnie przez skórę do otaczającej nas atmosfery. Utrata ta może odbywać się bądź na drodze biernej przez promieniowanie, konwekcję i przewodnictwo, bądź na drodze czynnej w następstwie odparowywania potu



Ryc. 2.
Wydajność pracy w zależności od warunków cieplnych otoczenia (wg Ehrismanna i Hasse)

z powierzchni naszego ciała (ryc. 1), przy czym fizjologicznie korzystniejsza jest dla nas utrata bierna. O wielkości utraty ciepła i drogach, na jakich ona głównie przebiega, decydują cechy fizyczne otaczającego nas



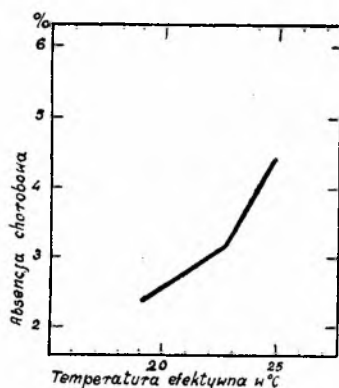
Ryc. 3.
Częstość wypadków przy pracy w zależności od warunków cieplnych otoczenia (wg Vernona)



powietrza: temperatura, wilgotność i ruch oraz promieniowanie ciepłe otoczenia. Niewłaściwy mikroklimat, niedostosowany do fizjologicznych potrzeb ustroju, do rodzaju i ciężkości wykonywanej pracy, wreszcie do istniejących zewnętrznych warunków meteorologicznych, wpływa niekorzystnie na wydajność pracy (ryc. 2), na wypadkowość (ryc. 3), oraz na zapadalność na choroby, w których czynnikiem etiologicznym jest nadmierne oziębienie lub przegrzanie ustroju (ryc. 4).

Zagadnienie to jest ważne dla wszystkich pomieszczeń, w których przebywają ludzie. Jednak w pewnych działach przemysłu przebieg produkcji stwarza specjalne warunki klimatyczne, które są szczególnie niekorzystne dla człowieka. Intensywne promieniowanie ciepłe w hutach i zakładach metalurgicznych, w hutach szkła itp., nadmiernie wysoka temperatura w piekarniach lub suszarniach, lub nadmiernie niska w niektórych działach garbarni, nieodpowiednie dla ustroju kombinacje temperatury i wilgotności powietrza w tkalniach lub przędzalniach (ryc. 5), stawiają często nasze mechanizmy regulujące gospodarkę ciepłą przed zadaniami, których one wykonać nie mogą. Powstają warunki stale narażające zdrowie robotników, warunki, z których lekarz przemysłowy musi zdawać sobie sprawę i które powinien umieć ocenić.

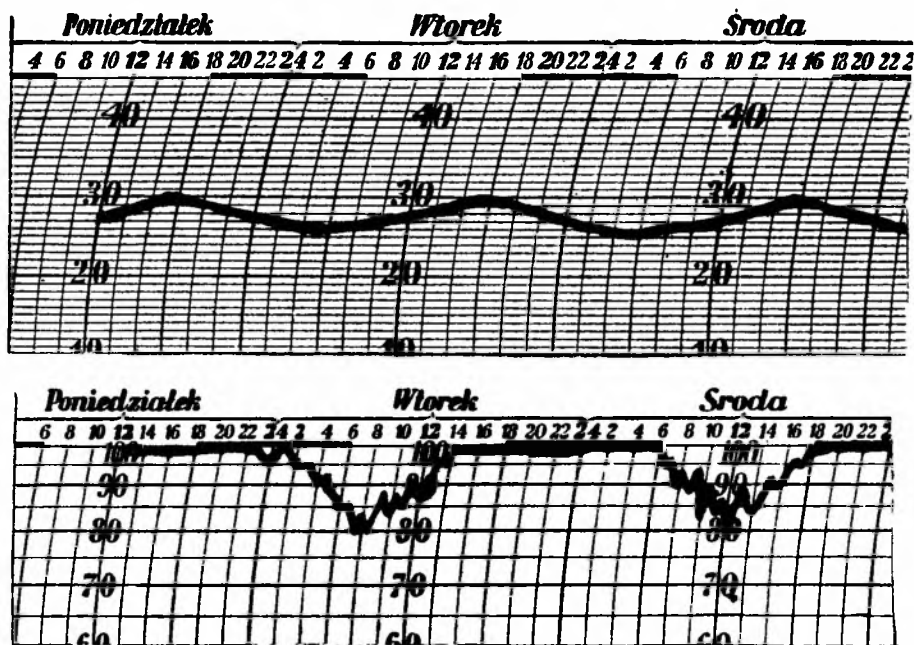
Dla właściwej oceny mikroklimatu pomieszczenia decydujące znaczenie ma znajomość faktu, że na utratę ciepła przez ustrój działają łącznie: temperatura, wilgotność i ruch powietrza oraz promieniowanie ciepłe otoczenia. Obniżenie temperatury powietrza zwiększa, wzrost — zmniejsza utratę bierną ciepła. Duża wilgotność powietrza przy wysokiej jego temperaturze uniemożliwia parowanie potu, a więc hamuje utratę czynną ciepła. Ta sama wilgotność przy niskiej temperaturze, wskutek większego promieniowania ciepła do powietrza wilgotnego pogłębia i tak już zbyt dużą utratę bierną ciepła. Ruch powietrza, zwiększając konwekcję, zwiększa utratę bierną, lecz tylko przy temperaturze powietrza nie przekraczającej ciepłoty ciała ludzkiego. Wreszcie promieniowanie ciepłe od i do otaczających nas przedmiotów, niezależnie od temperatury powietrza, może nas nagrzewać, o ile temperatura ich jest



Ryc. 4.

Absencja chorobowa w fabryce w zależności od warunków cieplnych otoczenia (wg Bedford)

wyższa od temperatury naszego ciała, względnie oziębiać, gdy stosunek ten jest odwrotny. Omawiane cechy fizyczne otaczającej atmosfery działają na gospodarkę ciepłą ustroju ludzkiego jednocześnie, wpływy ich mogą się wzajemnie znosić lub sumować, a różne ich kombinacje mogą dać ten sam efekt cieplny w stosunku do naszego ciała.



Ryc. 5.

Temperatura i wilgotność powietrza w tkalni, w lecie. A. — termogram; B — higrogram. (wg danych Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi)

Zwykle dla określenia warunków cieplnych otoczenia używa się wyłącznie termometru Celsiusza, który oznacza nam tylko temperaturę powietrza. Jest to jednak nie wystarczające, zwłaszcza wtedy, gdy któryś z czynników klimatycznych działa szczególnie silnie, co często się zdarza w przemyśle. Lekarz przemysłowy powinien więc zapoznać się z najprostszymi metodami określenia całości mikroklimatu pomieszczeń do pracy, aby móc prawidłowo ocenić łączny wpływ poszczególnych właściwości klimatycznych na ustrój ludzki. Powinien także dysponować elementarną aparaturą w tym zakresie.

POMIARY TEMPERATURY POWIETRZA

Wykonujemy je zwykłym termometrem ze skalą Celsiusza, rtęciowym lub alkoholowym, z podziałką co najmniej co $0,5^{\circ}$ C. Nie wymaga to specjalnego omówienia. Ważne jest jedynie, aby termometr taki był spraw-

dzony przez porównanie z dokładnym termometrem wzorcowym, żeby w czasie dokonywania pomiaru był osłonięty przed promieniowaniem cieplnym od silnie nagranych przedmiotów oraz żeby był luźno zawieszony w powietrzu, nie stykając się z żadnymi przedmiotami.

POMIARY WILGOTNOŚCI POWIETRZA

Wilgotnością powietrza nazywamy zawartość pary wodnej w powietrzu. Zawartość ta może osiągać pewną wartość maksymalną, stałą

Tablica 1

Maksymalna prężność pary w mm słupa rtęci i zawartość pary wodnej w 1 m³ powietrza w gramach przy temperaturze od — 10 do + 40° C.

t°	Prężność pary wodnej w mm Hg	Para wodna w g/m ³	t°	Prężność pary wodnej w mm Hg	Para wodna w g/m ³
— 10	2,0	2,1	+ 14	11,9	12,0
— 8	2,4	2,7	+ 15	12,7	12,8
— 6	2,8	3,2	+ 16	13,5	13,6
— 4	3,3	3,8	+ 17	14,4	14,5
— 2	3,9	4,4	+ 18	15,5	15,1
— 0	4,6	4,9	+ 19	16,4	16,2
+ 1	4,9	5,2	+ 20	17,4	17,2
+ 2	5,3	5,6	+ 21	18,5	18,2
+ 3	5,7	6,0	+ 22	19,7	19,3
+ 4	6,1	6,4	+ 23	20,9	20,4
+ 5	6,5	6,8	+ 24	22,2	21,5
+ 6	7,0	7,3	+ 25	23,6	22,9
+ 7	7,5	7,7	+ 26	25,0	24,2
+ 8	8,0	8,1	+ 27	26,5	25,6
+ 9	8,6	8,8	+ 28	28,1	27,0
+ 10	9,2	9,4	+ 29	29,8	28,6
+ 11	9,8	10,0	+ 30	31,6	30,5
+ 12	10,4	10,6	+ 35	41,8	39,3
+ 13	11,2	11,3	+ 40	54,9	50,7

dla danej temperatury — mówimy wówczas o wilgotności maksymalnej (F) albo o całkowitym nasyceniu powietrza parą wodną. F określa się w gramach pary wodnej na m³ powietrza lub wielkością parcyjnego ciśnienia pary wodnej w powietrzu wyrażonego w mm słupa rtęci, przy czym wielkości te, jako stałe przy danych temperaturach odczytujemy z tablic (Tabl. 1.).

Tę ilość pary wodnej, która w danej chwili znajduje się w powietrzu, wyrażoną w g/m^3 powietrza lub przez określenie jej prężności w mm Hg, nazywamy wilgotnością bezwzględną (A). Stosunek A do F wyrażony w procentach i określający nam stopień nasycenia danego powietrza parą wodną nazywamy wilgotnością względną (R).

A zatem:

$$R = \frac{A}{F} 100\% \quad 1$$

Oznaczenia wilgotności powietrza dokonuje się za pomocą psychrometru. Składa się on z dwóch jednakowych termometrów. Zbiornik rtęci jednego z termometrów (tzw. termometr wilgotny) otoczony jest batysem, który zwilża się wodą destylowaną. Następuje parowanie wody z batystu tym intensywniejsze, im mniejsza jest zawartość pary wodnej w powietrzu, czyli im mniejsza jest wilgotność powietrza. Ponieważ parowanie wody odbywa się zawsze kosztem ciepła (tzw. ciepło parowania), które jest pochłaniane z rtęci termometru wilgotnego, termometr ten będzie pokazywał temperaturę niższą niż termometr suchy, i to tym niższą, im silniejsze będzie parowanie, a więc im mniejsza jest wilgotność powietrza. Przy maksymalnej wilgotności powietrza na obu termometrach nie stwierdzimy żadnej różnicy temperatur.

Po ustaleniu się temperatur na termometrze wilgotnym i suchym oznaczamy wilgotność bezwzględną wg następującego wzoru:

$$A = F_1 - \alpha (t - t_1) B \quad 2$$

gdzie:

- A — wilgotność bezwzględna w mm Hg;
- F_1 — wilgotność maksymalna w temperaturze termometru wilgotnego (t_1) w mm Hg;
- α — stały współczynnik psychrometryczny;
- t — temperatura termometru suchego w $^{\circ}\text{C}$;
- t_1 — temperatura termometru wilgotnego w $^{\circ}\text{C}$;
- B — ciśnienie barometryczne *) w mm Hg.

$$B = 760 - \frac{x}{11}$$

gdzie: B — przeciętne ciśnienie barometryczne w danej miejscowości w mm Hg;

X — wysokość n. p. m. w metrach;

11 — wysokość w m słupa powietrza, którego ciśnienie równa się ciśnieniu 1 mm słupa Hg;

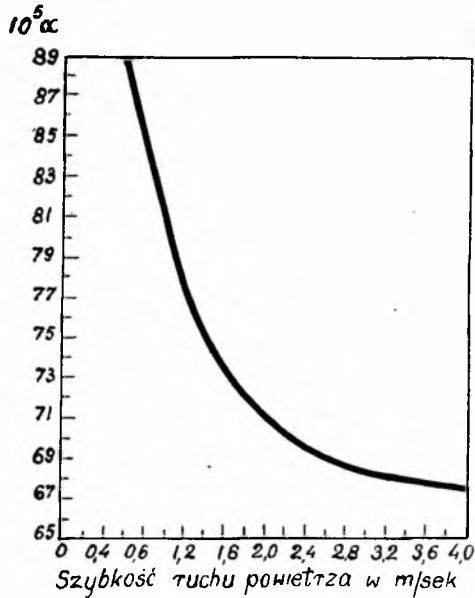
760 — ciśnienie n. p. m. w mm Hg.

*) Na ogół przyjmuje się przeciętne ciśnienie barometryczne w danej miejscowości, zależne od wysokości nad poziomem morza (n. p. m.):

A zatem wilgotność względna będzie wynosiła (w ‰):

$$R = \frac{A}{F} = \frac{F_1 - \alpha (t - t_1) B}{F} 100 \quad 3$$

Wielkość współczynnika α zależy od szybkości ruchu powietrza, co wpływa na szybkość parowania i zmienia warunki cieplne w otoczeniu psychrometru. Wartości α dla różnych szybkości ruchu powietrza przedstawia Tabl. 2. i ryc. 6.



Ryc. 6.

Wartości współczynnika psychrometrycznego " α " w zależności od szybkości ruchu powietrza (wg Sorokina)

Dla uniezależnienia się od zmiennych szybkości ruchu powietrza używa się tzw. psychrometru procowego (ryc. 7). Są to takie same dwa termometry (suchy i wilgotny) umieszczone w ruchomej oprawie. Przyrząd w czasie pomiaru wprawiamy w ruch obrotowy (1 obrót na sekundę) osiągając stały, równomierny przepływ powietrza wokół psychrometru z szybkością ok. 2 m/sec. Współczynnik psychrometryczny (α) przy tej szybkości ruchu powietrza wynosi 0,0007 (Tabl. 2.).

Psychrometr procowy jest najdokładniejszym, poza metodą wagową, przyrządem do oznaczania wilgotności powietrza.*) Przy oznaczeniach należy zwrócić uwagę, aby batyst termometru wilgotnego był całkowicie

*) Równie dokładnym psychrometrem jest tzw. psychrometr Assmana.

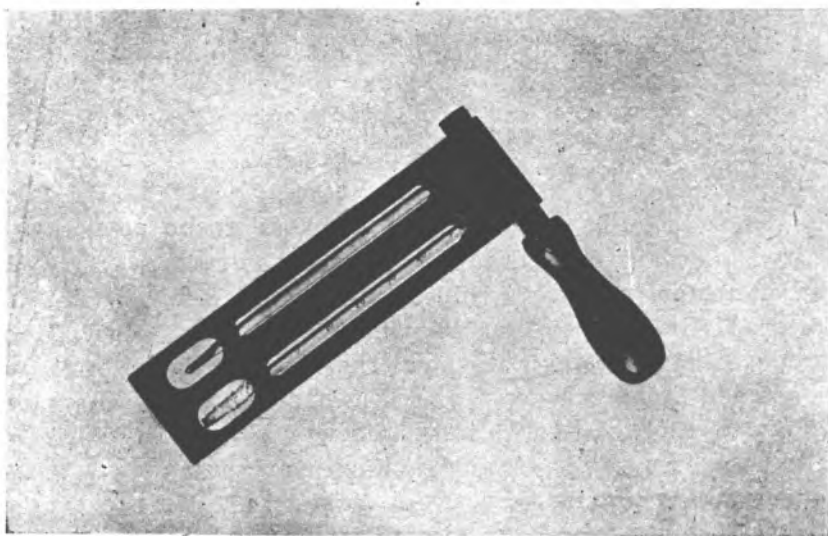
Tablica 2

Wartości współczynnika psychrometrycznego (α) przy różnych szybkościach ruchu powietrza (wg Bursztejna)

Szybkość ruchu powietrza w m/sek	Współczynnik α
0,13	0,00130
0,16	0,00120
0,20	0,00110
0,30	0,00100
0,40	0,00090
0,80	0,00080
2,30	0,00070
3,00	0,00069
4,00	0,00067

zwilżony wodą destylowaną, a w przypadku dokonywania pomiarów w t niższej od 0^0 C, aby był całkowicie pokryty cienką warstewką lodu. Aby pomiar był miarodajny, co najmniej dwa kolejne odczyty powinny ściśle zgadzać się z sobą. Termometry w psychrometrze powinny mieć podziałkę co najmniej co $0,5^0$ C i powinny być sprawdzane.

Po obliczeniu bezwzględnej wilgotności powietrza (A) i odczytaniu z tablic wilgotności maksymalnej (F) łatwo jest wg wzoru (1) ozna-



Ryc. 7.
Psychrometr procowy



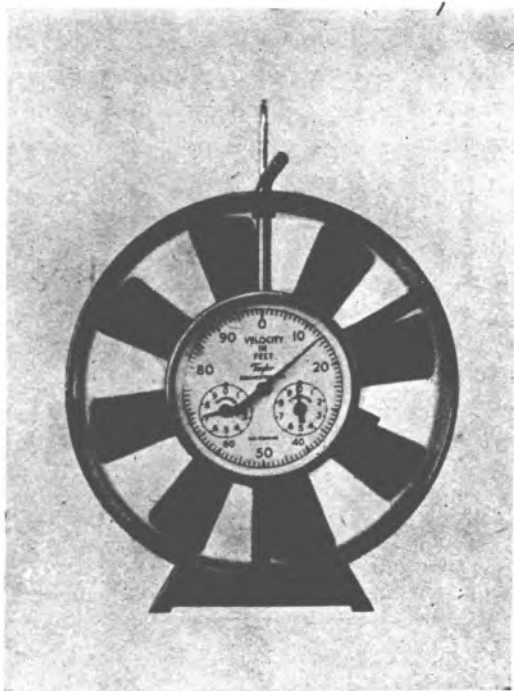
czyć wilgotność względną (R) powietrza. Istnieją również dla każdego typu psychrometru specjalne tablice psychrometryczne, z których, znając temperatury termometru wilgotnego i suchego, można od razu odczytać wilgotność względną.

Istnieją jeszcze inne typy przyrządów służących do oceny wilgotności powietrza, np. higrometry włosowe lub higrometry kondensacyjne, jednak ustępują one psychrometrowi procowemu w dokładności pomiarów i są bardziej skomplikowane w budowie oraz trudniejsze w użyciu.

POMIARY SZYBKOŚCI RUCHU POWIETRZA

Ruch powietrza dość znacznie zwiększa bierną utratę ciepła wskutek wzmożenia konwekcji, oczywiście o ile temperatura powietrza nie przekracza 37°C — w wyższych bowiem temperaturach ustrój będzie się od powietrza nagrzewał.

Do mierzenia dużych szybkości jednokierunkowego ruchu powietrza, rzędu m/sek, używa się anemometrów różnych typów (ryc. 8).



Ryc. 8.
Anemometr



Przeważnie są to wiatraczki o stałym oporze zaopatrzone w licznik obrotów. Z liczby obrotów w jednostce czasu można łatwo obliczyć szybkość ruchu powietrza. Nie nadają się one jednak do mierzenia szybkości prądów wirujących.



Ryc. 9.
Katatermometr

Znacznie dokładniejszym przyrządem, a jednocześnie łatwiej dostępnym jest **katatermometr** (ryc. 9). Jest to termometr alkoholowy o dużej powierzchni zbiornika, który dzięki temu dość szybko się nagrzewa i dość szybko traci względnie duże ilości ciepła. Na skali zwykle są oznaczone punkty odpowiadające 38°C i 35°C . Ilość ciepła, jaką traci katatermometr ochładzając się od 38°C do 35°C — jest wielkością stałą, zmienia się jedynie czas ochładzania w zależności od cieplnych cech otaczającego powietrza. Stałą ilość ciepła, którą traci 1 cm^2 powierzchni przyrządu przy ochładzaniu od 38°C do 35°C wyrażoną w milikaloriach na cm^2 nazywamy **faktorem katatermometru** (F). Wielkość ta charakteryzuje dany przyrząd i musi być oznaczona empirycznie (w elektrokalorymetrze). Szybkość utraty ciepła przez katatermometr przy ochładzaniu od 38°C do 35°C określoną w milikaloriach na cm^2 i na sekundę otrzymujemy przez podzielenie faktuora (F) przez czas ochładzania (θ) i zależy ona od temperatury i szybkości ruchu powietrza. A zatem:

$$H = \frac{F}{\theta} \quad \dots \dots \dots 4$$

gdzie:

H^* — szybkość ochładzania (milikal/ cm^2 sek);

F — faktor katatermometru (milikal/ cm^2);

θ — czas ochładzania przyrządu od 38°C do 35°C w sekundach.

Ponieważ szybkość ochładzania jest proporcjonalna do różnicy między temperaturą (t) danego ciała a temperaturą (t_0) otaczającego powietrza, przeto:

$$H = \frac{F}{\theta} = K(t - t_0) \quad \dots \dots \dots 5$$

gdzie:

t — temperatura katatermometru (średnio $36,5^{\circ}\text{C}$, przy ochładzaniu od 38°C do 35°C);

t_0 — temperatura powietrza w $^{\circ}\text{C}$;

K — współczynnik proporcjonalności.

*) Wartość „ H ” nazywa się również „ochładzającą siłą atmosfery”.

Zatem:

$$H = \frac{F}{\Theta} = K (36,5 - t_0) \dots\dots\dots 6$$

Współczynnik proporcjonalności K zależy od szybkości ruchu powietrza (v):

$$K = a + b \sqrt{v} \dots\dots\dots 7$$

gdzie:

v — szybkość ruchu powietrza w m/sek,

a współczynniki a i b wynoszą:

przy $v < 1$ m/sek: $a = 0,20$; $b = 0,40$;

przy $v > 1$ m/sek: $a = 0,13$; $b = 0,47$;

Po podstawieniu do równania (5) otrzymamy:

$$H = \frac{F}{\Theta} = (a + b \sqrt{v}) \cdot (36,5 - t_0) \dots\dots\dots 8$$

$$\text{skąd: } v = \left[\frac{\frac{F}{\Theta (36,5 - t_0)} - a}{b} \right]^2 \text{ (m/sek)} \dots\dots\dots 9$$

$$\text{albo: } v = \left[\frac{\frac{H}{36,5 - t_0} - a}{b} \right]^2 \text{ (m/sek)} \dots\dots\dots 10$$

W celu wykonania pomiaru należy katatermometr podgrzać (np. w gorącej wodzie), tak aby alkohol wypełnił 1/3 górnej bańki przyrządu, następnie osuszyć dokładnie zbiornik z alkoholem i zawiesić katatermometr swobodnie, lecz nieruchomo lub — lepiej — umocować w statywie. Następnie za pomocą stopera lub sekundnika należy oznaczyć dokładnie czas ochładzania od 38° C do 35° C. Pomiar zwykle wykonuje się 5-krotnie, pierwszy wynik odrzuca się, a z pozostałych czterech oblicza się średnią arytmetyczną, która dopiero daje właściwy czas ochładzania (*Gajworonski i Awerkijew*).

Ponieważ zwykły katatermometr dokładnie określa szybkość ruchu powietrza tylko w tym wypadku, jeśli kierunek prądu powietrznego jest prostopadły do długiej osi przyboru, a poza tym można go używać tylko w temperaturach poniżej 35° C, w Instytucie Higieny w Leningradzie opracowano nowe typy katatermometrów (ryc. 10), w których zbiornik z alkoholem ma kształt kulisty o średnicy 25—27 mm oraz istnieją 3 rodzaje skal: 1) normalna, dla pomiarów w średnich temperaturach z podziałką od 40° do 20° C, 2) z podziałką od 20° C do 0° C dla niskich temperatur i 3) z podziałką od 55° C do 40° C dla temperatur powietrza przewyższających 40° C. Faktor w tych katatermometrach (Φ) oznacza liczbę milikalorii, którą traci 1 cm² powierzchni zbiornika przy ochładzaniu o 1° C (*Bursztejn*).

Metodyka oznaczania szybkości ruchu powietrza jest taka sama jak przy zwykłym katatermometrze. Czas ochładzania mierzy się między

dowolnymi dwoma punktami skali katatermometru. Siła chłodząca atmosfery (H) wynosi:

$$H = \frac{\Phi (Q_1 - Q_2)}{\theta} \quad (11)$$

gdzie

H — siła ochładzająca powietrza (milikal/cm² sek.);

Φ — faktor katatermometru (milikal/cm² — przy ochładzaniu o 1° C);

Q₁ i Q₂ — górna i dolna granica odczytu na skali katatermometru w °C;

θ — czas ochładzania w sekundach.

W bardzo niskich lub wysokich temperaturach, a także przy szybkich wahaniach temperatury oraz gdy zależy nam na specjalnie dokładnym pomiarze, oznacza się tzw. momentalną ochładzającą siłę powietrza „gt” (wg Kondratiewa):

$$gt = m \Phi (Q - t) \quad (12)$$

gdzie:

gt — momentalna siła ochładzająca atmosfery przy temperaturze ochładzania ciała równej 36,5° C i przy temperaturze powietrza równej t° C;

Φ — faktor katatermometru;

Q — temperatura ciała przyjęta za 36,5° C;

t — temperatura otaczającego powietrza w °C;

m — tempo ochładzania, obliczane wg następującego wzoru:

$$m = \frac{\ln (Q_1 - t) - \ln (Q_2 - t)}{T} \quad (13)$$

gdzie:

m — tempo ochładzania;

Q₁ i Q₂ — górna i dolna granica odczytu na skali katatermometru w °C;

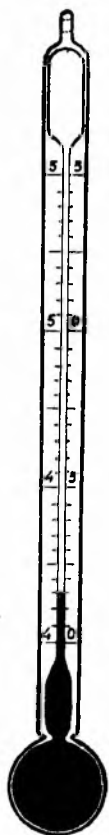
t — temperatura powietrza w °C;

T — czas ochładzania katatermometru od Q₁ do Q₂ w sekundach.

Podstawiając wartość H z wzoru (11) lub wartość „gt” z wzoru (12) zamiast H do wzoru (10) możemy bardzo dokładnie obliczyć szybkość ruchu powietrza, przy czym zamiast wyrażenia (36,5° — t_o) przyjmujemy $\frac{(Q_1 + Q_2)}{2} - t_o$. A zatem:

$$v = \left[\frac{\frac{H}{\frac{Q_1 + Q_2}{2} - t_o} - a}{b} \right]^2 \quad (\text{m/sek}) \quad (14^*)$$

*) Dla szybkości ruchu powietrza poniżej 1 m/sek współczynniki „a” i „b” wynoszą w przybliżeniu: 0,255 i 0,355.



Ryc. 10.
Katatermometr
w modyfikacji
Leningradzkiego
Instytutu
Higieny

Jeżeli mamy oznaczyć szybkość ruchu powietrza w miejscach, gdzie istnieją silne źródła promieniowania ciepłego, posługujemy się katatermometrem z posrebrzonym zbiornikiem (*Bedford, Bursztejn*). Wpływ promieniowania na ochładzanie się przyrządu jest wtedy zmniejszony do minimum. Szybkość powietrza obliczamy wg wzoru (10) przyjmując $a = 0,01$ i $b = 0,508$.

Do niedawna uważano, że katatermometr, ochładzając się w granicach od 38°C do 35°C traci ciepło zależnie od promieniowania, przewodnictwa i konwekcji, podobnie jak ciało ludzkie, i może być miernikiem biernej utraty ciepła z ustroju. Sądzone, że prawidłową bierną utratę ciepła przy pracy nie wymagającej wysiłku zabezpieczają takie warunki klimatyczne, w których siła ochładzająca katatermometru ($H = \frac{F}{\theta}$) wynosi ok. 5—6 milikal./cm² sek. Dla oceny całokształtu warunków utraty ciepła przez ciało ludzkie, a więc i dla oceny utraty czynnej stosowano tzw. katatermometr wilgotny, tj. zwykły katatermometr owinięty zwilżoną tkaniną. Za prawidłowe warunki klimatyczne przyjmowano takie, w których siła ochładzająca mierzona katatermometrem wilgotnym wynosiła ok. 18 milikal./cm² sek. Rychło jednak stwierdzono, że paralelizm między utratą ciepła przez ciało ludzkie i katatermometr istnieje tylko w wąskim pasie średnich temperatur i znika, gdy któryś z czynników warunkujących stan klimatyczny powietrza zaczyna odbiegać od norm fizjologicznych. Wynika to z istnienia w ustroju ludzkim fizjologicznych mechanizmów czynnie regulujących gospodarkę ciepłą, czego, oczywiście, nie posiada katatermometr dający nam tylko fizyczną, a nie fizjologiczną ocenę warunków atmosferycznych. Dlatego też obecnie zwykłego katatermometru używamy niemal wyłącznie do określania szybkości ruchu powietrza, a katatermometr wilgotny został całkowicie zarzucony.

Katatermometr jest przyrządem prostym, który może być wykonany w każdym warsztacie wyrabiającym termometry i posiadającym dokładne przyrządy do oznaczania temperatury. Trudność może przedstawiać jedynie oznaczanie faktora katatermometru. Z przybliżeniem do 10% (*Ignatjew*) można oznaczyć faktor wg wzoru:

$$F = 0,27 Q \theta \quad \dots \dots \dots 15$$

gdzie:

F — faktor katatermometru;

Q — $36,5^{\circ} - t$ (t — temperatura otaczającego powietrza w $^{\circ}\text{C}$);

θ — czas ochładzania katatermometru w sekundach.

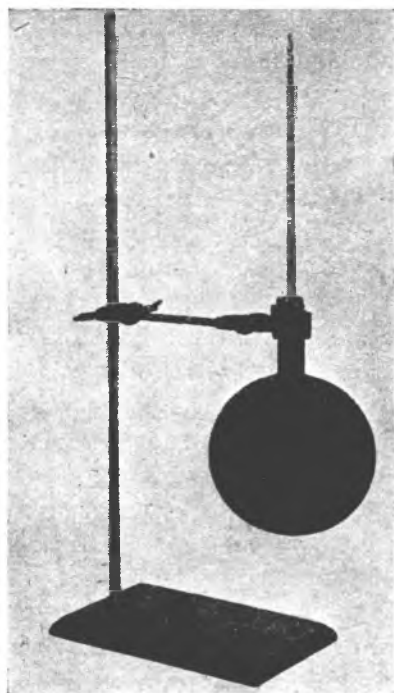
Oznaczanie F powinno odbywać się w zamkniętej przestrzeni, w spokojnym powietrzu o stałej temperaturze w granicach 10°C — 20°C . Metodyka pomiarów jest taka sama jak przy oznaczaniu siły chłodzącej powietrza.



Można również oznaczyć F przez wykonanie serii jednoczesnych pomiarów siły chłodzącej powietrza w ściśle tych samych warunkach za pomocą 2 katatermometrów, z których jeden ma dokładnie oznaczony faktor. Znając siłę chłodzącą powietrza nie trudno jest obliczyć faktor drugiego katatermometru, skoro dany jest jego czas ochładzania (Θ). Oznaczenie powinno się odbywać również w zamkniętej przestrzeni o idealnie spokojnym powietrzu i o stałej temperaturze.

POMIARY PROMIENIOWANIA CIEPLNEGO

W zwykłych warunkach, gdy temperatura przedmiotów w otoczeniu człowieka (ścian, sprzętów itp.) niewiele odbiega od temperatury powietrza, dla oceny jakości klimatu wystarczy określić omówione już



Ryc. 11.
Termometr kulisty

czynnikami (temperaturę, wilgotność i ruch powietrza). Jeżeli jednak w otoczeniu znajdują się przedmioty silnie nagrzane albo b. chłodne, lub też gdy temperatura otoczenia znacznie odbiega, obojętne w jakim kierunku, od temperatury naszego ciała, utrata ciepła przez urządzenie pozostaje pod silnym wpływem promieniowania cieplnego, przy czym mo-

żemy przez promieniowanie tracić ciepło do chłodniejszego otoczenia lub zyskiwać je, jeśli temperatura otoczenia przewyższa temperaturę naszego ciała.

Aby więc móc uwzględnić wpływ promieniowania cieplnego na całokształt cech klimatycznych atmosfery warunkujących naszą gospodarkę ciepłą, należy ocenić jego wielkość.

Dla oznaczenia całej wielkości promieniowania ciepłego w danym miejscu używa się licznych przyrządów, z których najprostszym, a jednocześnie dostatecznie dokładnym jest termometr kulisty Ver-
 nona (ryc. 11). Składa się on z kuli wykonanej z cienkiej blachy mied-
 zianej, poczernionej, aby chłoneła całe promieniowanie ciepłe, we-
 wnętrzu której umieszczony jest termometr tak, aby zbiornik jego znaj-
 dował się ściśle w środku kuli. Wielkość promieniowania ciepłego wy-
 nosi (Bedford):

[illegible]

gdzie:

 H_n — wielkość promieniowania cieplnego;

T_o — temperatura ciała promieniującego, w tym przypadku średnia temperatura przedmiotów w otoczeniu, w skali temperatury bezwzględnej;

T_1 — temperatura termometru kulistego w skali temperatury bezwzględnej;

K — empirycznie określony współczynnik ($K = 10^{-9}$).

Z chwilą ustalenia się temperatury na termometrze kulistym można przyjąć, że efekt promieniowania cieplnego na ten termometr równoważy się z efektem cieplnym konwekcji, tzn. termometr ten tyle ciepła zyskuje lub traci przez promieniowanie, ile traci lub zyskuje przez konwekcję. Wielkość tę również można obliczyć ze wzoru (*Bedford*):

[illegible]

gdzie:

H_k — wielkość efektu cieplnego konwekcji;

 v — szybkość ruchu powietrza;

t_1 — temperatura termometru kulistego ($T_1 = t_1 + 273^\circ$);

t_p — temperatura powietrza;

k — empirycznie określony współczynnik ($k = 0,032$); przy czym $H_p = H_k$

Przez porównanie tych równań (16 i 17) możemy obliczyć średnią temperaturę promieniującego otoczenia:

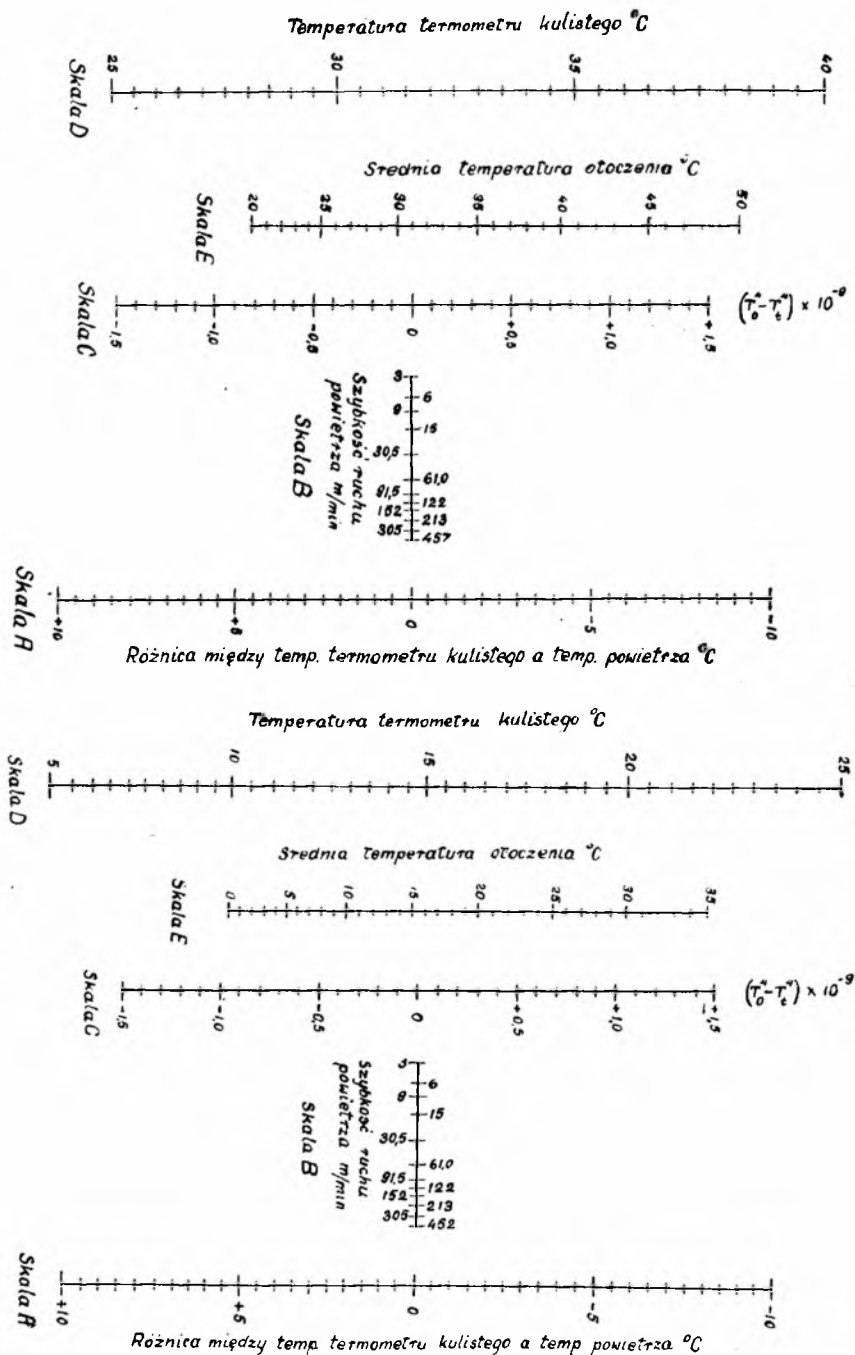
$$T_0^4 \cdot 10^{-9} = T_t^4 \cdot 10^{-9} + 0,032 \sqrt{v(t-t_p)} \quad . \quad . \quad . \quad 18$$

przy czym:

T_0 — średnia temperatura promieniującego otoczenia w skali temperatury bezwzględnej w $^{\circ}\text{C}$;

T_t — temperatura termometru kulistego w skali temperatury bezwzględnej w °C; *)

*) Aby otrzymać średnią temperaturę promieniującego otoczenia w normalnej skali temperatur Celsjusza (t_0) należy od T_0 odjąć 273°.



Ryc. 12.

Skala do oznaczania średniej temperatury otoczenia za pomocą termometru kulistego. I — dla temperatur od 5° do 25°. II — dla temperatur od 25° do 40°. Objaśnienie w tekście (wg Bedforda)

- v — szybkość ruchu powietrza w m/min;
 t_t — temperatura termometru kulistego w °C;
 t_p — temperatura powietrza w °C.

Średnią temperaturę promieniującego otoczenia (t_o) można łatwo określić wg załączonego nomogramu (ryc. 12). Na linii A oznaczamy punkt odpowiadający różnicy temperatur między temperaturą termometru kulistego a temperaturą powietrza i łączymy go linią prostą z punktem odpowiadającym oznaczonej katatermometrem szybkości ruchu powietrza (linia B). Linia ta na przedłużeniu swym przecina linię C. Łącząc ten punkt przecięcia z punktem odpowiadającym temperaturze termometru kulistego na linii D, otrzymamy na linii E średnią temperaturę promieniującego otoczenia (t_o lub T_o).

Znając t_o lub T_o możemy oznaczyć wielkość promieniowania cieplnego (H_p) wg wzoru (16). Wynosi ona:

$$H_p = 0,078 \cdot 10^{-9} (T_o^4 - T_t^4) \quad \dots \quad 19$$

gdzie:

- H_p — wielkość promieniowania w kal./cm² min;
 T_o i T_t — jak w poprzednich wzorach.

Pomiar przeprowadza się przez ustawienie na statywie termometru kulistego w miejscu, gdzie chcemy oznaczyć wielkość promieniowania cieplnego. Po 20—30 minutach oznacza się temperaturę termometru kulistego, tak aby dwa kolejne odczyty pokrywały się z sobą. Przyrząd, podobnie jak ciało ludzkie, reaguje na sumaryczny efekt cieplny promieniowania padającego ze wszystkich stron.

Istnieją jeszcze inne metody oznaczania wielkości promieniowania cieplnego lub średniej temperatury promieniującego otoczenia, np. za pomocą 2 katatermometrów, z których jeden ma srebrny zbiornik i prawie całkowicie odbija promieniowanie, a zbiornik drugiego jest czarny i prawie całkowicie pochłania je (*Dufton*). Różnica w sile chłodzącej powietrza oznaczonej jednocześnie jednym i drugim katatermometrem da nam wielkość promieniowania cieplnego w danym miejscu w milikaloriach na cm² i na sekundę, skąd możemy obliczyć średnią temperaturę promieniującego otoczenia *).

OCENA ŁĄCZNEGO WPŁYWU CECH FIZYCZNYCH ATMOSFERY NA GOSPODARKE CIEPLNĄ USTROJU

Jak już podano, dla oceny mikroklimatu nie wystarczy oznaczenie jednego czynnika klimatycznego, np. samej temperatury powietrza. Z tego względu nie można poprzestawać jedynie na pomia-

*) Do dokładnych pomiarów zwłaszcza promieniowania pochodzącego z pojedynczego, określonego źródła używa się przyrządów zwanych ogólnie aktinometrami, częstokroć o b. złożonej budowie i trudnych w obsłudze. W naszym Zakładzie używamy solarymetru *Gorczyńskiego*.

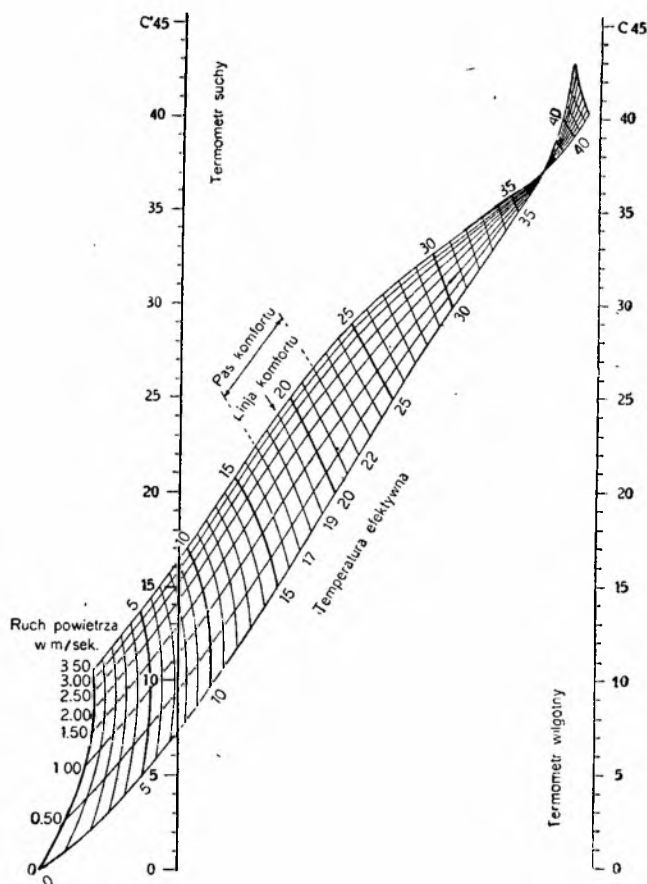
rach dokonanych suchym termometrem. Katatermometry suchy i wilgotny również okazały się nieprzydatne do tego celu, gdyż nie reagując na warunki cieplne tak jak żywy ustrój, który posiada mechanizmy regulujące utratę ciepła, nie odzwierciedlały dostatecznie procesów wymiany cieplnej zachodzącej między ciałem ludzkim a otoczeniem. Zagadnienie próbowano zatem rozwiązać w inny sposób. W komorze klimatycznej, tj. w pomieszczeniu, gdzie można było wytwarzać dowolne warunki klimatyczne, a więc temperaturę, wilgotność i ruch powietrza, umieszczano ludzi i polecano im oceniać subiektywne odczucie ciepła wg następującej skali: (Tabl. 3.).

Tablica 3
Skala odczuwania ciepła przez ludzi

Uczucie ciepła	Nr skali
bardzo gorąco	1
gorąco	2
przyjemnie ciepło	3
przyjemnie	4
przyjemnie chłodno	5
zimno	6
bardzo zimno	7

Okazało się (Yaglou), że przy różnych kombinacjach czynników klimatycznych uczucie ciepła lub zimna mogło być takie same u większości badanych osób. Odczucie cieplne w różnych warunkach klimatycznych odpowiadające określonej temperaturze powietrza przy 100% wilgotności i idealnie spokojnym powietrzu nazwano temperaturą efektywną (T. ef.). Oznacza się ją w stopniach temperatury efektywnej. Zatem T. ef. = 15° oznacza odczucie ciepła przez ustrój we wszelkich możliwych kombinacjach temperatury, wilgotności i ruchu powietrza, odpowiadającego odczuciu ciepła przy temp. powietrza 15°, wilgotności 100% i 0 m/sek. szybkości ruchu powietrza. Temperaturę efektywną oznaczamy z odpowiednich tablic lub, prościej, wg załączonego nomogramu (ryc. 13).

Temperatura efektywna ma tę wadę, że nie uwzględnia promieniowania cieplnego. W takich więc warunkach, gdzie to promieniowanie odgrywa znaczniejszą rolę, nie jest ona właściwym wskaźnikiem utraty ciepła przez ustrój.



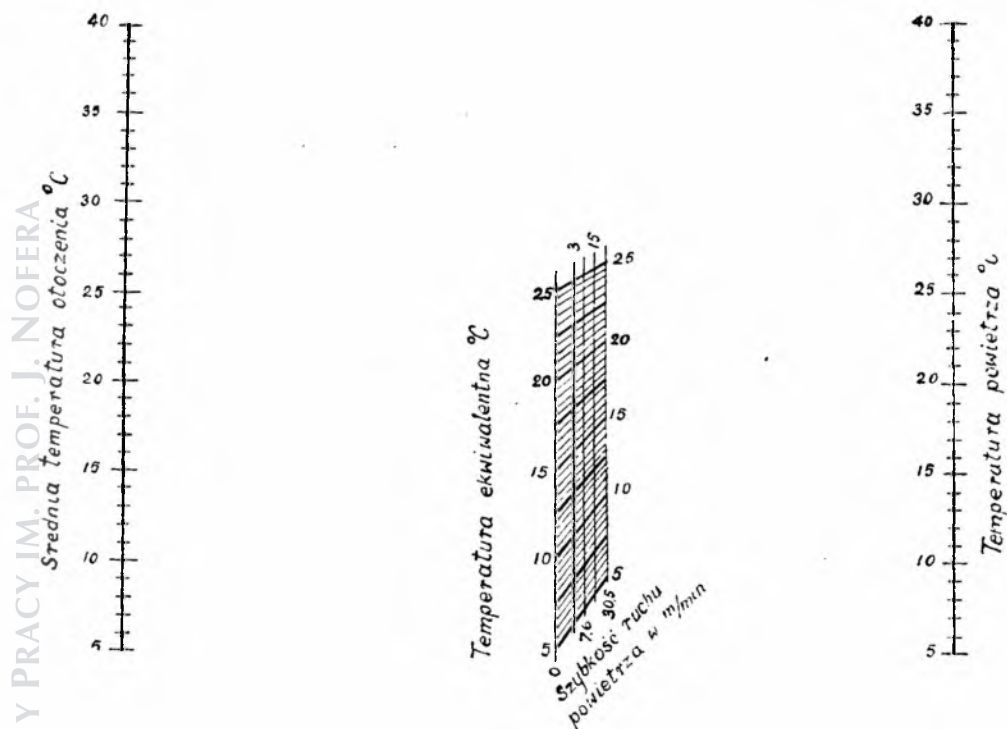
Ryc. 13.

Skala temperatur efektywnych. W punkcie przecięcia linii odpowiadającej danej szybkości ruchu powietrza z linią łączącą punkty odpowiadające temperaturom termometru wilgotnego i suchego, otrzymujemy właściwą wartość T. ef. (wg Yaglou).

Effekt cieplny zależny od temperatury, szybkości ruchu powietrza i wielkości promieniowania ciepłego ujęto w tzw. skali temperatur ekwiwalentnych (Dufton, Bedford, ryc. 14).

Do pomiaru używa się suchego termometru (temperatura powietrza), katatermometru, najlepiej z posrebrzonym zbiornikiem, aby wyeliminować wpływ promieniowania ciepłego na pomiar (szybkość ruchu powietrza) i termometru kulistego Vernona (wielkość promieniowania ciepłego). Można również zamiast termometru kulistego użyć średniej temperatury promieniującego otoczenia, ocenionej za pomocą jakiegokolwiek innego przyrządu. Ponieważ jednak temperatura ekwiwalentna

nie uwzględnia wpływu wilgotności powietrza na gospodarkę cieplną ustroju, nie nadaje się ona do oceny mikroklimatu tam, gdzie stopień nasycenia powietrza parą wodną zaczyna wydatnie wpływać na utratę ciepła, a więc w temperaturach wysokich, kiedy ustrój uruchamia mechanizm czynnej utraty ciepła oraz wówczas, gdy niezależnie od temperatury powietrza mamy wysoką wilgotność.



Ryc. 14.

Skala temperatur ekwiwalentnych. W punkcie przecięcia linii odpowiadającej danej szybkości ruchu powietrza z linią łączącą punkty odpowiadające średniej temperaturze otoczenia i temperaturze powietrza otrzymujemy właściwą wartość temperatury ekwiwalentnej. Średnią temperaturę otoczenia odczytujemy za pomocą diagramu na ryc. 9. (wg Bedforda)

Próbowano zastosować inne metody łącznej jakości mikroklimatu. Vernon i Warner zaproponowali poprawkę do skali temperatur efektywnych, polegającą na zastąpieniu pomiarów wykonywanych termometrem suchym przez pomiary wykonywane termometrem kulistym. Na ryc. 10. zatem, na linii temperatur termometru suchego oznaczałoby się punkty odpowiadające wartościom odczytanym na termometrze kulistym. Ta, tzw. poprawiona temperatura efektywna,

uwzględnia wprowadzie wielkość promieniowania cieplnego łącznie z wilgotnością i szybkością ruchu powietrza, jednak nie ma w niej miejsca dla wartości określających właściwą temperaturę powietrza. Mimo to daje ona na ogół dokładniejsze wyniki niż temperatura efektywna.

Wreszcie *Bedford* podał równanie, w którym ujęto wszystkie czynniki wpływające na wymianę ciepła między ustrojem a otoczeniem. Oznacza on wartość liczbową "S" będącą wskaźnikiem odczucia ciepła, przy czym:

$$S = 7,55 - 0,10008 t_p - 0,09684 t_o - 0,0372 A + 0,00469 \sqrt{v} (37,8 - t_p) \quad 20$$

gdzie:

- t_p — temperatura powietrza w $^{\circ}\text{C}$;
- t_o — średnia temperatura promieniującego otoczenia w $^{\circ}\text{C}$;
- A — wilgotność bezwzględna w mm Hg;
- v — szybkość ruchu powietrza w m/minutę.

Dla prawidłowej utraty ciepła przez ciało człowieka normalnie ubranego, nie wykonującego pracy fizycznej, "S" powinno wynosić ok. 4. *)

Porównanie poszczególnych metod łącznej oceny jakości mikroklimatu przeprowadzono przez oznaczenie współczynników korelacji między odczuwaniem ciepła a wynikami różnych sposobów mierzenia tego odczucia (Tab. 4.) w temperaturze powietrza do 24° .

Jak widać z Tabl. 4., w warunkach, gdy wilgotność powietrza nie odgrywa decydującej roli w utracie ciepła (w temperaturze powietrza poniżej 24°) najlepszą metodą oceny jest temperatura ekwiwalentna, względnie wartość "S" lub temperatura termometru kulistego. Poprawiona tem-

Tablica 4.

Współczynniki korelacji między subiektywnym odczuciem ciepła a różnymi metodami oceny mikroklimatu (wg *Bedforda*)

Korelacja między odczuciem ciepła a:	Współczynnik korelacji
temp. ekwiwalentna	$0,52 \pm 0,010$
wartość „S” Bedforda	$0,51 \pm 0,010$
temp. termometru kulistego	$0,51 \pm 0,010$
temp. efektywna	$0,48 \pm 0,010$
siła ochładzająca mierzona katatermometrem suchym	$0,43 \pm 0,011$
temp. skóry dłoni jako wskaźnik odczuwania ciepła	$0,36 \pm 0,010$

peratura efektywna, jak wykazały badania *Bedforda* w r. 1946 na okrętach, ma być równie wartościowa jak trzy wyżej wymienione metody.

*) Przy "S" < 4. mikroklimat jest zbyt gorący, przy S > 4 — zbyt chłodny.

Przy wilgotności powietrza powyżej 75% lub w temperaturze powietrza przekraczającej 24° można się posługiwać temperaturą efektywną lub, lepiej, poprawioną temperaturą efektywną, względnie wartością "S".

KOMFORT ATMOSFERYCZNY

Pod pojęciem komfortu atmosferycznego rozumie się taki zespół cech fizycznych atmosfery (temperatury, wilgotności, szybkości ruchu powietrza i wielkości promieniowania ciepłego), w którym jest zapewniona właściwa fizjologiczna utrata ciepła z ustroju. Wszystkie z opisanych metod oceny warunków klimatycznych mają głównie na celu określenie tzw. pasa komfortu, tj. dolnej i górnej granicy wskaźników efektu ciepłego zachodzącego między ustrojem a atmosferą, poniżej których następuje nadmierne oziębienie ustroju, a powyżej — przegrzanie. Oczywiście, pojęcie pożądanego pasa komfortu jest pojęciem względnym. Przede wszystkim zależy ono od wykonywanej pracy — im intensywniejsza jest praca fizyczna, tym więcej ciepła wytwarza się w ustroju, tym większa musi być utrata ciepła i tym niżej należy przesunąć dolną granicę pasa komfortu. Dużą rolę odgrywa również sposób ubierania się, gdyż odzież nie dopuszczając do bezpośredniego kontaktu skóry z otaczającą atmosferą w znacznym stopniu modyfikuje sposób i wielkość oddawania ciepła. Niższą będzie dolna granica pasa komfortu dla osób ubranych niż dla obnażonych. Pewne znaczenie ma również aklimatyzacja, tj. przyzwyczajanie się ustroju do określonych warunków klimatycznych i nastawienie mechanizmów regulujących gospodarkę ciepłą ustroju na określoną wielkość utraty ciepła. Dla osób więc przywykłych do przebywania w ciepłym klimacie należy podnieść górną granicę pasa komfortu, a np. w zimie kiedy warunki meteorologiczne stwarzają chłodny klimat, powinno się obniżyć dolną granicę. Na ogół używa się norm najlepiej zabezpieczających warunki cieplne dla osób lekko ubranych, nie wykonujących intensywnej pracy fizycznej (normy dla pomieszczeń mieszkalnych), przy czym niekiedy rozróżnia się pas komfortu zimowego i letniego.

W Tabl. 5. podano przeciętne normy komfortu atmosferycznego bez uwzględnienia warunków szczególnych, wg różnych metod oznaczania cech mikroklimatu. Są to granice efektu ciepłego, między którymi 50% badanych osób czuło się dobrze pod względem własności klimatycznych powietrza.

Normy podane w Tabl. 5. nie uwzględniają przede wszystkim wykonywanego wysiłku fizycznego i sposobu ubierania się. Poza tym nie uwzględniają aklimatyzacji do warunków klimatycznych wynikających z położenia geograficznego danego terenu oraz przyzwyczajień ludności w tym

Tablica 5

Normy komfortu atmosferycznego przy różnych metodach oceny mikroklimatu (wg Bedforda)

Metoda oznaczania efektu cieplnego	Pas komfortu	
	zimowy	letni
temp. ekwiwalentna	14,5 ⁰ – 20 ⁰	granice pasa
temp. termometru kulistego	16,5 ⁰ – 20 ⁰	komfortu powinno
temp. efektywna	14 ⁰ – 17,5 ⁰	się podnieść o
zwykły, suchy termometr	15,5 ⁰ – 20 ⁰	3 ⁰ do 4 ⁰
wartość "S"		
siła chłodząca atmosfery mierzona katatermometrem suchym	ok. 4 – 5 milikal. / cm ² sek.	
siła chłodząca atmosfery mierzona katatermometrem wilgotnym	ok. 18 milikal. / cm ² sek.	

zakresie (np. przyzwyczajenie do używania pieców lub kominków, a więc do ciepła konwekcyjnego lub promieniującego itp.), jak również szczególnych warunków, istniejących niekiedy np. w przemyśle, gdy jeden z czynników klimatycznych występuje nadmiernie intensywnie.

Aby jeszcze lepiej dostosować mikroklimat pomieszczeń w zakładach przemysłowych do fizjologicznych potrzeb ustroju, w Związku Radzieckim opracowano normy temperatury powietrza, jego wilgotności i temperatury efektywnej przy różnych warunkach klimatycznych powietrza zewnętrznego, zależnie od ciężkości wykonywanej pracy oraz od czasu przebywania robotnika w danym pomieszczeniu (czas aklimatyzacji). Normy te przedstawia Tabl. 6., 7. i 8. (na podstawie danych W. W. Muchina).

Tablica 6

Normy dla mikroklimatu pomieszczeń w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego, dla ludzi pozostających w spokoju i przebywających od 1 do 3 godzin w pomieszczeniu

Temperatura powietrza zewnętrznego	Mikroklimat pomieszczenia		
	temp. powietrza	wilgotność względna	temp. efektywna
35,0 ⁰	26,7 ⁰	45%	22,8 ⁰
32,2 ⁰	25,6 ⁰	45%	22,2 ⁰
29,4 ⁰	24,7 ⁰	50%	21,7 ⁰
26,7 ⁰	23,9 ⁰	50%	21,1 ⁰
24,2 ⁰	23,1 ⁰	55%	20,6 ⁰
21,4 ⁰	22,2 ⁰	60%	20,0 ⁰
20,0 ⁰	21,5 ⁰	70%	19,4 ⁰
w zimie	20,0 ⁰	35% – 70%	17,2 ⁰ – 18,5 ⁰



Tablica 7

Współczynniki dla oznaczenia temperatury efektywnej w zależności od ciężkości wykonywanej pracy. Komfort atmosferyczny dla osób pozostających w spokoju oznaczono jako a^0 T. ef. (wielkość "a" zależy od temperatury powietrza zewnętrznego. — Tab. 6.).

Wykonywana praca	Temperatura efektywna
spokój	a
lekka praca	a . 0,92
średnia praca	a . 0,90
ciężka praca	a . 0,83

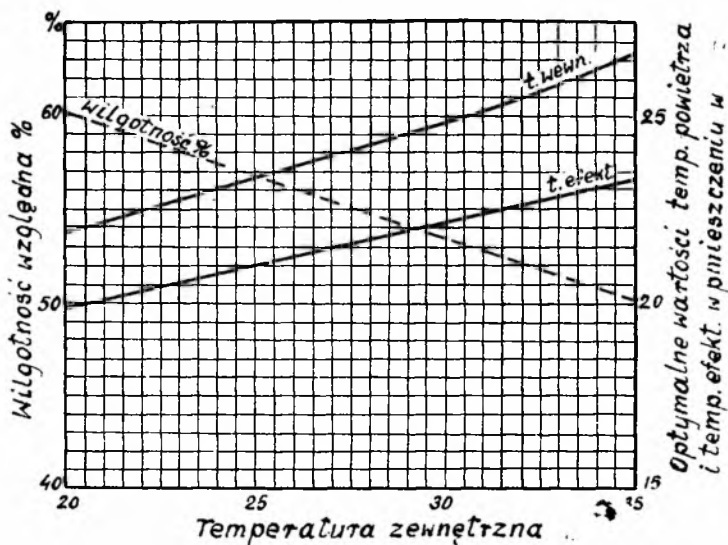
Tablica 8

Współczynniki dla oznaczenia temperatury efektywnej w zależności od czasu przebywania ludzi w pomieszczeniu. Komfort atmosferyczny dla osób przebywających od 1 do 3 godz. oznaczono jako a^0 T. ef. (wielkość "a" zależy od temperatury powietrza zewnętrznego. — Tabl. 6.).

Czas przebywania w pomieszczeniu (aklimatyzacja)	Temperatura efektywna	
	lato	zima
poniżej 1 godz.	a . 1,04	a . 0,94
1 — 3 godz.	a	a
powyżej 3 godz.	a . 0,97	a . 1,01

Jak widać w powyższych tablic, oraz z ryc. 15., normy radzieckie dostosowują ściśle warunki klimatu wewnątrz do różnych czynników wpływających na gospodarkę cieplną ustroju. Można się nimi posługiwać pod różnymi szerokościami geograficznymi, w różnych porach roku i w różnych gałęziach przemysłu. Uzupełnione w niektórych szczególnych przypadkach specjalnymi pomiarami (np. pomiarami silnego promieniowania cieplnego w hutach) mogą prawdopodobnie spełniać rolę uniwersalnych wskaźników dla oceny mikroklimatu pomieszczeń również i w naszych warunkach.

Podane powyżej normy jakości mikroklimatu mają dla lekarza przemysłowego zasadnicze znaczenie orientacyjne. Przekraczanie tych norm, a zwłaszcza ich górnej granicy, z łatwością może stać się niebezpieczne dla zdrowia robotników oraz może szkodliwie wpłynąć na wydajność pracy i wypadkowość w przemyśle.



Ryc. 15.

Diagram do oznaczania optymalnych wartości temperatury efektywnej, temperatury powietrza i wilgotności względnej w pomieszczeniu w zależności od temperatury zewnętrznej (wg Muchina)

PIŚMIENICTWO

Bedford T.: The Measurement of Enviromental Warmth, London, 1937. — Bedford T.: Environmental Warmth and Its Measurement, London, 1946. — Bedford T.: Basic Principles of Ventilation and Heating, London, 1948. — Bursztejn A. J.: Metody sanitarno-gigienicznych issledowanij, Kijew, 1950. — Dufton A. F.: The Use of Katathermometers for the Measurement of Equivalent Temperature; Journal of Hygiene, T. 33, 1933. — Ehrismann O. i Hasse A.: Über die zulässige Arbeitszeit bei hoher Temperatur und Luftleuchtigkeit; Archiv für Geverbepath. und Gewerbehygiene, T. 8., 1938. — Gajworonski J. J. i Awierkijew M. S.: Mieteorotogiczeskij praktikum, Leningrad. 1949. — Gądzikiewicz W.: Metodyka badań higienicznych, Warszawa, 1949. — Gorczyński W.: O pomiarach natężenia promieniowania słonecznego; Gazeta Obserwatora P.I.H.H., 1950. — Ignatow J. K.: Praktyczskie rukowodstwo po mietodikie sanitarno-gigienicznych isselodowanij, Moskwa, 1933.

Muchin W. W.: Kondicionirowanije wozducha, Moskwa, 1950. — Nowakowski B.: Zasady wietrzenia i ogrzewania zakładów pracy, Warszawa, 1935. — Nowakowski B.: Zagadnienie wentylacji w zakładach pracy; Medycyna Pracy, Nr 3, 1951. — Rietschel V.: Podręcznik ogrzewania i wietrzenia, Warszawa, 1950. — Sorokin J. S.: Wientilacija, uwlaźnienije i otoplenije na tiekstilnych fabrikach, Moskwa, 1946. — Yaglou C. P.: The Thermal Index of Atmospheric Conditions and Its Application to Sedentary and to Industrial Life; Journal of Ind. Hyg., Nr 5. 1926. — Vernon H. M.: The Measurement of Radiant Heat in Relation to Human Comfort; Journal of. Physiol., T. 70, 1930. — Vernon H. M. i Warner C. G.: The Influence of the Humidity of the Air on Capacity of Work at High Temperatures; Journal of Hygiene, T. 32, 1932.