ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: GÓRNICTWO z.188

Jan DRENDA
Instytut Techniki Eksploatacji Złóż
Politechnika Śląska w Gliwicach

ANALIZA I OCENA DYSKOMFORTU CIEPLNEGO PRACOWNIKÓW W ŚRODOWISKACH KOPALŃ GŁĘBOKICH

Streszczenie. W artykule podano dotychczasowe wskaźniki oceny mikroklimatu w środowiskach pracy. Wprowadzono wskaźnik dyskomfortu cieplnego określający stopień szkodliwości warunków klimatycznych w miejscu pracy dla człowieka. Na podstawie wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego określono zakresy bezpiecznych, trudnych i szkodliwych dla zdrowia warunków klimatycznych w miejscu pracy. Przedstawiono zależność wskaźnika dyskomfortu cieplnego pracownika od parametrów mikroklimatu, jak temperatury, wilgotności i prędkości przepływu powietrza. Opracowano nomogram służący do wyznaczania wskaźnika dyskomfortu cieplnego oraz analizy możliwości i efektów poprawy warunków klimatycznych różnymi metodami.

1. WSTĘP

Praca człowieka w każdym środowisku powinna odbywać się w warunkach komfortu cieplnego, w których pracownik odczuwałby zadowolenie z parametrów cieplnych otoczenia. W przodkach kopalń głębokich węgla w Zagłębiu Śląsko-Dąbrowskim i miedzi w Zagłębiu Legnicko-Głogowskim występują trudne warunki klimatyczne i praca ludzi odbywa się w warunkach dyskomfortu cieplnego. Praca w środowiskach ciepłych jest dopuszczalna tylko do pewnych granicznych wartości parametrów mikroklimatu, określonych przez normy klimatyczne. Górnicze normy klimatyczne obowiązujące w Polsce i w innych krajach różnią się między sobą, gdyż oparte są na różnych parametrach oraz wskaźnikach mikroklimatu, jak: temperatura powietrza "t_s", katastopnie "K", temperatura efektywna amerykańska "ATE", temperatura zastępcza francuska "tr". Obecnie w celu określenia mikroklimatu w pomieszczeniach w Polsce i innych krajach obowiązuje norma międzynarodowa oparta na tak zwanym wskaźniku obciążenia termicznego WBGT. [PN-85/N-08011]. Wartości odniesienia wskaźnika WBGT, będące granicznymi wielkościami pozwalającymi na pracę w danym środowisku, zależą od wydatku energetycznego człowieka, jego stanu aklimatyzacji i ubioru.

Wymienione powyżej wskaźniki mikroklimatu, jak ATE, tr, K lub WBGT pozwalają określić liczbowo stan warunków klimatycznych w danych środowiskach, umożliwiają porównywanie mikroklimatów i dokonywanie ich oceny.

Wskaźniki te jednak nie określają bezpośrednio stopnia trudności klimatycznych, jakie stwarza dane środowisko pracującemu człowiekowi, innymi słowy, nie określają tego, jak dalece warunki klimatyczne różnią się od komfortu cieplnego lub warunków niebezpiecznych dla zdrowia.

W artykule wprowadzono wskaźnik, który określa poziom dyskomfortu cieplnego w danych środowiskach, nazwany wskaźnikiem dyskomfortu cieplnego pracownika. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego jest wielkością względną, bezwymiarową lub procentową, służącą do oceny stopnia trudności klimatycznych danego środowiska oddziałującego na człowieka w porównaniu z warunkami komfortu cieplnego.

2. KOMFORT CIEPLNY PRACOWNIKA

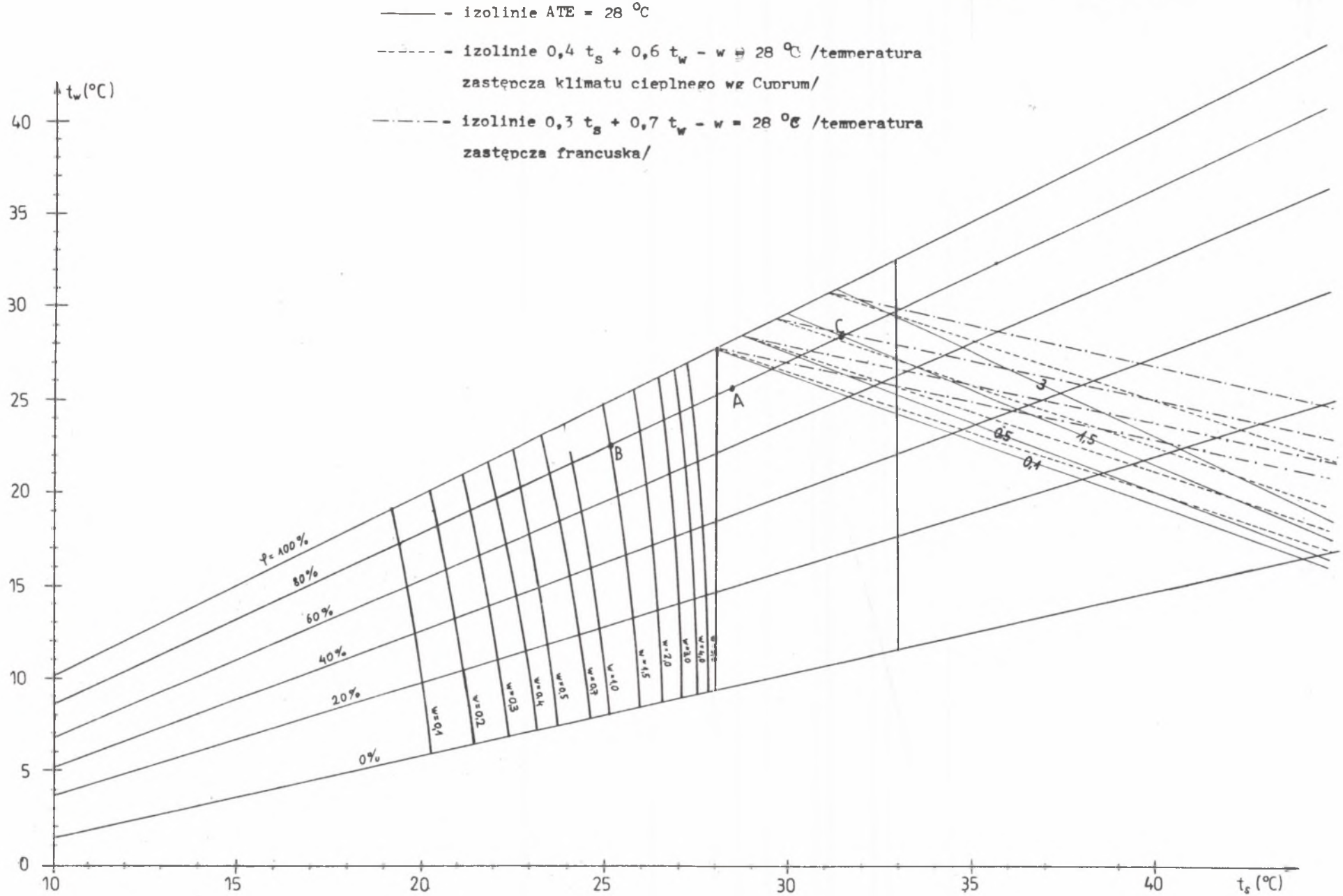
Komfort cieplny człowieka jest to stan zadowolenia z warunków cieplnych środowiska. Na stan komfortu cieplnego pracownika wpływa bardzo wiele czynników. Należą do nich: parametry mikroklimatu (temperatura powietrza, jego prędkość przepływu, wilgotność oraz temperatura promieniowania otoczenia), wydatek energetyczny związany z rodzajem i intensywnością wykonywanej pracy, rodzaj odzieży, stopień aklimatyzacji człowieka w środowiskach ciepłych oraz inne mniej ważne czynniki, jak wiek, kolor skóry itp. Fanger w swojej pracy [1], na podstawie szczegółowych badań i doświadczeń, wyprowadził równanie oraz sporządził wykresy komfortu cieplnego.

Na rys. 1 - przedstawiono krzywe komfortu cieplnego Fangera wyznaczone na podstawie równania komfortu w układzie współrzędnych (t_s, t_w) dla następujących założeń:

- wydatek energetyczny pracownika $M = 175 \frac{W}{m^2}$
- opór cieplny odzieży $f_o = 0$ Clo - człowiek nieubrany
- średnia temperatura promieniowania t_{pr} równa temperaturze powietrza $t_s (t_s = t_{pr})$.

Człowiek odczuwa komfort cieplny, gdy parametry mikroklimatu otoczenia odpowiadają punktom leżącym na krzywych komfortu cieplnego (rys. 1). Punkty leżące poza krzywymi komfortu cieplnego należą do obszaru dyskomfortu cieplnego. Punkty leżące na lewo od danej krzywej komfortu (dla zadanej prędkości przepływu powietrza) charakteryzują środowisko jako chłodne, punkty leżące na prawo od tej krzywej - ciepłe.

Wydatek energetyczny, $M = 175 \frac{W}{m^2}$, nazywany również przyrostem metabolizmu, został przyjęty jako wielkość odpowiadająca pracy górnika w przodku zmechanizowanym. Wydatek ten należy do przedziału wartości wydatków energetycznych odpowiadających pracy umiarkowanej $(130 \div 200 \frac{W}{m^2})$, zgodnie z normą [2].



Rys. 1. Krzywe komfortu cieplnego Fangera dla ludzi nieubranych oraz izolinie temperatury efektywnej amerykańskiej "ATE", temperatury zastępczej wg Cuprum "t_{zk}" oraz temperatury zastępczej francuskiej "t_r" dla przyjętych stałych ich wartości, 28°C. (Wydatek energetyczny pracownika M = = 175 W/m². Temperatura promieniowania równa się temperaturze powietrza)

Fig. 1. Franger's curves of thermal comfort for undressed people. Isolines for American ATE effective temperature, equivalent temperature acc Cuprum "t_{zk}" and French equivalent temperature "t_r" for assumed constant their values, 28°C. (Expenditure of energy by a worker M = 175 W/m². Radiation temperature equals air temperature)

3. WSKAŹNIKI MIKROKLIMATU

Wskaźnikami mikroklimatu środowisk pracy uwzględniającymi wpływ różnych parametrów klimatycznych są:

- amerykańska temperatura efektywna ATE,
- temperatura zastępcza francuska tr,
- temperatura zastępcza klimatu wg Cuprum (propozycja) t_{zk} (wyznaczona na podstawie wskaźnika obciążenia termicznego WBGT),
- wskaźnik obciążenia termicznego WBGT.

Wskaźniki te można wyznaczyć bezpośrednio z nomogramów lub obliczyć na podstawie wzorów empirycznych [1, 2].

Graniczne wartości wyszczególnionych wyżej wskaźników mikroklimatu, określające bezpieczną pracę w środowiksach gorących, są podstawą do ustalania norm klimatycznych.

W artykule w celu wyznaczenia granicznych, bezpiecznych parametrów mikroklimatu przyjęto wartości odniesienia wskaźnika WBGT według normy [2], które są zamieszczone w tablicy 1. Wartości odniesienia w tablicy 1 przyjęte są dla ludzi ubranych w normalną odzież roboczą o oporze cieplnym L = 0,6 Clo w zależności od wydatku energetycznego i aklimatyzacji. Norma przewiduje poprawki w "°C" do wartości odniesienia wskaźnika WBGT w przypadku stosowania innej odzieży, a mianowicie

- szorty + 2°C,
- marynarka - 2°C.

Na podstawie tablicy 1 przyjęto dla pracowników nieubranych, niezaaklimatyzowanych oraz wykonujących pracę o wydatku energetycznym 175 $\frac{W}{m^2}$ wskaźnik odniesienia WBGT = 28°C. Wskaźnik ten określa graniczną wartość temperatury WBGT, powyżej której warunki klimatyczne danego środowiska są niebezpieczne dla zdrowia. Praca o określonym wydatku energetycznym w takich warunkach powinna być zabroniona. Zmniejszenie wydatku energetycznego pracownika poprzez zmniejszenie intensywności pracy lub stosowanie planowych przerw w pracy służących wypoczynkowi, powoduje zmianę wskaźnika odniesienia WBGT.

Wskaźnik obciążenia termicznego WBGT określony jest wzorem:

$$WBGT = 0,7\ t_{nw} + 0,3\ t_g$$

gdzie:

t_{nw} - temperatura wilgotna naturalna mierzona termometrem wilgotnym umieszczonym bezpośrednio w danym środowisku,

t_g - temperatura poczernionej kuli.

Tablica 1

Wartości odniesienia wskaźnika obciążenia termicznego WBGT

Rodzaj pracy	Wydatek energetyczny w odniesieniu do jednostki powierzchni skóry. M (W/m²)	Wartosc odniesienia WBGT			
		Osoba zaaklimatyzowana w środowisku gorącym WBGT °C		Osoba niezaaklimatyzowana w środowisku goracym WBGT °C	
Praca lekka	65 < M < 130	30		29	
Praca umiarkowana	130 < M < 200	28		26	
Praca ciężka	200 < M < 260	Ruch powietrza nieodczuwalny	odczuwalny	Ruch powietrza nieodczuwalny	odczuwalny
		25	26	22	23
Praca bardzo ciężka	M > 260	23	25	18	20

Wskaźnik WBGT, zgodnie z normą [2], może być wyznaczany dla pomieszczeń z wentylacją naturalną. Dopuszczalna jest więc mała prędkość powietrza nie wpływająca na wskazania termometru mierzącego temperaturę wilgotną naturalną. Wskaźnik WBGT, ze względu na pomiar temperatury poczernionej kuli, uwzględnia dodatkowy parametr mikroklimatu, promieniowanie cieplne otoczenia.

Na podstawie badań Cuprum przeprowadzonych w kopalniach miedzi LGOM [3], wyznaczono empiryczny wzór określający tzw. temperaturę zastępczą klimatu "t_{zk}", która zastępuje wskaźnik WBGT w środowiskach z wentylacją wymuszoną:

$$t_{zk} = 0,6\ t_w + 0,4\ t_s - w$$

gdzie:

t_s i t_w - temperatury termometru suchego i wilgotnego mierzone psychrometrem aspiracyjnym,

w - prędkość powietrza w $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Zastąpienie wskaźnika WBGT wskaźnikiem t_{zk} może być realizowane przy założeniu, że temperatura otoczenia jest równa lub zbliżona do temperatury powietrza.

Na rysunku 1 przedstawiono izolinie niektórych wskaźników mikroklimatu, a mianowicie: amerykańskiej temperatury efektywnej ATE, temperatury zastępczej francuskiej t_r oraz temperatury zastępczej klimatu t_{zk}. Izolinie (linie przerywane) wyznaczone są dla stałej granicznej wartości wszystkich trzech wskaźników równej 28°C oraz dla czterech prędkości powietrza ($w=0$; 0,5; 1,5 i 3 $\frac{m}{s}$). Na rysunku tym pokazano również pionowe izolinie temperatur suchych powietrza $t_s = 28°C$ i $t_s = 33°C$ odnoszące się do polskiej normy klimatycznej.

Przebiegi izolinii temperatury efektywnej amerykańskiej, temperatury zastępczej klimatu wg Cuprum oraz temperatury zastępczej francuskiej nie różnią się zbytnio w przedziale dużych wilgotności powietrza ($60\% < \varphi < 100\%$) Dla małych wilgotności powietrza izolinie odbiegają od siebie, przy czym izolinie ATE są bardziej strome od pozostałych, zawężając tym samym obszar parametrów klimatycznych środowiska przyjmowanych jako parametry bezpieczne dla człowieka.

Ze względu na zbliżone przebiegi izolinii wskaźników ATE i t_{zk} (rys.1) można przyjąć, że wskaźnik WBGT równy 28°C może być zastąpiony w kopalni zarówno wskaźnikiem ATE = 28°C, jak i t_{zk} = 28°C. Ponieważ wskaźnik ATE jest wskaźnikiem bardziej uniwersalnym oraz zawierającym większy stopień bezpieczeństwa od pozostałych wskaźników, zwłaszcza dla temperatur wyższych od 28°C i dla małych wilgotności względnych powietrza, powinien mieć większe znaczenie praktyczne.

4. WSKAŹNIK DYSKOMFORTU CIEPLNEGO

Obszar na rys. 1 pomiędzy krzywymi komfortu cieplnego Fangera i odpowiadającymi im (ze względu na prędkość przepływu powietrza) granicznymi izoliniami wskaźników mikroklimatu, jest obszarem dyskomfortu cieplnego, w którym dopuszczalna i bezpieczna jest praca człowieka. Stan oddziaływania warunków dyskomfortu cieplnego na człowieka, zależny od położenia punktu o danych parametrach mikroklimatu w przedziale dyskomfortu, określa tzw. wskaźnik dyskomfortu cieplnego pracownika.

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego jest to stosunek odległości między punktem odpowiadającym parametrom danego środowiska "A" umieszczonym na wykresie komfortu cieplnego Fangera a punktem "B", leżącym na krzywej komfortu cieplnego dla tej samej prędkości powietrza i wilgotności względnej (odcinek AB, rys. 1), do odległości między punktami B i C leżącymi na krzywej komfortu cieplnego i na granicznej izolinii wskaźnika ATE (odcinek BC, rys. 1).

$$\delta = \frac{AB}{BC} \qquad 4.1$$

gdzie:

δ - wskaźnik dyskomfortu cieplnego.

Ponieważ stosunek odcinków AB/BC jest równy stosunkowi ich rzutów na oś odciętych, wskaźnik dyskomfortu δ można obliczyć ze wzoru:

$$\delta = \frac{ATE - ATE_{komf.}}{WBGT_{odn.} - ATE_{komf.}} \qquad 4.2$$

gdzie:

ATE - wskaźnik mikroklimatu w danym środowisku,

$ATE_{komf.}$ - wskaźnik mikroklimatu w warunkach komfortu cieplnego człowieka,

$WBGT_{odn.}$ - wartość odniesienia wskaźnika WBGT wzięta z tabeli 1 [2].

Dla złożonego wydatku energetycznego $M = 175 \frac{W}{m^2}$, ludzi rozebranych i niezaaklimatyzowanych wartość odniesienia wskaźnika WBGT wynosi 28°C.

Wskaźnik dyskomfortu może przybierać wartości dodatnie, ujemne i liczbę 0, charakteryzując dyskomfort środowisk ciepłych, chłodnych oraz określając komfort cieplny. Gdy:

$\delta < 0$ - środowisko chłodne,
$\delta > 0$ - środowisko ciepłe,
$\delta = 0$ - komfort cieplny.

Gdy wskaźnik δ osiągnie wartość 1 lub 100%, oznacza to, że wskaźnik WBGT, ATE, t_r lub t_{zk} mikroklimatu osiągnęły wartości graniczne (odniesienia) dla warunków pracy bezpiecznej dla zdrowia. Dalsze zwiększenie wskaźnika δ powoduje przesunięcie się punktu charakteryzującego mikroklimat poza izolinie wartości granicznych wskaźników mikroklimatu, a więc do obszaru dyskomfortu niebezpiecznego dla zdrowia. Praca w tych warunkach o przyjętym wydatku energetycznym powinna być zabroniona z wyjątkiem akcji ratowniczych.

Dla danego środowiska pracy wskaźnik dyskomfortu może przyjmować różne wartości w zależności od rodzaju pracy, a więc od wydatku energetycznego pracowników. Środowisko, które dla pracy umiarkowanej lub ciężkiej będzie niebezpieczne dla zdrowia, dla pracy lekkiej lub odpoczynku będzie bezpieczne, czyli wskaźnik będzie mniejszy od 1. Wskaźnik dyskomfortu nie określa więc samego mikroklimatu, ale charakteryzuje stopień uciążliwości lub łagodności mikroklimatu w danym środowisku pracy dla człowieka.

5. OCENA WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH W ŚRODOWISKACH PRACY NA PODSTAWIE WSKAŹNIKA DYSKOMFORTU CIEPLNEGO

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ, jako liczba bezwymiarowa lub procentowa, oznacza, jak dalece warunki klimatyczne w danym środowisku odbiegają od warunków komfortowych lub od dyskomfortu niebezpiecznego dla zdrowia. Kiedy wskaźnik dyskomfortu równa się zeru, wtedy w danym środowisku występują komfortowe warunki pracy, gdy δ = 100% warunki klimatyczne w miejscu pracy osiągają poziom warunków niebezpiecznych dla zdrowia.

$\delta = 0$ - komfort cieplny
$0 < \delta < 100\%$ - praca bezpieczna dla zdrowia
$\delta \geqslant 100\%$ - praca niebezpieczna dla zdrowia.

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego "δ" zależy od podstawowych parametrów mikroklimatu, jak:

- temperatury powietrza "t_s",
- wilgotności powietrza "φ",
- prędkości przepływu powietrza "w",
- temperatury ociosów wyrobiska określonej przez tzw. średnią temperaturę promieniowania otoczenia "t_{pr}".

Na rys. 2 przedstawiono nomogramy ABCDEFGH służące do wyznaczania wskaźnika dyskomfortu cieplnego "φ" w zależności od parametrów mikroklimatu, uciążliwości pracy, stopnia zaaklimatyzowania i rodzaju ubioru pracowników.

Nomogramy ABCD sporządzone są dla ludzi nieubranych, natomiast EFGH dla ludzi ubranych w koszulę flanelową i spodnie (opór cieplny odzieży L = 0,6 clo).

Nomogramy A,C,E i G wyznaczone są dla wydatku energetycznego M=175 $\frac{W}{m^2}$ odpowiadającego pracy umiarkowanej w przodkach zmechanizowanych. Nomogramy B,D,F i H, dla pracy ciężkiej o średnim wydatku energetycznym M=230 $\frac{W}{m^2}$

Wszystkie nomogramy wykonane są dla przyjętego założenia, że temperatura promieniowania ociosów równa się temperaturze powietrza.

W zależności od wydatku energetycznego, stopnia zaaklimatyzowania oraz oporu cieplnego odzieży (L=0 clo oraz L=0,6 clo) wyznaczono dla poszczególnych nomogramów A,B,C,D,E,F,G,H wartości odniesienia WBGT z tablicy 1.

Nomogram A (rys. 2A) - WBGTodn. = 28°C
" B (rys. 2B) - WBGTodn. = 25°C
" C (rys. 2C) - WBGTodn. = 30°C
" D (rys. 2D) - WBGTodn. = 28°C
" E (rys. 2E) - WBGTodn. = 26°C
" F (rys. 2F) - WBGTodn. = 23°C
" G (rys. 2G) - WBGTodn. = 28°C
" H (rys. 2H) - WBGTodn. = 26°C

Każdy nomogram składa się ze zbioru wykresów przedstawiających zależność wskaźnika dyskomfortu cieplnego "δ" od temperatury powietrza "t_s" oraz prędkości przepływu powietrza dla stałych założonych trzech wilgotności powietrza "φ".

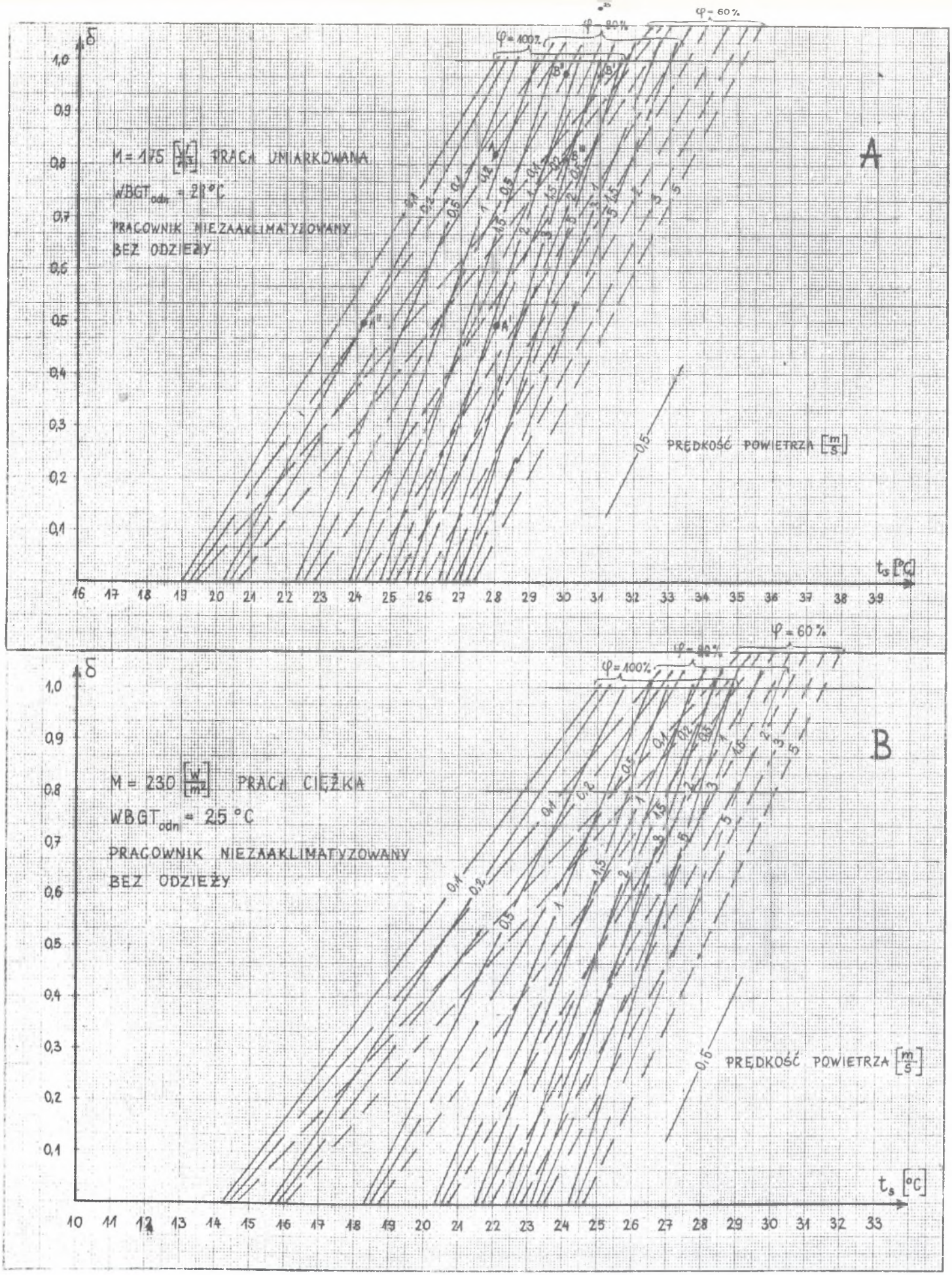
W nomogramach przyjęto następujące wielkości prędkości przepływu powietrza "w" oraz wilgotności względnej "φ":

- prędkości powietrza (0,1; 0,2; 0,5: 1; 1,5; 2; 3; 5) $\frac{m}{s}$
- wilgotności względne powietrza (100; 80; 60)%.

Na osi odciętych naniesiono temperaturę powietrza, a na osi rzędnych wskaźnik dyskomfortu cieplnego. Parametrem linii jest prędkość przepływu powietrza. Na wykresach tych występują trzy wiązki izolinii prędkości powietrza, odpowiadające trzem przyjętym wilgotnościom powietrza po osiem izolinii we wiązce. Razem na każdym wykresie występują 24 izolinie.

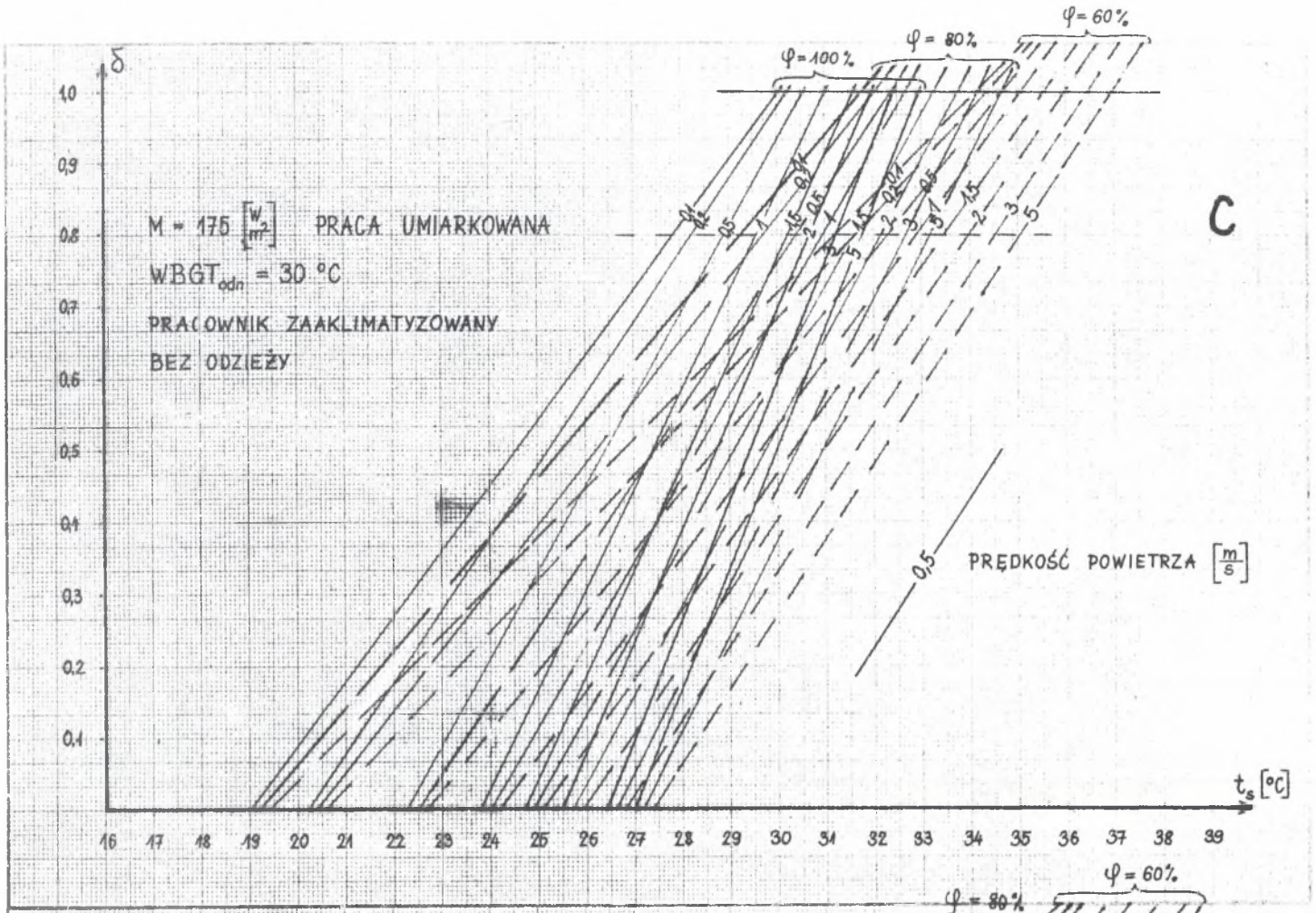
Korzystanie z nomogramów jest następujące: Znając parametry mikroklimatu (t_s, w, φ) z osi odciętych dla "t_s" odnoszącą pionową dochodzimy do odpowiedniej izolinii o znanych parametrach "w" i "φ" zaznaczając punkt x określający parametry danego mikroklimatu. Wielkość wskaźnika dyskomfortu cieplnego dla tego punktu odczytujemy na osi rzędnych po odnoszącej poziomej.

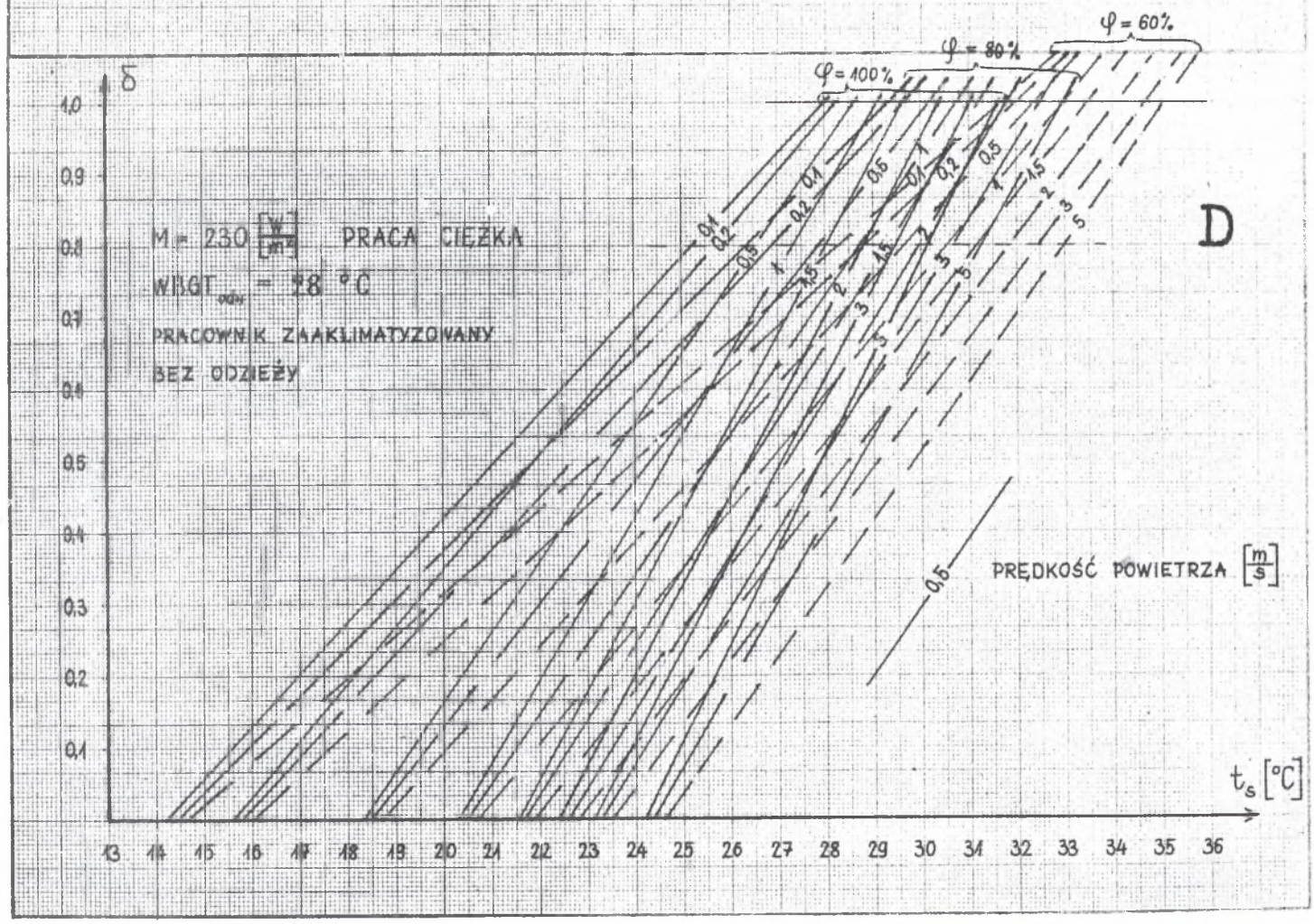
Na wykresach rys. 2 linią poziomą ciągłą zaznaczona jest graniczna wartość wskaźnika dyskomfortu δ = 100%, powyżej której zgodnie z normą PN-85/N-08011, praca jest zabroniona. Linią poziomą przerywaną, zaznaczono wartość wskaźnika dyskomfortu δ = 80% przyjmując, że w przedziale

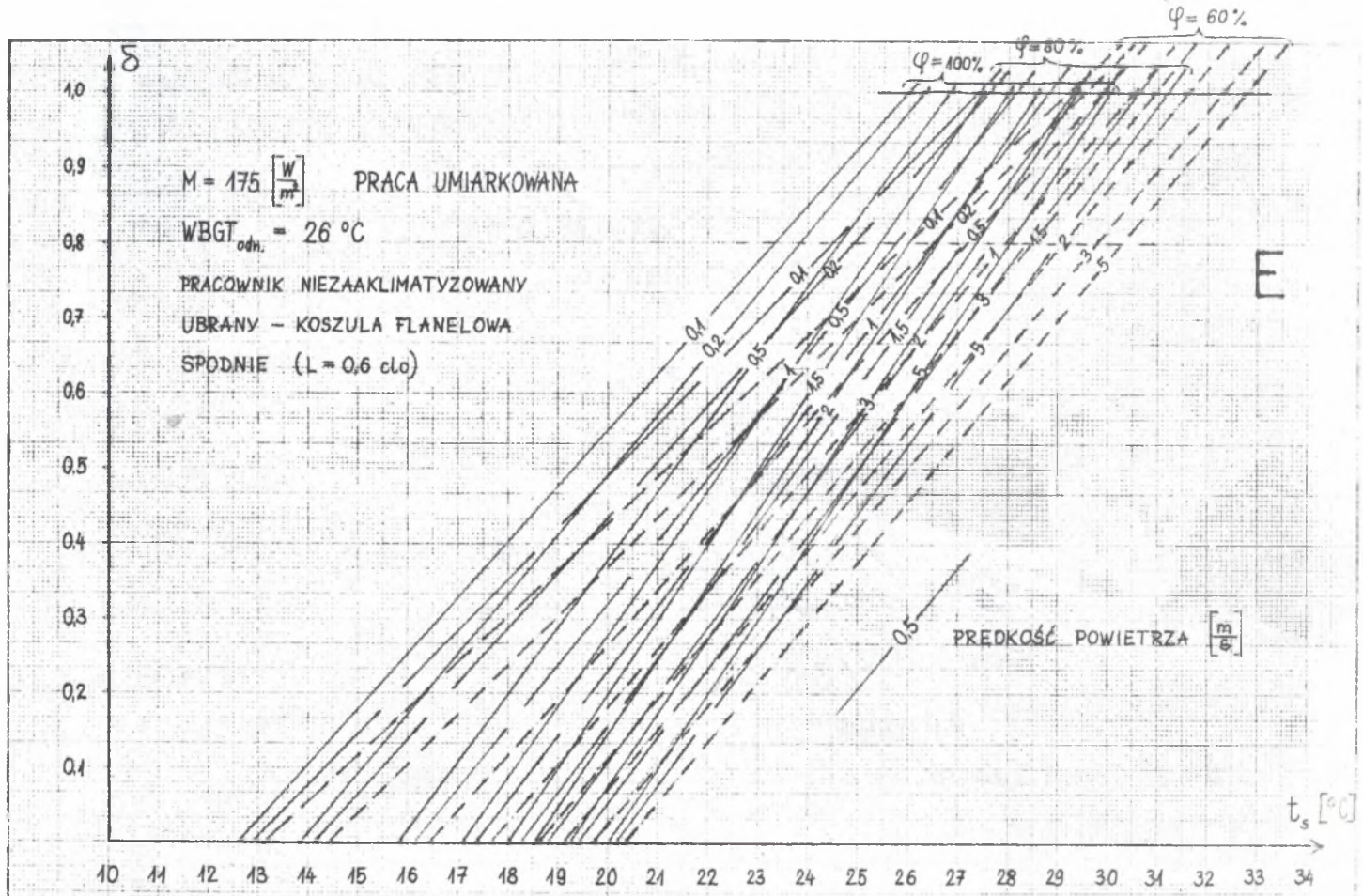


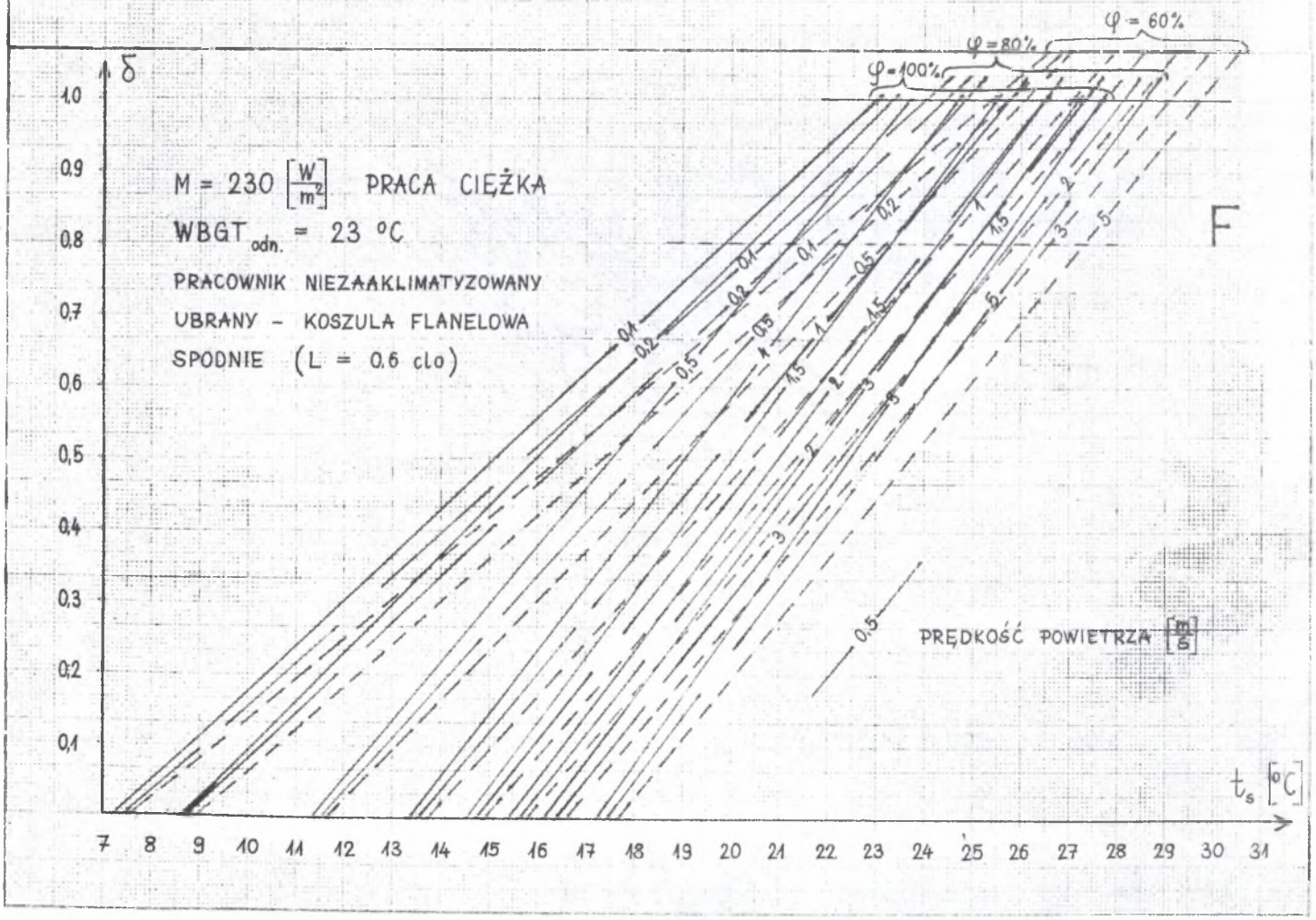
Rys. 2. Nomogramy służące do wyznaczania wskaźnika dyskomfortu cieplnego pracownika w zależności od temperatury powietrza, wilgotności względnej i prędkości powietrza

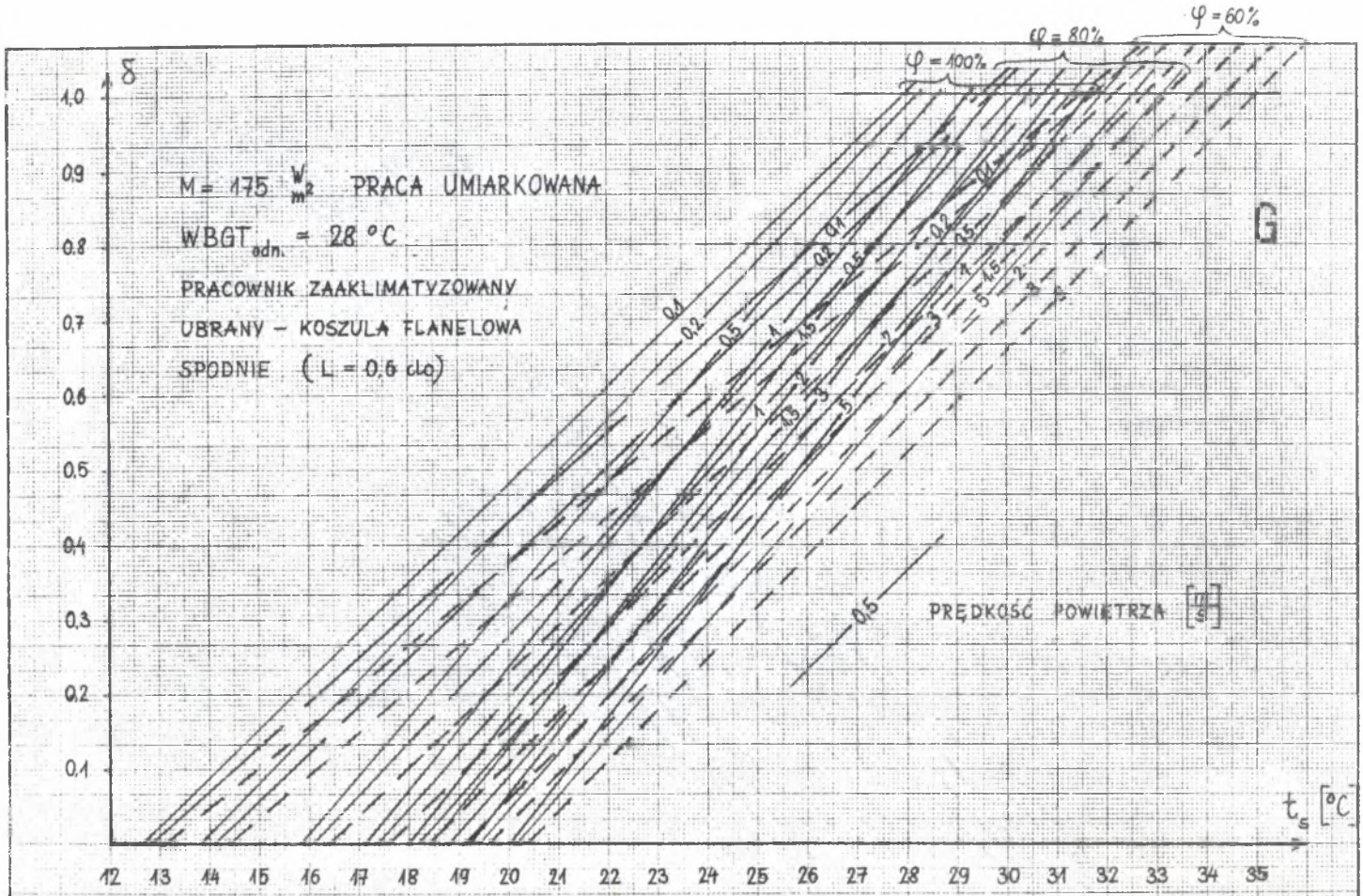
Fig. 2. Nomograph for determining index of thermal discomfort depending on air temperature, relative humidity and air velocity

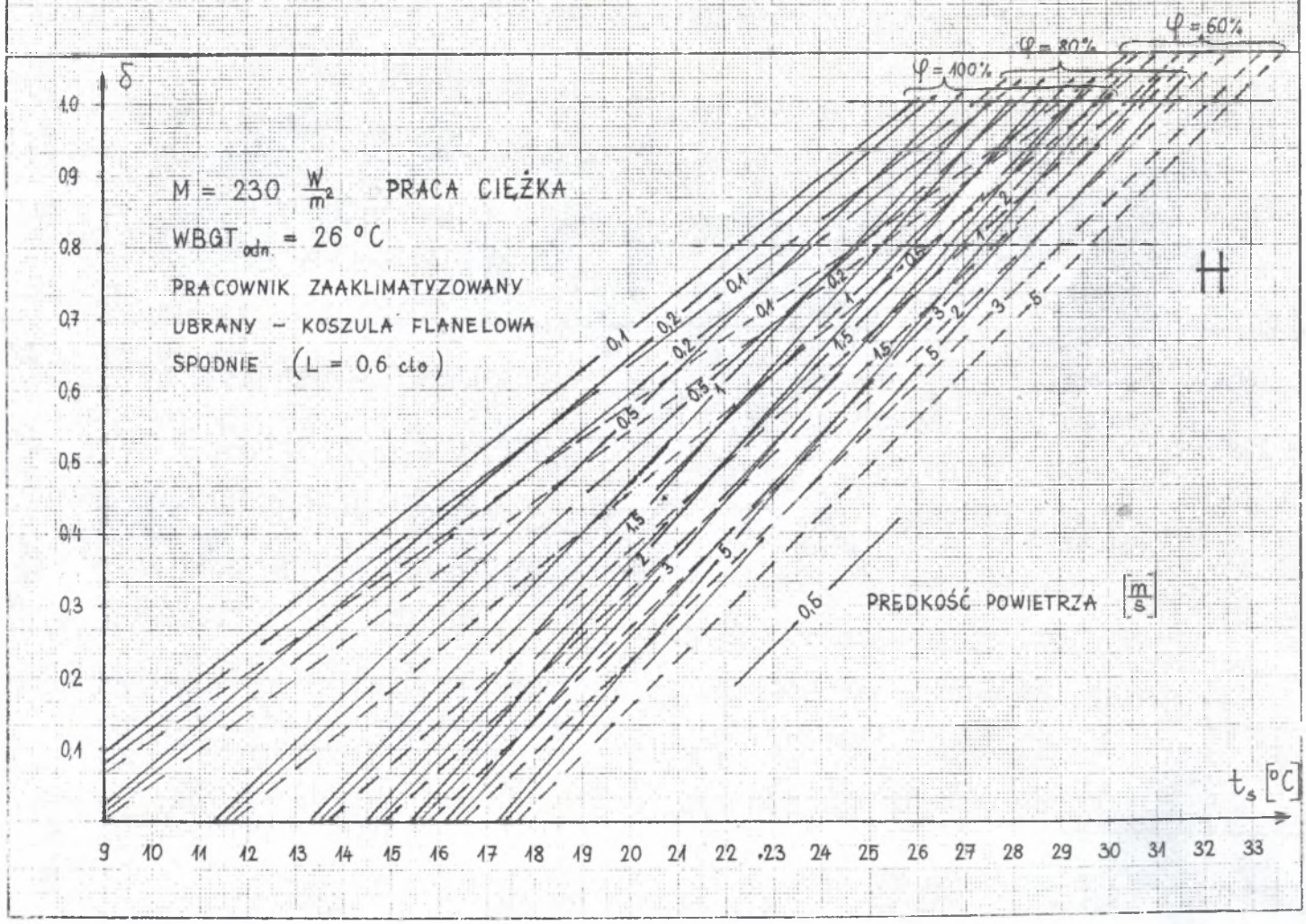

C
M = 175 [W/m²] PRACA UMIARKOWANA
WBGT$_{odn}$ = 30 °C
PRACOWNIK ZAAKLIMATYZOWANY
BEZ ODZIEŻY
φ = 100 %
φ = 80 %
φ = 60 %
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA [m/s]
δ
t$_s$ [°C]


D
M = 230 [W/m²] PRACA CIĘŻKA
WBGT$_{odn}$ = 28 °C
PRACOWNIK ZAAKLIMATYZOWANY
BEZ ODZIEŻY
φ = 100 %
φ = 80 %
φ = 60 %
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA [m/s]
δ
t$_s$ [°C]


δ
M = 175 [W/m²] PRACA UMIARKOWANA
WBGT odn. = 26 °C
PRACOWNIK NIEZAAKLIMATYZOWANY
UBRANY – KOSZULA FLANELOWA
SPODNIE (L = 0,6 clo)
φ = 100%
φ = 80%
φ = 60%
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA [m/s]
E
t_s [°C]


δ
M = 230 [W/m²] PRACA CIĘŻKA
WBGT odn. = 23 °C
PRACOWNIK NIEZAAKLIMATYZOWANY
UBRANY – KOSZULA FLANELOWA
SPODNIE (L = 0,6 clo)
φ = 100%
φ = 80%
φ = 60%
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA [m/s]
F
t_s [°C]


M = 175 W/m² PRACA UMIARKOWANA
WBGT odn. = 28 °C
PRACOWNIK ZAAKLIMATYZOWANY
UBRANY – KOSZULA FLANELOWA
SPODNIE (L = 0,6 clo)
G
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA [m/s]
δ
t_s [°C]
φ = 100%
φ = 80%
φ = 60%


M = 230 W/m² PRACA CIĘŻKA
WBGT odn. = 26 °C
PRACOWNIK ZAAKLIMATYZOWANY
UBRANY – KOSZULA FLANELOWA
SPODNIE (L = 0,6 clo)
H
PRĘDKOŚĆ POWIETRZA [m/s]
δ
t_s [°C]
φ = 100%
φ = 80%
φ = 60%

$80\% < \delta < 100\%$ występują trudne warunki klimatyczne i praca powinna być ograniczona czasowo lub jej intensywność zmniejszona poprzez zmniejszenie planu wydobycia, postępu przodka itp. Jeżeli $\delta < 80\%$, praca może być prowadzona normalnie.

Z nomogramu A wynika, że dla wilgotności powietrza 100% i prędkości przepływu powietrza $0,2 \frac{m}{s}$, a więc nieco wyższej od prędkości minimalnej w kopalniach niemetanowych, trudne warunki klimatyczne, czyli $\delta = 80\%$ rozpoczynają się już dla temperatury $26,5^{o}C$, a niebezpieczne warunki klimatyczne, gdy $\delta = 100$, już od temperatury $28,2^{o}C$.

Dla wilgotności 60% przy tej samej prędkości powietrza $w = 0,2 \frac{m}{s}$, trudne warunki klimatyczne ($\delta = 80\%$) wystąpią w temperaturze $t_s = 29,8^{o}C$, a niebezpieczne ($\delta = 100\%$) w temperaturze $t_s = 32^{o}C$. Powyższy przykład ilustruje dużą rolę wilgotności powietrza w ocenie mikroklimatu w przypadku wysokich temperatur powietrza. W warunkach komfortu cieplnego wilgotność powietrza nie odgrywa dużej roli, co wynika z rys. 1 (krzywe komfortu cieplnego są strome).

Bardzo duży wpływ na mikroklimat w środowiskach o wysokich temperaturach powietrza ma jego prędkość przepływu. Dla przykładu, gdy: $\varphi = 100\%$; i $w = 0,2 \frac{m}{s}$, stuprocentowy dyskomfort uzyskuje się w temperaturze $t_s = 28,2^{o}C$, natomiast dla prędkości maksymalnej $w = 5 \frac{m}{s}$ w temperaturze $35^{o}C$. Wpływ prędkości powietrza na warunki klimatyczne jest więc bardzo duży, co świadczy o tym, że w wielu przypadkach wystarczającą poprawę mikroklimatu można uzyskać tylko metodami wentylacyjnymi.

6. ANALIZA MOŻLIWOŚCI I EFEKTÓW POPRAWY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH RÓŻNYMI SPOSOBAMI

Opierając się na nomogramach przedstawionych na rysunku 2, można dokonać analizy efektów poprawy warunków klimatycznych metodami wentylacyjnymi lub stosując maszyny klimatyzacyjne. Analizę taką pokazano na dwóch przykładach:

Przykład 1

W punkcie A (rys. 2A) środowisko posiada parametry $t_s = 28^{o}C$, $\varphi = 80\%$ $w = 0,2 \frac{m}{s}$. Dla takich parametrów klimatycznych wskaźnik dyskomfortu pracującego górnika z wydatkiem energetycznym $M = 175 \frac{W}{m^2}$ wynosi ponad 80%. W przodku tym zwiększono prędkość powietrza do $w = 1,5 \frac{m}{s}$ (pkt. A'), bez zmiany temperatury powietrza i wilgotności, i wskaźnik dyskomfortu wyniósł 50%. Wzrost tylko prędkości powietrza zmniejszył prawie dwukrotnie wskaźnik dyskomfortu, czyli znacznie poprawił warunki klimatyczne. Gdybyśmy chcieli uzyskać takie same warunki klimatyczne poprzez zmniejszenie temperatury powietrza przy zachowaniu tej samej prędkości powietrza $w = 0,2 \frac{m}{s}$, należałoby obniżyć temperaturę powietrza

do około 24,2°C (pkt. A'', rys. 2A), zakładając, że po ochłodzeniu powietrza nastąpiłoby jego nasycenie oraz powstanie mgły, co dodatkowo zwiększyłoby koszty takiego przedsięwzięcia.

Nieskuteczność sposobów wentylacyjnych poprawy warunków klimatycznych w przodkach i konieczność stosowania maszyn klimatyzacyjnych przeanalizowano na drugim przykładzie.

Przykład 2

Temperatura powietrza 31°C, prędkość powietrza 0,5 $\frac{m}{s}$, wilgotność powietrza 80% (pkt. B). Dla takich parametrów mikroklimatu wskaźnik dyskomfortu dla pracownika przewyższa 100%, leży w obszarze pracy niebezpiecznej, a więc zgodnie z normą opartą o wskaźnik WBGT, praca powinna być zabroniona. Poprawę warunków klimatycznych poprzez zwiększenie prędkości powietrza można uzyskać, gdy prędkość ta byłaby większa od 1,5 $\frac{m}{s}$ (pkt. B'). Wtedy wskaźnik dyskomfortu byłby mniejszy od 100%. W razie braku możliwości wzrostu prędkości (wydatku objętościowego) powietrza, należy zastosować klimatyzację, obniżając temperaturę powietrza do wartości co najmniej 30°C (pkt. B''). W tym przykładzie lepsze efekty można by uzyskać stosując obydwie metody poprawy warunków klimatycznych, a więc metodę wentylacyjną i chłodzenie powietrza, (pkt. B''' rys. 2A).

WNIOSKI

1. Normy klimatyczne w kopalniach dotyczące pracy ludzi w środowiskach ciepłych powinny uwzględniać założenia międzynarodowej normy PN-85N-08011 obowiązujące w Polsce od roku 1985 i opartej na wskaźniku WBGT, którego odpowiednikiem w środowiskach z wentylacją wymuszoną może być przedstawiony w artykule wskaźnik dyskomfortu cieplnego pracownika.

2. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ uwzględnia wszystkie parametry mikroklimatu środowiska oraz wydatek energetyczny pracownika zależny od rodzaju i intensywności pracy.

3. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego, stanowiący liczbę bezwymiarową lub procentową, określa, jak bardzo warunki klimatyczne w danym środowisku różnią się od warunków komfortowych oraz warunków niebezpiecznych dla zdrowia ustalonych na podstawie przyjętej wartości odniesienia wskaźnika WBGT.

4. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ można wyznaczyć ze wzoru (4.2) lub z nomogramów rys. 2.

5. W zależności od wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego proponuje się następujący podział możliwości wykonywania pracy w ciepłych środowiskach górniczych. Gdy:

$\delta \geqslant 1$ lub $\delta \geqslant 100\%$ praca zabroniona z wyjątkiem akcji ratowniczej,
$0,8 \leqslant \delta < 1$ lub $80\% < \delta < 100\%$ praca ograniczona czasowo, planowane przerwy w pracy lub zmniejszenie norm produkcyjnych,
$\delta < 0,8$ lub $\delta < 80\%$ praca bezpieczna,
$\delta = 0$ komfort cieplny.

6. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego pracownika może służyć jako parametr określający normy klimatyczne w środowisku pracy.

LITERATURA

[1] Fanger P.O.: Komfort cieplny. Arkady, Warszawa 1974.

[2] Polska Norma PN-85/N-08011 - Wyznaczenie obciążeń termicznych działających na człowieka w środowisku pracy oparte na wskaźniku WBGT.

[3] Turkiewicz W.: Propozycja nowego wskaźnika oceny warunków klimatycznych w kopalniach LGOM. Cuprum 1986, nr 3-4.

[4] Drenda J.: Analiza optymalnych warunków klimatycznych w kopalni w oparciu o równanie komfortu cieplnego Fangera. "Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie" 1976, nr 2.

[5] Frycz A., Drenda J.: Ocena warunków klimatycznych w kopalni w oparciu o wskaźnik dyskomfortu cieplnego. XV Tydzień Techniki ROW '89 - Seminarium.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО ДИСКОМФОРТА РАБОЧИХ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

Р е з ю м е

В статье представлены полученные до сих пор показатели оценки микроклимата в рабочих средах. Введен показатель теплового дискомфорта, определяющий степень вредности климатических условий на рабочем месте человека. На основе величины показателя теплового дискомфорта определены пределы безопасных, трудных и вредных для здоровья человека климатических условий на рабочем месте. Представлена зависимость показателя теплового дискомфорта рабочего от параметров микроклимата: температуры, влажности и скорости движения воздуха. Разработан график для определения показателя теплового дискомфорта, а также для анализа возможностей и эффективности улучшения климатических условий различными методами.

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THERMAL DISCOMFORT
OF WORKERS IN THE SURROUNDINGS OF DEEP MINES

S u m m a r y

The paper presents hitherto existing indices of the assessment of microclimate in work surroundings. The index of thermal discomfort determining the degree to which climatic changes are detrimental to health is introduced. Basing on the values of the index of thermal discomfort the ranges of safe, difficult and detrimental to health climatic conditions in work place have been determined. The dependence of the index of thermal discomfort of a worker on the parameters of microclimate, such as temperature, humidity and velocity of air flow is presented. A nomograph for determining the index of thermal discomfort, and for analysing possibilities and effects of improvements in climatic conditions achieved by different methods has been worked out.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk Bystroń