

Jan DRENDA, Anna MORCINEK-POKRYWKA  
Politechnika Śląska, Gliwice

## WPLYW WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH NA BEZPIECZEŃSTWO PRACY GÓRNIKÓW

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono wpływ warunków klimatycznych na bezpieczeństwo pracy górników. Podano w nim znane i często stosowane wskaźniki mikroklimatu, takie jak: amerykańska temperatura efektywna, katastroficznie wilgotne, temperatura zastępcza francuska, temperatura zastępcza klimatu wg. Cuprum, wskaźnik WBGT oraz przybliżony wskaźnik  $WBGT_p$ . Na wykresach w układach współrzędnych przedstawiono przebiegi izolinii niektórych z tych wskaźników.

W pracy omówiono również wskaźnik dyskomfortu cieplnego  $\delta$  jako podstawowy wyznacznik bezpieczeństwa termicznego górników. Zaproponowano podział warunków klimatycznych ze względu na bezpieczeństwo termiczne człowieka na: komfortowe, bezpieczne i niebezpieczne warunki klimatyczne. Warunki klimatyczne bezpieczne natomiast podzielono na: korzystne, zadowalające, trudne i bardzo trudne. Przedstawiono także graficzny sposób wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego  $\delta$  za pomocą nomogramów dla wilgotności względnej powietrza:  $\varphi = 20\%$ ,  $\varphi = 40\%$ ,  $\varphi = 60\%$ ,  $\varphi = 80\%$ ;  $\varphi = 100\%$ .

## THE CLIMATIC INFLUENCE ON THE SAFETY OF MINERS WORK

**Summary.** This paper presents the climatic influence on the safety of miners work. It gives well – known and frequently used microclimate indexes such as: American effective temperature, vicarious French temperature, climate vicarious temperature, index WBGT and approximate  $WBGT_p$ , factor and wet catagrades. On the charts the run of these factors isolines were shown. This paper discusses heat discomfort index  $\delta$  as basic determinant of termal safety of miners. The safe climatic conditions have been divided in to: favourable, satisfactory, hard and very hard. Graphical way of determination of heat discomfort has been

also discussed by means of nomograms for the relative moist of the air:  $\varphi=20\%$ ,  $\varphi=40\%$ ,  $\varphi=60\%$ ,  $\varphi=80\%$ ,  $\varphi=100\%$ .

## 1. Wprowadzenie

Mikroklimat jest to stan termiczny atmosfery i otoczenia, jaki występuje na danym obszarze lub w środowisku, utworzony przez odpowiednią kombinację parametrów fizycznych powietrza i otaczających powierzchni.

Do parametrów fizycznych powietrza należą: temperatura, wilgotność oraz prędkość przepływu powietrza.

Mikroklimat może być ciepły, zimny, umiarkowany, gorący itp.

Klimatyczne warunki pracy w kopalniach węgla kamiennego jak i w innych środowiskach, zależą od ww. parametrów fizycznych powietrza i otoczenia, jak również od wydatku energetycznego pracownika, oporu cieplnego odzieży oraz aklimatyzacji.

Mikroklimat na stanowiskach pracy można określić na podstawie następujących wskaźników: amerykańska temperatura efektywna (ATE), natężenie chłodzenia powietrza (wartość Kata), belgijska temperatura efektywna (BTE), zastępcza temperatura francuska ( $t_r$ ), temperatura zastępcza klimatu wg Cuprum ( $t_{zk}$ ), wskaźnik obciążenia termicznego (WBGT) oraz przybliżony wskaźnik WBGT<sub>p</sub>. Warunki klimatyczne natomiast charakteryzowane są przez inne wskaźniki, takie jak: HSI (Heat Stress Index), P4SR – Index (Predicted Four – Hour Sweat Rate Index), wskaźnik dyskomfortu cieplnego  $\delta$ .

## 2. Wskaźniki mikroklimatu

Wyróżniamy następujące rodzaje wskaźników mikroklimatu [3, 4, 6, 11]:

- Amerykańska temperatura efektywna (ATE) – odczytywana jest ona z nomogramów Yaglou na podstawie znanej temperatury suchej ( $t_s$ ), temperatury wilgotnej ( $t_w$ ) oraz prędkości przepływu powietrza ( $w$ ).

Nomogram Yaglou przedstawiono na rys. 1.

Wg normy w górnictwie amerykańskim, gdy:

ATE < 28 °C – praca dozwolona w pełnym wymiarze godzin (8 godz.),

28 °C < ATE < 32 °C – skrócony czas pracy (6 godz.),

$32\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{ATE}$  – praca zabroniona.

- Natężenie chłodzenia powietrza – określa nam tzw. wartość Kata.

Obliczamy je z następującego wzoru:

$$K = \frac{F}{\tau} \text{ [katastopnie]}$$

gdzie:

$F$  – stała katatermometru;

$\tau$  – czas opadania słupka alkoholu w katatermometrze [s]

W górnictwie polskim, gdy:

$K > 11$  katastopni wilg. i  $t_s < 28\text{ }^{\circ}\text{C}$  – praca dozwolona w pełnym wymiarze godzin (8 godzin),

$K < 11$  katastopni wilg. i  $28\text{ }^{\circ}\text{C} < t_s < 33\text{ }^{\circ}\text{C}$  – skrócony czas pracy (6 godz.),

$t_s \geq 33\text{ }^{\circ}\text{C}$  – praca zabroniona z wyjątkiem akcji ratowniczych.

- Temperatura zastępcza francuska ( $t_r$ ) – oblicza się ją ze wzoru:

$$t_r = 0,3t_s + 0,7t_w - w \quad [^{\circ}\text{C}]$$

gdzie:

$t_s$  – temperatura termometru suchego [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$t_w$  – temperatura termometru wilgotnego [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$w$  – prędkość przepływu powietrza [m/s].

- Belgijska temperatura efektywna (BTE) – określamy ją ze wzoru:

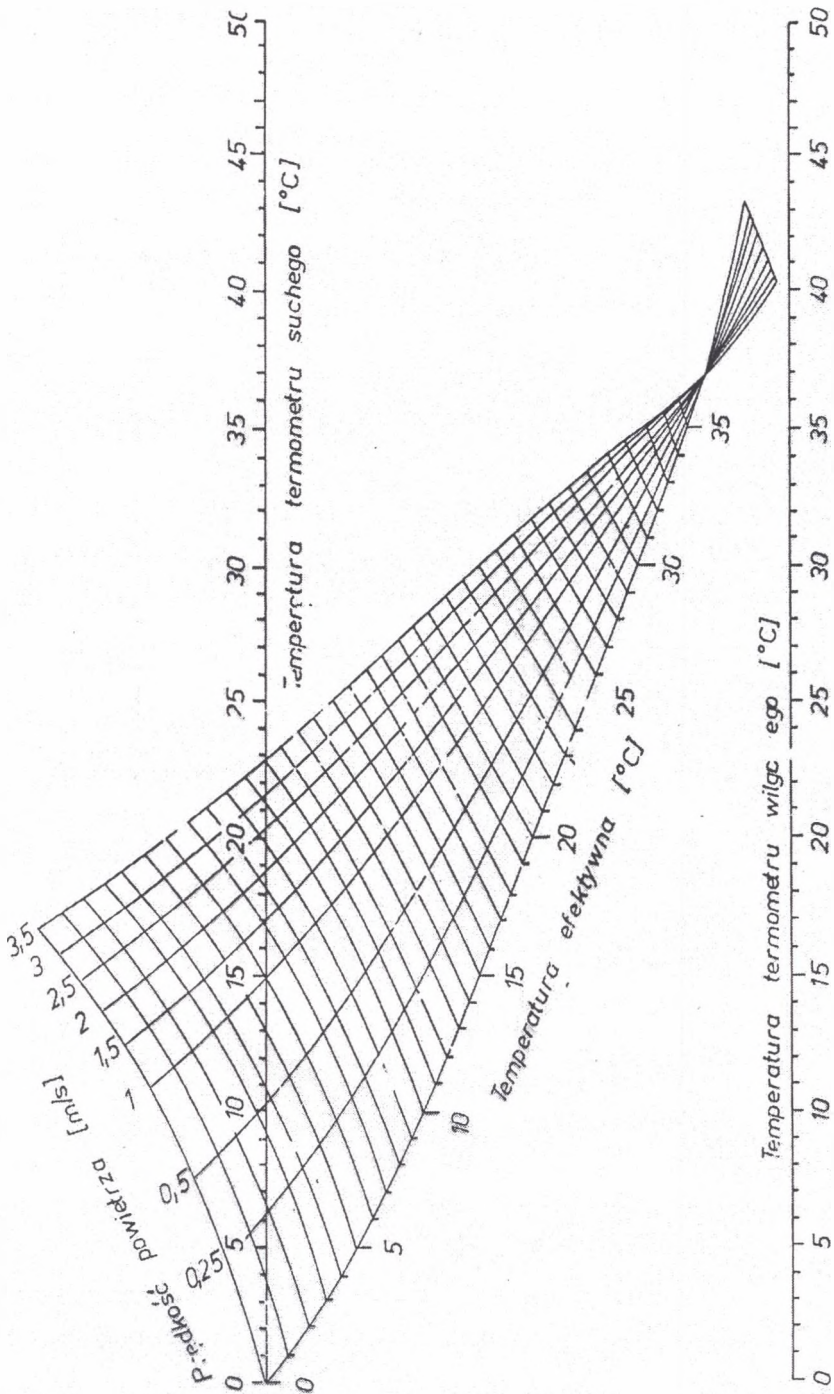
$$\text{BTE} = 0,1t_s + 0,9t_w \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Gdy:

$\text{BTE} \leq 31\text{ }^{\circ}\text{C}$  – praca dopuszczalna (wg normy belgijskiej).

- Temperatura zastępcza klimatu wg Cuprum ( $t_{zk}$ ) – obliczamy ją na podstawie następującego wzoru:

$$t_{zk} = 0,4t_s + 0,6t_w - w \quad [^{\circ}\text{C}]$$



Rys. 1. Nomogram Younga dla amerykańskiej temperatury efektywnej (ATE)  
 Fig. 1. Nomogram Younga for american effective temperature (ATE)

– Wskaźnik obciążenia termicznego (WBGT) i przybliżony wskaźnik  $WBGT_p$  [1].

Wskaźnik WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) wprowadzony został przez Yaglou i Minarda jako podstawowy parametr służący do określenia obciążenia termicznego organizmu człowieka w środowiskach pracy. Według badań przeprowadzonych w GIG-u wskaźnik ten dla przodków górniczych może być zastąpiony przez przybliżony wskaźnik  $WBGT_p$ . Wprowadzenie przybliżonego wskaźnika  $WBGT_p$  miało na celu uproszczenie pomiarów dołowych parametrów powietrza.  $WBGT_p$  jest funkcją temperatury suchej i wilgotnej powietrza mierzonych psychrometrem aspiracyjnym. Kształtuje się on następująco:

$$WBGT_p = 0,67t_w + 0,33t_s$$

Dopuszczalne wartości wskaźnika WBGT, umożliwiające realizację podstawowych funkcji przez pracownika na danym stanowisku pracy, nie powinny przewyższać wartości podanych w tabelicy 1.

Tabelica 1

Wartości odniesienia wskaźnika obciążenia termicznego WBGT dla ludzi ubranych

$I_{cl} = 0,6$  clo (koszula z krótkimi rękawami, spodnie) w zależności od rodzaju pracy

i stopnia aklimatyzacji wg PN-85/N-08011 [7]

Rodzaj pracy	Poziom metabolizmu w stosunku do powierzchni skóry [W/m <sup>2</sup> ]	Dopuszczalne wartości WBGT	
		Osoba zaaklimatyzowana w środowisku gorącym [°C]	Osoba niezaaklimatyzowana w środowisku gorącym [°C]
Spoczynek	$M \leq 65$	33	32
Praca lekka	$65 < M < 130$	30	29
Praca umiarkowana	$130 < M < 200$	28	26
Praca ciężka	$200 < M < 260$	<b>Ruch powietrza</b>	Ruch powietrza
		Nieodczuwalny	Nieodczuwalny
		Odczuwalny	Odczuwalny
		25                      26	22                      23
Praca bardzo ciężka	$M > 260$	23                      25	18                      20

W przypadku innego zestawu odzieży wartości odniesienia wskaźnika WBGT ulegają zmianie:

- szorty ( $I_{cl} = 0$ ) +2 °C
- marynarka ( $I_{cl} = 1$  clo) -2 °C

W analizowanej tablicy wartości pojawiają się nam dwa pojęcia: pracownik niezaaklimatyzowany i zaaklimatyzowany. Przyjmuje się, że pracownikiem zaaklimatyzowanym jest taki człowiek, który pracuje w danym ciepłym mikroklimacie około 2 tygodni.

### 3. Wydatek energetyczny jako czynnik wpływający na rodzaj i intensywność wykonywanej pracy

Wydatek energetyczny jest to ilość ciepła metabolizmu, które organizm ludzki musi wydzielić do środowiska w celu utrzymania stałej temperatury wewnętrznej ciała. Wydatek energetyczny mierzony jest w watach na metr kwadratowy powierzchni ciała ludzkiego.

Według normy PN-85/N-08011 wielkości wydatków energetycznych w zależności od rodzaju wykonywanej pracy, kształtują się wg tablicy 2 [7].

Opór cieplny odzieży oznaczamy literką  $I_{cl}$  i określany jest w jednostkach [clo]. Według normy PN-85/N-08011 opór cieplny odzieży wygląda następująco:

$I_{cl} = 0$  – w przypadku gdy człowiek jest nie ubrany;

$I_{cl} = 0,6$  clo – gdy człowiek ubrany jest w koszulę z krótkimi rękawami i długie spodnie

$I_{cl} = 1$  clo – w przypadku, gdy człowiek ma ubraną koszulę flanelową z długimi rękawami, długie spodnie oraz bluzę roboczą.

Wielkość oporu cieplnego dla różnego rodzaju odzieży szczegółowo przedstawia nam norma PN-EN 12515 [8].

Znajomość średniego wydatku energetycznego ludzi pracujących w przodku jest ważnym parametrem dla prawidłowej oceny warunków klimatycznych i bezpieczeństwa termicznego człowieka.

Tablica 2

## Klasyfikacja poziomów metabolizmu – wydatków energetycznych

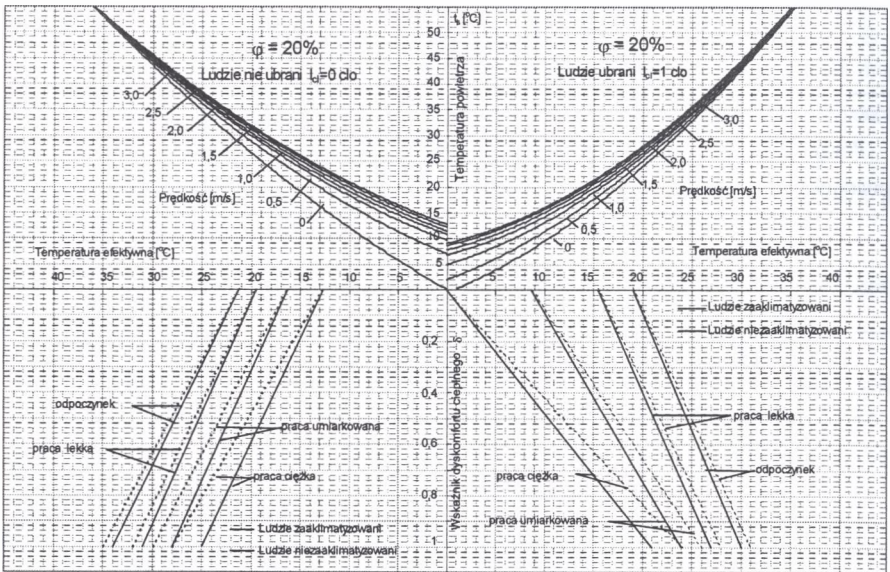
Rodzaj pracy	Zakres przyrostu metabolizmu i wydatku energetycznego w odniesieniu do jednostki powierzchni skóry $M$ [W/m <sup>2</sup> ]	Wartość średnia przyrostu metabolizmu (wydatku energetycznego) $M_s$ [W/m <sup>2</sup> ]	Przykłady
Wypoczynek	$M < 65$	65	Wypoczynek
Praca lekka	$65 < M < 130$	100	Pozycja siedząca – lekka praca ręczna; Pozycja stojąca – frezowanie, skręcanie drobnej armatury, chodzenie z prędkością 3,5 km/h
Praca umiarkowana	$130 < M < 200$	165	Praca wykonywana dłońmi i rękoma z napięciem mięśni – manewrowanie ciężarówką, tynkowanie, popychanie i ciągnięcie wózków, chodzenie z prędkością 3,5–5,5 km/h
Praca ciężka	$200 < M < 260$	230	Intensywna praca rąk i korpusu – transportowanie ciężkich materiałów, struganie, piłowanie, kopanie, chodzenie z prędkością 5,5–7,0 km/h
Praca bardzo ciężka	$M > 260$	290	Bardzo intensywna praca wykonywana w tempie bliskim maksymalnemu

#### 4. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego $\delta$ jako wyznacznik bezpieczeństwa termicznego górników

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego służy do oceny warunków klimatycznych pod względem bezpieczeństwa pracy w danych środowiskach. Wskaźnik ten zależy od wielu

parametrów a w szczególności w dużym stopniu zależy od wydatku energetycznego pracownika, czyli od rodzaju i intensywności wykonywanej pracy. Jest on wielkością bezwymiarową. W celu wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego opracowano nomogramy oraz program komputerowy o nazwie WDC (wskaźnik dyskomfortu cieplnego). Za pomocą nomogramów możemy odczytać wartości wskaźnika dyskomfortu  $\delta$  dla ludzi nie ubranych oraz środowisk, w których temperatura powietrza jest równa średniej temperaturze promieniowania. Wykonane są one dla stałych wilgotności względnych powietrza  $\varphi$  [2, 5, 10]. Poniżej zamieszczono nomogramy dla wilgotności  $\varphi = 100\%$ ,  $\varphi = 80\%$ ,  $\varphi = 60\%$ ,  $\varphi = 40\%$  oraz  $\varphi = 20\%$ .

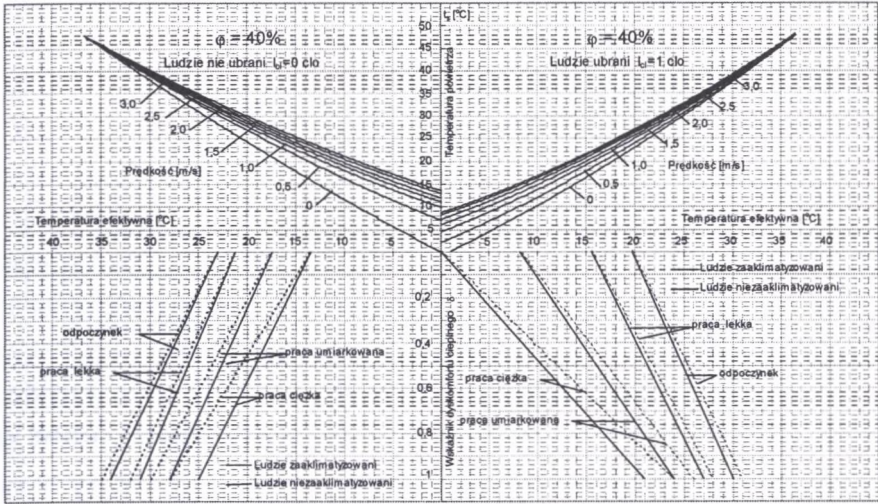
Takie wilgotności powietrza jak:  $\varphi = 60\%$ ,  $\varphi = 80\%$ ,  $\varphi = 100\%$  są najczęściej spotykane w kopalniach węgla.



Rys. 2. Nomogram dla wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego dla wilgotności względnej powietrza  $\varphi=20\%$

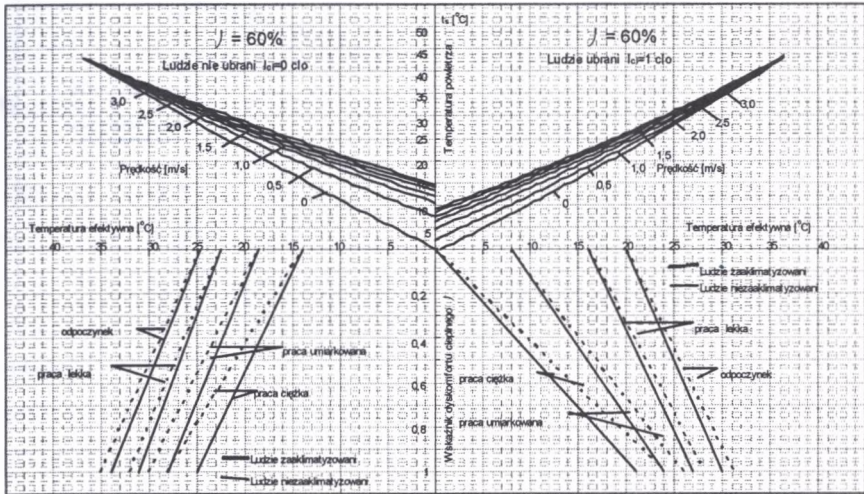
Fig. 2. Nomogram for the relative moist of the air  $\varphi=20\%$





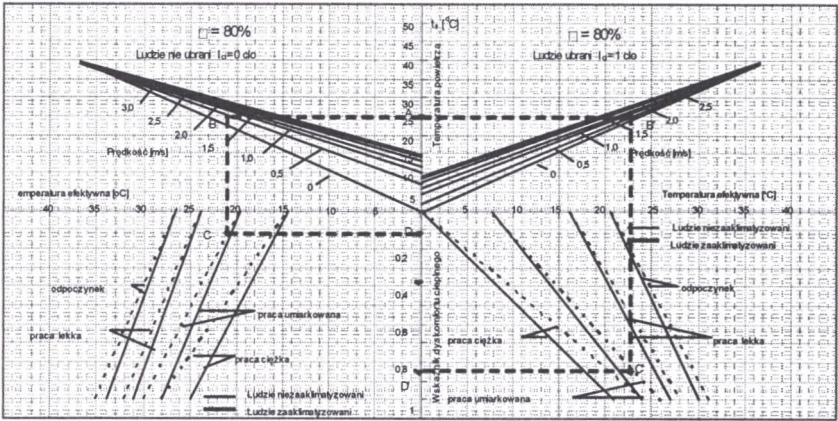
Rys. 3. Nomogram dla wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu ciepłego dla wilgotności względnej powietrza  $\varphi=40\%$

Fig. 3. Nomogram for the relative moist of the air  $\varphi=40\%$



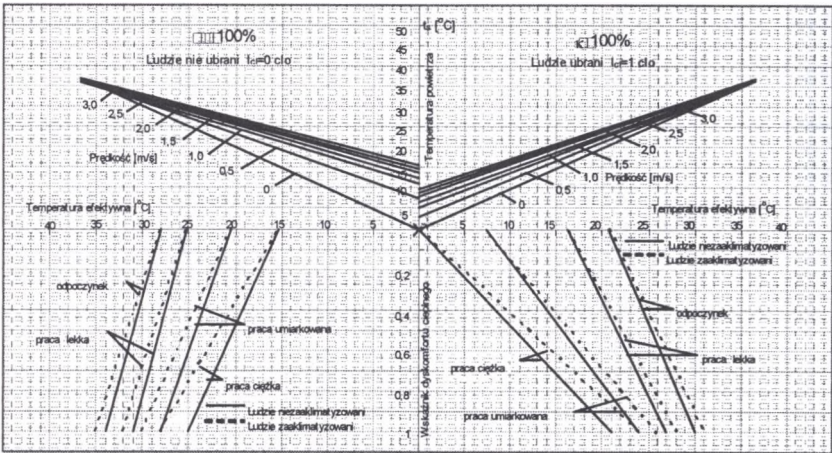
Rys. 4. Nomogram dla wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu ciepłego dla wilgotności względnej powietrza  $\varphi=60\%$

Fig. 4. Nomogram for the relative moist of the air  $\varphi=60\%$



Rys. 5. Nomogram dla wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego dla wilgotności względnej powietrza  $\phi=80\%$

Fig. 5. Nomogram for the relative moist of the air  $\phi=80\%$



Rys. 6. Nomogram dla wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego dla wilgotności względnej powietrza  $\phi=100\%$

Fig. 6. Nomogram for the relative moist of the air  $\phi=100\%$

Na rysunku 5 przedstawiono przykład korzystania z nomogramów. Punkty A, B, C oraz D dotyczą ludzi nie ubranych natomiast punkty B', C' i D' ludzi ubranych.

Analizując warunki klimatyczne w środowiskach pracy ze względu na wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego można stwierdzić, że jeżeli:

$\delta = 0$  – komfort cieplny,

$0 < \delta < 1$  – dyskomfort cieplny bezpieczny dla zdrowia (środowisko ciepłe),

$\delta \geq 1$  – dyskomfort cieplny niebezpieczny dla zdrowia (środowisko gorące),

$\delta < 0$  – środowisko chłodne.

W środowiskach gorących, w których  $\delta \geq 1$ , praca powinna być zabroniona, ponieważ jest niebezpieczna dla zdrowia człowieka. Istnieje możliwość przegrzania organizmu i udaru ciepłego.

W środowiskach, w których panuje dyskomfort cieplny bezpieczny dla zdrowia  $0 < \delta < 1$ , praca jest dozwolona.

Warunki klimatyczne odpowiadające przedziałowi wskaźnika dyskomfortu  $\delta$  od 0–1 możemy podzielić na cztery grupy, a mianowicie:

$0 < \delta < 0,2$  – warunki klimatyczne korzystne,

$0,2 \leq \delta < 0,5$  – warunki klimatyczne zadowalające,

$0,5 \leq \delta < 0,8$  – warunki klimatyczne trudne,

$0,8 \leq \delta < 1$  – warunki klimatyczne bardzo trudne.

Człowiek powinien pracować w warunkach komfortu cieplnego. Jeżeli nie da się tego stanu osiągnąć, należy dążyć do tego, aby był on co najmniej zadowalający.

Dla środowisk górniczych, w których wskaźnik dyskomfortu  $\delta \geq 0,5$ , należy stosować metody poprawy warunków klimatycznych.

## 5. Wnioski

Warunki klimatyczne odgrywają istotną rolę w procesie pracy oraz wpływają na bezpieczeństwo termiczne pracowników. Praca wykonywana w warunkach mikroklimatu gorącego lub zimnego może stanowić duże zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia człowieka.

Utrata ciepła przy zbyt wysokiej temperaturze odbywa się w sposób bierny (promieniowanie, przewodzenie i konwekcja) i czynny (parowanie potu). W czasie ciężkiej pracy fizycznej, w wysokiej temperaturze ilość potu może osiągnąć 3–4 litry na godzinę. Obfite pocenie się powoduje także utratę elektrolitów (Na, K, Cl i innych), co może spowodować zaburzenia w gospodarce energetycznej pracownika. Wysoka temperatura otoczenia może spowodować omdlenia cieplne, kurcze cieplne, wyczerpanie i udar.

Jednym z podstawowych wyznaczników bezpieczeństwa termicznego górników jest wskaźnik dyskomfortu cieplnego  $\delta$ .

Wskaźnik ten w sposób obiektywny charakteryzuje klimatyczne środowisko pracy oraz obciążenie cieplne pracowników. Umożliwia również ocenę poprawy lub pogorszenia

warunków klimatycznych podczas zmiany parametrów mikroklimatu lub wydatku energetycznego pracowników.

Istnieje pięć sposobów poprawy warunków klimatycznych w przodkach górniczych lub innych miejscach pracy, a mianowicie: obniżenie temperatury powietrza (klimatyzacja), obniżenie wilgotności powietrza (osuszanie powietrza), zwiększenie prędkości przepływu powietrza, obniżenie średniej temperatury promieniowania otoczenia oraz wprowadzenie przerw w pracy w każdej godzinie roboczo-dniówki. Dzięki przerwom w pracy obniża się wydatek energetyczny pracownika, a tym samym zmniejsza się wskaźnik dyskomfortu cieplnego  $\delta$ , co wskazuje poprawę warunków klimatycznych.

## LITERATURA

1. Bystron H., Knechtel J., Markefka P.: Przybliżony wskaźnik obciążenia termicznego górników w gorących miejscach pracy polskich kopalń. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 4, 1993.
2. Drenda J.: Dyskomfort cieplny w środowiskach pracy kopalń głębokich. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo*, zeszyt 213, Gliwice 1993.
3. Drenda J.: Ocena klimatycznych warunków pracy górników. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej* 1997. Wyd. PAN CPPGSMiE, Kraków 1997.
4. Drenda J.: Porównanie wskaźników oceny mikroklimatu w kopalniach. *Materiały pierwszej konferencji „Wybieranie złóż na dużych głębokościach oraz w trudnych warunkach geotermicznych”*. Wyd. Centrum Badawczo-Projektowe Miedzi Cuprum we Wrocławiu, Wrocław 1996.
5. Drenda J., Słota K.: Sposób i efekty poprawy warunków klimatycznych w wyrobiskach korytarzowych kopalń przez obniżenie średniej temperatury promieniowania cieplnego otoczenia. Wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 2005.
6. Frycz A.: *Klimatyzacja kopalń*. Wyd. Śląsk, Katowice 1981
7. PN-85/N-08011. *Ergonomia. Środowiska gorące*. Wyznaczenie obciążeń termicznych działających na człowieka w środowisku pracy, oparte na wskaźniku WBGT.
8. PN-EN 12515. *Środowisko gorące*. Analityczne określanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczenia wymaganej ilości potu.
9. Rączkowski B.: *BHP w praktyce*. Wyd. ODDiK, Gdańsk 2004.
10. Słota K., Słota Z.: *Zastosowanie wskaźnika dyskomfortu cieplnego jako jednego z wyznaczników bezpieczeństwa termicznego górników*. Wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 2005.
11. Turkiewicz W.: *Warunki klimatyczne kopalń podziemnych – metody i sposoby oceny*. Wyd. CBPM Cuprum, Wrocław.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bernard Nowak