

Andrzej Sobolewski  
Maria Konarska  
Małgorzata Kozłowska

Model obciążenia cieplnego organizmu człowieka  
przebywającego w warunkach  
środowiskowych odpowiadający głęboko  
położonym oddziałom kopalni węgla i miedzi

**Materiały szkoleniowe**

Materiały szkoleniowe CIOP-PIB

Model obciążenia cieplnego organizmu człowieka przebywającego w warunkach środowiskowych odpowiadający głęboko położonym oddziałom kopalni węgla i miedzi

*Opracowano na podstawie wyników IV etapu program wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.*

*Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

*Projekt I.N.05: Opracowanie modelu obciążenia cieplnego organizmu człowieka przebywającego w warunkach środowiskowych odpowiadających głęboko położonym oddziałom kopalni węgla i miedzi*

Autor:

dr inż. Andrzej Sobolewski, prof. dr hab. Maria Konarska, tech. Małgorzata Kozłowska – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ergonomii

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Warszawa 2019

**CIOP**  **PIB**

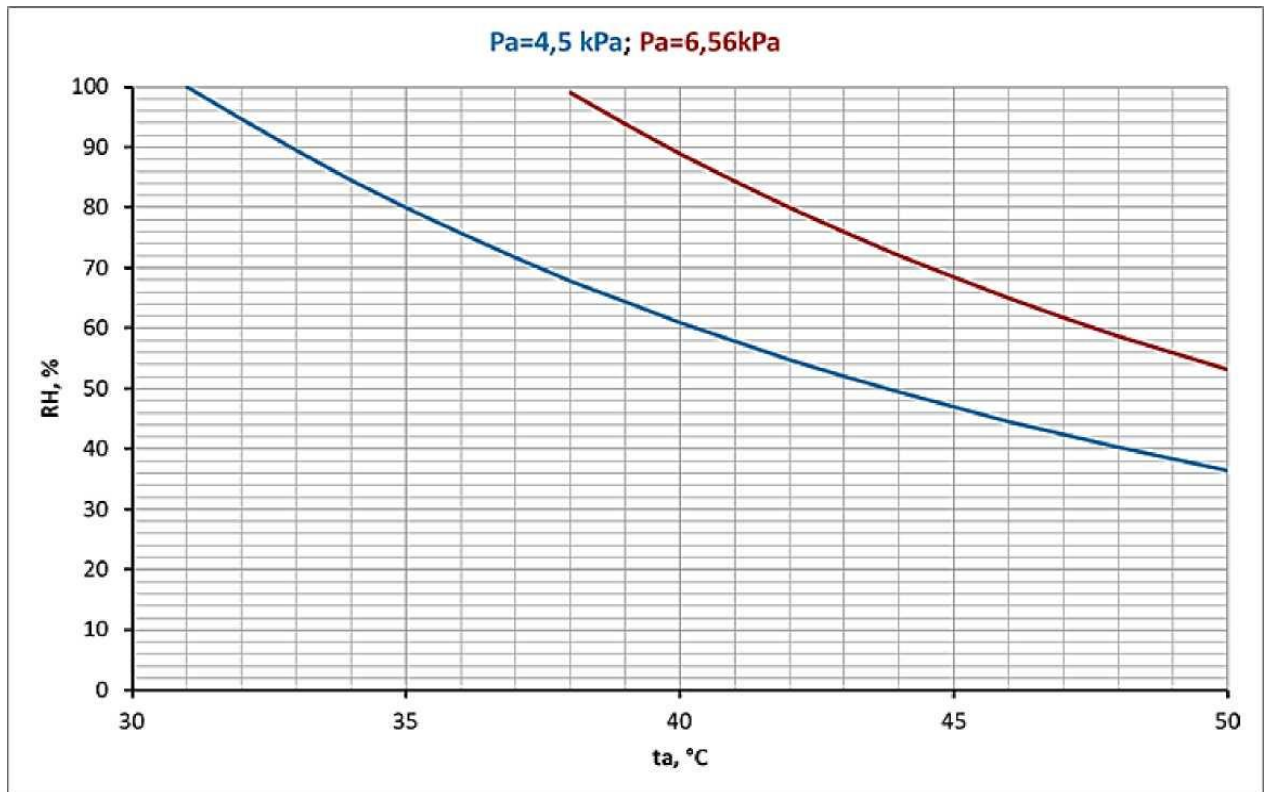
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (48-22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

## Wstęp

Naturalne warunki mikroklimatu kopalni głębokich są źródłem obciążeń cieplnych człowieka stanowiących zagrożenie dla jego zdrowia, a nawet życia. W przypadku awarii systemu klimatyzacji w kopalni, bez której praca ciągła człowieka w tym środowisku jest niemożliwa, jednoczesne oddziaływanie wysokiej temperatury otoczenia i wilgotności powietrza powoduje szkodliwą akumulację ciepła w organizmie, w ciągu kilkunastu minut. Do oceny obciążenia cieplnego człowieka przebywającego i pracującego w środowisku gorącym, wykorzystywana jest norma PN-EN ISO 7933:2005 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego*. Przyjęty w niej model wymiany ciepła między organizmem a otoczeniem oparty jest na równaniu bilansu cieplnego. Na tej podstawie powstał program obliczeniowy PHS (*Predicted Heat Strain*), który jest przeznaczony do oceny obciążeń cieplnych oddziałujących na człowieka pracującego w środowisku gorącym. Norma PN-EN ISO 7933 dopuszcza górną granicę ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu równą 4,5 kPa.

Na poziomie wydobywania w kopalniach głębokich w warunkach naturalnych, ciśnienie pary wodnej może osiągać nawet 8 kPa. W celu sprawdzenia poprawności oceny obciążeń w naturalnych warunkach klimatycznych kopalni głębokich za pomocą programu PHS, należy porównać wyniki obliczeń z wynikami badań uzyskanych z udziałem ochotników w realnych lub sztucznie odtworzonych warunkach mikroklimatu kopalni. W CIOP-PIB w latach 2008-2016 wykonano prace badawcze z udziałem ochotników poddawanych działaniu środowiska gorącego symulowanego w komorach klimatycznych. Zakres zmienności mikroklimatu uwzględniony w badaniach w znacznym stopniu pokrywał przedział zmienności temperatury powietrza ( $t_a$ ) i wilgotności względnej ( $RH$ ) w kopalniach głębokich. Wyniki uzyskane z tych badań, stanowiące unikatową bazę danych, wykorzystano do weryfikacji obliczeń wykonanych programem komputerowym PHS. Weryfikacja wyników badań i wyników symulacji odnosząca się do zmiennej diagnostycznej za jaką uważana jest temperatura wnętrza ciała człowieka i moment czasowy przekroczenia poziomu jej wartości 38°C (38,5°C), wykazała przydatność programu PHS do oceny obciążeń cieplnych człowieka przebywającego w środowisku gorącym w warunkach ciśnienia cząstkowego pary wodnej do 6,6 kPa ( $t_a = 42^\circ\text{C}$ ;  $RH = 80\%$ ).

W wyniku przeprowadzonej weryfikacji możliwe okazało się poszerzenie zakresu interpretacji stresu cieplnego za pomocą normy PN-EN ISO 7933 z granicznej wartości prężności pary wodnej w otaczającym środowisku 4,5 kPa do 6,6 kPa.



Rys. 1. Kombinacje temperatury powietrza  $t_a$  i wilgotności względnej  $RH$  zawartej w powietrzu, przy których ciśnienie cząstkowe pary wodnej wynosi 4,5 kPa i 6,6 kPa

### **Model obciążenia cieplnego organizmu człowieka przebywającego w warunkach środowiskowych odpowiadających głęboko położonym oddziałom kopalni węgla i miedzi**

Do opracowania modelu wykorzystano rozszerzony program komputerowy PHS (Predicted Heat Strain). W stosunku do programu, którego kod źródłowy załączany jest do tekstu normy ISO 7933, rozszerzenia obejmują m.in. możliwość wprowadzania do obliczeń wartości początkowych temperatury powierzchni skóry człowieka  $t_{sk}$  i temperatury wnętrza ciała  $t_{re}$ . W modelu, przyjęto do obliczeń wartości:  $t_{sk} = 34,1^\circ\text{C}$ ;  $t_{re} = 36,8^\circ\text{C}$ .

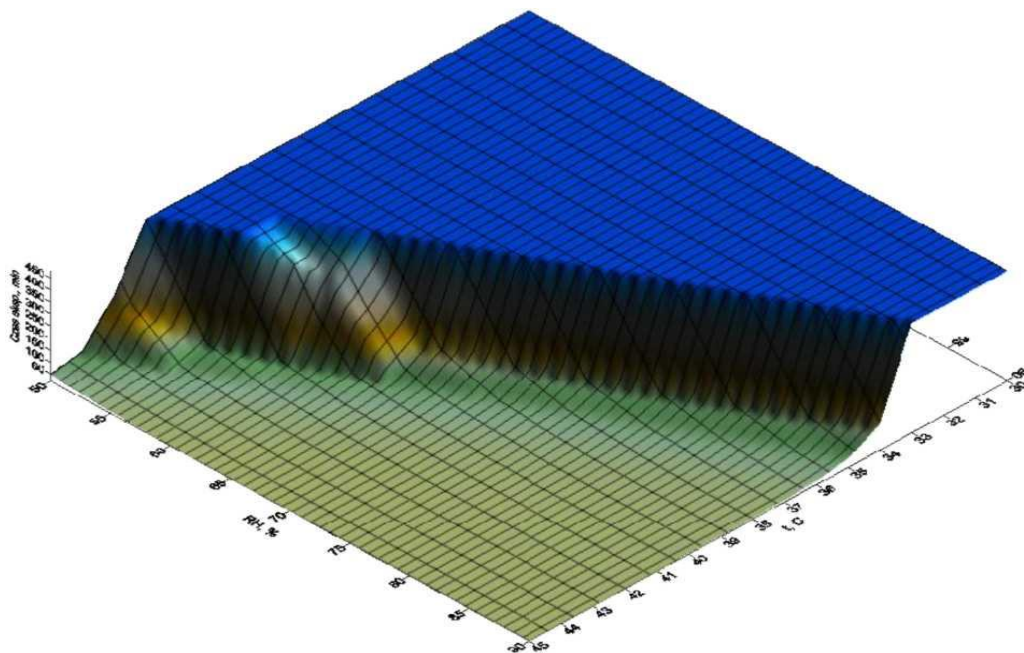
W wyniku przeprowadzonych symulacji numerycznych powstał model obciążenia cieplnego organizmu mężczyzny reprezentującego 50 centyl populacji polskiej (wysokość ciała 1,75 m, masa 78 kg).

Wyniki uzyskanych obliczeń służące do określania czasu bezpiecznej dla zdrowia ekspozycji człowieka przebywającego w naturalnym środowisku gorącym kopalni głębokich przedstawiono w postaci:

1) **modeli 3D** zależności czasów ekspozycji, bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym, od temperatury otoczenia zmieniającej się w zakresie  $30^{\circ}\text{C} < t_a < 45^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza zmieniającej się w zakresie  $50\% < RH < 90\%$ .

Opracowanych dla:

- kryterium nieprzekraczania temperatury wnętrza ciała:  $38; 38,5^{\circ}\text{C}$
- metabolizmu człowieka:  $M = 120; 140; 160; 180; 200 \text{ W/m}^2$
- obciążenia człowieka mocą:  $W = 0; 13,5; 17,6; 25,9; 46,6 \text{ W/m}^2$
- prędkości przepływu powietrza:  $V = 0,2; 0,5; 1; 2 \text{ m/s}$
- izolacyjności cieplnej odzieży ochronnej:  $I_{cl} = 1 \text{ clo}$  (przykład modelu 3D przedstawiającego zależność czasu ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym, od temperatury otoczenia i wilgotności względnej powietrza przedstawia rys. 2)



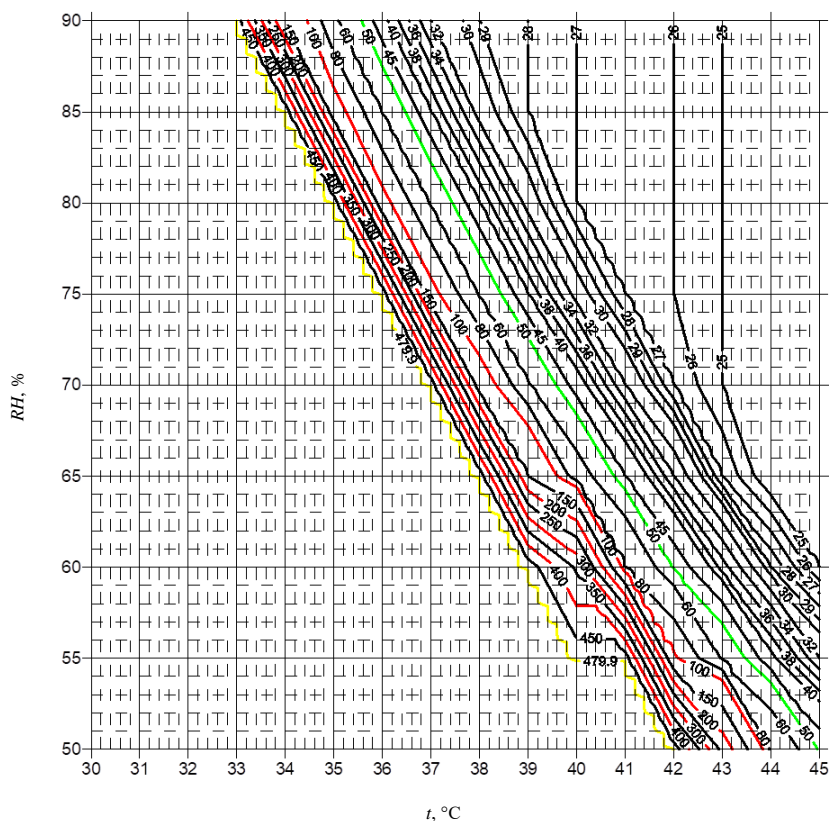
Rys. 2. Model 3D zależności czasów ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym:  $30^{\circ}\text{C} < t_a < 45^{\circ}\text{C}$ ;  $50\% < RH < 90\%$ ;  $M = 200 \text{ W/m}^2$ ;  $W = 46,6 \text{ W/m}^2$ ;  $V = 2,0 \text{ m/s}$ ;  $I_{cl} = 1 \text{ clo}$ , opracowany dla kryterium nieprzekraczania temperatury wnętrza ciała  $t_{re} = 38,5^{\circ}\text{C}$

oraz

2) **map izochron** czasów ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym w temperaturze otoczenia zmieniającej się w zakresie  $30^{\circ}\text{C} < t_a < 45^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza zmieniającej się w zakresie  $50\% < RH < 90\%$ .

Opracowanych dla:

- kryterium nieprzekraczania temperatury wnętrza ciała:  $38; 38,5^{\circ}\text{C}$
- metabolizmu człowieka:  $M = 120; 140; 160; 180; 200 \text{ W/m}^2$
- obciążenia człowieka mocą:  $W = 0; 13,5; 17,6; 25,9; 46,6 \text{ W/m}^2$
- prędkości przepływu powietrza  $V = 0,2; 0,5; 1; 2 \text{ m/s}$
- izolacyjności cieplnej odzieży ochronnej:  $I_{cl} = 1 \text{ clo}$  (przykład mapy izochron sporządzonej dla tych samych warunków jak powyższy model 3D, przedstawiającej zależność czasu ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym, od temperatury otoczenia  $t_a$  i wilgotności względnej powietrza  $RH$  przedstawia rys. 3).



Rys. 3. Izochrony czasów ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym w temperaturze otoczenia zmieniającej się w zakresie  $30^{\circ}\text{C} < t_a < 45^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza zmieniającej się w zakresie  $50\% < RH < 90\%$

Obie formy prezentacji wyników symulacji numerycznej tj. modele 3D i mapy izochron opracowane dla tych samych warunków mikroklimatu i kryteriów fizjologicznych są przedstawione w materiałach informacyjnych.

Oprócz modeli 3D zależności czasów ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka przebywającego w środowisku gorącym, od temperatury otoczenia i wilgotności względnej powietrza oraz mapy izochron czasów ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka, zamieszczono tabelicę czasów bezpiecznej dla zdrowia człowieka ekspozycji w środowisku gorącym w temperaturze 50°C, w zależności od wartości metabolizmu, obciążenia mocą i wilgotności względnej powietrza.

## **Związek między rozmiarami ciała człowieka a obciążeniem cieplnym wynikającym z pracy w środowisku gorącym**

Z przeprowadzonej analizy wynika, że rozmiary ciała pracownika przebywającego w środowisku gorącym mają wpływ na zróżnicowanie czasu ekspozycji, bezpiecznego dla jego zdrowia. Jeśli za wartość odniesienia przyjmie się czas dopuszczalnej ekspozycji osoby reprezentującej 50 centyl (osoba o przeciętnych rozmiarach ciała), dla której opracowano model, to osoba reprezentująca 5 centyl osiągnie ten sam poziom dopuszczalnej akumulacji ciepła w organizmie wcześniej, tj. po upływie 0,91 prognozowanego czasu ekspozycji osoby reprezentującej 50 centyl.

Osoba o rozmiarach ciała reprezentujących 95 centyl może, bez szkody dla jej zdrowia, przebywać w środowisku gorącym dłużej o wartość 1,1 czasu ekspozycji osoby reprezentującej 50 centyl.

Określając czasy ekspozycji bezpiecznej dla zdrowia człowieka (z map izochron zamieszczonych w materiałach informacyjnych) należy wziąć pod uwagę rozmiary człowieka.