

# Materiały szkoleniowe

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

Termin rozpoczęcia 01.01.2017

Termin zakończenia 31.12.2018

Wykonawcy:

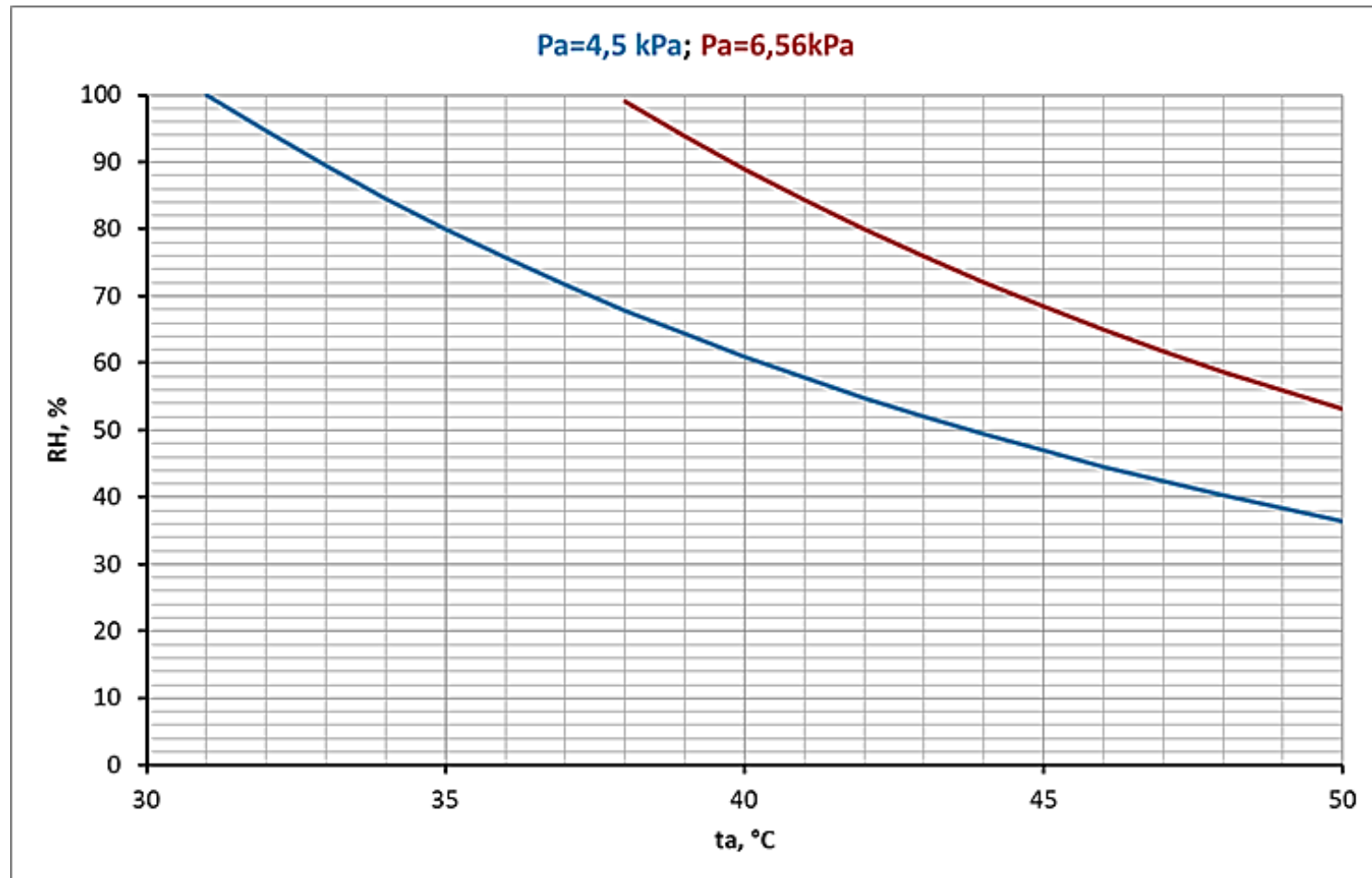
Kierownik zadania : dr inż. Andrzej Sobolewski  
prof. dr hab. Maria Konarska  
tech. Małgorzata Kozłowska

## 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 jego 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 wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego. Przyjęty w niej model wymiany ciepła między organizmem i otoczeniem oparty jest na równaniu bilansu cieplnego. Na tej podstawie powstał program obliczeniowy PHS (Predicted Heat Strain), którego przeznaczeniem jest ocena 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. Sprawdzenie poprawności oceny obciążeń w naturalnych warunkach klimatycznych kopalni głębokich za pomocą programu PHS wymaga porównania wyników 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 z obliczeniami wykonanych programem komputerowym PHS. Weryfikacja wyników badań z wynikami symulacji odnosząca się do zmiennej diagnostycznej za jaką uważana jest temperatura wnętrza ciała człowieka i moment czasowy przekroczenia poziomu jej wartości  $38^\circ\text{C}$  ( $38,5^\circ\text{C}$ ), 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 okazało się możliwe 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 między innymi 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 o wymiarach: wysokość ciała 1,75 m; masa ciała 78 kg, reprezentującego 50 centyl populacji polskiej. Wyniki uzyskanych obliczeń służące do określania czasu bezpiecznej dla zdrowia ekspozycji człowieka przebywającego w naturalnym środowisku gorącym kopalni głębokich przedstawiono w postaci:

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

Opracowanych dla:

Kryterium nieprzekraczania temperatury wnętrza ciała 38; 38,5 °C

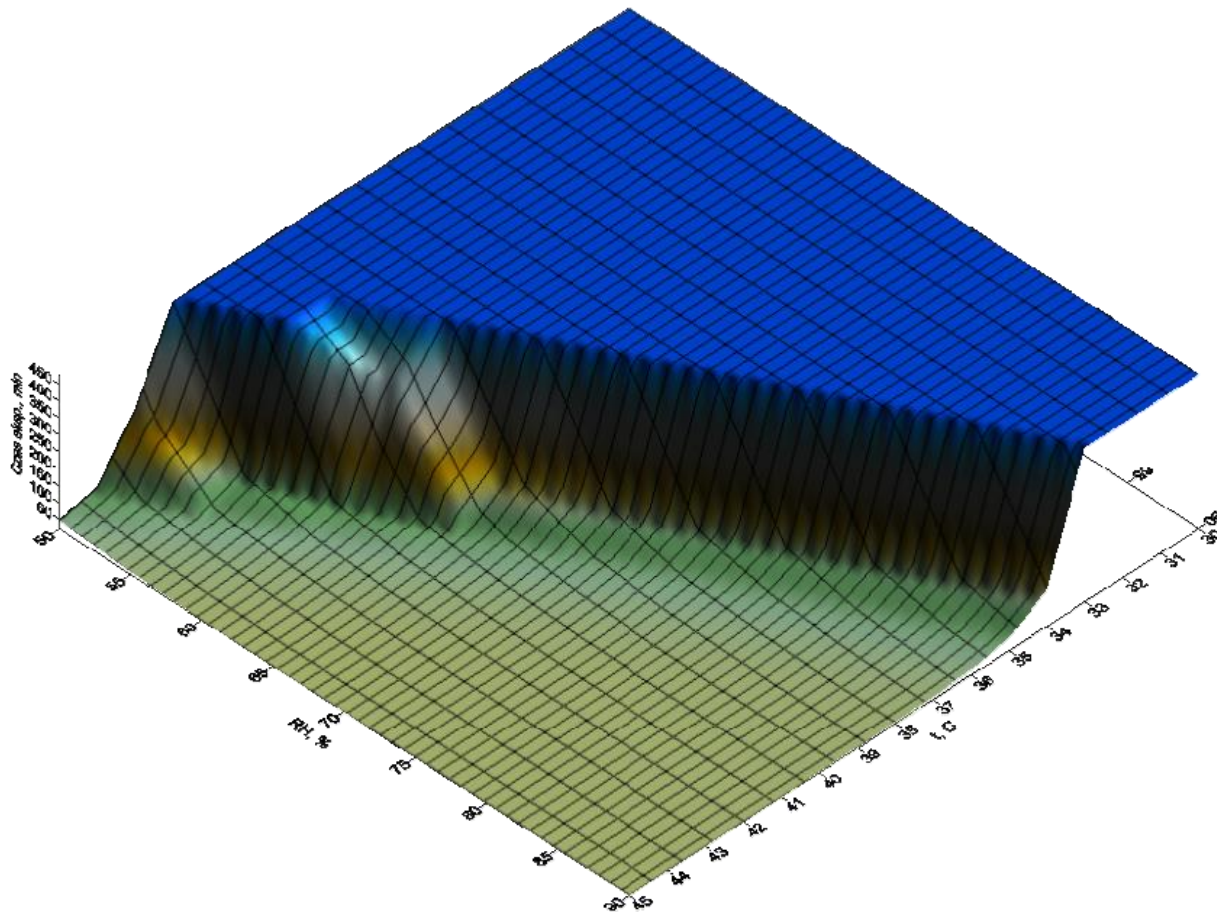
Metabolizmu człowieka  $M=120; 140; 160; 180; 200 \text{ W/m}^2$

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.  $30^{\circ}\text{C} \leq t_a \leq 45^{\circ}\text{C}$ ;  $50\% \leq \text{RH} \leq 90\%$ ;  $M=200 \text{ W/m}^2$ ;  $W= 46,6 \text{ W/m}^2$ ;  $V= 2,0 \text{ m/s}$ ;  $I_{cl}=1 \text{ clo}$ , opracowany dla kryterium nieprzekraczania temperatury wnętrza ciała  $t_{re}=38,5^{\circ}\text{C}$

oraz

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

Opracowanych dla:

Kryterium nieprzekraczania temperatury wnętrza ciała  $38; 38,5^{\circ}\text{C}$

Metabolizmu człowieka  $M=120; 140; 160; 180; 200 \text{ W/m}^2$

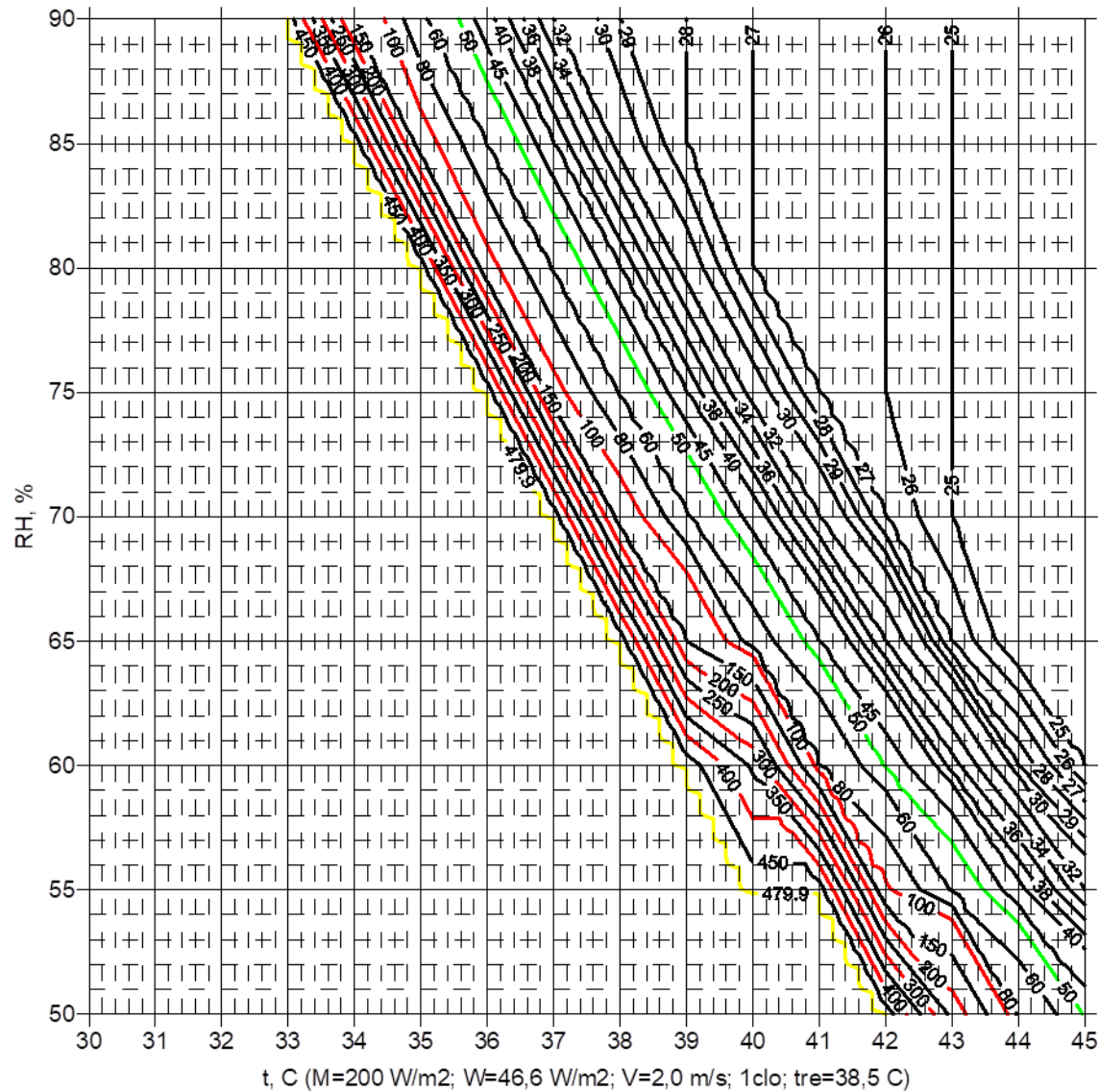
Obciążenia człowieka mocą  $W= 0; 13,5; 17,6; 25,9; 46,6 \text{ W/m}^2$

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  $\text{RH}$  przedstawia rys. 3





Obie formy prezentacji wyników symulacji numerycznej tj. modele 3D i mapy izochron opracowane dla tych samych warunków mikroklimatu i kryteriów fizjologicznych są prezentowane wspólnie w Załączniku pt.: „Model obciążenia cieplnego organizmu człowieka przebywającego w warunkach środowiskowych odpowiadających głęboko położonym oddziałom kopalni węgla i miedzi”.

Na końcu Załącznika obejmującego:

Modele 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 Tablicę 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 okazało się, 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 Załączniku do **Modelu**) należy wziąć pod uwagę rozmiary człowieka.