

Współczynnik korekcji odzieży CAV

Magdalena Młynarczyk

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.



Zadanie nr: 3.ZS.13 pod tytułem: *Określenie współczynnika korekcji odzieżowej (CAV) z uwzględnieniem odzieży chłodzącej do oceny obciążenia cieplnego pracownika w środowisku gorącym.*

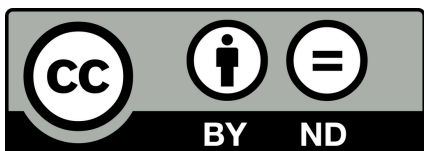
Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Autorzy opracowania: dr hab. inż. Magdalena Młynarczyk, dr Joanna Orysiak, lic. Aleksandra Kopyt, mgr inż. Agnieszka Greszta, dr inż. Anna Dąbrowska, dr inż. Magdalena Płocińska.

Opracowanie graficzne: dr hab. inż. Magdalena Młynarczyk

Redakcja: Kamil Jach

CIOP  **PIB** **75** LAT



ISBN: 978-83-7373-471-5

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2025

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

SPIIS TREŚCI

Wprowadzenie	04
Współczynnik CAV	05
Wskaźnik WBGT	07
Po co CAV? czyli WBGT efektywne	08
CAV - gdzie go znaleźć?	10
Aplikacja CAV	11
Baza danych	13
CAV a odzież chłodząca	13
Podsumowanie	16
Bibliografia	18



WPROWADZENIE

Prawidłowa ocena obciążenia cieplnego pracownika jest kluczowym elementem zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy w środowiskach o podwyższonej temperaturze.

Nadmierne obciążenie cieplne może doprowadzić do poważnych skutków zdrowotnych. Bezpośrednio do: odwodnienia, kurczy cieplnych, omdleń, wyczerpania cieplnego, a w najgorszym przypadku do udaru cieplnego. Pośrednio, nadmierne obciążenie cieplne, może zwiększyć ryzyko przebiegu chorób układu oddechowego, układu sercowo-naczyniowego, a także innych chorób przewlekłych (np. zaburzenia psychiczne, metaboliczne i in.), czy ostrych i przewlekłych chorób układu moczowego.

W praktyce najczęściej stosuje się **wskaźnik WBGT** uwzględniający zastosowaną odzież (**współczynnik CAV**), które pozwalają określić **ryzyko przegrzania organizmu**.

W celu wspomoczenia **pracowników służby BHP** stworzono **bazę danych** oraz opracowano **aplikacja webową CAV**, które pozwalają na oszacowanie współczynnika CAV, wprowadzonego rozporządzeniem w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy w zakresie mikroklimatu gorącego (Dz. U. 2021 poz. 325, z późn. zm.), a tym samym na **zwiększenie bezpieczeństwa pracowników poprzez prawidłową ocenę obciążenia cieplnego w pracy**.

WSPÓŁCZYNNIK CAV ...

CAV (ang. *Clothing Adjustment Value*) to współczynnik korekcji odzieży określający wpływ zastosowanej odzieży na wymianę ciepła między organizmem człowieka a otoczeniem.

Im bardziej odzież ogranicza odparowanie potu, tym wyższy jest współczynnik CAV.

Wartość CAV wyrażana jest w °C i dodawana do zmierzonego wskaźnika WBGT, aby uzyskać **rzeczywisty poziom obciążenia cieplnego**.

Stosowanie odzieży, która stanowi dodatkową barierę w wymianie ciepła, zwiększa ryzyko przegrzania pracownika, co trzeba uwzględnić podczas planowania pracy w środowisku gorącym.

... I JEGO ZNACZENIE

Odzież ochronna **ogranicza wymianę ciepła** poprzez parowanie potu, konwekcję, a także przez przewodzenie czy promieniowanie – utrudnia tym samym chłodzenie organizmu.

W zależności od rodzaju ubioru, zastosowanego materiału a nawet przeprowadzonej wobec odzieży liczby cykli konserwacji, współczynnik CAV może wynosić od 0 °C (odzież lekka, przewiewna, standardowa odzież robocza), do nawet 16 °C (kombinezon gazoszczelny).

Przykład

Rodzaj odzieży	CAV [°C]
Odzież robocza standardowa	0
Odzież ochronna nieprzepuszczalna	6–11
Kombinezon gazoszczelny (np. Hazmat®)	16

WSKAŹNIK WBGT

WBGT (ang. *Wet Bulb Globe Temperature*) to **wskaźnik obciążenia cieplnego** środowiska pracy, który wyznaczany na stanowisku pracy, uwzględnia następujące obszary:

- warunki środowiskowe (temperaturę powietrza, wilgotność względną, promieniowanie ciepłe oraz ruch powietrza),
- tempo metabolizmu (związane z ciężkością wykonywanej pracy).

Jest powszechnie stosowany do **oceny ryzyka nadmiernego obciążenia cieplnego pracowników**.

SKŁADOWE

- T_{nw} – temperatura termometru wilgotnego naturalnego / naturalna wilgotna ($^{\circ}\text{C}$)
- T_g – temperatura poczernionej kuli ($^{\circ}\text{C}$)
- T_a – temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$)

OBLICZENIA

- brak bezpośredniego nasłonecznienia
 $\text{WBGT} = 0,7 t_{nw} + 0,3 t_g$
- przy bezpośrednim nasłonecznieniu
 $\text{WBGT} = 0,7 t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$



PO CO CAV ? CZYLI WBGT EFEKTYWNE

WBGT to kluczowe narzędzie do oceny stresu cieplnego.
Ale brakuje tutaj bardzo ważnego elementu – stosowanej odzieży!

Rzeczywisty stres cieplny, czyli WBGT efektywne ($WBGT_{eff}$), określony jest dopiero po uwzględnieniu współczynnika CAV:

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV$$

I dopiero wtedy mamy pełny obraz sytuacji!

● INTERPRETACJA

Obliczoną wartość WBGT porównuje się z wartościami dopuszczalnymi przypisanymi dla różnych klas tempa metabolizmu.

Wartości dopuszczalne WBGT zawarte są w rozporządzeniu w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (tabela) oraz w PN-EN ISO 7243.



Tabela z dopuszczalnymi wartościami WBGT

Tempo metabolizmu / przykład wykonywanej pracy	Dopuszczalna wartość WBGT* [°C]
1. klasa tempa metabolizmu / biurowa, nadzorcza	30
2. klasa tempa metabolizmu / montaż, prace warsztatowe	28
3. klasa tempa metabolizmu / fizyczna, budowlana	26
4. klasa tempa metabolizmu / hutnictwo, odlewnictwo	25

* wartości dla osób zaaklimatyzowanych

Przykład

Tempo metabolizmu pracownika wynosi 230 W/m² (3. klasa).

W ramach obserwacji zauważamy, że nosi on, oprócz standardowej odzieży, kombinezon, który zakładany jest na odzież spodnią (CAV = 3 °C).

Jeśli, na podstawie pomiarów środowiskowych, WBGT wynosi 25 °C, to wartość WBGT efektywna (skorygowana o efekt odzieży) wynosi:

$$WBGT_{\text{eff}} = 25 + 3 = 28 \text{ °C}$$

Oznacza to, że rzeczywiste obciążenie cieplne odpowiada pracy w środowisku o wartości 28 °C, a nie 25 °C.

Obliczoną wartość WBGT_{eff} porównujemy do wartości odniesienia (tabela).

W przypadku WBGT_{eff} 28 °C i tempa metabolizmu 230 W/m² – praca przez 8h byłaby niedozwolona.

CAV

GDZIE GO ZNALEŹĆ ?

Nieliczne wartości współczynnika CAV można znaleźć w PN-EN ISO 7243 oraz w literaturze naukowej, gdzie zostały określone na podstawie badań z udziałem ochotników.

● Dane literaturowe

Zestaw odzieży	CAV [°C]
Standardowa odzież robocza	0
Kombinezon bawełniany	2
Kombinezon zakładany dodatkowo na odzież spodnią	3
Kombinezon z kapturem z pojedynczej warstwy z barierą paroszczelną (np. kombinezony chroniące przed substancjami chemicznymi)	11
Kombinezon gazoszczelny (np. Hazmat®)	16



● Badania naukowe

W CIOP-PIB przeprowadzono badania z wykorzystaniem zaawansowanych symulatorów cieplnych: **manekina termicznego, modelu skóry**, których wyniki pozwoliły na **stworzenie bazy danych** zawierających wybrane **parametry cieplne (związane z komfortem termo-fizjologicznym)** 16 zestawów odzieży do środowiska gorącego oraz 17 materiałów stosowanych w w/w odzieży.



Aplikacja CAV

Na podstawie badań naukowych oraz przeprowadzonych licznych symulacji komputerowych za pomocą programu PHS (ang. *Predicted Heat Strain*), zaproponowano wartości wskaźnika CAV w odniesieniu do 16 zestawów odzieży stosowanej w środowisku gorącym.

Opracowano aplikację webową, która pozwala na oszacowanie wskaźnika CAV, na przykładzie zaproponowanych zestawów odzieży, w zależności od składu materiałów oraz przeprowadzonej liczby cykli konserwacji.

CIOP Kalkulator CAV

Aplikacja do szacowania współczynnika CAV

To intuicyjne narzędzie webowe dla specjalistów BHP. Umożliwia szybkie oszacowanie wartości współczynnika Clothing Adjustment Value (CAV) na podstawie rodzaju stosowanej odzieży ochronnej i liczby cykli jej konserwacji. Wyniki wspierają prawidłową ocenę obciążenia cieplnego i ułatwiają świadome decyzje w zakresie bezpieczeństwa pracy.

Czym jest współczynnik Clothing Adjustment Value (CAV)

Wpływ odzieży ochronnej na wymianę ciepła z otoczeniem. Im bardziej odzież ogranicza odparowanie potu, tym wyższy jest współczynnik CAV – większe ryzyko przegrzania pracownika, co trzeba uwzględnić podczas planowania pracy w środowisku gorącym.

Podstawa metodyczna CAV i WBGT określa się w oparciu o normę PN-EN ISO 7243 oraz rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2021 poz. 325 z późn. zm.).

MRPiPS. umowa nr UM-1/DPP/PD/2023/02_3ZS.13

Kalkulator CAV

Wybierz **główny skład** (pierwszy w składzie), następnie **konkretny materiał/ubranie** oraz **liczbę cykli konserwacji**.

Główny skład (pierwszy w składzie)

Bawełna

Materiał / ubranie

Odzież ochronna – 100% bawełna (350 g/m²)

Liczba cykli konserwacji

0 (przed konserwacją)



Opis / skład

100% bawełna — 350 g/m²

Normy / typ: EN ISO 11612 / 11611

Przeznaczenie: Ochrona przy wysokiej temperaturze i płomieniu; spawanie i prace pokrewne.

CAV (dokładny)

5.70

CAV (zaokrąglony)

6

Kaptur w zestawie

Jeżeli stosujesz kaptur (z dowolnego materiału), **zwiększ CAV o +1.**

CAV +1 = **7**

W aplikacji znajduje się:

- opis do czego służy (poz. 1),
- wyjaśnienie, czym jest współczynnik CAV (poz. 2) oraz
- informacja, w ramach którego zadania została stworzona (poz. 3).

Wybierając surowiec mający największy **udział w składzie** tkaniny, z którego wykonany jest zestaw odzieży (poz. 4.), w poz. 5 rozwija się **lista możliwych** do wybrania kombinacji (aplikację można będzie rozszerzać o kolejne zbadane w przyszłości zestawy odzieży). W pozycji 6 można wybrać **liczbę cykli konserwacji** 0 lub 50.

Kalkulator CAV wizualnie przedstawia wybraną odzież wraz z **opisem szczegółowym jej składu surowcowego, masą powierzchniową, typ bądź wymagania normy** (które dana odzież spełnia) oraz **możliwe przeznaczenia** (poz. 7).

Po wybraniu zestawu odzieży kalkulator **zwraca wartość CAV** (wartość dokładną i zaokrągloną), wyliczoną na podstawie symulacji komputerowych przy zastosowaniu programu PHS (poz. 8) oraz wskazuje na wartość CAV, w przypadku zastosowania dodatkowego nakrycia głowy (zastosowanie kaptura – poz. 9.).



Baza danych

Baza danych zawierająca wyniki badań, w zależności od liczby cykli konserwacji (0 i 50):

- **gotowych zestawów odzieży** (z wykorzystaniem **manekina termicznego**)
➡ izolacyjność cieplna, opór pary wodnej
- **próbek materiałów** (z wykorzystaniem **modelu skóry**) ➡ opór cieplny, opór pary wodnej, masa powierzchniowa, grubość, przepuszczalność powietrza
- próbek materiałów (z wykorzystaniem **elektronowej mikroskopii skaningowej**) ➡ pozorna długość wątków pomiędzy kolejnymi pokryciami osnowowymi oraz grubość wątków.

Baza zawiera także informacje nt. składu materiałów oraz wyliczonych wartości współczynników przenikania pary wodnej, a także CAV.

CAV A ODZIEŻ CHŁODZĄCA

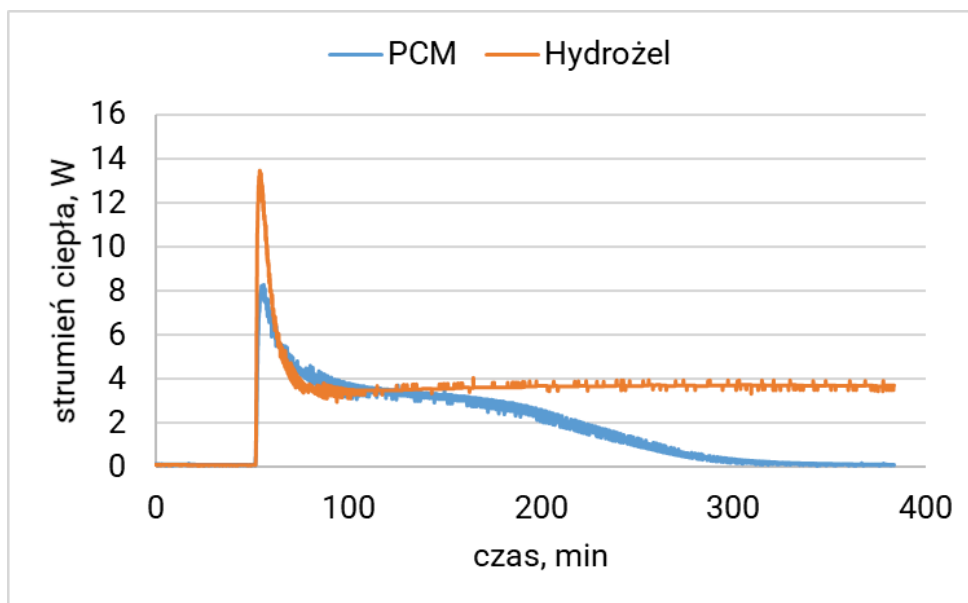
Odzież chłodząca w środowisku gorącym ma za zadanie **odbierać nadmiar ciepła** z ciała pracownika, aby **nie dopuścić do przegrzania organizmu**.

W ramach zadania badawczego analizowano **działanie kamizelek chłodzących**:

- zawierające związki zmiennofazowe **PCM** oraz
- kamizelki **hydrożelowe**.

Badania prowadzone zarówno z wykorzystaniem manekina termicznego, jak i modelu skóry, wykazały **pozytywny wpływ kamizelek chłodzących** (potencjalne odbieranie ciepła z ciała pracownika).

W przypadku **kamizelki hydrożelowej czas był dłuższy a ilość obieranego ciepła większa** w stosunku do kamizelki z PCM (wykres).



Strumień ciepła dot. kamizelek, w warunkach izotermicznych 35 °C, podczas badań na modelu skóry

Należy też podkreślić, że **działanie kamizelki PCM jest znacznie krótsze**: ciepło odprowadzane spada o połowę w stosunku do maksymalnej mocy po około 150 minutach, a po ok. 300 minutach działanie całkowicie ustaje. Kamizelka hydrożelowa wykazywała aktywne działanie nawet ponad 650 min po założeniu.

Innym aspektem różnicującym potencjalne zastosowania dwóch modeli kamizelek jest **temperatura aktywacji** mechanizmu chłodzącego. **Kamizelka hydrożelowa** chłodzi **niezależnie od temperatury powietrza**, podczas gdy kamizelka **PCM** stosowana może być jedynie w temperaturze powietrza **równej lub wyższej od 34 °C**.



● Czy może być CAV ujemny ?

W celu określenia wartości CAV dla kamizelek chłodzących, przeprowadzono symulacje komputerowe za pomocą programu PHS.

Na podstawie uzyskanych wyników, zakładając pracę przez 150 minut oraz biorąc pod uwagę niepewność wynikającą ze stosowanej metody, można przyjąć następujące wartości współczynnika CAV (w zestawie z odzieżą roboczą):

- CAV_{PHS} kamizelki hydrożelowej -0,7
- CAV_{PHS} kamizelki PCM +3,7.

Kamizelka hydrożelowa odbierała ciepło, podczas gdy, po 150 minutach kamizelka z PCM stanowiła dodatkowe obciążenie dla organizmu osoby, która by ją użytkowała. Przeprowadzone symulacje wskazały na możliwość uzyskania ujemnego CAV, w przypadku elementów chłodzących wydajniej odprowadzających ciepło z organizmu przy jednoczesnym zachowaniu niskiej izolacyjności cieplnej.

Symulacje zostały także przeprowadzone w odniesieniu do chwilowej, maksymalnej możliwości chłodzenia kamizelek.

CAV_{PHS} dla kamizelki hydrożelowej wynosił wówczas -1,4 (odbieranie ciepła jest bardzo efektywnie), podczas gdy CAV_{PHS} kamizelki PCM wynosiło +2,2 (kamizelka swym działaniem nie rekompensowała obciążenia cieplnego spowodowanego głównie przez swoją konstrukcję).

Wyliczono CAV_{PHS} w stosunku do kamizelek nieaktywnych, który wynosił 0,0 i +5,0 odpowiednio w przypadku kamizelki hydrożelowej oraz PCM. Kamizelka hydrożelowa, pomimo braku działania, nie stanowiła dodatkowego obciążenia cieplnego dla osoby noszącej, podczas gdy kamizelka PCM – już tak.

Odzież ochronna, jak i robocza, może być źródłem znaczącego dodatkowego obciążenia cieplnego i w związku z tym jej stosowanie powinno być uwzględniane podczas organizacji pracy w podwyższonej temperaturze.

Wskaźnik $WBGT_{eff}$ uwzględniający współczynnik CAV stanowią podstawowe narzędzia oceny obciążenia cieplnego pracowników.

Ich prawidłowe zastosowanie umożliwia skuteczne planowanie pracy w warunkach gorącego mikroklimatu, minimalizując ryzyko przegrzania i zapewniając bezpieczeństwo pracowników.

Kluczowymi **czynnikami** mającymi wpływ na wartość współczynnika CAV jest **konstrukcja odzieży** oraz **opór przenikania pary wodnej** materiału, z którego dana odzież jest wykonana.

Im bardziej szczelna konstrukcja i wyższy opór pary wodnej, tym wyższa wartość współczynnika CAV.

Cennym narzędziem wspierającym prawidłowe określenie współczynnika CAV jest opracowana w CIOP-PIB **aplikacja webowa**, która pozwala **zwiększyć bezpieczeństwo pracowników** poprzez odpowiednie określenie wskaźnika obciążenia cieplnego $WBGT_{eff}$.

Wykazano także, że **odzież chłodząca** może **pozytywnie wpływać na obniżenie współczynnika CAV**. Należy jednak z wielką uwagą dobierać np. kamizelki chłodzące, **by nie stanowiły dodatkowego obciążenia dla pracowników.**

Podsumowanie



Link do aplikacji:

www.ciop.pl/kalkulator-CAV

Link do bazy danych:

www.ciop.pl/baza-CAV

Bibliografia

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), (2017). TLVs and BEIs. ACGIH, Cincinnati
- Bernard T, et al. (2017) Prediction of WBGT - based clothing adjustment values from evaporative resistance Industrial Health , 55, 549–554
- Młynarczyk M, Konarska M. Ocena obciążenia cieplnego człowieka w środowisku gorącym poprzez wskaźnik WBGT_{eff} wg zapisów normy PN-EN ISO 7243:2018-01 Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2021, nr 1(107), s. 5–14 DOI: 10.5604/01.3001.0014.8148
- O'Connor DJ. (1999) Continuing the Search for WBGT Clothing Adjustment Factors, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 14:2, 119-125
- Parsons KC. (2003). Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. 2nd ed. Taylor and Francis, New York.)
- PN-EN ISO 7243 Ergonomia środowiska termicznego - Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT (temperatura wilgotnego termometru i poczernionej kuli)
- PN-EN ISO 7933 Ergonomia środowiska termicznego - Analityczne wyznaczenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego
- PN-EN ISO 9237:1998 Tekstylnia - Wyznaczanie przepuszczalności powietrza wyrobów włókienniczych
- PN-EN ISO 9920 Ergonomia środowiska termicznego - Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy w zakresie mikroklimatu gorącego (Dz. U. 2021 poz. 325).
- Schmoltdt M. (2018). Heat stress. Calculating time weighted average for worker exposure. EFCOG Industrial Hygiene and Safety Group Meeting, Washington D.C., 24.10.2018



Zapraszamy na strony Pracowni Obciążeń Termicznych

stronę internetową
www.ciop.pl



profil FB
www.facebook.com/pracowniaOT
