

# Ocena obciążenia cieplnego człowieka w środowisku gorącym poprzez wskaźnik WBGT<sub>eff</sub> wg zapisów normy PN-EN ISO 7243:2018-01<sup>1</sup>

Assessment of heat stress in a hot environment using the WBGT<sub>eff</sub> index in accordance with Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01<sup>1</sup>

dr inż. MAGDALENA MŁYNARCZYK  
<https://orcid.org/0000-0002-9218-9781>  
e-mail: m.mlynarczyk@ciop.pl

prof. dr hab. n. med. MARIA KONARSKA  
<https://orcid.org/0000-0002-2902-575X>  
e-mail: makon@ciop.pl

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warsaw, Poland

## Streszczenie

Ocena najwyższego dopuszczalnego obciążenia cieplnego organizmu w środowisku gorącym wyznaczana jest za pomocą wskaźnika WBGT. Nazwa wskaźnika WBGT pochodzi od nazw czujników wykorzystywanych do pomiarów przesiewowych parametrów środowiska: do pomiaru temperatury w stanie wilgotnym (temperatura wilgotnego termometru – Wet Bulb) oraz pomiaru temperatury poczerwionej kuli (Globe Temperature). WBGT jako wskaźnik używany do oceny obciążenia cieplnego organizmu do 2017 r. był powiązany z wydatkiem energetycznym i przedstawiony w postaci tabel w polskim wydaniu normy PN-EN 27243:2005 (oraz PN-EN 27243:2005P). W 2017 r. normę zastąpiono dokumentem EN ISO 7243:2017, a w styczniu 2018 r. zostało zatwierdzone polskie tłumaczenie normy PN-EN ISO 7243:2018-01. W artykule zamieszczono opis metodyki prowadzenia badań wskaźnika WBGT zgodnie z zapisami PN-EN ISO 7243:2018-01. Zakres tematyczny artykułu obejmuje zagadnienia zdrowia oraz bezpieczeństwa środowiska pracy będące przedmiotem badań z zakresu nauk o zdrowiu oraz inżynierii środowiska.

**Słowa kluczowe:** WBGT, środowisko gorące, obciążenie cieplne, nauki o zdrowiu, inżynieria środowiska.

## Abstract

The assessment of maximum allowable heat load of a body in a hot environment is determined using the WBGT index. The name of the WBGT index is derived from the measurement of two parameters: natural wet-bulb temperature and black globe temperature. WBGT as an indicator used to assess the heat load (until 2017) was related to the metabolic

<sup>1</sup> Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

This paper has been based on the results of a research task carried out within the scope of the fifth stage of the National Programme “Improvement of safety and working conditions” partly supported in 2020–2022 – within the scope of research and development – by the Ministry of Education and Science/National Centre for Research and Development.

The Central Institute for Labour Protection – National Research Institute is the Programme’s main co-ordinator..

heat production and placed in the form of tables in the Polish edition of Standard No. PN-EN 27243:2005 (and PN-EN 27243:2005P). In 2017, this standard was replaced by Standard No. EN ISO 7243:2017, and in January 2018, the Polish translation of Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01 was approved. This article describes the methodology of conducting WBGT research according to Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01. This article discusses the problems of occupational safety and health, which are covered by health sciences and environmental engineering.

**Keywords:** WBGT, hot environment, heat stress, environmental engineering, health sciences.

## WPROWADZENIE / INTRODUCTION

Ocena najwyższego dopuszczalnego obciążenia cieplnego organizmu w środowisku gorącym wyznaczana jest za pomocą wskaźnika WBGT.

Nazwa wskaźnika WBGT pochodzi od nazw czujników wykorzystywanych do pomiarów przesiewowych parametrów środowiska: do pomiaru temperatury w stanie wilgotnym (temperatura wilgotnego termometru – Wet Bulb) oraz pomiaru temperatury poczernionej kuli (Globe Temperature), (Wacławik 2013).

Wskaźnik ten, opracowany przez C.P. Yaglou i C.D. Minarda w latach 50. XX wieku, pierwotnie stosowano do celów wojskowych. Następnie przyjęły go międzynarodowe i krajowe organizacje oraz instytucje (m.in. NIOSH, ISO, EN) działające na rzecz bezpieczeństwa i higieny pracy (Marszałek 2016). Od roku 1982, po tym, jak przyjęto normę ISO 7243, nabrał znaczenia międzynarodowego (Wacławik 2013).

WBGT jako wskaźnik używany do oceny obciążenia cieplnego organizmu do 2017 r. był powiązany z wydatkiem energetycznym i przedstawiony w postaci tabel w polskim wydaniu normy PN-EN 27243:2005 (oraz PN-EN 27243:2005P). W 2017 r. norma ta została zastąpiona dokumentem EN ISO 7243:2017, a w styczniu 2018 r. zatwierdzono polskie tłumaczenie normy PN-EN ISO 7243:2018-01.

W niniejszym artykule zamieszczono opis metodyki prowadzenia badań wskaźnika WBGT zgodnie z zapisami PN-EN ISO 7243:2018-01. Zakres tematyczny artykułu obejmuje zagadnienia zdrowia oraz bezpieczeństwa środowiska pracy będące przedmiotem badań z zakresu nauk o zdrowiu oraz inżynierii środowiska.

Assessment of the maximum permissible heat stress of the body in a hot environment is determined using the WBGT index.

The WBGT index is named after the sensors used to measure the screening parameters of the environment: for measuring the wet temperature (wet bulb temperature) and for measuring the wet bulb globe temperature (Wacławik 2013).

This index, developed by C.P. Yaglou and C.D. Minard in the 1950s, was originally used for military purposes. It was then adopted by international and national organisations and institutions (including NIOSH, ISO, EN) which are active in the field of occupational health and safety (Marszałek 2016). Since 1982, following the adoption of Standard No. ISO 7243, it has gained international significance (Wacławik 2013).

As an index used to assess the heat stress of the body until 2017, WBGT was linked to energy expenditure and presented in the form of tables in the Polish edition of Standard No. EN 27243:2005 (and in Standard No. PN-EN 27243:2005P). In 2017, this standard was replaced by Standard No. EN ISO 7243:2017, and in January 2018, the Polish translation of Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01 was approved.

This article contains a description of the methodology for conducting WBGT index tests in accordance with the provisions of Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01. The subject matter of the article covers health and safety issues in the working environment, which are the subject of health sciences and environmental engineering studies.

## METODA PROWADZENIA BADANIA OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO W ŚRODOWISKU GORĄCYM / METHOD OF CONDUCTING HEAT STRESS TESTS IN A HOT ENVIRONMENT

Sposób postępowania podczas prowadzenia badania obciążenia cieplnego pracownika w środowisku gorącym można podzielić na trzy etapy (Sudoł-Szopińska i in. 2006):

1. pomiary na stanowisku pracy: ogólna ocena warunków cieplnych, badanie parametrów mikroklimatu na stanowisku pracy na podstawie obserwacji oraz wywiadu z przedstawicielem służb BHP i pracownikami, określenie stopnia intensywności pracy oraz ocena stosowanej odzieży,
2. obliczenia: na podstawie uzyskanych danych obliczenie wartości wskaźnika WBGT oraz  $WBGT_{eff}^2$ ,
3. interpretacja wyników: porównanie obliczonego wskaźnika z wartościami odniesienia (dopuszczalnymi).

Poniżej zostały omówione poszczególne etapy postępowania podczas pomiarów i interpretacji wskaźnika WBGT.

The procedure for the heat stress test of a worker can be divided into three stages (Sudoł-Szopińska et al. 2006):

1. measurements in the workplace: general assessment of thermal conditions, examination of microclimate parameters in the workplace on the basis of observation and interview with the OSH representative and workers, determination of work intensity and assessment of the clothing used,
2. calculation: on the basis of the data obtained, calculation of WBGT and  $WBGT_{eff}^2$ ,
3. interpretation of the results: comparison of the calculated index with the reference (allowable) values.

The following steps should be followed when measuring and interpreting the WBGT index.

### NA STANOWISKU PRACY / IN THE WORKPLACE

Ponieważ wskaźnik WBGT służy do oszacowania obciążenia cieplnego, na które pracownik jest ekspozycjonowany w czasie, gdy wykonuje się pomiary, zaleca się, aby były one prowadzone w najbardziej obciążającym momencie pracy, a więc w okresie letnim, najlepiej w środku dnia lub w czasie możliwie największej ekspozycji (PN-EN ISO 7243:2018-01).

Wskaźnik WBGT jest funkcją dwóch lub trzech zmiennych: temperatury poczerwionej kuli

As the WBGT index is used to estimate the heat stress to which a worker is exposed during measurements, it is recommended that they be carried out at the most onerous operating time, i.e. during the summer period, preferably in the middle of the day or at the highest possible exposure time (Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01).

The WBGT index is a function of two or three variables: the wet bulb globe temperature ( $t_g$ ), natural wet temperature ( $t_{nw}$ ) and (with exposure to

<sup>2</sup> Wskaźnik  $WBGT_{eff}$  został wprowadzony w rozporządzeniu Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2021, poz. 325). Zgodnie z normą PN-EN ISO 7243 zawarto w nim obowiązek uwzględniania korekcyjnej odzieżowej (CAV). Nie ma w nim natomiast wymogu wstępnego wyznaczenia wskaźnika PMV.

The  $WBGT_{eff}$  index was introduced in the Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 18 February 2021, amending the Regulation on maximum permissible concentrations and intensities of factors harmful to health in the working environment (Journal of Laws 2021, item 325). In accordance with Standard No. PN-EN ISO 7243, it includes the obligation to take into account the Clothing Adjustment Value (CAV). However, it does not require the initial determination of the PMV index.

( $t_g$ ), temperatury naturalnej wilgotnej ( $t_{nw}$ ) oraz (w przypadku oddziaływania promieniowania słonecznego) temperatury powietrza ( $t_a$ ), (wzory 3 i 4). W normie PN-EN ISO 7243 znajdują się wymagania techniczne dotyczące stosowanych czujników do pomiarów ww. parametrów. Zakres oraz dokładność pomiaru wynoszą odpowiednio: dla temperatury naturalnej wilgotnej  $5 \div 40$  °C ( $\pm 0,5$  °C), dla temperatury poczerwionej kuli  $20 \div 50$  °C ( $\pm 0,5$  °C) oraz  $50 \div 120$  °C ( $\pm 1$  °C), (dla kuli o średnicy 150 mm), dla temperatury powietrza  $10 \div 60$  °C ( $\pm 0,5$  °C), (Młynarczyk i in. 2020).

Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 7243 pomiary parametrów mikroklimatu służących do obliczania wskaźnika WBGT powinny być prowadzone w reprezentatywnym okresie około 1 h. Odczyty parametrów należy prowadzić w stanie ustalonym (szczególnie w przypadku temperatury poczerwionej kuli), a pomiary środowiskowe należy rejestrować z dużą częstością, np. co sekundę lub minutę (PN-EN ISO 7243:2018-01).

Zaleca się, aby pomiar parametrów mikroklimatu był prowadzony na poziomie brzucha. Norma PN-EN ISO 7726 zaleca, aby badanie dla pracownika w pozycji stojącej wykonywać na wysokości 1,1 m, natomiast w przypadku pozycji siedzącej na wysokości 0,6 m. Gdy występuje środowisko niejednorodne (zmiennosc przestrzenna), zaleca się, aby pomiar wykonywać na poziomie, na którym występuje największe obciążenie cieplne (PN-EN ISO 7243).

W przypadku wystąpienia zmienności czasowej parametrów (np.  $t_g$ ,  $t_{nw}$ ) lub szacowanych wartości (np. tempo metabolizmu), należy wyznaczyć reprezentatywną wartość średnią ważoną, której podstawą czasu jest okres 1 h, zgodnie ze wzorem 1:

$$\bar{p} = \frac{(p_1 \cdot t_1) + \dots + (p_n \cdot t_n)}{t_1 + \dots + t_n}, \quad (1)$$

gdzie:

$p_1, \dots, p_n$  to poziom badanego parametru uzyskanego w czasie  $t_1, \dots, t_n$ ; a  $t_1 + \dots + t_n = 1$  h.

W przypadku szacowania ilości ciepła wytwarzanego przez organizm, a zatem określania tempa metabolizmu, można się posłużyć wartościami podanymi w załączniku E normy PN-EN ISO 7243 bądź posilkować się zapisami normy PN-EN ISO 8996. Oszacowaną całkowitą ilość

sunlight) air temperature ( $t_a$ ) (Formulas 3 and 4). Standard No. PN-EN ISO 7243 contains technical requirements for the sensors used to measure the above parameters. The scope and accuracy of the measurements are as follows: for the natural wet temperature of  $5 \div 40$  °C ( $\pm 0.5$  °C), for the wet bulb globe temperature of  $20 \div 50$  °C ( $\pm 0.5$  °C) and  $50 \div 120$  °C ( $\pm 1$  °C) (for a globe with a diameter of 150 mm), for air temperature of  $10 \div 60$  °C ( $\pm 0.5$  °C), (Młynarczyk et al. 2020).

In accordance with the provisions of Standard No. PN-EN ISO 7243, the measurements of microclimate parameters used for the calculation of the WBGT index should be performed in a representative period of approx. 1 h. Parameter readings should be carried out in steady state (especially for wet bulb globe temperature), and environmental measurements should be recorded with high frequency, e.g. every second or minute (Standard No. PN-EN ISO 7243:2018-01).

It is recommended that the microclimate parameters be measured at abdomen level. Standard No. PN-EN ISO 7726 recommends that the test for a worker in standing position be performed at the height of 1.1 m, whereas in the case of a seated position, at the height of 0.6 m. For non-uniform environments (spatial variability), it is recommended that the measurement be performed at the level where the greatest heat stress occurs (Standard No. PN-EN ISO 7243).

If there is temporal variability of parameters (e.g.  $t_g$ ,  $t_{nw}$ ) or estimated values (e.g. metabolism rate), a representative weighted average value should be determined, the time base of which should be 1 h, as per Formula 1:

where:

$p_1, \dots, p_n$  is the level of the tested parameter obtained at time  $t_1, \dots, t_n$ ; and  $t_1 + \dots + t_n = 1$  h.

When estimating the amount of heat produced by the body and thereby determining the rate of metabolism, the values given in Annex E of Standard No. PN-EN ISO 7243 may be used or the provisions of Standard No. PN-EN ISO 8996 may be adopted. The estimated total amount of heat

ciepła wytwarzanego w czasie 8 h czasu pracy należy przyporządkować do odpowiedniej klasy tempa metabolizmu: spoczynek, niskie tempo (praca lekka), umiarkowane tempo (praca średnio ciężka), wysokie tempo (praca ciężka) lub bardzo wysokie tempo (praca bardzo ciężka), (tab. 1.).

generated during 8 hours of work should be assigned to the relevant class of metabolism rate: rest, low rate (light work), moderate rate (medium-heavy work), high rate (heavy work) or very high rate (very heavy work) (Table 1).

**Tabela 1.** Klasyfikacja poziomów tempa metabolizmu (Młynarczyk i in. 2020; PN-EN ISO 7243; PN-EN ISO 8996)

**Table 1.** Classification of metabolism rate levels (Młynarczyk et al. 2020; Standard No. PN-EN ISO 7243; Standard No. PN-EN ISO 8996)

Klasa tempa metabolizmu Metabolism rate class	Średnie tempo metabolizmu, W Average metabolism rate, W	Opis czynności Description of the activity
0 (spoczynek / rest)	115	siedzenie swobodne / free sitting
1 (praca lekka / light work)	180	lekka praca ręczna / light manual work
2 (praca średnio ciężka / medium-heavy work)	300	długotrwała praca ręką i ramieniem; praca kończyną górną i dolną / prolonged hand and arm work; upper and lower limb work
3 (praca ciężka / heavy work)	415	intensywna praca ramieniem i tułowiem; przenoszenie ciężkich materiałów / intensive arm and trunk work; handling heavy materials
4 (praca bardzo ciężka / very heavy work)	520	bardzo intensywna praca wykonywana w tempie od szybkiego do maksymalnego / very intense work at fast to maximum rates

Ponieważ stopień obciążenia cieplnego zależy od stosowanej przez pracownika odzieży, należy ją ująć w obliczeniach. Jest ona uwzględniana przez wartość korekcji odzieżowej CAV (Clothing Adjustment Value). Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 7243 wartość CAV jest dodawana do obliczanej wartości WBGT, a uzyskana wówczas wartość  $WBGT_{eff}$  jest wartością reprezentującą oszacowanie obciążenia cieplnego pracownika które powoduje stosowana odzież rzeczywista w równoważnym środowisku. Wartość  $WBGT_{eff}$  określa wzór 2:

Since the degree of heat stress depends on the worker's clothing, it has to be included in the calculation. It is taken into account by the value of correction of the Clothing Adjustment Value (CAV). In accordance with the provisions of Standard No. PN-EN ISO 7243, the CAV is added to the calculated WBGT value, and the obtained  $WBGT_{eff}$  value is the value representing the estimation of the worker's heat stress provided by the actual clothing in an equivalent environment. The value of  $WBGT_{eff}$  is given by Formula 2:

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV. \quad (2)$$

W załączniku F do normy PN-EN ISO 7243 znajduje się wykaz wartości CAV. Przykładowe wartości zamieszczono w tabeli 2.

Annex F to Standard No. PN-EN ISO 7243 contains a list of CAVs. Examples of these values are given in Table 2.

**Tabela 2.** Przykładowe wartości korekcji odzieżowej CAV (ACGIH 2017; Parsons 2003; PN-EN ISO 7243; Schmoldt 2018)

**Table 2.** Examples of clothing adjustment values – CAVs (ACGIH 2017; Parsons 2003; Standard No. PN-EN ISO 7243; Schmoldt 2018)

Zestaw odzieży Set of clothing	Izolacyjność cieplna zestawu odzieży, clo Thermal insulation of a set of clothing, clo	CAV, WBGT, °C
Standardowe ubranie robocze wykonane z tkaniny (zestaw referencyjny) / Standard working clothes made of fabric (reference set)	0,6	0
Kombinezon wykonany z tkaniny bawełnianej poddanej obróbce (lub z lekkiego poliestru) / Overall made of treated cotton fabric (or light polyester)	bd. / NDA	0

cd. tab. 2. / cont. tab. 2

Zestaw odzieży Set of clothing	Izolacyjność cieplna zestawu odzieży, clo Thermal insulation of a set of clothing, clo	CAV, WBGT, °C
Kombinezon bawełniany / Cotton overall	1,0	2
Odzież wykonana z podwójnej warstwy tkaniny – często kombinezon przeznaczony do zakładania na odzież roboczą / Clothing made of a double layer of fabric – often overalls intended to be worn on top of work clothes	bd. / NDA	3
Zimowa odzież robocza / Winter work clothes	1,4	4
Kombinezon z kapturem z pojedynczej warstwy z barierą paroszczelną (np. kombinezony ochronne, kombinezony chroniące przed substancjami chemicznymi) / Single layer overall with a hood and with a vapour barrier (e.g. protective overalls, chemical protection overalls)	bd. / NDA	11

Objaśnienie:

bd. – brak danych.

Explanation:

NDA – no data available.

Wartość korekcji odzieżowej odzwierciedla wpływ stosowania odzieży innej niż standardowa odzież robocza. Zwykle CAV zwiększa się wraz ze zwiększaniem oporu dla pary wodnej. Na CAV wpływają również takie czynniki, jak: ciepło promieniowania, prędkość powietrza, ruchy ciała czy pośrednio wilgotność odzieży (PN-EN ISO 7243). Jeżeli dla badanego zestawu odzieży wartość CAV nie została wyznaczona, istnieje możliwość jej oszacowania na podstawie takiej wartości dla odzieży o zbliżonych właściwościach cieplnych (które są dokładnie opisane w normie PN-EN ISO 9920).

The clothing adjustment value reflects the effect of using clothing other than standard work clothes. Typically, the CAV increases with increasing resistance to steam. The CAV is also influenced by factors such as radiation heat, air velocity, body movements or indirectly, the humidity of clothing (Standard No. PN-EN ISO 7243). If the CAV is not determined for the tested set of clothes, it can be estimated on the basis of the value for clothes with similar thermal properties (which are precisely described in Standard No. PN-EN ISO 9920).

## OBLICZENIA / CALCULATIONS

Na podstawie uzyskanych wartości parametrów fizycznych należy obliczyć wartość wskaźnika WBGT. W zależności od tego, czy na stanowisku pracy oddziałuje bezpośrednie promieniowanie słoneczne, rozróżnia się dwa podstawowe wzory na obliczanie wartości WBGT (wzór 3 i 4), (PN-EN ISO 7243):

- bez promieniowania słonecznego:

$$\text{WBGT} = 0,7 \cdot t_{nw} + 0,3 \cdot t_g \quad (3)$$

- gdy występuje promieniowanie słoneczne:

$$\text{WBGT} = 0,7 \cdot t_{nw} + 0,2 \cdot t_g + 0,1 \cdot t_a \quad (4)$$

The WBGT value should be calculated from the physical parameter values obtained. Depending on whether the workplace is exposed to direct solar radiation, two basic formulas for calculating WBGT values (Formulas 3 and 4) are distinguished (Standard No. PN-EN ISO 7243):

- without solar radiation:

- with solar radiation:

W przypadku warunków zmiennych w czasie należy wyznaczyć reprezentatywną wartość (średnią ważoną) wg równania 1.

Jeżeli pracownik stosuje inną odzież niż standardowa odzież robocza, należy obliczyć wartość WBGT<sub>eff</sub> wg równania 2.

For variable conditions over time, a representative value (weighted average) should be determined according to Equation 1.

If a worker uses clothing other than standard work clothes, the WBGT<sub>eff</sub> value should be calculated according to Equation 2.

## INTERPRETACJA WYNIKÓW / INTERPRETATION OF RESULTS

Po wykonaniu powyższych obliczeń wyznaczone wartości WBGT (lub WBGT<sub>eff</sub>) należy porównać do wartości odniesienia, które odpowiadają bezpiecznym poziomom ciągłej ekspozycji do 8 h (tab. 3.)<sup>3</sup>.

Przedstawione wartości odniesienia mają zastosowanie dla osób zdrowych i sprawnych fizycznie. Za osobę zaaklimatyzowaną uznawana jest osoba, która była ekspozowana na gorące warunki pracy (podobne lub bardziej ekstremalne) co najmniej przez jeden tydzień pracy bezpośrednio przed okresem oceny (przeprowadzenia pomiarów). W innym przypadku osoba taka uznawana jest za niezaaklimatyzowaną.

Jeżeli wyznaczona wartość WBGT<sub>eff</sub> jest większa od odpowiedniej wartości odniesienia zawartej w tabeli 3., to ryzyko wystąpienia dolegliwości zależnych od gorąca się zwiększa. Wówczas należy albo bezpośrednio zmniejszyć obciążenie wysiłkiem lub stres cieplny w miejscu pracy, albo przeprowadzić bardziej szczegółową analizę obciążenia cieplnego na stanowisku pracy wg normy PN-EN ISO 7933.

After the above calculation, the determined values of WBGT (or WBGT<sub>eff</sub>) indices should be compared to the reference values which correspond to safe continuous exposure levels up to 8 h (Table 3.)<sup>3</sup>.

The presented reference values apply to healthy and physically fit persons. A person who has been exposed to hot working conditions (similar or more extreme) for at least one week of work immediately prior to the assessment period (measurements) should be considered an acclimatised person. Otherwise, a person should be considered as non-acclimatised.

If the determined WBGT<sub>eff</sub> value is greater than the corresponding reference value in Table 3, the risk of hot-dependent ailments increases. Then, it is necessary to either reduce physical stress or heat stress in the workplace, or perform a more detailed analysis of the heat stress in the workplace according to Standard No. PN-EN ISO 7933 standard.

**Tabela 3.** Wartości odniesienia WBGT (WBGT<sub>eff</sub>) dla osób zaaklimatyzowanych i niezaaklimatyzowanych, w odniesieniu do pięciu klas tempa metabolizmu (Młynarczyk i in. 2020; PN-EN ISO 7243; Rozporządzenie MRPiT)

**Table 3.** WBGT (WBGT<sub>eff</sub>) reference values for acclimatised and non-acclimatised persons, for five metabolism rate classes (Młynarczyk et al. 2020; Standard No. PN-EN ISO 7243; Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology)

Tempo metabolizmu (klasa) Metabolism rate (class)	Średnie tempo metabolizmu, W Average metabolism rate, W	Progowa wartość odniesienia WBGT, °C WBGT threshold reference value, °C	
		dla osób zaaklimatyzowanych for acclimatised persons	dla osób niezaaklimatyzowanych for non-acclimatised persons
0 (spoczynek / rest)	115 (100 ÷ 125)	33	32
1 (praca lekka / light work)	180 (125 ÷ 235)	30	29

<sup>3</sup> Poziomy ekspozycji zawarte w rozporządzeniu Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2021, poz. 325).

Exposure levels included in the Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 18 February 2021, amending the Regulation on maximum permissible concentrations and intensities of factors harmful to health in working environment (Journal of Laws 2021, item 325).

cd. tab. 3. / cont. tab. 3

Tempo metabolizmu (klasa) Metabolism rate (class)	Średnie tempo metabolizmu, W Average metabolism rate, W	Progowa wartość odniesienia WBGT, °C WBGT threshold reference value, °C	
		dla osób zaaklimatyzowanych for acclimatised persons	dla osób niezaaklimatyzowanych for non-acclimatised persons
2 (praca średnio ciężka / medium-heavy work)	300 (235 ÷ 360)	28	26
3 (praca ciężka / heavy work)	415 (360 ÷ 465)	26	23
4 (praca bardzo ciężka / very heavy work)	520 (>465)	25	20

### PRZYKŁADOWE OBLICZENIA / CALCULATION EXAMPLES

Na stanowisku pracy bez obecności bezpośredniego nasłonecznienia odnotowano następujące wartości: temperatury naturalnej wilgotnej  $t_{nw} = 27$  °C oraz temperatury poczernionej kuli  $t_g = 28$  °C. WBGT obliczone (wg wzoru 3) dla danego stanowiska pracy wynosi 27,3 °C. Na podstawie obserwacji zakwalifikowano wykonywaną pracę na tym stanowisku jako 2 klasę tempa metabolizmu (pracę średnio ciężką). Uzyskano dodatkowo informacje, iż pracuje tam osoba zaaklimatyzowana. Również na podstawie obserwacji zauważono, że oprócz standardowej odzieży roboczej pracownik ma na sobie bawełniany kombinezon. Wartość korekcji odzieżowej CAV, którą należy zawrzeć w obliczeniach, jest równa 2 (zgodnie z tab. 2.). Wówczas wartość WBGT uwzględniająca wpływ zastosowanej odzieży, a więc WBGT efektywne ( $WBGT_{eff}$ ) wynosi 29,3 °C (wg wzoru 2).

Aby prawidłowo zinterpretować otrzymany wynik  $WBGT_{eff}$ , należy porównać go z progowymi wartościami odniesienia zawartymi w tabeli 3.

Zgodnie z zawartymi w niej wartościami na badanym stanowisku pracy, przy uwzględnieniu wysiłku oraz zastosowanej odzieży,  $WBGT_{eff}$  przekracza wartość progową (dopuszczalną) [ $WBGT_{eff}(29,3) > WBGT(28)$ ]. Należy zatem podjąć działania w celu zmniejszenia obciążenia cieplnego pracownika na tym stanowisku pracy.

The following values were recorded in the workplace without direct sunlight: natural wet temperature  $t_{nw} = 27$  °C and wet bulb globe temperature  $t_g = 28$  °C. WBGT calculated (as per Formula 3) for a given workplace is 27.3 °C. Based on the observations, the performed work in that workplace was classified as class 2 metabolism rate (medium-heavy work). Additionally, information was obtained that an acclimatised person was working there. On the basis of observations, it was also noticed that apart from standard working clothes, the worker wore cotton coveralls. The value of clothing adjustment, CAV, to be included in the calculation is equal to 2 (as per Table 2.). Then, the value of WBGT taking into account the impact of the clothing used, i.e. the effective WBGT ( $WBGT_{eff}$ ) is 29.3 °C (as per Formula 2).

To correctly interpret the obtained result of  $WBGT_{eff}$ , it should be compared with the threshold reference values in Table 3.

In accordance with the values in the workplace, taking into account the exertion involved and the clothing used,  $WBGT_{eff}$  exceeds the threshold (permissible) value [ $WBGT_{eff}(29.3) > WBGT(28)$ ]. Measures should therefore be taken to reduce the worker's heat stress in this workplace.

### PODSUMOWANIE / CONCLUSION

Wskaźnik WBGT jest powszechnie stosowany do przesiewowej oceny obciążenia cieplnego organizmu na stanowisku pracy na otwartej przestrzeni

The WBGT index is widely used for a screening assessment of the heat stress of the body in an open-air workplace or in a closed room. The new edition



lub w zamkniętym pomieszczeniu. W nowym wydaniu normy PN-EN ISO 7243: 2018-01 doprecyzowano wartości odzieżowego współczynnika korygującego CAV, który po uwzględnieniu wpływu odzieży na wartość wskaźnika obciążenia cieplnego pracownika określa wartość  $WBGT_{eff}$ . W artykule opisano główne zasady metodyki i kryteria oceny obciążenia cieplnego pracownika w środowisku gorącym zgodne z zapisami znowelizowanej normy.

Wykazano, że takie podejście do oceny obciążenia cieplnego pracownika stanowi dobrą podstawę do zapobiegania negatywnym skutkom obciążenia cieplnego dla organizmu.

of Standard No. PN-EN ISO 7243: 2018-01 clarifies the CAVs, which, after taking into account the impact of clothing on the value of the worker's heat stress index, determines the value of  $WBGT_{eff}$ . This article outlines the main principles of methodology and criteria for assessing the heat stress of a worker in a hot environment in accordance with the provisions of the amended standard.

It has been demonstrated that such an approach to the assessment of the worker's heat stress provides a good basis to prevent the adverse effects of heat stress on the body.

## SŁOWNICZEK POJĘĆ / GLOSSARY OF TERMS

CAV (Clothing Adjustment Value) – wartość korekcji odzieżowej; korekcja wartości WBGT w celu uwzględnienia wpływu odzieży innej niż standardowa odzież robocza.

Mikroklimat na stanowisku pracy – parametry mikroklimatu (tj.: temperatura powietrza, temperatura naturalna wilgotna, temperatura pocznionej kuli) na stanowisku pracy obejmujące środowisko otwarte lub zamknięte pomieszczenia.

Obciążenie cieplne pracownika – zmiany prowadzące m.in. do wzrostu temperatury ciała w wyniku akumulacji ciepła lub przegrzania pod wpływem wysiłku fizycznego, a także wysokiej temperatury w wyniku niemożliwości jej wymiany ze środowiskiem zewnętrznym.

Osoba zaaklimatyzowana – osoba eksponowana na gorące warunki środowiska (podobne lub większe niż w pracy) co najmniej przez jeden tydzień pracy bezpośrednio przed okresem oceny (przeprowadzenia pomiarów).

Tempo metabolizmu (metabolizm) – całokształt przemian chemicznych i energetycznych zachodzących w organizmie.

WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) – prosty wskaźnik mikroklimatu środowiska uwzględniany wraz z tempem metabolizmu w ocenie potencjału obciążenia cieplnego osób eksponowanych na warunki gorące.

$WBGT_{eff}$  – wartość WBGT uwzględniająca oprócz mikroklimatu środowiska także wpływ zastosowanej odzieży (CAV).

CAV (Clothing Adjustment Value) – clothing correction value; WBGT value adjustment to take into account the effects of clothing other than standard work clothes.

Microclimate in the workplace – microclimate parameters (i.e. air temperature, natural wet temperature, wet bulb globe temperature) in a workplace involving open or closed rooms.

Worker heat stress – changes leading to, among others, an increase in body temperature due to heat accumulation or overheating due to physical exertion, and high temperature due to the inability to exchange it with the external environment.

Acclimatised person – a person exposed to hot environmental conditions (similar or greater than during work) for at least one week of work immediately prior to the assessment period (measurement).

Metabolism rate (metabolism) – the total chemical and energy transformation occurring in the body.

WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) – a simple indicator of environmental microclimate taken into account, along with the metabolism rate, in the assessment of the heat stress potential of individuals exposed to hot conditions.

$WBGT_{eff}$  – the WBGT value which, in addition to the environmental microclimate, takes into account the impact of the clothing used (CAV).

## PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), (2017). TLVs and BEIs. ACGIH, Cincinnati.
- Młynarczyk M., Marszałek A., Sobolewski A., Sotłyński K., Bogdan A. (2020). Środowisko termiczne. [W:] Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – wartości dopuszczalne 2020. [Red.] M. Pośniak, J. Skowroń. CIOP-PIB, Warszawa.
- EN ISO 7243:2017 Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index.
- Marszałek A. (2016). Wskaźnik WBGT – zalety i źródła nieścisłości związane z jego zastosowaniem [WBGT index – advantages and sources of inaccuracy related to its use]. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 4, 22–24.
- Parsons K.C. (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 27243:2005 Środowiska gorące – Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT [Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index].
- PN-EN 27243:2005P Errata do PN-EN 27243:2005.
- PN-EN ISO 7243:2018-01 Ergonomia środowiska termicznego – Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT [Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index].
- PN-EN ISO 7726:2002 Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych [Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities].
- PN-EN ISO 7933:2005 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego [Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain].
- PN-EN ISO 8996:2005 Ergonomia środowiska termicznego – Określanie tempa metabolizmu [Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate].
- PN-EN ISO 9920 Ergonomia środowiska termicznego – Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży [Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble].
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2021, poz. 325) [Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 18 February 2021, amending the Regulation on maximum permissible concentrations and intensities of factors harmful to health in the working environment (Journal of Laws 2021, item 325)].
- Schmoldt M. (2018). Heat stress. Calculating time weighted average for worker exposure. EFCOG Industrial Hygiene and Safety Group Meeting, Washington D.C., 24.10.2018 [[https://orau.org/ihos/downloads/meetings/support-files/2018/EFCOG/Schmoldt\\_heatstress.pdf](https://orau.org/ihos/downloads/meetings/support-files/2018/EFCOG/Schmoldt_heatstress.pdf), data dostępu: 18.02.2021].
- Sudoł-Szopińska I., Sobolewski A., Chojnacka A. (2006). Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT – aspekty praktyczne [Thermal load assessment of workers by the WBGT-index – practical aspects]. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 10, 16–20.
- Wacławik J. (2013). Wskaźnik WBGT w ocenie warunków klimatycznych [The WBGT index for assessment of occupational heat stress]. *Górnictwo i Geologia* 8(4), 153–170.

### Adres do korespondencji / Contact details:

dr inż. MAGDALENA MŁYNNARCZYK  
e-mail: m.mlynarczyk@ciop.pl  
Centralny Instytut Ochrony Pracy –  
Państwowy Instytut Badawczy  
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16  
POLAND