



dr inż. MAGDALENA MŁYNARCZYK (ORCID: 0000-0002-9218-9781)

dr JOANNA ORYSIAK (ORCID: 0000-0002-4998-2274)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: m.mlynarczyk@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2024.7.15.Mlynarczyk

Wpływ mikroklimatu gorącego na funkcje psychomotoryczne pracowników

Fot. tonefotografia/Bigstockphoto



Już od kilku lat jednym z najważniejszych czynników szkodliwych związanych ze środowiskiem pracy jest mikroklimat gorący. Dodatkowo ze względu na zmiany klimatyczne, w tym podnoszenie się średniej wartości temperatury powietrza, zwłaszcza latem należy zwrócić uwagę na osoby zatrudnione na otwartej przestrzeni. Parametry mikroklimatu wpływają nie tylko na odpowiedzi fizjologiczne ludzkiego organizmu, lecz także na sprawność psychomotoryczną, co przekłada się na liczbę błędów popełnianych podczas pracy, a więc na bezpieczeństwo własne i współpracowników. Celem artykułu jest wskazanie wpływu mikroklimatu gorącego (a więc wysokiej temperatury powietrza) na funkcje psychomotoryczne pracownika. Poszerzenie wiedzy w tym zakresie może się przyczynić do poprawy bezpieczeństwa w pracy w mikroklimacie gorącym.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, środowisko gorące, mikroklimat gorący, obciążenie cieplne, sprawność psychomotoryczna, funkcje poznawcze

The effect of hot microclimate on psychomotor functions of employees

For several years now, one of the most important harmful factors related to the work environment has been a hot microclimate. Additionally, due to climate changes, including an increase in the average air temperature, especially in summer, attention should be paid to people working in open spaces. Microclimate parameters affect not only on physiological responses of the human body, but also psychomotor efficiency, which translates into the number of errors made during work, and thus the safety of oneself and one's colleagues. The aim of the article is to indicate the impact of a hot microclimate (and so a high air temperature) on the psychomotor functions of workers. Expanding knowledge in this area may contribute to improving safety at work in hot microclimates.

Keywords: air temperature, hot environment, hot microclimate, thermal load, psychomotor performance, cognitive function

Wstęp

W latach 2019–2021 w Polsce liczba osób pracujących w mikroklimacie gorącym nie zmieniła się znacząco (jej wyraźnego spadku nie spowodowały ani rozwój technologiczny, ani coraz większa wiedza na temat pracy w środowisku gorącym), natomiast w 2022 r. odnotowano jej wzrost do 19 459, czyli o 7% [1–4].

Największą grupę osób narażonych na warunki środowiska gorącego stanowią pracownicy sektora przemysłowego (ok. 92%) – w tej sekcji największy udział (61%) mają pracownicy górnictwa i wydobywania [1]. W związku z tym wciąż wymagane jest wsparcie w zakresie poprawy bezpieczeństwa pracy i prawidłowej oceny ryzyka występowania obciążenia cieplnego w warunkach środowiska gorącego. Ze względu na zmiany klimatyczne i wzrost średniej wartości temperatury powietrza, zwłaszcza w okresie letnim, należy zwracać szczególną uwagę na prawidłową ocenę obciążenia termicznego (WBGT¹) osób zatrudnionych na otwartej przestrzeni.

Zgodnie z definicją mikroklimat to klimat charakterystyczny dla małej części środowiska, której odrębność jest wynikiem specyfiki układu czynników ją tworzących, takich jak wysokość i wahania temperatury, wilgotność czy prędkość ruchu powietrza^{2,3}. Te same czynniki definiują również klimat, jednak to mikroklimat może być regulowany przez człowieka [5].

Określonym mikroklimatem może się charakteryzować kraina geograficzna, ale także miejsce sztucznie zbudowane przez człowieka, np. budynek czy hala produkcyjna³. To właśnie od warunków środowiskowych (czyli parametrów mikroklimatu) oraz czynników indywidualnych dla człowieka (metabolizmu, zastosowanej odzieży) bezpośrednio zależy wymiana ciepła pomiędzy nim a środowiskiem zewnętrznym, która ma wpływ na samopoczucie człowieka, jego kondycję psychiczną i fizyczną oraz stan zdrowia [6].

¹ Ang. *wet bulb globe temperature*.

² http://ergonomia.ioz.pwr.wroc.pl/klasyfikacja-srodowisko_pracy-mikroklimat.php [dostęp: 28.05.2024 r.].

³ <https://www.kopalnia.pl/kopalnia-wiedzy/co-to-jest-mikroklimat-dlaczego-warto-rozwazyc-leczenie-klimatem-ha67> [dostęp: 26.10.2023 r.].

O mikroklimacie gorącym w miejscu pracy można mówić wtedy, gdy pracownicy są narażeni na działanie wysokiej temperatury powietrza zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, jak i na otwartych przestrzeniach. Przykładami branż, w których pracownicy pracują w gorącym środowisku, są budownictwo, górnictwo, hutnictwo i rolnictwo.

Obecnie mikroklimat gorący nie jest definiowany poprzez temperaturę powietrza, lecz za pomocą wskaźnika WBGT, służącego do oceny najwyższego dopuszczalnego obciążenia cieplnego organizmu w miejscu pracy (rys. 1). Wskaźnik ten jest określany według PN-EN ISO 7243:2018-01 [7] i uwzględnia zarówno czynniki środowiskowe, jak i czynniki indywidualne [8].

Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT jest metodą przesiewową, pozwalającą na ustalenie występowania lub niewystępowania tego obciążenia [7], wymagającą porównania uzyskanych wartości z wartościami dopuszczalnymi (progowymi) określonymi w rozporządzeniu w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [10, 12].

Układ termoregulacji i odpowiedzi fizjologiczne organizmu w środowisku gorącym

Człowiek jako organizm stałocielny ma możliwość utrzymywania względnie stałej temperatury wewnętrznej ciała w szerokim zakresie temperatury otoczenia. Układ termoregulacji dąży do utrzymywania wartości temperatury wewnętrznej na poziomie 36–38°C, a składa się z trzech podstawowych elementów (rys. 2), [6]:

- termoreceptorów i termodetektorów, czyli struktur („czujników”) wrażliwych na zmiany temperatury powietrza i temperatury wewnętrznej ciała;
- ośrodka termoregulacji (znajdującego się w podwzgórz), integrującego i transformującego informacje ze struktur wrażliwych na temperaturę (jest to element działający jak termostat, przekazujący informacje do swoich efektorów);
- efektorów układu termoregulacji (np. naczyń krwionośnych, gruczołów potowych, mięśni), czyli struktur przetwarzających i realizujących odpowiedzi z ośrodka termoregulacji.

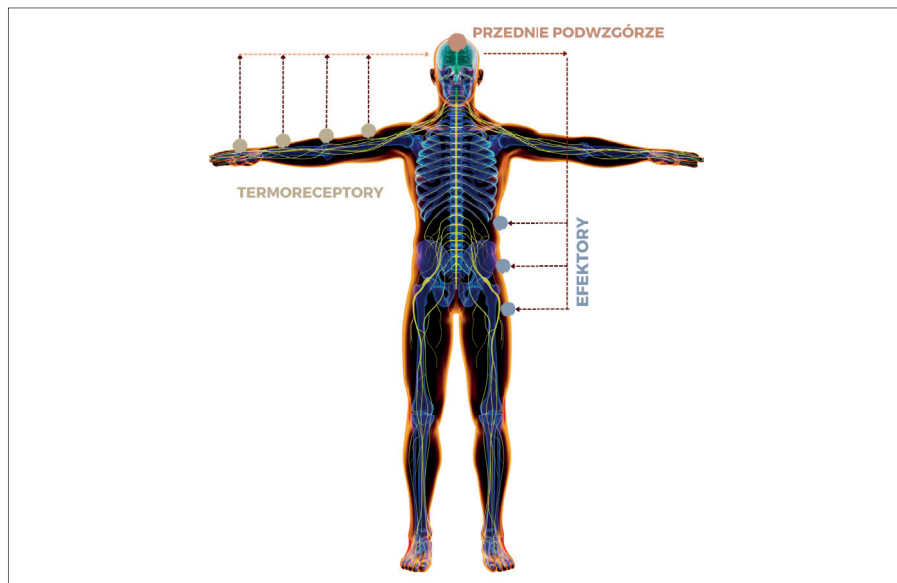
W środowisku gorącym organizm człowieka może głównie polegać na sprawności działania układu termoregulacji, który zapewnia oddawanie nadmiaru ciepła wytworzonego przez organizm (poprzez wykonywanie wysiłku fizycznego) bądź dostarczanego przez zewnętrzne źródła ciepła (np. środowisko zewnętrzne). Ta regulacja rozpraszania ciepła zachodzi głównie poprzez: wzrost wydzielanej ilości potu (jest to podstawowy mechanizm oddawania nadmiaru ciepła przez organizm), oddawanie ciepła poprzez odparowanie potu z powierzchni skóry oraz rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry [13].

Nadmiar zakumulowanego ciepła może doprowadzić do wzrostu temperatury wewnętrznej, a w konsekwencji do przegrzania organizmu, gorącz-



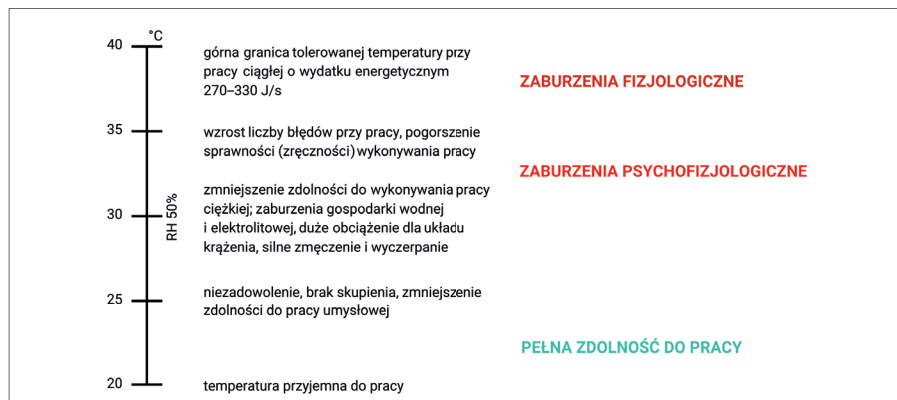
Rys. 1. Definicje mikroklimatu gorącego (projekt własny), [1, 7, 9–12]

Fig. 1. Definitions of hot microclimate (original project), [1, 7, 9–12]



Rys. 2. Schemat działania systemu termoregulacji (www.canva.com; projekt własny)

Fig. 2. Basic diagram of the thermoregulation system (www.canva.com; own design)



Rys. 3. Wpływ temperatury powietrza na organizm człowieka [13]

Fig. 3. The influence of air temperature on the human body [13]

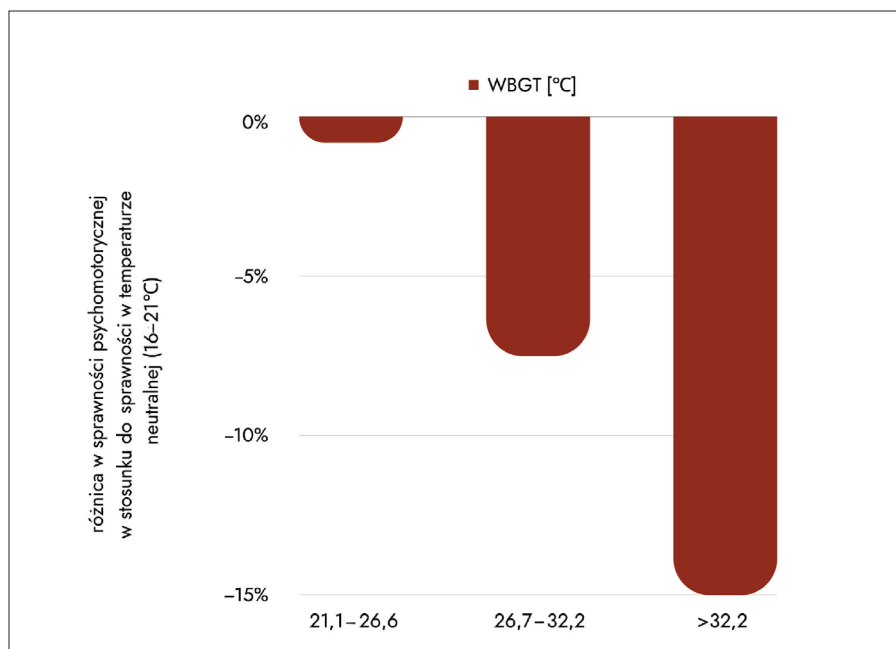
ki, hipertermii, uszkodzenia mózgu, a w najgorszym wypadku – do udaru cieplnego [13].

Wybrane funkcje psychomotoryczne pracowników a mikroklimat gorący

Mikroklimat gorący wpływa nie tylko na odpowiedzi fizjologiczne organizmu, lecz także na jego

funkcjonowanie pod kątem psychomotorycznym (rys. 3), [13].

Powyżej temperatury neutralnej, wynoszącej 16–21°C, u człowieka występują: niezadowolenie, brak skupienia, wzrost liczby popełnianych błędów, zmniejszenie wydajności pracy oraz zdolności do pracy umysłowej i fizycznej, a także pogorszenie funkcji psychomotorycznych [13].



Rys. 4. Procentowa różnica sprawności psychomotorycznej (w zależności od wskaźnika WBGT) w odniesieniu do temperatury neutralnej [14]

Fig. 4. Percentage of the difference in psychomotor performance (depending on the WBGT index) in relation to neutral temperature [14]

Tabela 1. Procentowa różnica funkcji poznawczych w zależności od środowiska, w odniesieniu do temperatury neutralnej [14]

Table 1. Percentage of difference in cognitive function depending on environment, in relation to the neutral temperature [14]

Funkcje poznawcze	Zmiana funkcji poznawczych w odniesieniu do temperatury neutralnej	
	WBGT > 21°C	WBGT > 26,7°C
Czas reakcji	-2,4%	-2,6%
Uwaga/zadania percepcyjne	-7,7%	-14,0%
Przetwarzanie matematyczne	-3,9%	-14,0%
Rozumowanie/uczenie się/zadania pamięciowe	-0,2%	+1,8%

Tabela 2. Wpływ stresu cieplnego na funkcje poznawcze [20]

Table 2. The impact of heat stress on cognitive functions [20]

Autor	Warunki prowadzenia badań	Czas ekspozycji	Funkcje poznawcze	Efekt
Gaoua i wsp., 2012 [21]	50°C, 30%	15 min.	czas reakcji planowanie zadań	zmniejszona dokładność planowania zadań oraz wydłużenie o 41% czasu reakcji
Lenzuni i wsp., 2014 [22]	53–67°C	15–20 min.	rozpoznawanie wskazówek prawidłowa reakcja	upośledzenie funkcji poznawczych (prostych i złożonych) o ok. 50%
Gaoua i wsp., 2011 [23]	50°C, 50%	45 min.	uwaga pamięć	upośledzenie pamięci
Mazloumi i wsp., 2014 [18]	WBGT: 35,4 ± 5,8°C 32,6 ± 5,3°C 30,8 ± 6,8°C	zmiana robocza	uwaga czas reakcji czas trwania testu	upośledzenie selektywnej uwagi i wydłużenie czasu reakcji
Racinais i wsp., 2008 [24]	50°C, 50%	15 min. – bieżnia 45 min. – ekspozycja bierna	uwaga pamięć pamięć wzrokowa	upośledzenie pamięci roboczej i pamięci wzrokowej
Rastegar i wsp., 2021 [17]	WBGT: 21,39 ± 1,11°C 24,32 ± 0,61°C 29,29 ± 3,31°C	12 godz.	pamięć czas	wydłużenie czasu reakcji i upośledzenie pamięci roboczej

Badania prowadzone nad sprawnością psychomotoryczną w środowisku gorącym wykazały, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza następuje pogorszenie tej sprawności nawet o 15% w porównaniu ze sprawnością w temperaturze z zakresu termoneutralnego (rys. 4), [14].

Wyniki badań także potwierdziły spadek sprawności i procesów poznawczych pod wpływem gorąca ($\geq 26,7^\circ\text{C}$ WBGT) [15]. W największym stopniu (o ok. 18%) pogarszają się: pamięć, zdolność uczenia się i logiczne rozumowanie. Ponadto obniżają się: poziom uwagi, spostrzegawczość, czas reakcji, sprawność w rozwiązywaniu zadań matematycznych i czujność [15]. W badaniach na żołnierzach zaobserwowano znaczny spadek funkcji poznawczych w gorącym klimacie ($42\text{--}43^\circ\text{C}$) w porównaniu z normalną pogodą ($24\text{--}27^\circ\text{C}$), zwłaszcza w testach wymagających ciągłej uwagi, koncentracji, sprawności psychomotorycznej i pamięci werbalnej oraz w testach funkcji wykonawczych [16].

W badaniu irańskich pracowników petrochemii zauważono negatywny wpływ wysokiej temperatury powietrza na szybkość reakcji i pamięć roboczą [17]. Podobnie w badaniu pracowników z działu odlewniczego (pracowników odlewni) odnotowano dodatnią korelację między WBGT a czasem trwania testu i czasem reakcji, jak również liczbą popełnionych błędów. Badania te, przeprowadzone w rzeczywistym środowisku pracy, potwierdziły upośledzenie funkcji poznawczych pod wpływem stresu cieplnego [18].

Metaanaliza opublikowanych wyników badań [14] wykazała, że w środowisku gorącym upośledzeniu ulegały głównie uwaga i możliwość wykonywania zadań percepcyjnych oraz przetwarzanie matematyczne – spadek do 14% (tab. 1).

Wyniki badań prowadzonych przez Wing [19] wykazały także, że w środowisku gorącym rośnie liczba błędów popełnianych podczas wykonywania zadań umysłowych (polegających

na porównywaniu zestawu kart). Poza tym wysoka temperatura powietrza wpływa na pamięć krótkotrwałą – wraz ze wzrostem temperatury otoczenia uczestnicy badań coraz gorzej zapamiętywali przedstawiony na wstępie zestaw sześciu słów.

Wielu naukowców potwierdziło w swych pracach wpływ stresu cieplnego na funkcje poznawcze (tab. 2).

Na podstawie przytoczonych w tab. 2 przykładów można stwierdzić, że już 15–20-minutowa ekspozycja na wysoką temperaturę powietrza (powyżej 45°C) wpływa na obniżenie funkcji poznawczych. W badaniach obserwowano głównie: zmniejszenie dokładności wykonywanych zadań, wydłużenie czasu reakcji oraz upośledzenie pamięci (zarówno roboczej, jak i wzrokowej). Badania prowadzone przez 12 godzin także potwierdzały spadek sprawności poznawczej poprzez wydłużenie czasu reakcji i upośledzenie pamięci roboczej [17].

Warto zauważyć, że nie wszystkie badania potwierdzają negatywny wpływ wysokiej temperatury powietrza na funkcje poznawcze [25]. W badaniu dotyczącym sprawności manualnej, funkcji poznawczych i odpowiedzi fizjologicznych, przeprowadzonym z udziałem pracowników z wioski górniczej w Australii, nie zaobserwowano różnic w wynikach otrzymanych latem (średnia dzienna temperatura powietrza 33,9°C, wilgotność względna 38%) i zimą (średnia dzienna temperatura powietrza 24,3°C, wilgotność względna 36%). Jak sugerują autorzy tego eksperymentu, najprawdopodobniej zdolność do samoregulacji intensywności pracy (aklimatyzacja) pomogła pracownikom pracującym na świeżym powietrzu w skutecznej termoregulacji, minimalizując obciążenie termiczne organizmu [25]. Ten fakt pośrednio potwierdzają dane zawarte w publikacji [14], gdzie dowiedziono, że to krótsza ekspozycja (najwyżej dwugodzinna) ma silniejszy, negatywny wpływ na sprawność funkcji poznawczych. Uzyskane wyniki wskazują, że przy krótszej ekspozycji ta sprawność jest niższa o ok. 16% w porównaniu z ekspozycją trwającą ponad dwie godziny.

Podsumowanie

Mikroklimat gorący wpływa na przebywające w nim osoby – na ich samopoczucie, kondycję psychiczną i fizyczną oraz na stan zdrowia. Ten wpływ nie ogranicza się zatem do odpowiedzi fizjologicznych organizmu, lecz dotyczy również funkcji poznawczych. W warunkach oddziaływania wysokiej temperatury powietrza pogarszają się sprawność i procesy badawcze, w tym sprawność wykonywania zadań umysłowych. Wyniki badań wskazują również, że to krótkotrwała ekspozycja (trwająca do dwóch godzin) na mikroklimat gorący ma silniejszy wpływ na sprawność funkcji poznawczych człowieka.

Poszerzenie wiedzy na temat oddziaływania wysokiej temperatury powietrza na funk-

cje psychomotoryczne człowieka i zwiększanie świadomości pracowników w tym zakresie jest o tyle ważne, że może się przyczynić do zwiększenia bezpieczeństwa pracy w mikroklimacie gorącym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Warunki pracy w 2022 r. Warszawa, Gdańsk: GUS, 2023.
- [2] Warunki pracy w 2021 r. Warszawa, Gdańsk: GUS, 2022.
- [3] Warunki pracy w 2020 r. Warszawa, Gdańsk: GUS, 2021.
- [4] Warunki pracy w 2019 r. Warszawa, Gdańsk: GUS, 2020.
- [5] HANSEN A. [red.]. Analiza uciążliwości pracy. Wydawnictwo związkowe CRZZ, 1966.
- [6] KACIUBA-UŚCIŁKO H. Termoregulacja. [W:] W. Tkaczyk, A. Trzebski [red.], Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. Warszawa: PZWL Wydawnictwo Lekarskie, 2015.
- [7] PN-EN ISO 7243:2018-01. Ergonomia środowiska termicznego – Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT (temperatura wilgotnego termometru i poczerzonej kuli).
- [8] 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, 1(107): 5–14; doi: 10.5604/01.3001.0014.8148.
- [9] Warunki pracy w 2004 r. Warszawa, Gdańsk: GUS, 2005.
- [10] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. poz. 1286 z późn. zm.).
- [11] PN-EN ISO 7730:2006. Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego.
- [12] 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 (Dz.U. poz. 325).
- [13] GWÓŹDŹ B. Człowiek w środowisku wielokoprzemysłowym i elementy ergonomii. [W:] W. Tkaczyk, A. Trzebski [red.], Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. Warszawa: PZWL Wydawnictwo Lekarskie, 2015.
- [14] PILCHER J. i in. Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. Ergonomics. 2002, 45(10): 682–698.
- [15] SUDOŁ-SZOPIŃSKA I., ŁUCZAK A. Wpływ temperatury środowiska zewnętrznego na sprawność

działania człowieka. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka. 2006, 7–8: 16–19.

- [16] SAINI R. i in. Cognitive deficits due to thermal stress: An exploratory study on soldiers in deserts. Medical Journal Armed Forces India. 2017, 73(4): 370–374; doi: 10.1016/j.mjafi.2017.07.011.
- [17] RASTEGAR Z. i in. Evaluating the effect of heat stress on cognitive performance of petrochemical workers: A field study. Heliyon. 2021, 30, 8(1): e08698; doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08698.
- [18] MAZLOUMI A. i in. Evaluating Effects of Heat Stress on Cognitive Function among Workers in a Hot Industry. Health Promotion Perspectives. 2014, 4(2): 240–246; doi: 10.5681/hpp.2014.031.
- [19] WING J.F., TOUCHSTONE R.M. The effects of high ambient temperature on short-term memory. Aerospace Medical Research Laboratories AMRL-TR-65-103. WPAFB, Ohio, 1965.
- [20] LEE T. i in. The Impact of Different Environmental Conditions on Cognitive Function: A Focused Review. Frontiers in Physiology. 2015, 6: 372; doi: 10.3389/fphys.2015.00372.
- [21] GAOUA N. i in. Sensory displeasure reduces complex cognitive performance in the heat. Journal of Environmental Psychology. 2012, 32: 158–163; doi: 10.1016/j.jenvp.2012.01.002.
- [22] LENZUNI P. i in. Is driving in a hot vehicle safe? International Journal of Hyperthermia. 2014, 30: 250–257; doi: 10.3109/02656736.2014.922222.
- [23] GAOUA N. i in. Alterations in cognitive performance during passive hyperthermia are task dependent. International Journal of Hyperthermia. 2011, 27: 1–9; doi: 10.3109/02656736.2010.516305.
- [24] RACINAIS S., GAOUA N., GRANTHAM J. Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission. The Journal of Physiology. 2008, 586: 4751–4762; doi: 10.1113/jphysiol.2008.157420.
- [25] TAGGART SM. i in. Impact of living and working in the heat on cognitive and psychophysiological responses in outdoor fly-in fly-out tradesmen: a mining industry study. Frontiers in Physiology. 2023, 14: 1210692; doi: 10.3389/fphys.2023.1210692.

Opracowano i wydano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy” [zadanie nr 3.ZS.13 pt. „Określenie współczynnika korekcji odzieżowej (CAV) z uwzględnieniem odzieży chłodzącej do oceny obciążenia cieplnego pracownika w środowisku gorącym”], finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej (do 12 grudnia 2023 r. – pn. Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.