

Tomasz Pietraszkiewicz  
Ludmiła Borodulin-Nadzieja  
Anna Janocha  
Wojciech Woźniak  
Marcin Stańda

## OCENA PRZYDATNOŚCI SYSTEMU TELEMETRII BEZPRZEWODOWEJ DO POMIARU OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO GÓRNIKÓW W KOPALNIACH MIEDZI

EVALUATION OF TELEMETRIC METHOD IN THE ASSESSMENT OF HEAT STRESS OF COPPER MINERS

Akademia Medyczna, Wrocław  
Katedra i Zakład Fizjologii

### STRESZCZENIE

**Wprowadzenie:** Celem pracy była ocena przydatności metody telemetrycznej (system VitalSense) dla oceny wybranych parametrów fizjologicznych u górników dołowych kopalni miedzi pracujących w warunkach gorącego mikroklimatu. **Materiał i metody:** Badanie przeprowadzono u 15 pracowników, operatorów maszyn górniczych (pracujących bez klimatyzacji). U badanych górników prowadzono przez całą zmianę roboczą ciągłą rejestrację temperatury zewnętrznej, temperatury wewnętrznej, częstości skurczów serca i częstości oddechów. **Wyniki:** U każdego z górników uzyskano ok. 340 rejestracji badanych parametrów, co pozwoliło na ocenę kosztu fizjologicznego pracy na poszczególnych stanowiskach roboczych oraz na wykrycie momentów zagrożenia homeostazy termicznej. **Wnioski:** Zastosowany system telemetrii bezprzewodowej okazał się bardzo przydatny dla oceny obciążenia cieplnego pracowników zatrudnionych na dołowych stanowiskach pracy w kopalniach miedzi, ponieważ pozwolił na monitorowanie badanych parametrów fizjologicznych u górników dołowych przez całą zmianę roboczą, nie ograniczał im możliwości wykonywania czynności roboczych oraz nie wymagał dodatkowej obsługi na stanowiskach pracy. Med. Pr. 2010;61(1):35–42

Słowa kluczowe: górnicy, ocena obciążenia cieplnego, metoda telemetryczna

### ABSTRACT

**Background:** The aim of this study was to assess the applicability of telemetric method in assessing heat stress of copper miners in a hot environment. **Material and Methods:** The studies were conducted in 15 mining machine operators (working without air condition) The evaluated parameters were skin temperature, core temperature, heart rate and respiration rate. **Results:** In every examined miner we have obtained about 340 results (registrations of evaluated parameters during work shift) and this allowed us to evaluate physiological work cost and to determinate thermal homeostasis disturbances. **Conclusions:** The telemetric method (VitalSense System) proved to be very useful in monitoring physiological parameters of miners working in a hot environment. Med Pr 2010;61(1):35–42

Key words: miners, heat stress assessment, telemetric method

Adres autorów: Katedra i Zakład Fizjologii, Akademia Medyczna we Wrocławiu,  
ul. Chałubińskiego 10, 50-368 Wrocław, e-mail: tpietra@fizjo.am.wroc.pl  
Nadesłano: 11 lipca 2008  
Zatwierdzono: 7 grudnia 2009

### WSTĘP

Według danych Wyższego Urzędu Górniczego w roku 2006 w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi w niekorzystnych warunkach gorącego mikroklimatu pracowało odpowiednio 4525 i 2803 osób. Głębokość eksploatacji w tych kopalniach systematycznie wzrasta i w związku z tym — mimo zastosowania zgodnych z prawem górniczym metod profilaktyki klimatycznej (właściwy sposób przewietrzania, pomiary kontrolne, zastosowanie urządzeń

chłodniczych) i eliminacji ciężkiej pracy fizycznej — należy liczyć się ze wzrostem zagrożenia klimatycznego. W niedalekiej przyszłości roboty górnicze będą prowadzone w górotworze, którego temperatura pierwotna będzie sięgała 50°C, a dodatkowo na wzrost zagrożenia klimatycznego mają również wpływ stosowane urządzenia i maszyny o coraz większej mocy. W tej sytuacji zagrożenie klimatyczne może okazać się jednym z podstawowych zagrożeń decydujących o bezpieczeństwie górników i możliwości prowadzenia robót.

Z danych CIOP (1,2), a także z naszych opracowań wynika, że wśród górników pracujących pod ziemią dominują osoby w wieku 30–39 lat (52% obserwacji) i 40–49 lat (30% obserwacji), a ich staż pracy wynosi najczęściej 11–20 lat. Z jednej strony wskazuje to, że pracownicy ci powinni być dobrze zaaklimatyzowani do gorącego środowiska (długi staż pracy), a z drugiej w istotny sposób uzależnia tolerancję niekorzystnych warunków środowiska pracy od ich dobrego stanu zdrowia i wysokiej sprawności fizycznej organizmu.

Określenie możliwości bezpiecznego wykonywania pracy przez pracowników zatrudnionych w warunkach gorącego mikroklimatu wymaga szczegółowych badań kosztu fizjologicznego pracy w warunkach rzeczywistych (bezpośrednio na stanowisku pracy) wraz z indywidualną oceną możliwości adaptacyjnych organizmu. Zgodnie z zaleceniami PN-ISO 9886 „Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych” dla realizacji tego zadania niezbędny jest pomiar temperatury skóry, temperatury wewnętrznej, częstości skurczów serca i ubytku masy ciała (3).

System organizacji pracy w kopalniach stwarza dobrą, chociaż jeszcze nie w pełni wykorzystaną możliwość pomiarów ubytku masy ciała w łaźniach górniczych — nawet przez samych pracowników. Wykonanie pozostałych pomiarów w warunkach rzeczywistych środowiska pracy było dotychczas najczęściej oparte na doraźnej rejestracji badanych parametrów (metodą próbkowania), co nie pozwalało na pełną rzeczywistą ocenę homeostazy termicznej i jej zagrożeń występujących przeważnie tam, gdzie badający te parametry mieli bardzo ograniczony dostęp (np. usuwanie awarii maszyn, stanowiska przodkowe itp.).

W poszukiwaniu doskonalszych metod pomiaru obciążenia cieplnego pracowników w podziemnych zakładach górniczych podjęto próbę wykorzystania w tym celu systemu VitalSense, który daje możliwość ciągłej, wielogodzinnej rejestracji badanych parametrów (temperatury skóry, częstości oddechów, częstości skurczów serca i temperatury wewnętrznej) poprzez wykorzystanie systemu telemetrii bezprzewodowej. Parametry te odbierane są z 3 czujników — 2 samoprzylepnych elektrod zewnętrznych umocowanych w górnej części klatki piersiowej i 1 wewnętrznej (czujnik-kapsułka, połykany przed badaniem) — i zapisywane w pamięci monitora (o wymiarach 120×90×25 mm i masie 200 g) umocowanego na pasie biodrowym, z możliwością transmisji zapisu do komputera.

Telemetryczny pomiar temperatury w systemie typu „thermal pill” po raz pierwszy został opisany w ro-

ku 1961 przez Wolffa, ale dopiero w ostatnim dziesięcioleciu jego przydatność została w pełni potwierdzona poprzez liczne badania porównawcze tej metody z rejestracją temperatury wewnętrznej przez sondę przełykową i czujnik w odbytnicy (4–7). Praktycznie metoda „thermal pill” znalazła zastosowanie w fizjologii sportu i w wybranych pomiarach ekstremalnie obciążających czynności roboczych — np. u ratowników górniczych i żołnierzy patrolujących pustynie (8–10).

## CEL PRACY

Celem pracy była próba oceny przydatności nowej telemetrycznej metody VitalSense (pomiar temperatury wewnętrznej, zewnętrznej, częstości skurczów serca i częstości oddechów) w określeniu wpływu niekorzystnych warunków mikroklimatycznych środowiska pracy (wysoka temperatura oraz wilgotność) na organizm pracownika zatrudnionego w głęboko położonych oddziałach kopalni miedzi. Niniejsza praca ma charakter pilotowy i jej zamierzeniem jest przybliżenie nowej, wartościowej możliwości rejestracji parametrów fizjologicznych w sposób ciągły i zintegrowany w trakcie całej zmiany roboczej na stanowiskach pracy w górnictwie, związanych z dużym narażeniem na niekorzystne warunki mikroklimatyczne i trudno dostępnych dla osób postronnych.

## MATERIAŁ I METODYKA

Badania przeprowadzono u 15 pracowników, operatorów maszyn górniczych (wozów kotwiących — SWK, odstawczych — WO, wierzących — SWW, oraz maszyny obrywającej — SWB) pracujących bez klimatyzacji. Pracownicy byli zatrudnieni w dwóch kopalniach miedzi należących do spółki KGHM Polska Miedź — kopalni Zakładów Górniczych Polkowice-Sieroszowice i kopalni Zakładów Górniczych Rudna. Górnicy pracowali w nich na dużych głębokościach (1000–1200 m).

Prace wykonywane przez operatorów maszyn zlokalizowane były w okolicach stanowisk przodkowych. Zakres wykonywanych czynności zawodowych związany był w przypadku: operatorów WO (2 osoby) z odstawą urobku na trasie przodek–krata, operatorów SWK (7 osób) — kierowaniem pojazdem i obsługą platformy wiertniczo-kotwiącej, operatorów SWW (4 osoby) — wierceniem otworów na ścianie wydobywczej celem przygotowania frontu robót dla strzałowych, oraz operatorów SWB (2 osoby) — obrywaniem i wyrównywaniem stropów bezpośrednio na ścianie wydobywczej.

Badana grupa operatorów maszyn samojezdnych bez klimatyzacji charakteryzowała się następującymi parametrami: średni wiek:  $37,9 \pm 6,2$  lat (25–48 lat), średni staż pracy w górnictwie:  $15 \pm 6,1$  lat (3–24 lata), średnia masa ciała:  $87,6 \pm 17,1$  kg (64–115 kg) oraz średni wzrost:  $177,0 \pm 7,0$  cm (165–188 cm). Szczegółową charakterystykę badanej grupy wraz z opisem warunków mikroklimatycznych środowiska pracy podano w tabeli 1.

Do pomiaru temperatury wewnętrznej użyto kapsułki rejestrującej połykanej przez badanego. Kapsułka o wymiarach  $8,7 \text{ mm} \times 23 \text{ mm}$  i wadze 1,6 g wykonana była ze specjalnego plastiku medycznego. Zakres mierzonej temperatury wynosił  $25\text{--}50^\circ\text{C}$  z dokładnością  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ . Czas przebywania kapsułki w przewodzie pokarmowym badanego zależy od diety oraz indywidualnych skłonności i wynosi od 12 do 48 godzin.

Pomiaru temperatury zewnętrznej dokonano za pomocą elektrod przyklejonych w górnej części klatki piersiowej (poniżej mostka). Średnica elektrod to 57 mm, grubość — 6 mm, a wagę — 7,5 g. Zakres mierzonej tem-

peratury zawarty jest w przedziale  $20\text{--}60^\circ\text{C}$ , a dokładność pomiaru wynosi  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ .

Pomiaru częstości skurczów serca dokonano za pomocą czujnika VitalSense — XHR umieszczonego na klatce piersiowej po stronie lewej. Zakres pomiaru częstości skurczów serca wynosi 16–240 BPM, a dokładność —  $\pm 5$  uderzeń/min. Pomiar częstości oddechów był rejestrowany równolegle przy pomocy czujnika VitalSense — XHR.

Powyżej wymienione czujniki wysyłały dane, które były rejestrowane w systemie on line przez VitalSense Monitor. Rejestrator o wymiarach  $120 \times 90 \times 25 \text{ mm}$ , zasilany bateriami, umieszczony był przy pasie i rejestrował wszystkie mierzone parametry przez całą zmianę roboczą.

Przed przystąpieniem do badań pracownik przechodził ogólne badania lekarskie, został też zapoznany z protokołem badań oraz wyrażał zgodę na nie zgodnie z zaleceniami Komisji Bioetycznej, która wyraziła zgodę (nr KB — 275/2007) na przeprowadzony projekt badawczy.

**Tabela 1.** Charakterystyka badanej grupy górników w oparciu o wyniki pomiarów wzrostu i masy ciała oraz warunki mikroklimatyczne ich środowiska pracy

**Table 1.** Characteristics of miners and their workplace environmental conditions

Kod górnika Miner's code	Wiek [w latach] Age [years]	Wzrost Height [cm]	Masa ciała Weight [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Temp. sucha Dry temp. [°C]	Temp. wilgotna Wet temp. [°C]	Wilgotność względna Relative humidity [%]	Prędkość ruchu powietrza Air movement velocity [m/s]	Temp. efektywna Effective temp. [°C]
1SWW	34	185	115	33,6	35,2	31,0	74,6	0,50	32,2
2SWW	40	176	85	27,4	35,4	31,2	73,8	0,38	32,5
3SWW	47	165	100	36,7	38,4	34,2	74,9	0,88	35,0
4SWW	30	183	81	24,2	31,0	24,2	55,9	0,52	26,4
5SWK	32	173	64	21,4	35,2	31,4	76,0	0,56	32,4
6SWK	32	179	115	35,9	35,4	31,0	72,5	0,22	32,5
7SWK	25	175	74	24,2	34,0	29,8	73,0	2,60	29,8
8SWK	44	176	97	31,3	35,0	31,8	79,5	2,52	30,6
9SWK	41	172	95	32,1	35,8	31,2	71,6	0,42	32,6
10SWK	33	170	70	24,2	31,6	25,0	57,7	0,00	27,6
11SWK	38	176	83	26,8	36,8	32,4	73,1	1,14	33,0
12WO	43	168	78	27,6	36,0	25,8	43,3	0,66	29,2
13WO	30	187	92	26,3	34,6	26,0	49,5	0,22	29,2
14SWB	39	188	95	26,9	35,4	30,6	70,3	0,30	32,2
15SWB	35	186	95	27,5	39,2	32,0	59,8	1,38	33,5

Aparatura pomiarowa była zakładana w punkcie medycznym na terenie poszczególnych zakładów przed rozpoczęciem zmiany roboczej. Pomiar obejmował zjazd, dojazd do stanowiska pracy, czynności zawodowe oraz powrót na powierzchnię do punktu medycznego, gdzie ściągano aparaturę pomiarową. Po trwającej ok. 6 godzin rejestracji u każdego badanego pracownika odnotowano około 400 jednostkowych obserwacji każdej mierzonej cechy (temperatury wewnętrznej, temperatury skóry, częstości skurczów serca i częstości oddechów), a zebrany wywiad pozwolił na indywidualny opis przebiegu czynności roboczych poszczególnych pracowników.

Uzyskane wyniki badań pobierano z monitora rejestrującego (VitalSense Monitor) i poddawano analizie statystycznej. Opracowanie statystyczne zostało oparte o wyliczenie średnich wartości mierzonych cech, odchylenia standardowego, współczynnika zmienności oraz wartości maksymalnej i minimalnej (dla całej grupy i indywidualnie dla każdego badanego).

## WYNIKI BADAŃ

Z przebadanych 15 operatorów maszyn ciężkich pracujących bez klimatyzacji wyodrębniono grupy: 7 operatorów maszyn kotwiących, 4 operatorów maszyn wierzących, 2 operatorów wozów odstawczych oraz 2 operatorów maszyn obrywających. U każdego badanego wykonano od 340 do 400 jednostkowych obserwacji każdej mierzonej cechy.

### Operatorzy maszyn kotwiących (SWK)

Średnia wartość temperatury wewnętrznej wyniosła w tej grupie  $37,6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (wartość minimalna i maksymalna wyniosła odpowiednio  $36,8 \pm 0,14^{\circ}\text{C}$  i  $38,4 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ ). U pracowników z tej grupy w indywidualnych obserwacjach stwierdzono wartości temperatury wewnętrznej dochodzące nawet do  $39,7^{\circ}\text{C}$ . Temperatura powierzchni ciała u tych pracowników wynosiła średnio  $35,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$  (obserwowana wartość minimalna:  $31,2 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ , maksymalna:  $37,3 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ ).

Dla częstości skurczów serca uzyskano średnią wartość  $104 \pm 16$  skurczów/min, a zakres otrzymanych wyników wynosił średnio: wartość minimalna:  $68 \pm 12$ , maksymalna:  $161 \pm 13$  skurczów/min. W pojedynczych obserwacjach częstość skurczów serca wynosiła 185/min.

Rejestracja częstości oddechów wykazała średnią wartość  $17 \pm 2$ /min (wartość minimalna i maksymalna wynosiła odpowiednio:  $7 \pm 1$  i  $30 \pm 4$  oddechów/min. W pojedynczej obserwacji pojawiła się wartość 35 oddechów/min.

### Operatorzy wiertnic (SWW)

Przeprowadzone obserwacje wykazały średnią wartość temperatury wewnętrznej  $37,5 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (wartość minimalna wyniosła  $36,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , maksymalna:  $38,1 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ ). Temperatura powierzchni ciała u tych pracowników wynosiła średnio  $34,7 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$  (wartość minimalna:  $30,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ , wartość maksymalna:  $37,1 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ).

Równocześnie obserwowana częstość skurczów serca wynosiła  $89 \pm 0,9$ /min (wartość minimalna:  $61 \pm 3$ , maksymalna:  $147 \pm 11$  uderzeń/min). Rejestracja częstości oddechów wykazała średnią wartość  $14 \pm 1$ /min (obserwowana wartość minimalna:  $8 \pm 1$ , maksymalna:  $24 \pm 2$  oddechów/min).

### Operatorzy wozów odstawczych (WO)

Przeprowadzone pomiary temperatury wewnętrznej wykazały średnią wartość  $37,6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  przy uzyskanych wartościach minimalnych  $36,6 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  oraz maksymalnych  $38,1 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Temperatura powierzchni ciała wynosiła średnio  $34,5 \pm 0,20^{\circ}\text{C}$  (wartość minimalna:  $31,3 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , maksymalna:  $36,3 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ). Dla częstości skurczów serca uzyskano średnią wartość  $101 \pm 0,7$ /min (wartość minimalna:  $86 \pm 0,1$ , maksymalna:  $143 \pm 0,7$  skurczów/min). Pomiary częstości oddechów wykazały średnią wartość  $18 \pm 3$ /min, a wartości minimalna i maksymalna wynosiły odpowiednio:  $9 \pm 2$  i  $29 \pm 3$  oddechów/min.

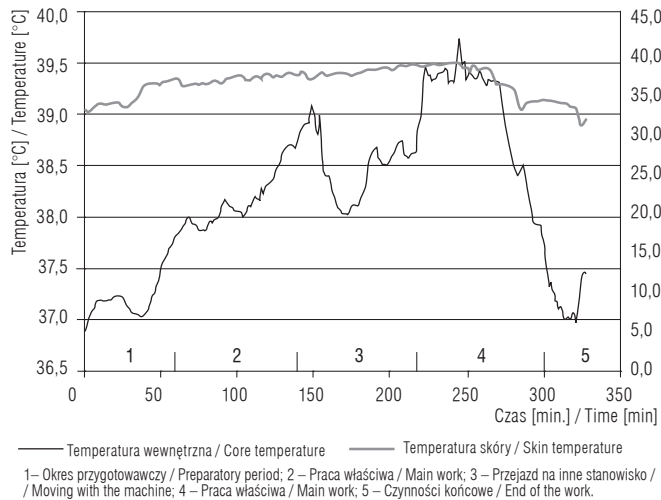
### Operatorzy maszyn obrywających (SWB)

W tej grupie zawodowej wartość temperatury wewnętrznej wynosiła średnio  $37,6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (wartość minimalna:  $36,6 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , maksymalna:  $38,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ). Równocześnie obserwowana temperatura skóry wynosiła średnio  $34,9 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$  (wartość minimalna:  $30,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , maksymalna:  $36,4 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ). Zarejestrowana częstość skurczów serca wynosiła średnio  $101 \pm 5$ /min (wartość minimalna:  $80 \pm 5$ , maksymalna:  $148 \pm 9$  uderzeń/min). Średnia wartość częstości oddechów wynosiła  $17,0 \pm 0,1$ /min (minimalna:  $7,0 \pm 1$ , maksymalna:  $29 \pm 2$  oddechów/min).

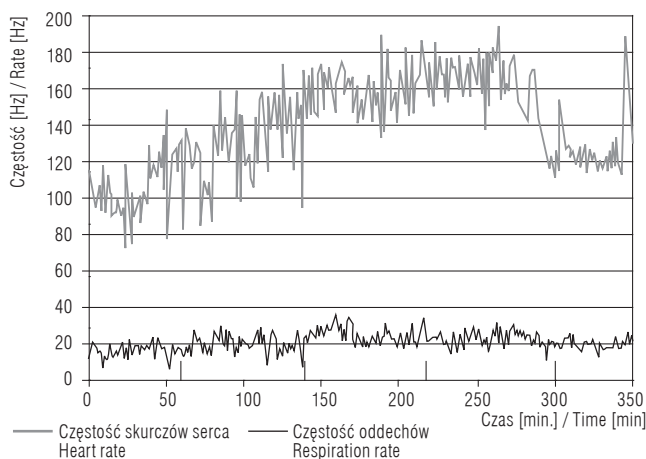
Otrzymane wyniki w wszystkich operatorów maszyn górniczych pracujących bez osłon klimatyzacyjnych wykazują, że średnia wartość temperatury wewnętrznej (liczona za cały okres rejestracji wynoszący około 6 godzin) nie przekracza  $38^{\circ}\text{C}$ . Wyjątek stanowił jeden z operatorów maszyny kotwiącej (oznaczony numerem 11 SWK w tabeli zbiorczej), u którego zaobserwowano średnią wartość temperatury wewnętrznej  $38,2^{\circ}\text{C}$  i u którego przez 50 min temperatura wewnętrzna przekraczała  $39^{\circ}\text{C}$ .

Należy zwrócić uwagę na to, że mimo średniej temperatury wewnętrznej poniżej 38°C, u 6 operatorów temperatura wewnętrzna przekraczała wartość 38°C przez 20–90 minut trwania zmiany roboczej. Analiza częstości skurczów serca pokazuje, że praktycznie u wszystkich operatorów obserwowano wzrosty częstości skurczów serca o różnym okresie trwania, w czasie których stwierdzano wartości powyżej 140/min.

Wybrane przykłady indywidualnych wyników rejestracji badanych parametrów przedstawiono na rycinach 1–4. Ryciny 1. i 2. obrazują wyniki badań operatora kotwiarki (kod górnika 11 SWK), a na rycinie 3. i 4. — wyniki badań operatora wozu odstawczego (kod górnika 12 WO).



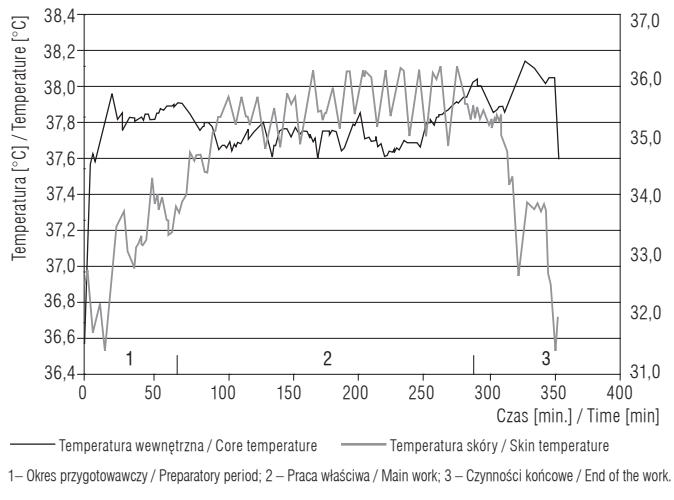
**Ryc. 1.** Zmiany temperatury wewnętrznej i temperatury skóry podczas pracy na stanowisku operatora kotwiarki (11 SWK).  
**Fig. 1.** Core temperature and skin temperature in miner 11 SWK during shift work.



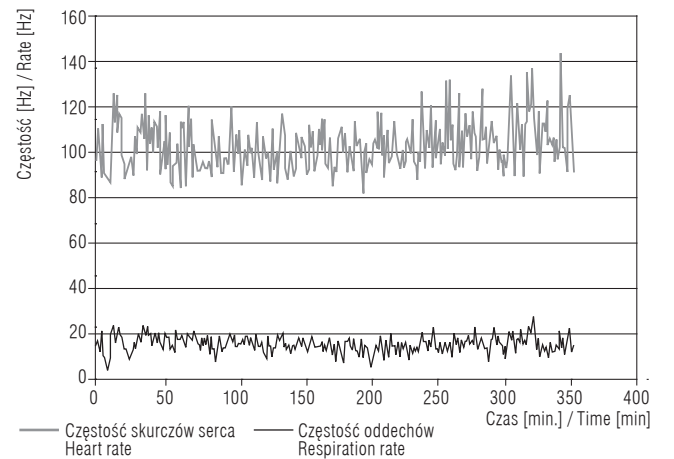
**Ryc. 2.** Zmiany częstości skurczów serca i oddechów podczas pracy na stanowisku operatora kotwiarki (11 SWK).  
**Fig. 2.** Heart rate and respiration rate in miner 11 SWK during shift work.

Zakres czynności operatora kotwiarki obejmował kotwienie stropu (założono 28 kotew). Pracownik zmieniał stanowisko pracy, przemieszczając pojazd w kierunku przodka (do frontu robót górniczych). Charakterystyka termiczna stanowiska pracy była następująca: temperatura sucha w kabinie operatora wynosiła 37,2°C, wilgotność — 74,5%, a prędkość powietrza — 0,54 m/s (pomiaru dokonano w 4. godzinie prowadzonych obserwacji).

Zakres wykonywanych czynności przez operatora wozu odstawczego związany był z odstawą urobku po załadunku na przodku do stanowiska odstawczego (krata), co warunkowało przemieszczanie się maszyny przez oddział w zmiennych warunkach wentylacji.



**Ryc. 3.** Zmiany temperatury wewnętrznej i temperatury skóry podczas pracy na stanowisku operatora wozu odstawczego (12 WO).  
**Fig. 3.** Core temperature and skin temperature in miner 12 WO during shift work.



**Ryc. 4.** Zmiany częstości skurczów serca i oddechów podczas pracy na stanowisku operatora wozu odstawczego (12 WO).  
**Fig. 4.** Heart rate and respiration rate in miner 12 WO during shift work.



Charakterystyka termiczna stanowiska pracy była następująca: temperatura sucha — 34,6°C, wilgotność — 49,5%, prędkość powietrza — 0,22 m/s (pomiaru dokonano w 3. godzinie prowadzonych obserwacji).

Z przedstawionego opisu wynika, że górnik operator kotwiarki był w większym stopniu niż operator wozu odstawczego narażony na niekorzystne warunki mikroklimatyczne, co jak wskazują nasze pomiary (ryc. 1–4, tab. 2) skutkowało u niego wyższymi wartościami temperatury wewnętrznej, temperatury skóry i częstości skurczów serca (zwłaszcza w czasie od 120. do 270. min rejestracji).

Z naszych poprzednich opracowań wiadomo, że obciążenie wysiłkowe na omawianych stanowiskach mieści się w zakresie wydatku energetycznego dla pracy lekkiej (operator WO) i umiarkowanej (operator SWK). Z zestawienia zbiorczego w tabeli 2. oraz na rycinach 5 i 6 wyników badań fizjologicznych wynika, że koszt fizjologiczny wykonywanych czynności roboczych w wielu przypadkach jest znaczny. Świadczą

o tym obserwowane wartości temperatury wewnętrznej (u 26,6% badanych chwilowo przekraczały 38,5°C) oraz znacznie przyspieszona częstość skurczów serca (u 46% badanych średnia wartość z całego okresu obserwacji przekraczała 100/min), co w dużej mierze uwarunkowane jest przez niekorzystne warunki mikroklimatyczne środowiska pracy.

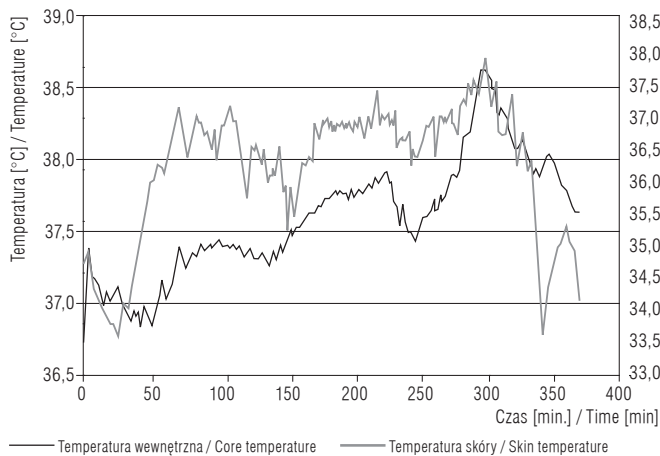
Z danych przedstawionych na rycinach 5 i 6 wynika, że ok. 300 min od rozpoczęcia pracy można zaobserwować w badanej grupie wyraźny wzrost zarówno częstości skurczów serca, jak i temperatury wewnętrznej. Jest to końcowy moment intensywnej pracy, kiedy wszyscy badani operatorzy prowadzą swoje maszyny górnicze (w wyrobisku chodnikowym z prądem zużytego powietrza) do tzw. komory maszyn ciężkich i tam wykonują prace związane z końcowym przeglądem maszyn. Na tym etapie zmiany roboczej obserwowane zmiany parametrów fizjologicznych mogą być uwarunkowane zarówno zmęczeniem systemów termoregulacji, obciążonych kilkugodzinnym narażeniem na

**Tabela 2.** Parametry fizjologiczne zarejestrowane u górników w czasie zmiany roboczej przy użyciu systemu VitalSense  
**Table 2.** Physiological parameters registered in miners during shift work with use of VitalSense monitoring system

Operatorzy maszyn górniczych Mining machines operators (Kod górnika Miner's code)	Temperatura wewnętrzna Core temperature [°C]				Temperatura skóry Skin temperature [°C]				Częstość skurczów serca Heart rate [bpm]				Częstość oddechów Respiration rate [rpm]			
	X	SD	maks.	min.	X	SD	maks.	min.	X	SD	maks.	min.	X	SD	maks.	min.
1 SWW	37,4	0,4	38,2	36,5	33,2	2,4	37,3	28,7	89	11	153	63	15	4	26	6
2 SWW	37,5	0,2	37,8	36,9	34,9	1,5	36,9	30,0	88	14	157	56	15	3	23	6
3 SWW	37,9	0,4	38,7	37,0	35,9	0,3	37,2	31,8	98	11	148	71	17	3	29	8
4 SWW	37,2	0,3	37,9	36,7	33,2	1,1	36,5	31,4	89	13	130	60	14	4	25	6
5 SWK	37,5	0,3	38,0	36,7	35,4	1,8	38,0	30,0	92	16	149	69	17	4	32	9
6 SWK	37,6	0,4	38,6	36,7	36,7	1,0	37,8	33,6	105	19	171	65	17	5	30	7
7 SWK	37,5	0,1	37,8	36,9	34,3	1,8	36,7	29,9	107	13	150	71	18	4	31	8
8 SWK	37,9	0,4	38,6	36,9	35,6	0,8	37,0	31,2	102	21	151	53	18	4	29	6
9 SWK	37,3	0,3	37,9	36,6	33,6	1,2	36,7	31,7	90	19	165	58	13	4	22	6
10 SWK	37,5	0,3	38,0	36,7	34,4	1,1	36,4	31,4	96	14	158	65	16	4	28	6
11 SWK	38,2	0,7	39,7	37,0	36,1	1,9	37,8	30,7	138	24	185	93	21	5	35	9
12 WO	37,4	0,2	37,9	36,6	34,4	1,2	36,6	31,2	101	9	144	87	21	3	31	13
13 WO	37,8	0,1	38,1	36,6	34,7	1,2	36,1	21,4	102	9	143	85	16	3	27	6
14 SWB	37,8	0,3	38,3	36,7	35,3	0,7	37,0	29,7	105	11	142	84	16	4	28	7
15 SWB	37,3	0,3	37,7	36,5	34,6	1,6	36,4	30,5	98	11	155	76	18	4	31	6

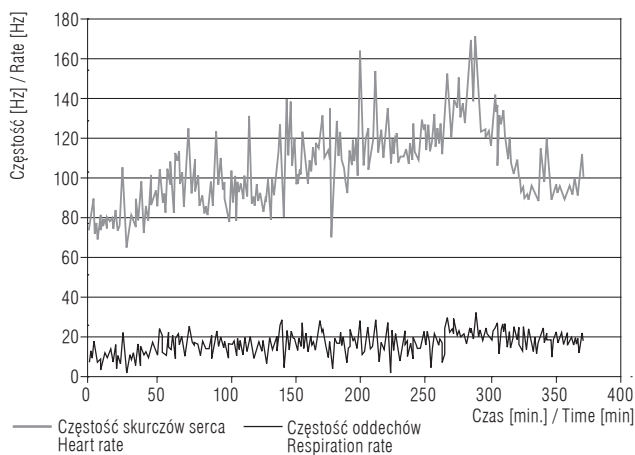
X — wartość średnia / mean value; SD — odchylenie standardowe / standard deviation; maks. — wartość maksymalna / maximal value.  
min. — wartość minimalna z 340 indywidualnych rejestracji / minimum value obtained from 340 individual registrations.

niekorzystne warunki mikroklimatyczne, jak też bieżącymi obciążeniami towarzyszącymi pracy w komorze maszyn ciężkich (wysiłek fizyczny, mikroklimat, obciążenia emocjonalne wywołane przez deficyt czasu i nieoczekiwane trudności). Tak zwany prąd zużytego powietrza nie oznacza, że jest to powietrze gorszej jakości, tylko że jest ono kierowane do szybu wentylacyjnego ze stanowisk przodkowych.



Ryc. 5. Zmiany temperatury wewnętrznej i temperatury skóry podczas pracy na stanowiskach dołowych (wartości średnie dla badanej grupy).

Fig. 5. Core temperature and skin temperature in mining machine operators (mean values in the examined group).



Ryc. 6. Zmiany częstości skurczów serca i oddechów podczas pracy na stanowiskach dołowych (wartości średnie dla badanej grupy).

Fig. 6. Heart rate and respiration rate in mining machine operators (mean values in the examined group).

W indywidualnej ocenie jeden z pracowników obsługujących samojezdny wóz kotwiący (11 SWK) prezentował szczególnie wysokie wartości w zakresie wszystkich rejestrowanych parametrów — średnia wartość temperatury wewnętrznej wynosiła u niego 38,2°C (maksymal-

na: 39,7), średnia wartość temperatury skóry — 37,0°C (maksymalna: 38,7°C), średnia częstość skurczów serca — 138 uderzeń/min (maksymalna: 185 uderzeń/min), średnia częstość oddechów — 21/min (maksymalna: 35/min). W dalszej kolejności, w indywidualnych przypadkach prześledziliśmy krzywe przebiegów rejestrowanych parametrów, co pozwoliło nam powiązać obserwowane zmiany z charakterem wykonywanych czynności roboczych (ryc. 1–4).

Jeśli odniesie się uzyskane wyniki do obserwacji innych autorów (8–10), należy zwrócić uwagę, że nasze pilotowe badania prowadzone w realnych warunkach środowiska pracy objęły pracowników aktualnie pracujących na danej zmianie roboczej i dlatego nasza grupa badana nie była tak jednorodna pod względem wieku i budowy ciała jak grupy badanych sportowców piłkarzy (10) i żołnierzy patrolujących pustynie (8). W cytowanych opracowaniach zastosowano również telemetryczny system pomiaru temperatury wewnętrznej i zarejestrowano przekroczenia wartości optymalnej — u żołnierzy w 10% obserwacji stwierdzono wartości temperatury wewnętrznej w przedziale 38,5–39°C (8), a u sportowców amatorów w końcowej fazie meczu wartość średnia temperatury wewnętrznej dla całej badanej grupy wynosiła 39°C (10). W tym ostatnim przypadku warunki mikroklimatyczne były komfortowe (temperatura otoczenia: 16°C) i obserwowane wysokie wartości temperatury wewnętrznej wynikały z bardzo dużego obciążenia wysiłkowego badanych.

Nasze badania miały charakter pilotowy i nie pozwoliły na przeprowadzenie tak szczegółowych analiz jak np. w opracowaniu Varleya (9) dotyczącym ratowników górniczych, chociaż warto odnotować, że prezentowane w tej pracy przykłady indywidualnych rejestracji parametrów fizjologicznych są zbliżone z naszymi obserwacjami. Po zrealizowaniu planowanych dalszych etapów badań możliwa będzie bardziej szczegółowa analiza uzyskanych przez nas wyników.

Zastosowanie systemu VitalSense pozwoliło nam na ciągłą, wielogodzinną rejestrację badanych parametrów (temperatury wewnętrznej, temperatury skóry, częstości skurczów serca i częstości oddechów) w złożonych, rzeczywistych warunkach środowiska pracy, co umożliwiło nam wiarygodną ocenę wielkości obciążenia termicznego i wykrycie momentów zagrożenia homeostazy termicznej u badanych pracowników dołowych. W dalszej kolejności, w oparciu o te dane można podjąć próbę oceny, jaki jest wpływ trzech podstawowych czynników — warunków fizycznych środowiska pracy, stopnia obciążenia pracą i aktualnej wydolności badanego

pracownika na uzyskane wyniki pomiarów fizjologicznych, co będzie podstawą do wdrożenia działań profilaktycznych ukierunkowanych na zwiększenie bezpieczeństwa pracy i eliminację zagrożeń homeostazy termicznej.

Tego typu rejestracja jest optymalnym rozwiązaniem dla monitorowania górników pracujących pod ziemią, gdzie czynniki warunkujące wielkość obciążenia termicznego człowieka zmieniają się bardzo dynamicznie, dostęp osób trzecich do pracowników dołowych jest bardzo ograniczony, a często, ze względów bezpieczeństwa i organizacji pracy — wręcz niemożliwy (np. na stanowiskach przodkowych). W Polsce w ostatnich latach średnia roczna liczba osób zatrudnionych w warunkach zagrożenia mikroklimatem gorącym ma tendencję zniżkową, ale nadal wynosi ok. 20 000 i dla oceny zagrożeń termicznych wielu szczególnie trudnych stanowisk pracy można z powodzeniem zastosować system telemetrii bezprzewodowej.

## WNIOSKI

1. Indywidualne wartości parametrów fizjologicznych zarejestrowane w trakcie zmiany roboczej u górników operatorów maszyn dołowych zmieniały się stosownie do warunków środowiska pracy i wykonywanych czynności roboczych, co przy rejestracji „on-line” i obserwowanej spójności badanych parametrów pozwoliło na pełną i jednoczasową ocenę homeostazy termicznej badanych pracowników (w tym na wychwycenie momentów zagrożeń, kiedy obserwowano przekroczenia wartości prawidłowych).
2. Przeprowadzona próba pozwala pozytywnie ocenić przydatność zintegrowanego systemu telemetrii bezprzewodowej do pomiaru obciążenia cieplnego pracowników w trudnych warunkach mikroklimatycznych, jakie występują w kopalniach miedzi.

## PIŚMIENNICTWO

1. Marszałek A.: Osoby zatrudnione w środowisku gorącym — struktura wiekowa. *Bezp. Pr.* 2003;3:16–18
2. Sudoł-Szopińska I., Sobolewski A., Chojnacka A.: Ocena obciążenia termicznego pracowników za pomocą wskaźnika WBGT — aspekty praktyczne. *Bezp. Pr.* 2006;10:16–20
3. PN-ISO 9886: Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych. PKN 05 1999
4. McKenzie J.E., Osgood D.W.: Validation of a new telemetric core temperature monitor. *J. Therm. Biol.* 2004;29:605–611
5. Byrne C., Leong L.C.: The ingestible telemetric body core temperature sensor: a revive of validity and exercise applications. *Br. J. Sports. Med.* 2007;41:126–133
6. Easton C., Fudge B.W., Pitsiladis P.: Rectal, telemetry and tympanic membrane thermometry during exercise heat stress. *J. Therm. Biol.* 2007;32:78–86
7. Casa D.J., Becker S.M., Ganio M.S., Brown C.M., Yeargin S.W., Roti M.W. i wsp.: validity of devices that asses body temperature during outdoor exercise in heat. *J. Athlet. Train.* 2007;43(3):333–342
8. Varley F.D.: A study of heat stress exposures and interventions for mine rescue workers. 2004 SME Annual Meeting (Feb 23–25, 2004). Preprint No. 04-107. SME Annual Meeting, Denver, CO (USA) 2004, ss. 1–11
9. Lau W-M., Roberts W., Forbes-Ewan C.: Physiological performance of soldiers conducting long range surveillance and reconnaissance in hot, dry environments. DTSO-TR-0894, Melbourne 1999
10. Edwards A.M., Clark N.A.: Thermoregulatory observations in soccer match play: professional and recreational level applications using an intestinal pill system to measure core temperature. *Br. J. Sports Med.* 2006;40:133–138