

Anna MARSZAŁEK*, Grażyna BARTKOWIAK**,
Anna DĄBROWSKA**, Sylwia KRZEMIŃSKA**

OCENA WYBRANYCH ŚRODOWISKOWYCH UWARUNKOWAŃ ORGANIZACJI PRACY RATOWNIKÓW GÓRNICZYCH

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2017.074.13

Do podstawowych zagrożeń, związanych z pracą ratownika górniczego poza zagrożeniem wybuchem metanu, należą wysoka temperatura i wilgotność powietrza otoczenia, duża masa przenoszonego sprzętu. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych dla dwóch wariantów stosowanego przez ratowników ubioru, aparatu ratowniczego i dwóch poziomów temperatury otoczenia. Porównano czas trwania badań do osiągnięcia limitów fizjologicznych temperatury wewnętrznej, częstości skurczów serca, bądź zakończenia badań z powodów subiektywnych. Przedstawiono różnice w intensywności pocenia, gromadzenia potu w odzieży, akumulacji ciepła i subiektywnych ocen wrażeń cieplnych przy dwóch poziomach temperatury otoczenia.

Słowa kluczowe: środowisko gorące, ratownik górniczy, odzież ochronna, obciążenie cieplne

1. WPROWADZENIE

Do głównych zagrożeń związanych z pracą w podziemnych kopalniach należą warunki wysokiej temperatury powietrza otoczenia oraz wysokiej wilgotności względnej powietrza. Nie mniej istotne jest obciążenie pracą fizyczną, często zaliczaną do ciężkich i bardzo ciężkich poziomów.

Jak wynika z analizy zagrożeń i warunków pracy ratowników górniczych podczas prowadzenia akcji ratowniczych (Sprawozdanie z realizacji 1 etapu Projektu

* Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ergonomii.

** Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych.

ResClo, 2014), zagrożenie wybuchem metanu, gazów pożarowych i pyłu węglowego było najczęstszą przyczyną wypadków śmiertelnych ratowników górniczych w Polsce, co stanowiło 40% ogólnej liczby takich przypadków. Główną przyczyną zgonów ratowników były oparzenia termiczne znacznej powierzchni ciała i dróg oddechowych. Natomiast drugą przyczyną wypadków śmiertelnych ratowników były trudne warunki mikroklimatu, które powodowały przegrzanie organizmu ratowników i śmierć w wyniku udaru cieplnego, stanowiąc 26% ogólnej liczby zgonów (Bugajska, Sobolewski, Marszałek, Bagiński, Syty, 2012).

W atmosferze szkodliwych gazów kopalnianych ratownicy są zmuszeni do korzystania z tlenowych aparatów regeneracyjnych. Natomiast korzystanie z nich sprawia znaczną uciążliwość ze względu na zwiększającą się temperaturę wdychanego tlenu w wyniku wydzielania się dodatkowego ciepła podczas pracy pochłaniacza. Poza tym aparat przykrywa znaczną część powierzchni pleców, a tym samym utrudnia oddawanie ciepła przez skórę na tym obszarze.

Kolejnym czynnikiem analizowanym w przytoczonym sprawozdaniu była masa wyposażenia, które ratownicy zabierają ze sobą na miejsce zdarzenia. Kompletna odzież ratownika to 6 kg, a dodatkowy sprzęt to kolejne 15–50 kg, w zależności od potrzeby prowadzonej akcji.

Autorzy przytoczonego sprawozdania zwracają uwagę na niebezpieczeństwo związane z zastosowaniem przez ratowników odzieży niewłaściwej do rodzaju występujących zagrożeń. Ratownicy zwykle pracują w lekkiej odzieży stosowanej na co dzień, a zdarza się, że są kierowani do aktywnego gaszenia pożaru bez informacji, jak powinni być ubrani, wówczas dochodzi do rozległych oparzeń.

Celem badań prowadzonych w CIOP-PIB było porównanie obciążenia cieplnego ratowników górniczych podczas stosowania, opracowanego w ramach projektu ResClo, ubioru składającego się z bielizny odbierającej ciepło, odzieży wierzchniej oraz jednego ze stosowanych przez ratowników aparatów tlenowych, jakim jest W-70.

2. ODZIEŻ OCHRONNA RATOWNIKÓW GÓRNICZYCH

W ramach projektu RESCLO opracowano modele odzieży ochronnej i bielizny z materiałami przemiany fazowej przeznaczone do stosowania przez ratowników górniczych. Stwierdzono, że zarówno odzież, jak i bielizna powinny spełniać funkcje ochronne oraz termoregulacyjne. Ze względu na zagrożenia towarzyszące akcjom ratowniczym w górnictwie opracowany zestaw odzieży ochronnej i bielizny spełnia wymagania dyrektywy europejskiej 89/686/EWG, dotyczącej środków ochrony indywidualnej i norm: PN-EN 1149-5:2009, PN-EN ISO 11612:2011 i PN-EN ISO 13688:2013.

Ze względu na obciążenie cieplne ratowników górniczych, w odzieży i bieliźnie zastosowano elementy termoregulujące z materiałami przemiany fazowej (PCM), które mają za zadanie odbieranie nadmiaru ciepła z organizmu ratownika. Do reali-

zacji projektu wytypowano makrokapsułki PCM w dwóch wariantach temperatury przemiany fazowej – 32 i 37°C w celu zapewnienia stopniowego efektu endotermicznego, towarzyszącego przemianie fazowej PCM podczas topienia i w konsekwencji – efektywnego działania PCM na kształtowanie się warunków w mikroklimacie pododzieżowym przez cały, założony czas trwania akcji ratowniczej tj. do ok. 180 min. Specyfikację wybranych makrokapsułek PCM zgodnie z danymi producenta Microtek Laboratories przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Specyfikacja wybranych makrokapsułek PCM firmy Microtek Laboratories (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

Rodzaj makrokapsułek	Temperatura topnienia, °C	Entalpia, J/g	Średnica, mm	Udział procentowy PCM
MacroPCM 32	32±2	160÷190	3÷5	80% PCM, 20% otoczka polimerowa
MacroPCM 37	37±2			

Bielizna dla ratowników górniczych składa się z podkoszulka z krótkim rękawem i spodenek. Wykonana została z dzianiny o składzie surowcowym 90% Lenzing FR, 8% p-aramid, 2% włókna antystatyczne o masie powierzchniowej 194 g/m², charakteryzuje się zadawalającymi właściwościami biofizycznymi, przede wszystkim niskim oporem pary wodnej na poziomie 2,9 m²Pa/W i wysoką przepuszczalnością powietrza ok. 1970 mm/s.

Zgodnie z założeniami PCM umieszczono w koszulce tak, aby pokrywały obszary ciała, które ulegają największemu nagrzewaniu się, tj. na klatce piersiowej i plecach, jednak w celu zapewnienia kompatybilności opracowanej konstrukcji bielizny z pozostałym wyposażeniem ratowników górniczych, a w szczególności – ze sprzętem ochrony układu oddechowego, przeprowadzono analizę miejsc ucisku noszaków poszczególnych aparatów stosowanych przez ratowników górniczych. Analiza ta pozwoliła zidentyfikować obszary wolne od ucisku, w których mogą być zastosowane elementy chłodzące w postaci materiałów przemiany fazowej.

Model odzieży wierzchniej dla ratowników górniczych składa się z bluzy i spodni do pasa. Zastosowano wywietrzniki na linii boku rękawa i wzdłuż tułowia oraz na linii boku nogawki, w celu wspomaganie chłodzenia organizmu ratownika. Kieszenie na przodzie bluzy, jak również po bokach spodni rozmieszczono tak, aby zapewnić do nich wygodny dostęp (z uwzględnieniem miejsc ucisku przez wyposażenie dodatkowe ratownika). W tylnych częściach stójki i na tyle bluzy w miejscu łączenia rękawów (poniżej stójki), umieszczono woreczki z siatki dzianinowej, wypełnione makrokapsułkami PCM wspomagającymi funkcje termoregulacyjne organizmu. Odzież wykonana została z tkaniny o składzie surowcowym: włókna meta-aramidowe (93%), włókna para-aramidowe typu Kevlar (5%) i włókna antystatyczne (2%) o masie powierzchniowej 155 g/m². Tkanina charakteryzuje się oporem pary wodnej na poziomie 4 m²Pa/W i przepuszczalnością powietrza około 200 mm/s.

3. METODA BADAŃ

3.1. Osoby badane

W badaniach uczestniczyło 6 ratowników górniczych w wieku $34,5 \pm 6,2$ lat, masie ciała $82,0 \pm 4,8$ kg i wydolności fizycznej $48,2 \pm 5,2$ ml O₂/kg/min, staż pracy min. 2 lata. Wybór osób do badań poprzedzono badaniami kwalifikacyjnymi, które obejmowały wywiad lekarski dotyczący aktualnego stanu zdrowia, przedmiotowe badanie lekarskie oraz badania dodatkowe, w tym wysiłkowe badanie EKG, 24-godzinne badanie EKG metodą Holtera, badanie spirometryczne i test wysiłkowy PWC₁₇₀. Wybrano osoby o zbliżonej charakterystyce, w celu uzyskania jednoznaczności wnioskowania.

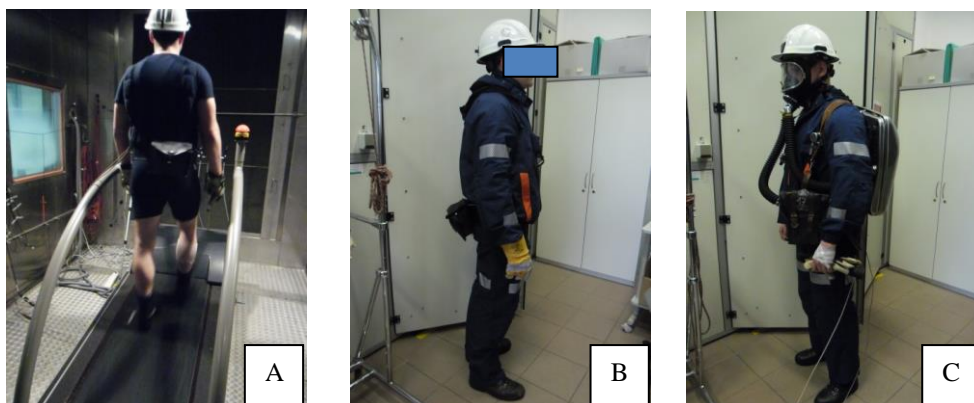
3.2. Warianty badań

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w komorze klimatycznej przy dwóch poziomach temperatury powietrza otoczenia, łagodniejszych, na poziomie 32°C oraz bardziej obciążających, czyli 38°C. W obu przypadkach prędkość ruchu powietrza wynosiła 1,0 m/s, a wilgotność względna powietrza była na poziomie 80-85%.

Badani uczestniczyli łącznie w 6 wariantach badań, w tym – w samej bieliźnie, w bieliźnie i odzieży wierzchniej oraz w bieliźnie i odzieży wierzchniej z aparatem W-70. Każdy z tych wariantów badań był wykonywany przy dwóch poziomach temperatury otoczenia. Zestawienie wybranych wariantów badań przedstawiono w tabeli 2, zaś widok ratowników górniczych podczas ubranych w wybrane warianty odzieży – na rysunku 1.

Tabela 2. Warianty badań z udziałem ratowników górniczych
(Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

Oznaczenie wariantu badań	Opis wariantu badań
32 BA	opracowana bielizna, temperatura powietrza 32°C
32 BA OW	opracowana bielizna, odzież wierzchnia, temperatura powietrza 32°C
32 BA W70	opracowana bielizna, odzież wierzchnia, aparat regeneracyjny W-70, temperatura powietrza 32°C
38 BA	opracowana bielizna temperatura powietrza 38°C
38 BA OW	opracowana bielizna, odzież wierzchnia, temperatura powietrza 38°C
38 BA W70	opracowana bielizna, odzież wierzchnia, aparat regeneracyjny W-70, temperatura powietrza 38°C



Rys. 1. Osoby badane w białiznie (A), białiznie i odzieży wierzchniej (B) oraz w białiznie, odzieży wierzchniej i w aparacie W-70 (C) (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

3.3. Wyposażenie osób badanych

Wyposażenie osób badanych stanowiły hełm, lampa i rękawice w każdym badaniu oraz tlenowy aparat regeneracyjny W-70 w dwóch wariantach badań, tj. 32 BA W70 i 38 BA W70.

Tlenowy aparat regeneracyjny W-70 stanowi podstawowe wyposażenie polskich służb ratowniczych jako sprzęt ochrony układu oddechowego. Funkcjonuje w układzie zamkniętym, w pełni izoluje użytkownika od otaczającej atmosfery. Jest to aparat podciśnieniowy w zamkniętym układzie oddechowym z tlenem sprężonym w butli stalowej. Czas ochronnego działania to 4 godz. Masa aparatu bez części twarzowej ok. 14 kg (Świrski, Toczyłowski, Głowik, 2012). Podczas badań aparat był wyposażony w schładzacz powietrza wdychanego SAT-2M.

3.4. Przebieg eksperymentu

Założono, że badanie będzie trwało 120 min. Jednakże nie każde warunki określone w badaniach sprzyjały możliwości wykonywania wysiłku w gorącym otoczeniu. Przyjęto następujące graniczne wartości parametrów fizjologicznych, które wyznaczały czas trwania badania:

- $t_{abd} > 38,5^{\circ}\text{C}$,
- $\text{HR} > 85\% \text{HR}_{\text{max}}$,
- subiektywne oznaki złego samopoczucia lub zmęczenia.

Badani wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach. Bezpieczeństwo osób badanych było zapewnione przez obecność lekarza.

Przed badaniem osoba badana uzupełniała płynny przez wypicie 500 ml wody. Na skórze osoby badanej umieszczano elektrody EKG, czujniki do pomiaru temperatury skóry, temperatury i wilgotności oraz rejestrator częstości skurczów serca.

Osoba badana zakładała podkoszulek bez PCM-ów, odzież ochronną, skarpety i buty. W takim ubiorze osoba badana pozostawała przez 45 min w warunkach temperatury otoczenia 21°C i wilgotności względnej powietrza 50% w celu ustabilizowania warunków cieplnych ciała.

Po zakończeniu klimatyzacji osoba badana zmieniała podkoszulek na wypełniony woreczkami z zawartością PCM-ów. Przy zastosowaniu odzieży wierzchniej, przed wyjściem z komory do klimatyzacji osoba badana zmieniała kurtkę, gdyż w kołnierzu były na stałe umieszczone PCM-y. Wymiana kurtki zapewniła pełną możliwość funkcjonowania PCM-ów.

Następnie uzupełniano ubiór i wyposażenie w zależności od przeprowadzanego wariantu badań.

Osoby badane przechodziły do drugiej komory klimatycznej, gdzie wykonywały wysiłek na bieżni elektrycznej o intensywności stanowiącej 25% wydolności fizycznej (VO_{2max}), ustalonej indywidualnie dla każdego ratownika uczestniczącego w badaniach. Obciążenie wysiłkiem fizycznym było wyliczane przed wejściem osoby badanej do komory klimatycznej. Prędkość przesuwu taśmy na bieżni elektrycznej była stała i wynosiła 3 km/h. Kąt nachylenia bieżni był wyliczany indywidualnie na podstawie masy ubranego ratownika wyposażonego w sprzęt w zależności od wariantu badania.

Procedurę badań zaakceptowała Komisja Bioetyczna przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym, wydając zgodę na badania odzieży ochronnej prowadzone w komorze klimatycznej z udziałem ratowników w trudnych warunkach mikroklimatu.

3.5. Mierzone parametry

Podczas badań mierzone były następujące parametry fizjologiczne i fizyczne:

- temperatura wewnętrzna mierzona w przewodzie pokarmowym (T_{abd}) za pomocą miernika VitalSense,
- lokalne temperatury skóry w 4 miejscach według PN-EN ISO 9886:2005, mierzone bezprzewodowymi czujnikami i-Button,
- masa ciała i odzieży, przed i po badaniu, w celu określenia intensywności pocenia, z użyciem wagi Sartorius F 150 S-D2.

Przez cały czas trwania badania monitorowano częstość skurczów serca (HR) za pomocą kardiomonitora FX 2000 i bezprzewodowo za pomocą miernika Polar Electro Oy, natomiast ciśnienie tętnicze krwi mierzono przed i po badaniu.

Podczas badań w odstępach 15-minutowych zbierano oceny subiektywne dotyczące: odczuwania ciepła (według PN-EN ISO 10551:2002), wilgotności skóry (według Nielsen i Endrusick (1990)), ciężkości wysiłku (według Borga (1982)).

Na podstawie pomiarów lokalnych temperatur skóry wyliczona została średnia ważona temperatura skóry (t_{sk}) według PN-EN ISO 9886:2005.

Akumulację ciepła (S) wyznaczano według poniższego wzoru według Burtona:

$$S = (3,55 \cdot m_{cp} / A_{Du}) \cdot (0,9 \Delta t_{abd} + 0,1 \Delta \bar{T}_{sk}) \cdot t_{eks}^{-1}$$

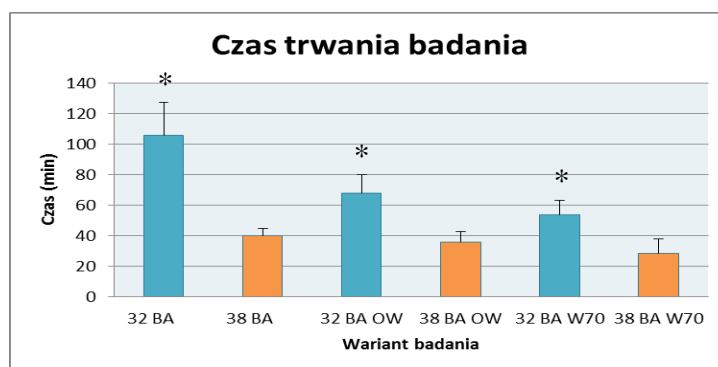
gdzie: m_{cp} – masa ciała początkowa, A_{Du} – powierzchnia ciała, T_{abd} – temperatura wewnętrzna mierzona w przewodzie pokarmowym, \bar{T}_{sk} – średnia ważona temperatura skóry, t_{eks} – czas ekspozycji.

3.6. Analiza statystyczna wyników badań

W analizowanych danych pomiarowych określano normalności rozkładu (test Shapiro-Wilka), a następnie przeprowadzano test t-Studenta lub stosowano nieparametryczny test kolejności par Wilcoxon. Przyjęty poziom istotności różnic wynosi 0,05, na wykresach oznaczono gwiazdką (*). Statystyczną analizę danych pomiarowych przeprowadzono z zastosowaniem programu Statistica 9.1

4. WYNIKI BADAŃ

Otrzymane wyniki wskazują, że czas trwania badania był dłuższy w warunkach niższej temperatury otoczenia, natomiast najdłużej trwało badanie w wariacie z zastosowaniem samej bielizny, bez odzieży wierzchniej i aparatu regeneracyjnego (rys. 2). Badanie w samej bieliznie trwało ponad dwukrotnie dłużej w temperaturze 32°C niż w warunkach temperatury 38°C. W pozostałych dwóch wariantach ubioru i wyposażenia różnice dotyczące stosowanej temperatury otoczenia były prawie dwukrotnie większe w niższej temperaturze w porównaniu z warunkami w wyższej temperaturze. Różnice między wynikami badań w niższej i wyższej temperaturze otoczenia były istotne statystycznie.



Rys. 2. Czas trwania badania w zależności od stosowanego ubioru i obecności lub braku aparatu regeneracyjnego. * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

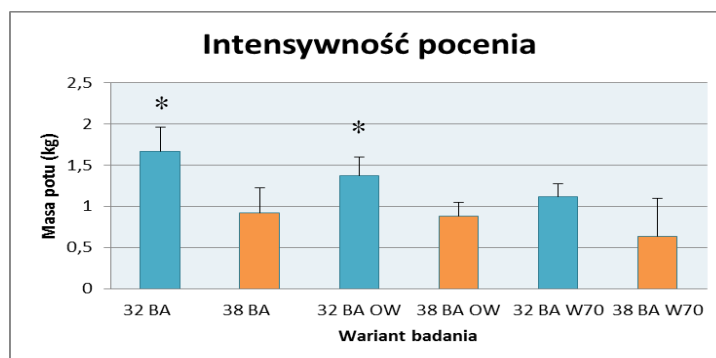
Przyczyny zakończenia badań były różne, ich zestawienie przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Liczba przypadków poszczególnych przyczyn zakończenia badania (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

Wariant badania	Przyczyna zakończenia badania			
	t_{abd}	HR	Subiektywna	Czas
32 BA	3	–	–	3
38 BA	4	2	–	–
32 BA OW	3	3	–	–
38 BA OW	1	5	–	–
32 BA W-70	2	3	1	–
38 BA W-70	–	4	2	–

Czas trwania badania był ograniczeniem jedynie przy niższej temperaturze badania w wariancie badań z zastosowaniem samej bielizny. W pozostałych przypadkach badania kończyły się z przyczyn fizjologicznych, czyli z powodu osiągnięcia granicznych wartości T_{abd} lub HR, przy czym przy wyższej temperaturze otoczenia częściej przyczyną zakończenia było osiągnięcie granicznego poziomu HR w porównaniu z warunkami w niższej temperaturze.

Intensywność pocenia była zależna od czasu trwania badania, więc wyniki podano w czasie rzeczywistym (rys. 3) i w przeliczeniu na czas badania (rys. 4).

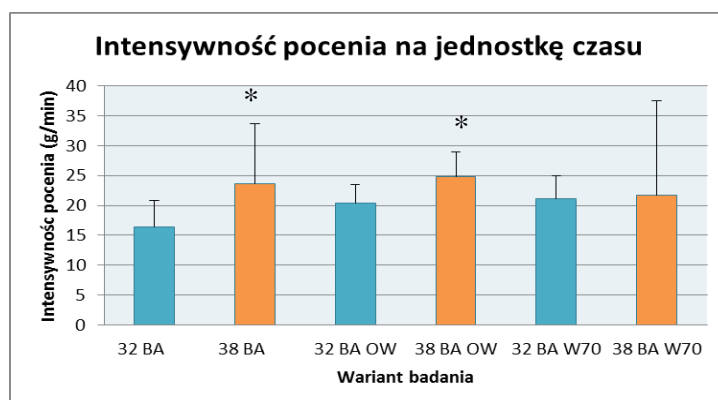


Rys. 3. Intensywność pocenia w zależności od stosowanego ubioru i obecności lub braku aparatu regeneracyjnego. * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

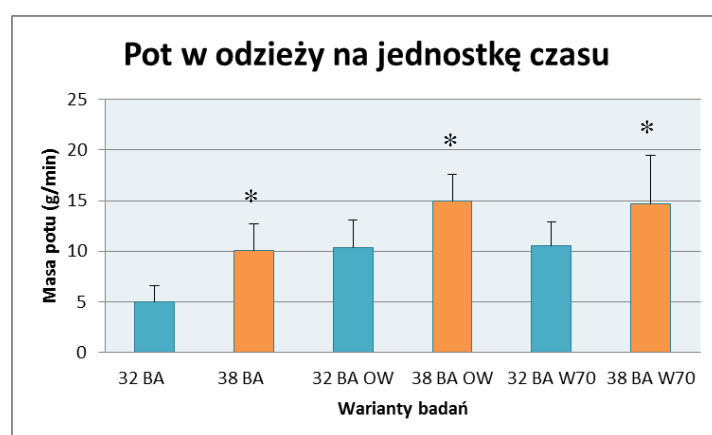
Intensywność pocenia osiągała wyższy poziom w badaniach prowadzonych w temperaturze 32°C, jednakże te warianty badań trwały dłużej niż badania przeprowadzane w temperaturze 38°C.

Przeliczenie intensywności pocenia na czas trwania badania (rys. 4) wykazało, że największe różnice, zależne od temperatury otoczenia, stwierdzono dla wariantu

badania w samej białźnie, nieco mniejsze w badaniu z odzieżą wierzchnią, a najmniejsze w badaniach z aparatem W-70. Różnice istotne statystycznie dotyczące wariantów temperatury otoczenia stwierdzono między wynikami badań w samej białźnie oraz w wariacie z odzieżą wierzchnią.



Rys. 4. Intensywność pocenia w zależności od stosowanego ubioru i obecności lub braku aparatu regeneracyjnego. * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

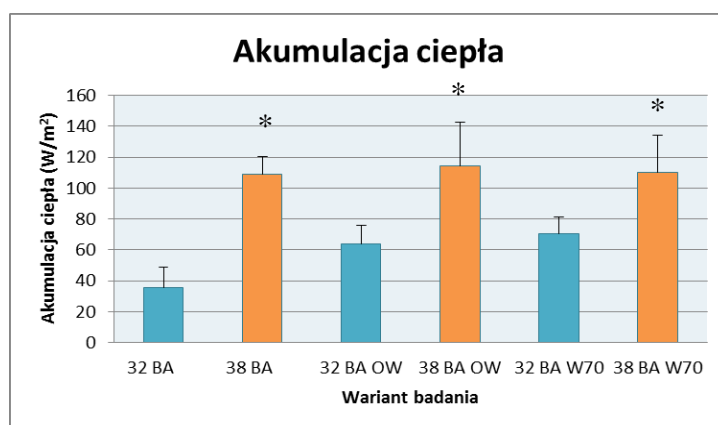


Rys. 5. Intensywność akumulacji potu w odzieży w zależności od stosowanego ubioru i obecności lub braku aparatu regeneracyjnego. * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

W wyniku wzmożonego pocenia pot gromadził się w odzieży. Więcej potu na jednostkę czasu akumulowało się podczas badań w wyższej temperaturze otoczenia, przy czym zarówno w niższej, jak i wyższej temperaturze powietrza mniej potu w odzieży zgromadziło się w wariantach badań prowadzonych w samej białźnie (rys. 5). W pozostałych wariantach badań poziomy zakumulowanego potu

były podobne, zależnie od temperatury powietrza. Różnice między wynikami badań w niższej i wyższej temperaturze otoczenia były istotne statystycznie dla każdego z prezentowanych wariantów ubiorów i wyposażenia.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyliczono poziom akumulacji ciepła, wyniki przedstawiono na rys. 6.

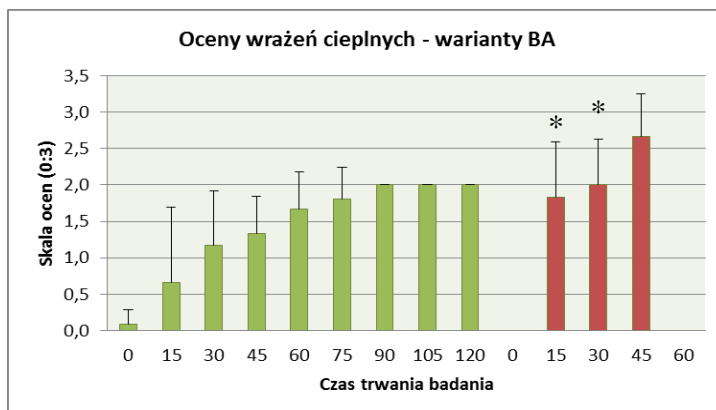


Rys.6. Poziom akumulacji ciepła w organizmie ratowników w zależności od stosowanego ubioru i obecności lub braku aparatu regeneracyjnego. * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

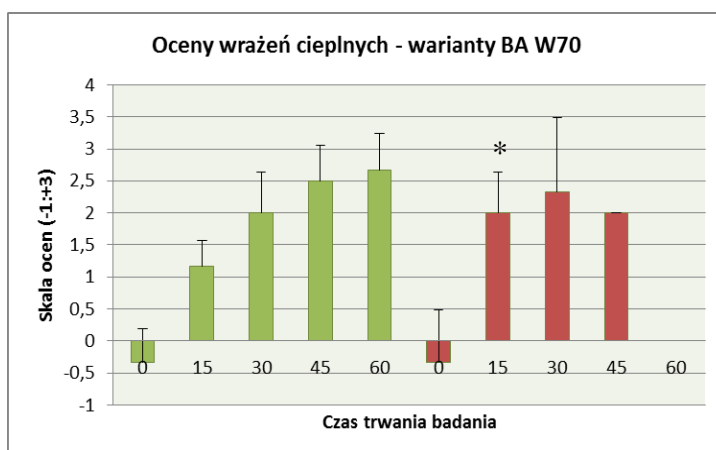
Największą różnicę w poziomie akumulacji ciepła w organizmie ratowników między badaniami w niższej i wyższej temperaturze otoczenia stwierdzono w badaniach prowadzonych w samej bieliźnie. W pozostałych dwóch wariantach ubiorów i wyposażenia różnice były zbliżone. W każdym z analizowanych wariantów różnice między wynikami badań w niższej i wyższej temperaturze otoczenia były istotne statystycznie.

Przy porównaniu ocen wrażeń cieplnych zbieranych podczas badań w tym samym czasie, można zauważyć, że oceny są wyższe (gorsze) w warunkach badań w wyższej temperaturze otoczenia. Średnie oceny w temperaturze 32°C w żadnym z wariantów nie osiągały najwyższego poziomu, natomiast w temperaturze 38°C, po dużo krótszym czasie trwania badania, oceny były równe lub bliskie najwyższej wartości. Niższe słupki w końcowej fazie badania świadczą o tym, że tylko pojedyncze osoby wykonywały badania na tym etapie, inne skończyły wcześniej.

Różnice dotyczące subiektywnych ocen wrażeń cieplnych między badaniami w niższej i wyższej temperaturze otoczenia były istotne statystycznie głównie w początkowym okresie badań, tzn. w 15 i 30 min badań w badaniach w samej bieliźnie (rys. 7) i w 15. min w badaniach z zastosowaniem aparatu W-70 (rys. 8).



Rys. 7. Średnie oceny wrażeń cieplnych w badaniach w białiznie prowadzonych w temperaturze 32°C (zielone słupki) i 38°C (czerwone słupki). * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)



Rys. 8. Średnie oceny wrażeń cieplnych w badaniach w białiznie i odzieży wierzchniej z aparatem W-70, prowadzonych w temperaturze 32°C (zielone słupki) i 38°C (czerwone słupki). * – $p < 0,05$ (Projekt nr 11, SP/K/11/207770/13)

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Badania przeprowadzono dla trzech wariantów sposobów ubierania się i wyposażenia ratowników górniczych. Zastosowano nowo opracowane wzory białizny i odzieży wierzchniej. Te warianty różniły się liczbą warstw odzieży oraz obecnością lub brakiem aparatu regeneracyjnego. Wymienione czynniki miały wpływ na możliwości termoregulacyjne osób przebywających w trudnych warunkach środo-

wiska termicznego, jakimi są wysoka temperatura i wilgotność powietrza oraz mały ruch powietrza.

Czas trwania badań był dłuższy w warunkach niższej temperatury otoczenia i w tym czasie intensywność pocenia była większa niż przy wyższym poziomie temperatury otoczenia. Gdy jednakże przeliczymy intensywność pocenia na jednostkę czasu, to okazuje się, że jedynie w badaniach w samej bieliźnie w niższej temperaturze otoczenia intensywność pocenia była na poziomie umiarkowanym. We wszystkich pozostałych przypadkach średnie wartości były równe, w warunkach niższej temperatury otoczenia, oraz wyższe, w badaniach prowadzonych w wyższej temperaturze, od wartości granicznych zalecanych przez normy PN-EN 9886 i PN-EN ISO 7933. Jednocześnie ilość potu zakumulowana w odzieży była dużo wyższa w warunkach badań prowadzonych w wyższej temperaturze otoczenia. Fakty te wskazują, że organizm ratowników intensywnie produkował pot, jednakże obecność dwóch warstw odzieży oraz duża powierzchnia aparatu ratowniczego utrudniały, a może nawet uniemożliwiły odparowanie potu. Konsekwencją tych zdarzeń była zwiększająca się akumulacja ciepła.

Różnice zależne od temperatury otoczenia wiążą się ze zmianą rodzaju dróg wymiany ciepła z otoczeniem (Roades i Tanner 1995). W warunkach temperatury powietrza 32°C możliwa była wymiana ciepła z otoczeniem drogą konwekcji, promieniowania, przewodzenia i odparowania wytworzonego potu, gdyż poziom temperatury skóry jest wówczas wyższy i ciepło może być oddane do otoczenia. Jak wskazują przeprowadzone badania, konstrukcja bielizny nie utrudniała przepływu ciepła do otoczenia, gdyż osiągnięcie założonych limitów następowało w większości przypadków po ponad 1,5 godz. Dla tego samego ubioru warunki wyższej temperatury otoczenia już znacznie skróciły czas ekspozycji. Wynika to ze znacząco większej akumulacji ciepła w organizmie ratownika górniczego z uwagi na temperaturę otoczenia wyższą od temperatury skóry.

Porównując wyniki uzyskane dla poszczególnych wariantów odzieży i wyposażenia, można stwierdzić, że najmniejsze obciążenie cieplne ratowników występowało w przypadku badań prowadzonych w samej bieliźnie z elementami chłodzącymi w temperaturze otoczenia 32°C, natomiast największe – w przypadku wariantu z zastosowaniem odzieży ochronnej i aparatu regeneracyjnego, w temperaturze otoczenia wynoszącej 38°C ze względu na znaczne utrudnienie oddawania ciepła. Dla tego drugiego z tych wariantów wyznaczona akumulacja ciepła kształtowała się na podobnym poziomie, jak w przypadku wariantu badań z odzieżą ochronną bez aparatu regeneracyjnego na co mogła wpłynąć zmieniona liczba osób badanych, które ukończyły badanie wcześniej.

W stosowanej w badaniach wyższej temperaturze otoczenia mamy do czynienia z warunkami, w których ciepło z organizmu osoby eksponowanej nie może być oddawane drogą konwekcji, promieniowania i przewodzenia, ponieważ ze względu na niższą temperaturę powierzchni skóry (33°C w warunkach komfortu cieplnego) ciepło przepływa z otoczenia w kierunku ciała człowieka. Wówczas, jedyną drogą

oddawania ciepła z organizmu jest parowanie wytworzonego potu (Traczyk, Trzebisk, 1990). Jednakże, ze względu na wysoką wilgotność powietrza parowanie potu jest znacznie utrudnione. W takich warunkach pot jest wytwarzany w większych ilościach, ale ciepło nie jest oddawane. Świadczą o tym większa intensywność pocenia (w przeliczeniu na jednostkę czasu) oraz większa akumulacja ciepła w warunkach temperatury otoczenia 38°C w porównaniu z warunkami 32°C. Wyniki te zostały również potwierdzone przez subiektywne oceny wrażeń cieplnych.

W wyższej temperaturze otoczenia obserwowano znaczną aktywację układu krążenia krwi, objawiającą się większą częstością kończenia badań z powodu osiągnięcia limitu HR. Jest to reakcja na zwiększoną akumulację ciepła w organizmie. Podczas wykonywania wysiłku w gorącym środowisku następuje redystrybucja krwi, czego efektem jest redukcja nerkowego i trzewnego przepływu krwi oraz kierowanie krwi do skóry, aby na jej powierzchni umożliwić rozpraszanie ciepła (Orwell, 1983).

6. PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki badań wskazują, że przez odpowiedni dobór elementów odzieży w sposób istotny można wpływać na obciążenie cieplne, jakiemu poddawani są ratownicy, przy czym istotne jest, aby dobór ten oparty był na analizie poziomu i rodzaju zagrożeń występujących podczas danej akcji.

Biorąc pod uwagę intensywność pocenia i poziom akumulacji ciepła, najmniejsze obciążenie cieplne stwierdzono w samej bieliźnie w temperaturze otoczenia 32°C, co pozwoliło na wykonywanie wysiłku przez najdłuższy czas spośród realizowanych wariantów badań.

Największe obciążenie cieplne obserwowano w temperaturze otoczenia 38°C przy zastosowaniu odzieży wierzchniej zarówno bez, jak i z obecnością aparatu regeneracyjnego.

Zastosowanie aparatu regeneracyjnego nie zwiększało w istotny sposób obciążenia cieplnego w porównaniu z warunkami bez aparatu, gdyż czas trwania badań z aparatem był krótszy tylko o kilka minut od badań bez aparatu w niższej temperaturze otoczenia i kilkanaście minut w wyższej temperaturze.

W publikacji wykorzystano wyniki projektu nr 11 pt. „Opracowanie odzieży ochronnej dla ratowników górniczych” realizowanego w ramach strategicznego projektu badawczego pt. „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Konsorcjum:

- Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (Lider),
- Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego,
- Związek Ochotniczych Straży Pożarnych Rzeczypospolitej Polskiej Wytwórnia Umundurowania Strażackiego.

LITERATURA

- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports*, 14 (5), 377-381.
- Bugajska, J., Sobolewski, A., Marszałek, A., Bagiński, M., Syty, J. (2012). Bezpieczeństwo ratowników górniczych w czasie akcji w trudnych warunkach klimatu w kopalniach węgla kamiennego – obciążenie cieplne. In: J. Konieczny, *Bezpieczeństwo zdrowia publicznego w zagrożeniach środowiskowych. Postępy metodologii badań*. Poznań–Łódź–Inowrocław.
- Nielsen, R., Endrusick, T.L. (1990). Sensations of temperature and humidity during alternative work/rest and influence of underwear knit structure. *Ergonomics*, 33 (2), 221-234.
- PN-EN 1149-5:2009. *Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Część 5: Wymagania materiałowe i konstrukcyjne*.
- PN-EN ISO 11612:2011. *Odzież ochronna – Odzież do ochrony przed czynnikami gorącymi i płomieniem*.
- PN-EN ISO 7933: 2005. *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego (oryg.)*.
- PN-EN ISO 9886:2005 *Ergonomia – Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych (oryg.)*.
- PN-EN ISO 10551:2002. *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena wpływu środowiska termicznego z zastosowaniem skal osądu subiektywnego (oryg.)*.
- PN-EN ISO 13688:2013. *Odzież ochronna – Wymagania ogólne*.
- Roades, R.A., Tanner, G.A. (1995). *Medical Physiology*. Boston, New York, Toronto, London: Little, Brown and Company.
- Rowell, L.B. (1983). *Cardiovascular adjustments to thermal stress*. J.T. Shepard, F.M. Abboud (eds.) Washington D.C.: American Physiological Society. Sec. II, vol. III, part 2: 967-1027.
- Sprawozdanie z realizacji 1 etapu Projektu ResClo 2014. Opracowanie wymagań funkcjonalnych dla zestawu bielizna/odzież ochronna dla ratowników górniczych uwzględniających zapewnienie bezpieczeństwa i możliwość oddawania ciepła w warunkach akcji ratowniczej*.
- Świrski, M., Toczyłowski, P., Głowik, S. (2012). *Nowe typy aparatów ratowniczych w kopalniach*. Bytom: CSRS.
- Traczyk, W.Z., Trzebisk, A. (1990). *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Warszawa: PZWL.

EVALUATION OF SELECTED ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF WORK ORGANIZATION OF MINE RESCUE WORKERS

Summary

High levels of air temperature and humidity, the large mass of the transferred equipment are basic risks beyond the risk of explosion of methane of work-related mining rescuers.

The article presents results of a research study conducted in the laboratory for two variants of clothing developed for mining rescuers and one kind of respiratory protective device at two levels of ambient temperature and moderate physical work intensity. A duration of the exercise to achieve the physiological limits of the internal temperature, heart rate or completion of the study because of subjective reasons was compared between studies conducted at two levels of air temperature. Differences in the intensity of sweating, level of sweat accumulated in clothing, heat accumulation and subjective ratings of the thermal state at mentioned variants of environment conditions were also described.

Keywords: hot environment, rescue miner, protective clothing, heat load

