

dr ANNA MARSZAŁEK
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Fizjologiczne reakcje organizmu człowieka podczas pracy w odzieży ochronnej w gorącym środowisku

W artykule przedstawiono wyniki badań reakcji fizjologicznych osób wykonujących lekki wysiłek w gorącym środowisku z zastosowaniem dwóch rodzajów odzieży ochronnej oraz zestawu odzieży bawełnianej, wskazując na przyczyny konieczności skrócenia czasu pracy w odzieży ochronnej.

Physiological response of men during exercise in a hot environment in chemical protective clothing

The paper presents results of physiological responses of volunteers performing light exercise in a hot environment using two kinds of protective clothing or a cotton garment. It proves why it is necessary to shorten work time in protective clothing.

Wprowadzenie

Na wielu stanowiskach pracy wymagane jest używanie przez pracowników środków ochrony indywidualnej do ochrony przed szkodliwym działaniem czynników fizycznych i chemicznych, występujących w środowisku pracy. Ochrona przed tymi czynnikami w większości przypadków oznacza zastosowanie specjalnych materiałów i różnych sposobów ich obróbki, czyniąc je wysoko nieprzepuszczalnymi dla pary wodnej. Odzież ochronna

powinna zapewniać właściwą ochronę człowieka, a jednocześnie spełniać wymagania ergonomiczne, zapewniając warunki komfortu [1]. Często jednak powoduje ona zwiększenie fizjologicznego i psychicznego stresu, obniżenie zdolności do pracy lub powiększenie dyskomfortu, co ma miejsce w przypadku, gdy jest to odzież nieprzepuszczalna dla powietrza i pary wodnej, w szczególności w warunkach gorącego środowiska [2, 3, 4].

Odzież nieprzepuszczalna dla powietrza i pary wodnej w znacznym stopniu przeszkadza w rozpraszaniu ciepła gromadzonego w organizmie człowieka, gdyż zakłóca utratę ciepła z organizmu do otoczenia na drodze parowania potu, a w gorącym środowisku jest to jedyna droga rozproszenia ciepła.

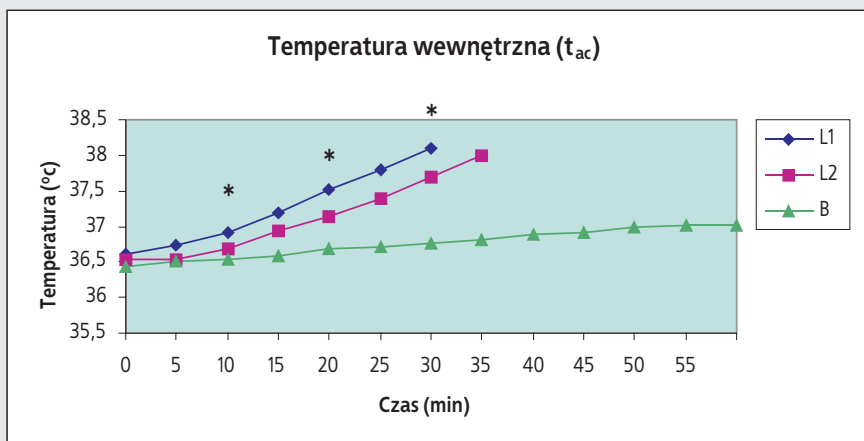


Osoba badana, ubrana w ubranie chroniące przed substancjami chemicznymi, typ L1

Volunteer dressed in clothing protecting against chemicals, type L1

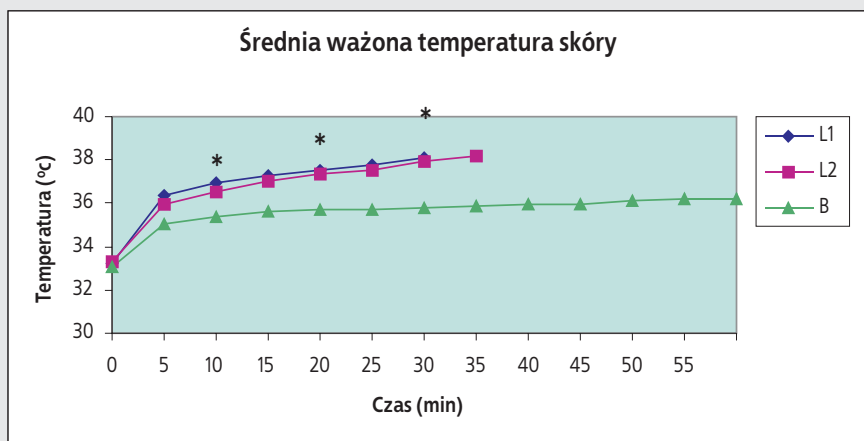
Im bardziej odzież jest nieprzepuszczalna, tym większe jest ryzyko dyskomfortu i obciążenia cieplnego dla użytkownika [5].

W 2005 roku w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym przeprowadzono badania, których celem było dokonanie oceny fizjologicznej reakcji organizmu człowieka podczas wykonywania pracy fizycznej w dwóch wzorach odzieży chroniącej przed substancjami chemicznymi w porównaniu z bawełnianą odzieżą wierzchnią, stanowiącą punkt odniesienia dla badanej odzieży ochronnej. Na podstawie badań określono także czas pracy w badanej odzieży.



Rys. 1. Zmiany temperatury wewnętrznej mierzonej w zewnętrznym przewodzie słuchowym podczas badań z trzema rodzajami odzieży: L1, L2 i wierzchnią odzieżą bawełnianą (B). * - $p < 0,05$ między L1 a L2 oraz między każdym rodzajem odzieży ochronnej a wierzchnią odzieżą bawełnianą, w 10. minucie tylko różnice między L1 i wierzchnią odzieżą bawełnianą

Fig. 1. Changes in core temperature measured in external auditory canal, during studies with three kinds of clothing: L1, L2 or control cotton clothing (B). * - $p < 0,05$ between L1 and L2 or between each kind of protective clothing and control cotton clothing, in the 10th minute only the difference between L1 and control cotton clothing



Rys. 2. Zmiany średniej ważonej temperatury skóry podczas badań z trzema rodzajami odzieży: L1, L2 i wierzchnią odzieżą bawełnianą (B). * - $p < 0,05$ między każdym rodzajem odzieży ochronnej a wierzchnią odzieżą bawełnianą

Fig. 2. Changes in mean weighted skin temperature during studies with three kinds of clothing: L1, L2 or control cotton clothing (B). * - $p < 0,05$ between each kind of protective clothing and control cotton clothing

Materiał i metody

Odzież stosowana w badaniach

Do badań wybrano dwa, różniące się konstrukcją, wzory odzieży chroniącej przed substancjami chemicznymi, przeznaczone do ochrony pracownika narażonego na polanie kwasem i zasadami przy pracach doraźnych. Zakres temperatur użytkowania: od -30 °C do $+60$ °C. Ubrania zostały wykonane z tkaniny poliamidowej o masie powierzchniowej 300 ± 20 g · m⁻², dwustronnie powleczoną mieszkanką gumową na bazie kauczuku butylowego.

Ubranie L1 składa się z bluzy z kapturem, wkładanej przez głowę. Kaptur ma pasek ściągający, umożliwiający dopasowanie do kształtu głowy oraz doklejone uszczelnienie gumowe wokół twarzy. Spodnie z podwyższonym przodem, mają przyklejone na stałe kalosze gumowe.

Ubranie L2 to kombinezon z kapturem i przyklejonymi na stałe kaloszami gumowymi. Kombinezon ma rozcięcie z przodu, osłonięte listwami uszczelniającymi, zapinane na guziki.

Jako **ubranie kontrolne (B)** zastosowano bawełniane ubranie chroniące przed

czynnikami mechanicznymi o minimalnym działaniu, wykonane z tkaniny „Atlanta”, o masie powierzchniowej 298 ± 15 g · m⁻². Ubranie składa się z dwóch części: spodni z podwyższonym przodem i kurtki zapinanej na suwak.

Pod każdą badaną odzież wierzchnią osoby badane zakładały białą bawełnianą pokrywającą całą powierzchnię ciała pod odzieżą ochronną.

Osoby badane

Do badań wybrano osoby o zbliżonej wydolności fizycznej i podobnych wymiarach ciała, mające doświadczenie w pracach związanych z ratownictwem przeciwchemicznym. W badaniach wzięło udział sześciu strażaków w wieku $29,0 \pm 3,7$ lat, o średniej masie ciała $80,3 \pm 4,8$ kg, średniej wysokości ciała $1,83 \pm 0,07$ m i średniej wydolności fizycznej $40,3 \pm 2,1$ mlV_{O₂} · kg⁻¹ · min⁻¹.

Przed przystąpieniem do badań strażacy zostali poddani kwalifikacyjnym badaniom lekarskim.

Metoda badań

Badania przeprowadzono w komorze klimatycznej w warunkach temperatury powietrza 40 °C, wilgotności względnej powietrza 30% i minimalnym ruchu powietrza $0,2$ m · s⁻¹. Warunki takie kształtowały środowisko termiczne w następujący sposób: wskaźnik obciążenia cieplnego WBGT = $30,7 \pm 0,3$ °C, temperatura pocernionej kuli t_g = $40,2 \pm 0,3$ °C, temperatura wilgotna naturalna t_{nw} = $26,7 \pm 0,2$ °C.

Osoby badane maszerowały po bieżni elektrycznej z prędkością 3 km · h⁻¹, w trzech wariantach odzieży wierzchniej:

- w odzieży ochronnej L1
- w odzieży ochronnej L2
- w odzieży bawełnianej chroniącej przed czynnikami mechanicznymi o minimalnym działaniu.

W przypadku stosowania odzieży ochronnej czas badania był wyznaczany przez okres wykonywania wysiłku do momentu osiągnięcia następujących wartości granicznych: temperatura wewnętrzna 38,0 °C, częstość skurczów serca 80% maksymalnej wartości zależnej od wieku osoby badanej, 100% wilgotności względnej pod odzieżą, co najmniej w dwóch mierzonych miejscach, subiektywne oznaki zmęczenia. Badanie w wierzchniej

odzieży bawełnianej trwało przez czas z góry zadany, czyli 55 minut.

Podczas badań rejestrowano częstość skurczów serca (HR, ud/min), temperaturę wewnętrzną w zewnętrznym przewodzie słuchowym (t_{ac}) i cztery lokalne temperatury skóry: na szyi, prawej łopatce, lewej ręce i prawej gołeni [6]. W trakcie badań osoby badane określały odczucia subiektywne dotyczące wrażeń ciepłych [7] i wilgotności skóry [8].

Sposób wykonania badań

Osoby badane wyraziły pisemną zgodę na udział w badaniach, a sposób ich wykonania został zatwierdzony przez okręgową komisję bioetyczną.

Po przyjeździe do laboratorium osoba badana pozostawała w pozycji siedzącej przez 15 minut. W tym czasie wypijała 500 ml wody mineralnej. Następnie mierzono jej ciśnienie tętnicze krwi. Po rozebraniu się i zważeniu osoby badanej, na jej skórze umieszczano elektrody EKG i czujniki do pomiaru temperatury skóry i ciała, a także umieszczano monitor częstości skurczów serca. Ważono każdą część odzieży. Następnie zakładano osobie badanej bieliznę bawełnianą oraz badaną odzież ochronną lub bawełnianą odzież wierzchnią.

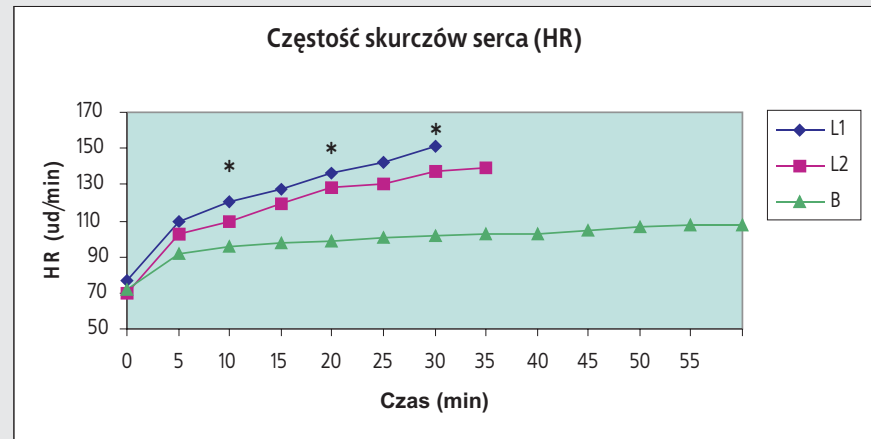
Przeprowadzano pomiar spoczynkowy mierzonych wielkości oraz zbierano oceny subiektywne. Następnie osoba badana przechodziła do komory klimatycznej, gdzie rozpoczynała marsz po bieżni elektrycznej. Zmiany wskaźników fizjologicznych rejestrowano co 5 min, a oceny subiektywne zbierano co 10 minut.

Po osiągnięciu krytycznych poziomów rejestrowanych wskaźników, osoba badana zatrzymywała się, przechodziła z komory klimatycznej do pomieszczenia laboratoryjnego, gdzie zdejmowano i ważono każdą część odzieży oraz osobę badaną po dokładnym jej osuszeniu ręcznikiem. Po badaniu osoba badana miała możliwość uzupełnienia płynów według uznania.

Wskaźniki obliczane

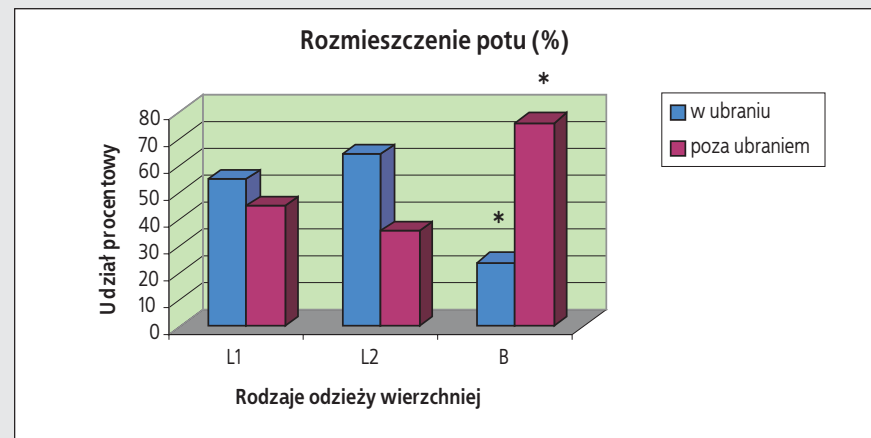
Średnią ważoną temperaturę (\bar{t}_{sk}) skóry wyliczano z temperatur lokalnych, zgodnie z normą PN-EN ISO 9886:2005(U) [6]:

$$\bar{t}_{sk} = 0,28 t_{sk1} + 0,28 t_{sk2} + 0,16 t_{sk3} + 0,28 t_{sk4}$$



Rys. 3. Zmiany częstości skurczów serca podczas badań z trzema rodzajami odzieży: L1, L2 i wierzchniej odzieży bawełnianej (B). * - $p < 0,05$ między każdym rodzajem z odzieży ochronnej a wierzchnią odzieżą bawełnianą, w 10. minucie tylko różnice między L1 a wierzchnią odzieżą bawełnianą

Fig. 3. Changes in heart rate during studies with three kinds of clothing: L1, L2 or control cotton clothing (B). * - $p < 0,05$ between L1 and L2 or between each kind of protective clothing and control cotton clothing, in the 10th minute only the difference between L1 and control cotton clothing



Rys. 4. Procentowy udział potu zgromadzonego w odzieży i tego, który wyparował, w trzech wariantach badań z zastosowaniem odzieży L1, L2 i odzieży bawełnianej (B). * - $p < 0,05$ w porównaniu z wariantami badań w odzieży L1 i L2

Fig. 4. Percentage participation of sweat accumulated in clothing and sweat that evaporated, in three kinds of studied L1 and L2 clothing and control cotton clothing (B). * - $p < 0,05$ compared with two kinds of protective clothing (L1 and L2)

gdzie: t_{sk1} – szyja, t_{sk2} – prawa łopatka, t_{sk3} – lewa ręka, t_{sk4} – prawa goleń.

Wielkość utraty potu obliczano z różnicy masy ciała osoby badanej przed badaniem i bezpośrednio po badaniu, po zdjęciu odzieży.

Opracowanie statystyczne

Różnice statystyczne określano za pomocą analizy wariancji dla poziomu istotności 0,05 z uwzględnieniem warunków przeprowadzenia tego testu. Jednorodność wariancji sprawdzono testem Levene'a. Różnice między

wartościami poszczególnych wielkości fizjologicznych i subiektywnych określano w 10., 20. i 30. minucie badania.

Wyniki badań

Zmiany temperatury wewnętrznej

Wyniki badania temperatury wewnętrznej (t_{ac}) wykazały statystycznie istotnie mniejsze przyrosty tego wskaźnika w wariacie z odzieżą bawełnianą ($0,58 \pm 0,13$ °C) w porównaniu z wariantami z zastosowaniem zarówno odzieży L1, jak i L2, które wynosiły odpowiednio $1,37 \pm 0,25$ °C i $1,27 \pm 0,45$ °C.

Istotnie statystycznie również były różnice między bezwzględными wartościami t_{ac} w odzieży L1 i L2 w 20. i 30. minucie badania (rys. 1. – str. 12.) w porównaniu z wierzchnią odzieżą bawełnianą.

Zmiany średniej ważonej temperatury skóry

Podobnie przebiegały zmiany średniej ważonej temperatury skóry (\bar{t}_{sk}), (rys. 2. – str. 12.). Statystycznie istotne były różnice wartości \bar{t}_{sk} między badaniami w odzieży ochronnej L1 i L2 a badaniem w wierzchniej odzieży bawełnianej w 10., 20. i 30. minucie badań. Także przyrosty \bar{t}_{sk} w wariantach badań z odzieżą L1 i L2 były statystycznie istotnie większe niż w odzieży bawełnianej i wynosiły odpowiednio: $4,7 \pm 1,1$ °C, $4,8 \pm 0,9$ °C i $3,1 \pm 0,8$ °C.

Zmiany częstości skurczów serca

Przyrost częstości skurczów serca (HR) był dwukrotnie większy i stwierdzone różnice były statystycznie istotne w każdym rodzaju odzieży ochronnej (L1 i L2) w porównaniu z badaniem w wierzchniej odzieży bawełnianej i kształtowały się odpowiednio do rodzaju odzieży $73,7 \pm 12,8$ ud/min w L1, $73,7 \pm 17,7$ ud/min w L2 oraz $35,2 \pm 5,1$ ud/min w odzieży bawełnianej.

Wykazano również statystycznie istotnie większe wartości HR w badaniach z zastosowaniem odzieży L1 i L2 niż w wariantach badań w wierzchniej odzieży bawełnianej w 20. i 30. minucie badania, natomiast w 10. minucie średnia wartość HR była statystycznie istotnie większa w ubraniu L1 w porównaniu z badaniem w wierzchniej odzieży bawełnianej (rys. 3. – str. 13.).

Intensywność pocenia

Ze względu na to, że czas badania nie był jednakowy u osób badanych, intensywność badania oceniono na jednostkę czasu. Otrzymano następujące wartości:

$24,2 \pm 8,7$ g · min⁻¹ w badaniu z odzieżą L1, $20,9 \pm 3,0$ g · min⁻¹ w wariantach z odzieżą L2 oraz $13,6 \pm 5,8$ g · min⁻¹ w badaniu z wierzchnią odzieżą bawełnianą.

Średnia intensywność pocenia była większa o 50% w wariantach L1 oraz o 30%

w wariantach L2 w porównaniu z badaniem w wierzchniej odzieży bawełnianej. Stwierdzono istotnie statystycznie większą intensywność pocenia w wariantach badań z zastosowaniem odzieży L1 w porównaniu z wariantem badań z odzieżą bawełnianą.

Akumulacja potu w odzieży

Pot, który został wydzielony podczas trwania każdego z wariantów badania spowodował zawilgocenie odzieży, czyli został zakumulowany w odzieży lub wyparował do otaczającego powietrza. Ze względu na to, że czas trwania badań nie był jednakowy, przeliczono ilość potu zakumulowanego w każdej części odzieży na minutę, aby uzyskane wyniki można było porównać. Wyniki przedstawiono na rys. 4. (str. 13.).

Stwierdzono, że w badaniach z zastosowaniem obu wzorów odzieży ochronnej ilość potu zgromadzonego w odzieży była istotnie statystycznie większa niż w wariantach z wierzchnią odzieżą bawełnianą. Również parowanie potu było istotnie statystycznie mniejsze podczas stosowania obu rodzajów odzieży ochronnej niż w odzieży bawełnianej.

Czas trwania badania

Średni czas trwania badania w odzieży L1 do osiągnięcia założonych limitów fizjologicznych wynosił $26,7 \pm 4,1$ minut, a w odzieży L2 – $30,0 \pm 5,5$ minut. Tak więc, użytkownik odzieży L2 mógł bezpiecznie wykonywać umiarkowany wysiłek w czasie średnio o 11% dłuższym niż w odzieży L1. Czas trwania badania zarówno w odzieży L1, jak i w L2 był istotnie statystycznie krótszy niż w odzieży bawełnianej.

Limity fizjologiczne

W badaniu z zastosowaniem odzieży L1 przyczyną zakończenia badania było w równym stopniu osiągnięcie limitu temperatury wewnętrznej i częstości skurczów serca. W ubraniu L2 u trzech badanych osiągnięta była założona graniczna wartość temperatury wewnętrznej, w dwóch przypadkach dotyczyło to częstości skurczów serca, a w jednym osiągnięte pełne nawilżenie pod odzieżą przynajmniej w dwóch punktach pomiarowych.

Oceny subiektywne

Wykazano, że w 10. i 20. minucie badania zarówno w odzieży L1, jak i w L2 odczucia cieplne były istotnie statystycznie gorsze niż w wierzchniej odzieży bawełnianej, natomiast w 30. minucie badania już tylko w wariantach badań L1 odczucia te były istotnie statystycznie gorsze niż w odzieży bawełnianej, osiągając oceny $4,0 \pm 1,0$; $3,7 \pm 0,7$ oraz $2,6 \pm 0,9$ – odpowiednio w odzieży L1, L2 i bawełnianej.

Odczucia wilgotności skóry w wariantach odzieży L1 i L2 osiągnęły wartości maksymalne w ciągu ok. 30-minutowego badania. Wykazano istotnie statystycznie różnice odczuć w wariantach odzieży L1 i L2 w 10. i 20. minucie badań, a w 30. minucie tylko między wariantem w odzieży L1 i wierzchnią odzieżą bawełnianą, uzyskując oceny $6,0 \pm 0,0$ i $4,4 \pm 1,1$ – odpowiednio w odzieży L1 i w odzieży bawełnianej.

Dyskusja wyników badań

Przeprowadzone badania wykazały osiągnięcie limitów fizjologicznych średnio po 30 minutach podczas wykonywania lekkiej pracy w warunkach temperatury otoczenia 40 °C, wilgotności względnej powietrza 30% i minimalnym ruchu powietrza $0,2$ m · s⁻¹.

W ostatniej minucie badań wszystkie rejestrowane wskaźniki fizjologiczne (średnia temperatura skóry, temperatura wewnętrzna, częstość skurczów serca) uzyskiwały istotnie statystycznie większe poziomy w badaniach z odzieżą ochronną niż w wariantach badań z zastosowaniem wierzchniej odzieży bawełnianej. Z kolei w odzieży bawełnianej, przepuszczalnej dla powietrza i pary wodnej, nawet po dwukrotnie dłuższym czasie nie stwierdzono znaczącego zwiększenia reakcji fizjologicznej, wskaźniki fizjologiczne były ciągle na poziomie akceptowalnym z punktu widzenia zdrowia osoby badanej.

Uzyskane wyniki wskazują, że odzież ochronna nie przepuszczająca powietrza i pary wodnej w znacznym stopniu utrudnia oddawanie ciepła do otoczenia podczas wykonywania wysiłku w gorącym środowisku.

Wielu autorów prowadziło badania z zastosowaniem różnych rodzajów odzieży nieprzepuszczalnej dla powietrza i pary wodnej

[3, 9], wskazując na konieczność ograniczenia czasu pracy w warunkach zastosowania takiej odzieży. Wcześniejsze badania autorki [3] wykazały, że zastosowanie odzieży lekkiej, lecz wykonanej z tkaniny całkowicie nieprzepuszczalnej, powodowało podobne obciążenie fizjologiczne, jak w odzieży trzykrotnie cięższej, ale posiadającej wstawki z materiału przepuszczalnego dla powietrza i pary wodnej, wskazując, że masą odzieży była mniej istotna niż stopień przepuszczalności materiału.

Badania wykonane w obecnej pracy wykazały, że higieniczne właściwości odzieży nieprzepuszczalnej o konstrukcji kombinezonu L2 były nieco lepsze, gdyż średni czas wysiłku był o kilka minut dłuższy (11%) niż w odzieży dwuczęściowej (L1) do momentu osiągnięcia założonych limitów fizjologicznych. Fakt ten, można tłumaczyć nieco lepszą wewnętrzną wentylacją w kombinezonie w porównaniu z ubraniem dwuczęściowym.

Podczas trwania badania w wierzchniej odzieży bawełnianej (wariant B) można było zaobserwować stałe, choć niewielkie zwiększanie się wartości wskaźników fizjologicznych (temperatura wewnętrzna i częstość skurczów serca), a w szczególności pogarszanie się wszystkich badanych odczuć subiektywnych. Ta sytuacja wskazuje, że również ten zestaw odzieży, ze względu na ciepłochronność, nie był odpowiedni do przyjętych warunków badania. Jednakże, dla potrzeb badania ważne było porównanie zestawów odzieży o określonej liczbie warstw i właściwości materiałów, z których wykonano odzież.

Konieczność stosowania nieprzepuszczalnej odzieży ochronnej wpływa niekorzystnie na kształtowanie się pod nią wilgotności, a więc na możliwości parowania wytworzonego potu. W obecnej pracy stwierdzono, że w odzieży ochronnej L1 intensywność pocenia była prawie dwukrotnie większa niż w odzieży bawełnianej, osiągając poziom $24,2 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$. Gdyby taka intensywność pocenia była utrzymywana przez godzinę, wówczas utrata potu przekroczyłaby o 200 g dozwoloną wartość [6]. Jest to jeszcze jeden argument za tym, że czas pracy w odzieży

nieprzepuszczalnej dla powietrza i pary wodnej powinien być ograniczony.

Analiza ilości potu zakumulowanego w poszczególnych częściach odzieży wykazała istotnie statystycznie mniejszą intensywność akumulacji potu w zestawie z wierzchnią odzieżą bawełnianą niż w dwóch badanych rodzajach odzieży ochronnej. Dodatkowo wykazano, że w wariancie badań z wierzchnią odzieżą bawełnianą ponad 75% wydzielonego potu wyparowało z powierzchni skóry, a jedynie około 25% zostało zakumulowane. W tym wariancie badań osoby badane wydzieliły średnio $750,4 \pm 167,6 \text{ g}$ potu. Ta ilość potu była wystarczająca do tego, aby w wyniku jego parowania oddać nadwyżki ciepła do otoczenia i utrzymać organizm w stanie termoneutralnym, czyli bez znaczących zmian temperatury wewnętrznej. W obu rodzajach badań z zastosowaniem odzieży ochronnej zostały osiągnięte limity wskaźników fizjologicznych, wskazując, że prawie dwukrotnie większa ilość wydzielonego potu, niż w wariancie badań z odzieżą bawełnianą, nie zapewniła efektywnego oddawania nadmiaru ciepła do otoczenia, gdyż przeszkadzała barierowa warstwa odzieży ochronnej.

Potwierdzeniem wyników badań uzyskanych metodami obiektywnymi były oceny subiektywne osób badanych, wskazując na to, że oceny wrażeń cieplnych i odczuć wilgotności skóry były istotnie statystycznie gorsze w badaniach z obu rodzajami odzieży ochronnej niż w zestawie z wierzchnią odzieżą bawełnianą.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że zastosowanie odzieży nieprzepuszczalnej dla powietrza i pary wodnej w znaczący sposób pogarsza funkcjonowanie organizmu człowieka w warunkach wykonywania pracy, szczególnie w gorącym

środowisku. Konstrukcja kombinezonu w porównaniu z ubraniem dwuczęściowym była niewiele korzystniejsza dla użytkownika.

W przypadku badanych wzorów odzieży chroniącej przed czynnikami chemicznymi, podczas wykonywania lekkiej pracy w warunkach temperatury otoczenia $40 \text{ }^\circ\text{C}$ – ze względu na bezpieczeństwo pracownika – czas ekspozycji powinien być ograniczony do 30 minut. Po tym czasie osoba badana powinna przejść do pomieszczenia o umiarkowanym środowisku, zdjęć odzież ochronną, uzupełnić płyny i odpocząć.

W następnym etapie pracy zaproponowane zostaną nowe rozwiązania konstrukcyjne badanej odzieży ochronnej, poprawiające jej właściwości higieniczne w bardziej istotny sposób, niż porównywane w tym etapie pracy dwa wzory odzieży ochronnej (L1 i L2).

PIŚMIENNICTWO

- [1] Marszałek A. *Ergonomia środków ochrony indywidualnej*. „Bezpieczeństwo Pracy” 5(334) 1999, str. 23-26
- [2] Ilmarinen R., Lindholm H., Koivisto K., Helistén P. 2004. *Physiological evaluation of chemical protective suit system (CPSS) in hot conditions*. „International Journal of Occupational Safety and Ergonomics” 10(3), 215-226
- [3] Sawicka A., Marszałek A. *Higieniczna ocena odzieży ochronnej wykonanej z tkanin powlekanych*. „Bezpieczeństwo Pracy” 11(268) 1993, str. 19-23
- [4] Marszałek A., Smolander J., Sołtyński K. 2004. *Age-related thermal strain in men while wearing radiation protective clothing during short term exercise in the heat*. „International Journal of Occupational Safety and Ergonomics” 10(4), 361-367
- [5] White M.K., Hodous T.K. 1987. *Reduced work tolerance associated with wearing protective clothing and respirators*. Am. Ind. Assoc. J. 48: 304-310
- [6] PN-EN ISO 9886:2005(U). *Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych*
- [7] PN-EN ISO 10551:2002(U). *Ergonomia środowiska termicznego – Ocena wpływu środowiska termicznego z zastosowaniem skal osądu subiektywnego*
- [8] 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
- [9] Murphy M.M., Patton J., Mello R., Bidwell T., Harp M. 2001. *Energy cost of physical task performance in men and women wearing chemical protective clothing*. Aviat. Space Environ. Med. 71(1), 25-31

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach II etapu programu wieloletniego pn. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej” dofinansowywanego w latach 2005-2007 w zakresie badań naukowych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy