

Małgorzata MAJDER-ŁOPATKA, Zdzisław SALAMONOWICZ

WPŁYW ZASTOSOWANEJ OCHRONY INDYWIDUALNEJ NA WARUNKI PRACY RATOWNIKA W AKCJACH RATOWNICTWA CHEMICZNEGO*

AN EFFECT OF INDIVIDUAL PROTECTION ON THE
WORKING CONDITIONS IN THE CHEMICAL RESCUE
ACTIONS *

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

The Main School of Fire Service in Warsaw
Faculty of Fire Safety Engineering

STRESZCZENIE: Wstęp. W artykule zaprezentowano standardowe zabezpieczenia ratowników biorących udział w likwidacji zagrożeń chemicznych. Scharakteryzowano środki ochrony skóry będące na wyposażeniu jednostek Państwowej Straży Pożarnej. Przedstawiono wyniki badań określające wpływ odzieży ochronnej na gospodarkę cieplną organizmu człowieka i kształtowanie mikroklimatu pod odzieżą. **Cel pracy.** Określenie wpływu rodzaju zastosowanego ubioru jako zabezpieczenia na warunki pracy ratowników Państwowej Straży Pożarnej. **Badani i metody.** Przebadano 10 strażaków – studentów Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, w wieku 22 ± 2 lata, o wysokości ciała 180 ± 5 cm i masie ciała 80 ± 5 kg. Strażacy w odzieży ochronnej maszerowali po elektrycznej bieżni z prędkością 3 km/h. Czas trwania badania wynosił 20 min. W badaniu określono: wilgotność względną i temperaturę powietrza w przestrzeni wewnętrznej kombinezonu, częstość skurczów serca, temperaturę w zewnętrznym przewodzie słuchowym, temperaturę skóry na klatce piersiowej i na wewnętrznej stronie uda. **Wyniki.** W ubraniu gazoszczelnym (CUG) średni przyrost ($x \pm SE$) temperatury wyniósł $5,7 \pm 0,3^\circ\text{C}$, a w ubraniu lekkim $4,6 \pm 0,4^\circ\text{C}$. Po zakończeniu badań wilgotność względną kształtowała się w granicach 75-88%. Średnie przyrosty temperatury skóry wyniosły: na klat-

* Praca została przedstawiona jako poster na IV konferencji „Człowiek w ekstremalnych warunkach środowiska”, WIML, Warszawa 21-22 października 2010 r.

Adres do korespondencji: st. kpt. mgr inż. Małgorzata Majder-Łopatka, Zakład Ratownictwa Chemicznego i Ekologicznego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 01-629 Warszawa, ul. Słowackiego 52/54, e-mail: mmajder@sgsp.edu.pl

ce piersiowej $3,4\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ w przypadku użycia CUG i $3,2\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ w przypadku lekkiego kombinezonu, na wewnętrznej stronie uda odpowiednio $2,2\pm 0,3$ i $2,5\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Otrzymano statystycznie istotne większe wartości częstości skurczów serca w badaniu z zastosowaniem CUG niż w wariancie z lekkim ubraniem ochronnym. Maksymalna zmierzona wartość HR w pierwszym przypadku wyniosła 133 ud/min, w drugim 114. **Wnioski.** Rodzaj użytego ubrania chemoodpornego nie wpływa zasadniczo na wzrost temperatury w zewnętrznym przewodzie słuchowym i na powierzchni ciała. Niezależnie od ilości warstw nieprzepuszczalnych warunki panujące wewnątrz ubrania są zbliżone

SŁOWA KLUCZOWE: ubrania ochronne, ratownictwo chemiczne i ekologiczne, temperatura skóry, temperatura pododzieżowa

SUMMARY: Background. Standard protective clothing of rescuers abolishing chemical threat is being presented. Skin protection clothing used by the State Fire Brigade are being characterized. The results of studies on an effect of protective clothing on the human body thermal regulation and climate under suit are discussed. **Objectives.** This study aimed at investigating an effect of protective clothing on the working conditions of fire fighter of the State Fire Brigade. **Participants and methods.** Ten fire fighters – students of the Faculty of Fire Safety Engineering – were included into this study. Their age was 22 ± 2 years, height 180 ± 5 cm, and body weight 80 ± 5 kg. Fire fighters in the protective suits walked on the treadmill at the speed of 3 km per hour for 20 minutes. The following parameters were measured: relative humidity and temperature under clothing, heart rate (HR), body temperature in tympanic cavity, skin temperature on the chest and internal thigh surface. **Results.** An increase in the mean body temperature ($x \pm SE$) was $5.7^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ in the gas impermeable suit and $4.6^{\circ}\text{C}\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ in the light overalls. Relative humidity was 75% to 88% after completion of the study. Mean increase in skin temperature were $3.4^{\circ}\text{C}\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ on the chest when gas impermeable suit was worn and $3.2^{\circ}\text{C}\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ in light overalls, while skin temperature on the thigh increased by $2.2^{\circ}\text{C}\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ and $2.5^{\circ}\text{C}\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, respectively. Heart rate (HR) accelerated statistically significantly when gas impermeable suit was worn in comparison with the light overalls. Maximum HR measured in the first suit was 133 beats per minute and 114 beats per minute in the light overalls. **Conclusions.** Type of the used chemicals protective clothing has rather no visible effect on an increase of temperature in the tympanic cavity and body surface. Climate inside the protective suit is similar, independently of the number of impermeable layers

KEY WORDS: protective clothing, chemical and ecological rescue, skin temperature, temperature under protective clothing

Wstęp

Ratownicy Państwowej Straży Pożarnej biorący udział w likwidacji zagrożeń powstałych wskutek emisji par i gazów oraz wycieków fazy ciekłej narażeni są na kontakt z substancjami niebezpiecznymi. W celu minimalizacji oddziaływania substancji chemicznych na organizm stosuje się środki ochronne. Standardowe zabezpieczenie strażaków stanowi ubranie ochronne oraz sprzęt ochrony dróg oddechowych (ODO).

W czasie akcji ze względu na bardzo duże prawdopodobieństwo zatruc szczególnie ważne jest prawidłowe zabezpieczenie dróg oddechowych. W Państwowej Straży Pożarnej podstawowy sprzęt ODO stanowi aparat oddechowy na sprężone powietrze. W przypadku substancji działających toksycznie w kontakcie ze skórą ciało ratownika należy zabezpieczyć stosując odpowiednie ubrania ochronne. W zależności od miejsca i stężenia substancji, środkiem ochronnym jest chemoodporne ubranie gazoszczelne (CUG) bądź lekkie ubranie ochrony chemicznej [1].

Odzież chroniąca przed substancjami chemicznymi wykonana jest z materiałów barierowych. Im wyższy stopień ochrony tym materiał jest bardziej nieprzepuszczalny. Brak możliwości wymiany powietrza i odprowadzenia pary wodnej z ubrania przeszkadza w rozproszeniu ciepła, gromadzonego w organizmie człowieka, co znacząco wpływa na powiększenie dyskomfortu i wzrost obciążenia termicznego użytkownika [2-5]. Wymiana ciepła między organizmem człowieka i środowiskiem jest procesem złożonym. Odbywa się przez wymianę suchą – przewodzenie, konwekcje i promieniowanie oraz wydzielanie i odparowanie potu. Wraz ze wzrostem temperatury najskuteczniejszą drogą odprowadzania nadmiaru ciepła jest parowanie wydzielonego potu [6]. W środowiskach wilgotnych (w przestrzeni wewnętrznej ubrania ochronnego) mimo że pot będzie wytwarzany, duża jego część nie będzie parowała, tylko nastąpi jego skroplenie, które nie pociąga za sobą odpowiedniego oddawania ciepła [7].

W celu określenia wpływu rodzaju ubrania ochronnego na warunki pracy ratowników przeprowadzono badania z użyciem chemoodpornego ubrania gazoszczelnego i lekkiego ubrania ochrony chemicznej.

Badani, materiały i metody

Badania przeprowadzono w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Pracowni Bezpieczeństwa Ratownictwa. W badaniu wzięło udział 10 strażaków – studentów Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, w wieku 22 ± 2 lata, o wzroście 180 ± 5 cm i masie ciała 80 ± 5 kg. Badani charakteryzowali się dużą sprawnością fizyczną i posiadali aktualne kwalifikacyjne badania lekarskie.

Ubrania użyte w badaniu

Do badań wybrano dwa wzory ubrań chroniących przed substancjami chemicznymi. Pierwszym z nich jest „chemoodporne ubranie gazoszczelne U1” – (CUG) jednoczęściowy kombinezon (ryc. 1), wykonany ze specjalnego wielowarstwowego materiału.



Ryc. 1. Chemoodporne ubranie gazoszczelne UI CUG (fot. M. Majder-Łopatka).

Fig. 1. Chemicals resistant gas impermeable protective suit (photo. M. Majder-Łopatka).

Z kombinezonem zintegrowane są wizjer, rękawice oraz buty. Część grzbietowa jest specjalnie uformowana w celu umieszczenia pod ubraniami aparatu oddechowego na sprężone powietrze. Masa ubrania bez aparatu, maski i hełmu wynosi 7,5 kg. Konstrukcje materiału ubrania użytego w badaniu przedstawia ryc. 2.



Ryc. 2. Materiał wielowarstwowego chemoodpornego ubrania gazoszczelnego [wg 8].

Fig. 2. Material of multilayer chemicals resistant gas impermeable protective suit [from 8].

Odporność chemiczną ubrania producent określił podając wyniki testu przepuszczalności, przeprowadzonego zgodnie z normami NFPA 1991/EN 943 (tab.1).

W tabeli podano czas w minutach, w którym nie odnotowano wzrostu stężenia substancji wewnątrz kombinezonu powyżej określonej wartości.

Tab. 1. Wyniki testu przepuszczalności CUG użytego w badaniu zgodnie z NFPA 1991 (0,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) [wg 8]

Tab. 1. Results of permeability test of gas impermeable suit used in the study according to NFPA 1991 (0,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) [from 8]

Substancja chemiczna	Czas BT (min)	Substancja chemiczna	Czas BT (min)
Aceton	> 480	Eter etylowy	352
Amoniak bezwodny	> 480	Formaldehyd 37%	> 480
Brom	360	Heksan	> 480
Butylamina	316	Nitrobenzen	> 480
Dwusiarczek węgla	> 480	Kwas fluorowodory 70 %	> 480
Chlor	> 480	Kwas siarkowy 98 %	> 480
Chlorowódór	> 480	Toluen	> 480

Czas BT – czas przeniknięcia

Drugim jest „lekkie ubranie ochrony chemicznej – U2”. Do badań użyto kombinezonu ochronnego wykonanego z włókniny TYVEK (ryc. 3). Kaptur ubrania, dzięki zamontowanej w nim gumce, dobrze przylega do części twarzowej. Aparat oddechowy umieszczony jest na kombinezonie. Masa ubrania ochronnego wynosi 0,5 kg.



Ryc. 3. Lekkie ubranie ochrony chemicznej U2 (fot. M. Majder-Łopatka).

Fig. 3. Light overalls for chemical protection (photo: M. Majder-Łopatka).

Odporność chemiczna ubrania została potwierdzona badaniami zgodnymi z EN ISO 6529. Wyniki zamieszczono w tab. 2.

Tab. 2. Wyniki testu przepuszczalności lekkiego ubrania ochrony chemicznej użytego w badaniu zgodnie z EN ISO 6529 ($1 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) [wg 9]

Tab. 2. Results of permeability test of the light overalls for chemical protection used in the study according to EN ISO 6529 ($0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) [from 9]

Substancja chemiczna	Czas (min)
Kwas fluorowodory 70 %	390
Heksan	> 480
Toluen	> 480
Chlorobenzen	> 480
Acetonitryl	> 480
Metanol	> 480

Sposób wykonania badania

Sposób przeprowadzenia badań był zgodny z programem szkolenia strażaków z zakresu ochrony indywidualnej. Strażacy w odzieży ochronnej maszerowali po elektrycznej bieżni (Kettler, Niemcy) z prędkością 3 km/h. Badanie trwało 20 min. W badaniu określono termohigrometrem LB-103 (Label, Polska) wilgotność względną i temperaturę powietrza w przestrzeni między wewnętrzną stroną ubrania chemoodpornego a powierzchnią ciała, określaną jako temperatura pododzieżowa.

Częstość skurczów serca rejestrowano za pomocą Ergospirometru Start 2000M (Mes, Polska). Temperaturę w zewnętrznym przewodzie słuchowym mierzono ThermoScanem (Braun, Niemcy) bezpośrednio przed i po zakończeniu badań. Temperaturę skóry mierzono w 2 punktach (na klatce piersiowej i na wewnętrznej stronie uda) za pomocą termometru TM – 722 D (Termars, Tajwan). Badani 2 razy maszerowali po bieżni. Raz w chemoodpornym ubraniu gazoszczelnym (CUG), a po minimum 24 h odpoczynku w lekkim ubraniu ochrony chemicznej. W czasie badania pod kombinezonami ochronnymi ubrani byli w bawełnianej odzieży typu koszar.

Opracowanie statystyczne

Różnice statystyczne określano za pomocą analizy wariancji dla wyników powiązanych przy poziomie istotności 0,05 z uwzględnieniem warunków przeprowadzenia testu. Jednorodność wariancji sprawdzono testem Levena. Różnice między wartościami poszczególnych wielkości określano w 20 minucie badania.

Wyniki

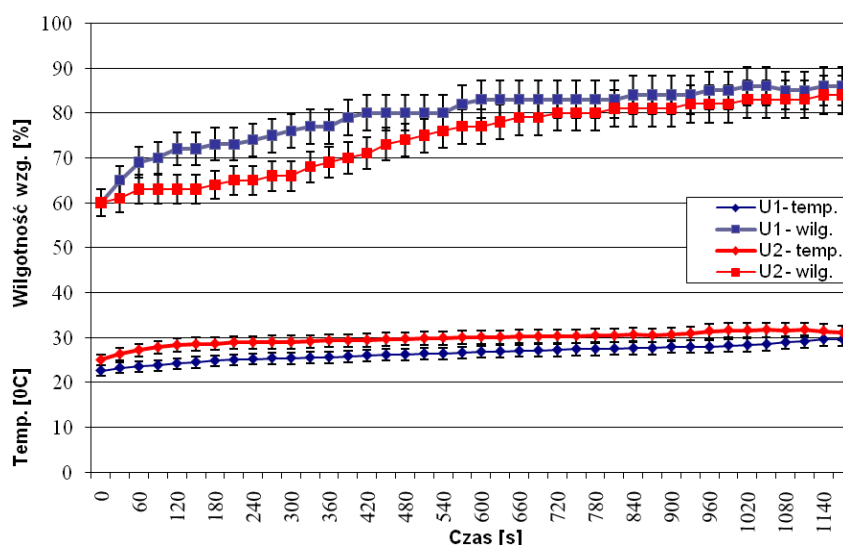
Temperatura w zewnętrznym przewodzie słuchowym

Maksymalny wzrost temperatury w zewnętrznym przewodzie słuchowym u badanych osób zarówno w jednym, jak i drugim ubraniu wyniósł $0,7^{\circ}\text{C}$. U ośmiu strażaków stwierdzono, iż wzrost temperatury po 20 min niezależnie od rodzaju

zastosowanego ubrania był taki sam. Nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian średnich wartości badanego wskaźnika w zależności od rodzaju zabezpieczenia.

Względna wilgotność i temperatura wewnątrz ubrania

Wraz z czasem badania wewnątrz ubrania wzrasta temperatura i wilgotność względna powietrza (ryc.4).



Ryc. 4. Względna wilgotność i temperatura powietrza wewnątrz ubrania w funkcji czasu.

Fig. 4. Relative humidity and air temperature under the suit vs. time.

U1 - temp – temperatura w przestrzeni wewnętrznej chemoodpornego ubrania gazoszczelnego.

U2 - temp – temperatura w przestrzeni wewnętrznej lekkiego ubrania ochrony chemicznej.

U1 - wilg –wilgotność względna w przestrzeni wewnętrznej chemoodpornego ubrania gazoszczelnego.

U2 - wilg – wilgotność względna w przestrzeni wewnętrznej lekkiego ubrania ochrony chemicznej.

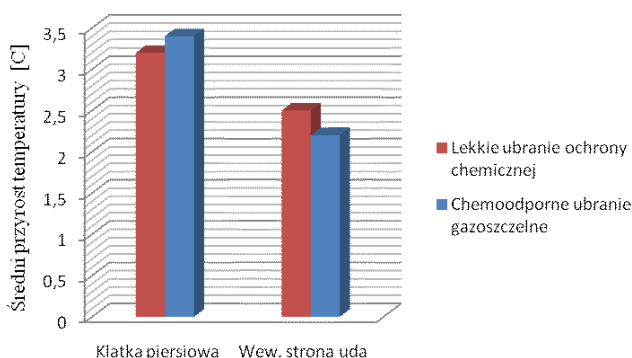
Wyniki badań temperatury poddziejowej wykazały statystycznie mniejsze przyrosty tego wskaźnika w wariancie z lekkim ubranie ochrony chemicznej. W ubranie gazoszczelnym średni przyrost ($x \pm SE$) temperatury wyniósł $5,7 \pm 0,3^{\circ}C$, a w ubranie lekkim $4,6 \pm 0,4^{\circ}C$. Po zakończeniu badań wilgotność względną kształtowała się w granicach 75-88%. W niektórych przypadkach obserwowano kondensację potu.

Częstość skurczów serca

W przypadku osób ubranych w ubranie gazoszczelne zaobserwowano większy przyrost częstości skurczów serca. Maksymalna zmierzona wartość parametru HR wyniosła 133 ud/min. W przypadku lekkiego ubrania ta wartość była niemal o 20 ud/min mniejsza i wynosiła 114. Średnie przyrosty częstości skurczów wynosiły $48,7 \pm 5,8$ ud/min w U1 oraz $25,2 \pm 4,1$ ud/min w U2. Przyrost HR w przypadku użycia CUG był niemal dwukrotnie większy i stwierdzona różnica wartości była statystycznie istotna.

Temperatura skóry

Po zakończeniu marszu temperatura u badanych mierzona na klatce piersiowej wzrastała średnio o $3,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ w przypadku użycia CUG, a o $3,2 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ w przypadku lekkiego kombinezonu. Nieco mniejsze wzrosty zaobserwowano na wewnętrznej części uda: tam temperatura wzrosła w pierwszym przypadku średnio o $2,2 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, a w drugim o $2,5 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Nie obserwowano istotnych statystycznie zmian średnich wartości badanych wskaźników.



Ryc. 5. Średni przyrost temperatury na klatce piersiowej i wewnętrznej stronie uda.
Fig. 5. Mean increase in skin temperature on the chest and internal thigh surface.

Omówienie

Priorytetem w działaniach ratownictwa chemicznego jest zapewnienie ratownikom odpowiedniego zabezpieczenia. Ubrania ochronne wykonane z materiałów barierowych zapewniają wysoki stopień ochrony przed czynnikami chemicznymi. Dane podane przez producentów (tab. 3, tab. 4) obu badanych ubrań wskazują, iż ich przepuszczalność substancji chemicznych jest niewielka, a zatem duży stopień ochrony.

Materiał chemoodpornego ubrania gazoszczelnego składał się z 3 barierowych warstw (ryc. 2), natomiast lekkiego ubrania ochronnego z 1 położonej po zewnętrznej stronie warstwy nośnej. Przeprowadzone badania wskazują, że niezależnie od liczby warstw nieprzepuszczalnych warunki panujące wewnątrz ubrania w znaczny sposób utrudniają oddawanie ciepła do otoczenia podczas wykonywania wysiłku. W 20 minucie marszu stwierdzono wzrost temperatury w zewnętrznym przewodzie słuchowym oraz na powierzchni skóry. Nie obserwowano istotnych statystycznie zmian średnich wartości przyrostu temperatury w zależności od rodzaju użytego zabezpieczenia. Ograniczona wymiana ciepła między organizmem człowieka a środowiskiem podczas wykonywania pracy może doprowadzić do przegrzania. Autorzy prowadzący badania z zastosowaniem odzieży nieprzepuszczalnej [3,7] w związku z powyższym wskazują na konieczność ograniczenia czasu pracy w tego typu ubraniach ochronnych.

W trakcie badań w przestrzeni pododzieżowej stwierdzono wzrost temperatury i wilgotności względnej. Warunki panujące wewnątrz kombinezonu (temperatura,

wilgotność) maksymalnie po 10 min badań powodowały odczucie dyskomfortu termicznego [10]. Dodatkowo na uciążliwość pracy wpływała kondensacja pary na wewnętrznej stronie nieprzepuszczalnego ubrania oraz występujący na skórze pot.

Wykonane badania wykazały, że wartości higieniczne ubrania lekkiego ochrony chemicznej były nieco lepsze. Uzyskane w tego typu zabezpieczeniu przyrosty temperatury pododzieżowej oraz częstotliwości skurczów serca badanych były mniejsze niż w przypadku CUG. Stwierdzone różnice wartości były statystycznie istotne.

Wnioski

1. Zastosowanie w ubraniach chemoodpornych materiału barierowego powoduje, że wilgotność mikroklimatu pod ubraniem kształtuje się na wysokim poziomie, co znacząco ogranicza możliwość parowania wytworzonego potu (wymianę ciepła między organizmem człowieka a środowiskiem).
3. Rodzaj użytego ubrania nie wpływa zasadniczo na wzrost temperatury w zewnętrznym przewodzie słuchowym i na powierzchni ciała.
4. Większe obciążenie układu krążenia stwierdzono w badaniach przy użyciu chemoodpornego ubrania gazoszczelnego. Na wartość częstości skurczów serca znaczący wpływ ma masa ubrania.

Piśmiennictwo

1. Majder-Łopatka M., Gałązka E.: Minimalizacja oddziaływania substancji niebezpiecznych na organizm ratownika poprzez zastosowanie odpowiedniej ochrony osobistej. *Post. Med. Lotn.* 2006, 2(13), 31-40.
2. Marszałek A.: Fizjologiczne reakcje organizmu człowieka podczas pracy w odzieży ochronnej w gorącym środowisku. *Bezp. Pracy* 2006, 3(414), 11-15.
3. Bartkowiak G., Marszałek A.: Użytkowanie nieprzepuszczalnej odzieży ochronnej – komfort pracy. *Bezp. Pracy*, 2007, 3, 22-25.
4. Li Y.: Perceptions of temperature, moisture and comfort in clothing during environmental transients. *Ergonomics*, 2005, 48(3), 234-248.
5. Marszałek A., Smolander J., Sołtyński K.: Age-related thermal strain in men while wearing radiation protective clothing during short term exercise in the heat. *Intern. J. Occup. Safety Ergon.* 2004, 10(4), 361-367.
6. Krause M.: *Ergonomia – praktyczna wiedza o pracującym człowieku i jego środowisku*. Śl. Org. Techn., Katowice, 1992.
7. Marszałek A., Sawicka A.: Impermeable protective clothing – work time must be limited. *Proceed. Fifth Scandinavian Symposium on Protective Clothing*, Stockholm, 5-8.05.1997.
8. Katalog firmy Delta Sernice.
9. Katalog firmy Du Pont.

M. Majder-Łopatka, Z. Salamonowicz – Wpływ zastosowanej ochrony...

10. Krause M.: Termoregulacja organizmu człowieka i obciążenie termiczne. Pakiet edukacyjny „*Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia*”, wyd. CIOP, Warszawa, 2010.

Nadesłano 24.11.2010 r.

Zaakceptowano do publikacji: 28.01.2011 r.