

dr Anna DMOCHOWSKA
WIBC, Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa, Zakład Infrastruktury Bezpieczeństwa SGSP
st. kpt. mgr inż. Małgorzata MAJDER-ŁOPATKA
bryg. dr inż. Wojciech JAROSZ
WIBP, Katedra Działań Ratowniczych, Zakład Ratownictwa Chemicznego
i Ekologicznego SGSP

Praca strażaka ratownika w chemoodpornym ubraniu gazoszczelnym w aspekcie obciążenia fizycznego organizmu

Omówienie
LEAD

W artykule przedstawiono badania, które miały na celu wykazanie, w jaki sposób praca w chemoodpornym ubraniu gazoszczelnym typu 1a wpływa na organizm ratowników. Przeprowadzając badania na ergospirometrze (test wysiłkowy sercowo-płucny), wykazano zmiany obciążenia organizmu ratowników wraz ze wzrostem wysiłku fizycznego w czasie marszu na bieżni w ubraniu izolacyjnym.

The paper presents a study that aims at showing how the work in a gas-tight chemical resistant clothing of the type 1a affects the rescuer's body. While conducting the research on ergospirometer (a test of cardiopulmonary stress) there were shown the changes of rescuers body burden with the increasing physical activity while walking on a treadmill in clothing insulation.

Słowa kluczowe: testy psychofizyczne ratowników w pracach w ubraniach chemoodpornych, odizolowanie w stresie, badania na ergospirometrze.

Keywords: psychophysical testing of rescuers working in chemically resistant clothes, the stress tests conducted on the ergospirometer.

1. Wstęp

Praca każdego strażaka ratownika wiąże się z dużym wysiłkiem fizycznym, dlatego wydolność jego organizmu musi być wysoka. Szczególnie ważne jest to w działaniach z zakresu ratownictwa chemicznego, które często wykonywane są w pełnym zabezpieczeniu. Zastosowanie chemoodpornych ubrań gazoszczelnych (CUG) stanowi dodatkowe źródło obciążenia organizmu ratownika, z powodu ciężaru ubrania oraz warunków panujących w jego wnętrzu, z których najważniejsze, to podwyższona temperatura oraz wilgotność [1, 2, 3].

Wydolność fizyczna ratownika dotyczy tolerancji zaburzeń homeostazy wewnątrzustrojowej, czyli równowagi fizykochemicznej w organizmie, wywołanej wysiłkiem fizycznym oraz zdolności organizmu do szybkiej likwidacji ewentualnych zaburzeń, po zakończeniu wysiłku. Wydolność fizyczna często kojarzona jest z wydolnością tlenową, czyli zdolnością do pracy długotrwałej o dużej, zmiennej lub umiarkowanej intensywności, którą ocenia się przez maksymalny pobór tlenu ($VO_2\max$) oraz przez poziom progu mleczanowego (Lactate Threshold). Maksymalny pobór tlenu, nazywany także pułapem tlenowym, jest zdolnością organizmu do pobierania tlenu i wyraża się w l/min lub ml/kg/min.

Próg mleczanowy jest obciążeniem dla organizmu, po przekroczeniu którego stężenie kwasu mlekowego we krwi wzrasta, ponieważ energia dostarczana jest w wyniku procesów beztlenowych. Po przekroczeniu progu mleczanowego, czyli w momencie gdy jest go więcej niż organizm może zneutralizować, zmniejszeniu ulega udział wolnych kwasów tłuszczowych w procesie dostarczania energii [4, 5, 8].

Charakter pracy ratownika jest bardzo zróżnicowany. Powinien on być przygotowany zarówno do wysiłku krótkotrwałego, jak i długotrwałego. Wysiłek krótkotrwały polega na wykorzystaniu maksymalnej mocy i wytrzymałości siłowej organizmu w czasie kilku, kilkunastu sekund do wykonania przewidzianej czynności. Wydolność ta charakteryzowana jest siłą izometryczną mięśni i ich maksymalną mocą. Wysiłki długotrwałe to takie, które mierzy się w minutach i godzinach. Ich specyfika różni się zasadniczo od wysiłków krótkotrwałych, ponieważ zachodzą z mniejszą mocą, lecz w dużo dłuższym czasie. Wysiłek długotrwały może mieć też przebieg interwałowy, będący połączeniem krótkich wysiłków o dużej mocy z takimi o małym nakładzie energii. Substraty energetyczne dla krótkotrwałych i długotrwałych wysiłków są różne. Dla krótkich, paliwem jest fosfokreatyna. Jednak wraz ze wzrostem i wydłużeniem wysiłku rośnie znaczenie glikogenu i wolnych kwasów tłuszczowych w resyntezie ATP (nośnika energii chemicznej używanego w metabolizmie komórek). W czasie wysiłków charakteryzujących się niską intensywnością, mięśnie wykorzystują wolne kwasy tłuszczowe, jednak wzrost intensywności wysiłku do 100% $VO_2\max$, powoduje zmianę substratu energetycznego na glikogen. Do czynników warunkujących $VO_2\max$ można zaliczyć: czynniki związane z funkcjonowaniem układu oddechowego (wentylację minutową płuc, stosunek wentylacji pęcherzykowej do perfuzji) oraz czynniki związane z krążeniem (objętość minutową serca, stężenie hemoglobiny we krwi, powinowactwo tlenu do hemoglobiny czy tętniczne ciśnienie krwi). Wartość maksymalnego poboru tlenu jest zróżnicowana – zależnie od wieku, płci oraz stopnia wytrenowania organizmu. Typowy pobór tlenu zdrowych osób w wieku 20–25 lat wynosi $45\text{--}55\text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Jedynie osoby aktywne fizycznie osiągają wartości $60\text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Im wyższa wartość pułapu tlenowego, tym lepsza tolerancja organizmu na wysiłek długotrwały. Rozpoczęcie wysiłku powoduje wzrost zapotrzebowania na tlen. Wysiłki podprogowe o stałej mocy stabilizują się w poborze tlenu po czasie około 2 minut. W wysił-

kach ponadprogowych nie wyróżnia się stabilnego poboru tlenu, gdyż zapotrzebowanie na niego cały czas rośnie. Deficyt tlenowy to różnica pomiędzy spodziewanym poborem tlenu, szacowanym na podstawie równowagi funkcjonalnej, a wielkością poboru tlenowego (VO_2) w pierwszych minutach wysiłku. Długiem tlenowym nazywamy nadwyżkę w poborze tlenu ponad wartość spoczynkową, jaka występuje po zakończeniu wysiłku. Wielkość długu tlenowego możemy określić zarówno po wysiłkach podprogowych, jak i ponadprogowych [4, 5]. Znając pobór tlenu, który zazwyczaj wynosi $250\text{--}300 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$, można obliczyć koszt energetyczny wysiłku.

Wszystkie komórki organizmu potrzebują ciągłego dostarczania tlenu, aby móc pokryć wymogi metaboliczne. Procesy te powodują wytwarzanie produktów ubocznych, czyli dwutlenku węgla, który musi zostać usunięty z organizmu w celu utrzymania właściwej gospodarki kwasowo-zasadowej. Wymiana gazowa zachodząca w płucach uzależniona jest od różnicy pomiędzy ciśnieniem parcjalnym O_2 i CO_2 w powietrzu znajdującym się w pęcherzykach płucnych, a prężnością tych gazów we krwi, przepływającej przez naczynia włosowate, oplatające pęcherzyki.

Spoczynkowe ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych wynosi około 100 mm Hg; prężność tlenu we krwi dopływającej do płuc 40–45 mm Hg. Każdy mm Hg transportuje około 20 ml O_2 w ciągu minuty. Podczas wysiłku mięśniowego wartość ta może wzrosnąć do 30–40 mm Hg. W czasie intensywnego wysiłku prężność tlenu we krwi żyłnej, odpływającej z pracujących mięśni do prawego przedsionka serca i następnie transportowanej do płuc, może obniżyć się do 15–16 mm Hg, natomiast we krwi odpływającej z płuc do lewego przedsionka wynosi zwykle około 95 mm Hg [4, 8].

Rozpoczęcie wysiłku powoduje, że wdechy i wydechy są głębsze. Jest to objaw zwiększającej się wentylacji płuc (V_E) i dzieje się to w tym samym momencie, w którym mięśnie zaczynają się kurczyć. Faza wzrostu wentylacji trwa zazwyczaj kilka sekund, po niej następuje wolniejsza faza przejścia. Po 4–5 min V_E stabilizuje się na poziomie odpowiadającym zapotrzebowaniu organizmu. W przypadku dużej intensywności wysiłku wentylacja płuc rośnie w sposób ciągły i nie można w niej wyróżnić fazy stabilizacji. Następstwem tego jest znaczny wzrost poziomu kwasu mlekowego oraz zaburzenie gospodarki kwasowo-zasadowej [7, 8].

Obciążenie, przy którym następuje nieproporcjonalny do pobierania tlenu wzrost wentylacji, nosi nazwę progu wentylacyjnego lub progu hiperwentylacji [4].

Celem badań było wykazanie, jak praca w chemoodpornych ubraniach gazoszczelnych typu 1a wpływa na organizm ratowników. Za pomocą ergospirometru wykazano, w jaki sposób zmienia się obciążenie organizmu wraz ze wzrostem wysiłku fizycznego podczas marszu na bieżni w ubraniu izolacyjnym przez pomiar: częstotliwości oddechowej, częstości czynności serca na minutę, wentylacji minutowej płuc, objętości pojedynczego oddechu, spoczynkowej przemiany energii, podstawowej przemiany energii oraz wydatku energetycznego [9].

2. Część doświadczalna

Badania przeprowadzono na ergospirometrze START 2000 z oprogramowaniem Ergo2K. Ergospirometr jest stacjonarnym, modułowym systemem do badań wysiłkowych układu oddechowego i krążenia. Układ pomiarowy START 2000 został skonstruowany w oparciu o głowicę pneumatograficzną oraz szybkie analizatory dwutlenku węgla i tlenu, pozwalające na pomiary metodą oddech, po oddechu z analizą każdej fazy wydechowej (rys. 1).



Rys. 1. Ergospirometr 2000M wraz z komputerem

Źródło: [9].



Rys. 3. Aparat powietrzny, butla ze sprężonym powietrzem oraz maska

Źródło: [9].



Rys. 2. Bieżnia elektryczna marki Kettler

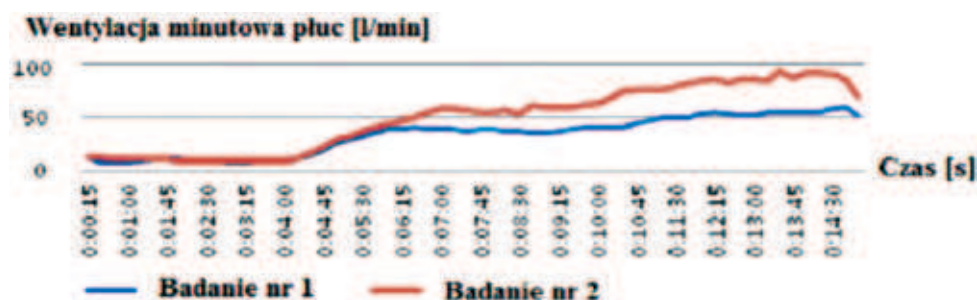
Źródło: [9].

W skład stanowiska badawczego wchodziły również: bieżnia elektryczna marki Kettler z możliwością sterowania prędkością i kątem nachylenia (rys. 2), aparat powietrzny nadciśnieniowy marki MSA wraz ze stalową butlą o pojemności 6 litrów i ciśnieniu 300 bar, maska (rys. 3) oraz waga laboratoryjna, termometr, higrometr, barometr.

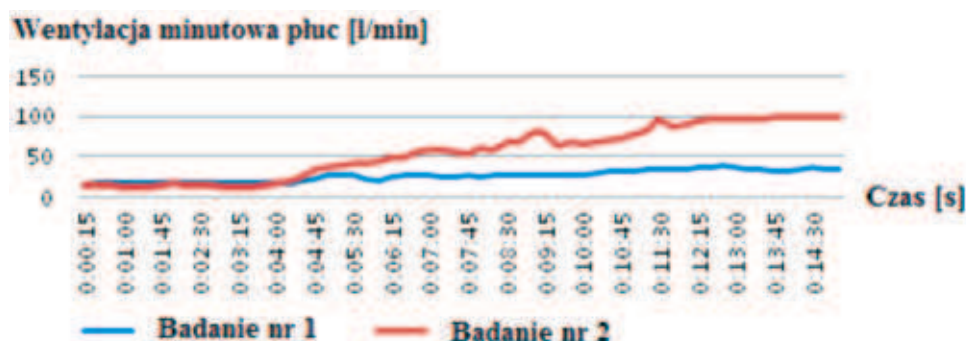
Badaniu zostało poddanych trzech studentów w wieku około 20 lat. Każdy z ćwiczących wykonywał po dwa badania. Pierwsze wykonywano w stroju sportowym, drugie w chemoodpornym ubraniu gazoszczelnym typu 1a. Odstęp pomiędzy badaniami wynosił 14 dni. Badanie obejmowało: odczytanie warunków atmosferycznych w pomieszczeniu laboratoryjnym, pomiar masy

ciała badanych osób, przygotowanie sprzętu do badania (komputer, aparat powietrzny, stan CUG), nałożenie i dopasowanie pulsometru na klatkę piersiową osoby ćwiczącej, nałożenie i dopasowanie pasa z elektrospirometrem i jego uruchomienie, wprowadzenie danych atmosferycznych do programu, jak również wprowadzenie indywidualnych danych każdej osoby ćwiczącej (waga, wzrost, data urodzenia). Następnie uruchomiono program i rozpoczęto badania. W pierwszej fazie, trwającej 4 minuty, ćwiczący siedział na krześle, nie rozmawiał i nie wykonywał żadnych czynności. W czwartej minucie zakładał na plecy aparat powietrzny, podłączał go do maski i przez 5 minut maszerował na bieżni z prędkością 6 km/h. Trzecia i ostatnia faza następowała w 10 minucie, wtedy badanemu zwiększano kąt nachylenia bieżni do 7%. Rejestrację danych kończono po upływie 15 minuty. Badanie pierwsze przeprowadzono w stroju sportowym, drugie w chemoodpornym ubraniu gazoszczelnym typu 1a. Mierzone były następujące wielkości: BF – częstotliwość oddechowa [1/min], HR – częstość czynności serca na minutę [1/min], VE – wentylacja minutowa płuc [l/min], TV – objętość pojedynczego oddechu [l], RMR – spoczynkowa przemiana energii [kcal/min], BMR – podstawowa przemiana energii [kcal/min], E – wydatek energetyczny [kcal/min] [9].

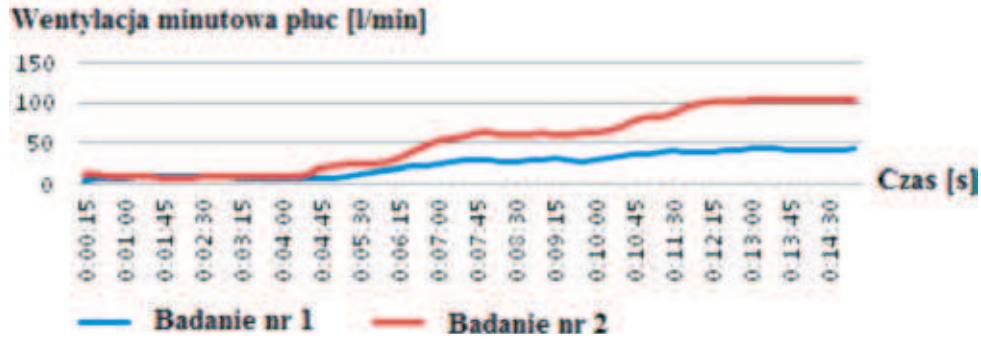
Dane z otrzymanych wyników przedstawiono na wykresach rys. 4÷9 [9].



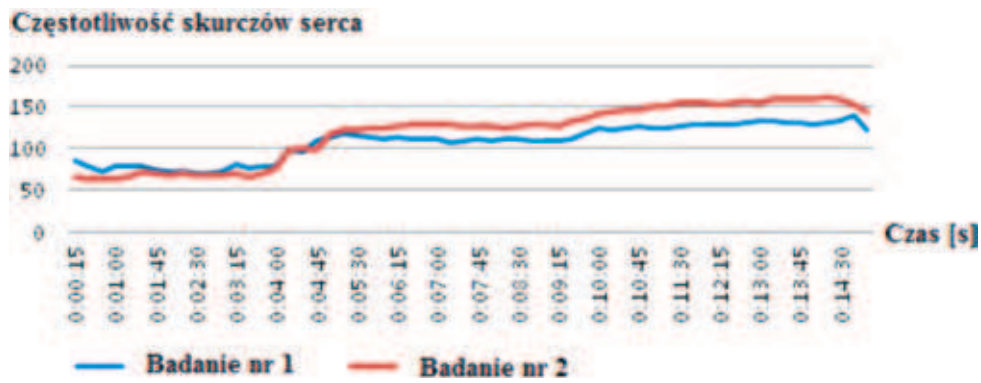
Rys. 4. Zmiany wentylacji minutowej w czasie – strażak 1



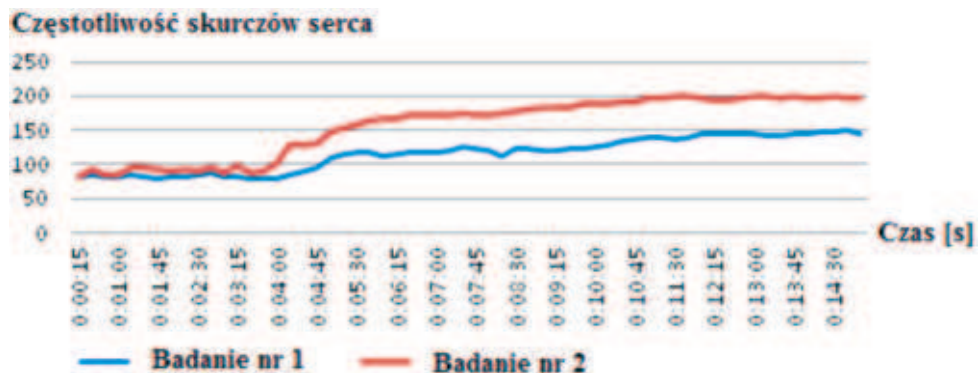
Rys. 5. Zmiany wentylacji minutowej w czasie – strażak 2



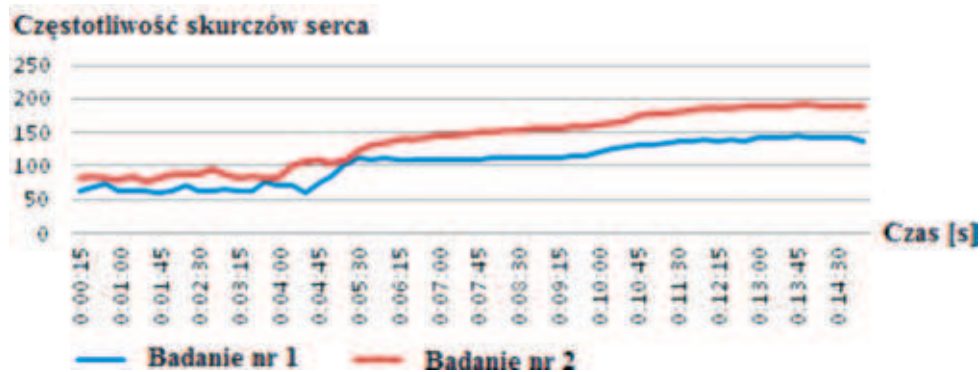
Rys. 6. Zmiany wentylacji minutowej w czasie – strażak 3



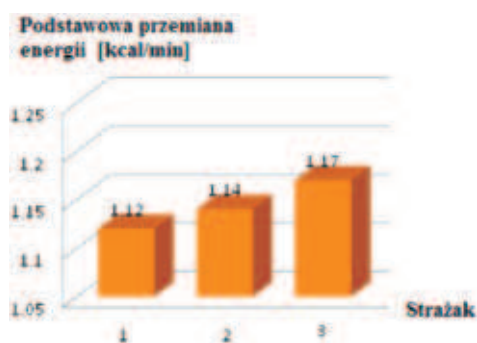
Rys. 7. Zmiany częstotliwości skurczów serca w czasie – strażak 1



Rys. 8. Zmiany częstotliwości skurczów serca w czasie – strażak 2

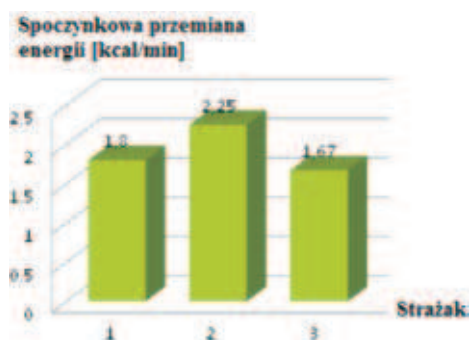


Rys. 9. Zmiany częstotliwości skurczów serca w czasie – strażak 3

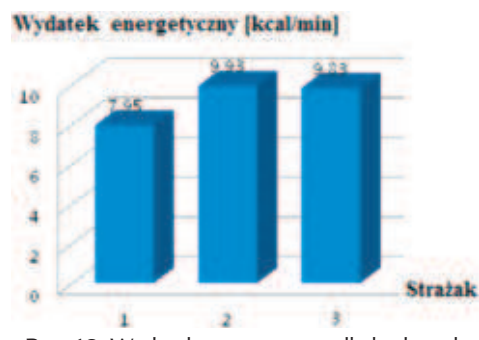


Rys. 10. Podstawowa przemiana energii

W badaniach określono również spoczynkową i podstawową przemianę energii oraz wydatek energetyczny na wykonanie pracy. Wyniki zamieszczono na rys. 10÷12 [9].



Rys. 11. Spoczynkowa przemiana energii



Rys. 12. Wydatek energetyczny dla badanych strażaków

3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania obciążenia fizycznego organizmu strażaka dały szeroki obraz na aspekt pracy w chemoodpornych ubraniach gazoszczelnych. Wszystkie osoby biorące udział w pomiarach zostały poddane takiej samej próbie, składającej się z dwóch badań. Pierwsze z nich odbywało się w stroju sportowym, drugie w CUG. Nie można porównać fizjologii wszystkich organizmów biorących udział w badaniu. Rozpatrując i porównując otrzymane wyniki badań 1 i 2, u każdego z badanych zaobserwowano wzrost mierzonych parametrów fizjologicznych – wentylacji minutowej, częstości skurczów serca, objętości pojedynczego oddechu oraz częstotliwości oddechowej. Każdy organizm jest inny i inaczej toleruje obciążenie związane z wysiłkiem. Dlatego cennym wnioskiem jest fakt, iż wszystkie badane osoby w identyczny sposób zareagowały na zmianę obciążenia. Procentowy wzrost badanych parametrów był niemal identyczny.

Zmiana obciążenia przekłada się na bezpośredni wzrost parametrów fizjologicznych badanych osób. Znacznie większe różnice w parametrach fizjologicznych, w porównaniu ze spoczynkowymi, będą notowane podczas monitorowania organizmu ratownika bezpośrednio w czasie trwania akcji, ze względu na zwielokrotnienie obciążeń zarówno fizycznych, jak i psychicznych, większy będzie również wydatek energetyczny. Dlatego też ratownicy pracujący w chemoodpornych ubraniach powinni być intensywnie monitorowani – ze względu na możliwość przegrzania, wystąpienia zaburzeń czynności fizjologicznych czy też zasłabnięcia. Monitoring oraz weryfikacja czasu pracy każdej osoby, która podejmuje pracę w ubraniu gazoszczelnym to konieczność związana z bezpieczeństwem, komfortem i skutecznością pracy ratownika.

LITERATURA

- [1] Czarnecka A., Dobrodziej C.: Psychologiczne aspekty działań ratowniczych. ZWiS, Warszawa 2001.
- [2] Guzewski P., Pawłowski R., Ranecki J.: Ubrania ochrony przeciwchemicznej. SA PSP, wyd. I, Poznań 1997.
- [3] Guzewski P.: Ubiory ochronne. SA PSP, wyd. II, Poznań 2004.
- [4] Górski J.: Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego. PZWŁ, wyd. I, Warszawa 2001.
- [5] Świdorski A.: Źródła stresu zawodowego, jego objawy i skutki ekonomiczne dla przedsiębiorstwa, Seminarium Okręgowego Inspektoratu Pracy w Łodzi „Stres w pracy”, 15 listopada 2006.
- [6] http://www.draeger.com/PL/pl/products/personal_protection/body/nbc_suits/cds_cps_7900_olive.jsp.
- [7] <http://www.straz.gov.pl/page/index.php?str=3935>.
- [8] <http://www.global-medical-solutions.com/AT-104-PC-Based>.

- [9] Stobierski W.: Wpływ obciążenia psychofizycznego na organizm ratownika podczas pracy przy użyciu chemoodpornych ubrań gazoszczelnych typu 1 a, praca inżynierska 2012.

*Anna DMOCHOWSKA
Małgorzata MAJDER-ŁOPATKA
Wojciech JAROSZ*

Firefighter Job in Gas-tight Chemical Resistant Clothes in Terms of the Psychophysical Burden

The article presents a study that aims at showing how the work in a gas-tight clothes of type 1a affects the rescuer's body. In conducting research on the ergospirometer (a test of cardiopulmonary stress) there were shown the changes of rescuers body burden with increasing physical activity while walking on the treadmill as well as their mental isolation associated with chemical resistant clothing. The START 2000 ergo device spirometer was connected to a computer with the ERGO 2K software. It enabled a comprehensive analysis of the performed measurements. The study did not include the psychological stress associated with situational stress (fire, accident, loss of life, their own risk), assuming that it might enhance the study.

SUMMARY