

mł. kpt. dr **Tomasz Węsierski**¹
mł. bryg. mgr inż. **Przemysław Kowalczyk**¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 10.10.2014;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 15.05.2015;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.06.2015;

Koszt fizjologiczny pracy strażaka w ubraniu specjalnym²

Physiological Impact on Firefighters Wearing Special Garments During Operations

Физиологическая нагрузка при работе пожарного в специальной одежде

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest określenie wpływu ubrania specjalnego na obciążenie strażaka w trakcie prowadzenia działań ratowniczych.

Projekt i metody: W artykule przedstawiono wyniki badań wykonanych za pomocą ergospirometru Start 2000M. Badaniu poddano ratownika w wieku średnim, o przeciętnej budowie ciała (179 cm, 92 kg, 36 lat), powtarzając pomiar pięciokrotnie. Każde badanie było wykonane na czczo, w różnych dniach, w pomieszczeniu zamkniętym o stabilnych warunkach temperaturowych oraz wilgotności (21–22°C, wilgotność względna 33–41%). Użyte w badaniach czterowarstwowe strażackie ubranie specjalne spełniało wymagania normy PN-EN 469:2008. Masa ubrania w przeliczeniu na jednostkę powierzchni wynosiła 620 g/m². Wyniki zostały odniesione do warunków pracy w stroju sportowym, które uznano za niepowodujące obciążenia termicznego i dające możliwie najwyższy komfort. Badania porównawcze wykonano w trakcie obciążenia pracą polegającą na stałym 10-minutowym szybkim marszu ($v = 7$ km/h) poprzedzonym czterominutowym okresem spoczynkowym. W toku badań rejestracji i analizie poddano takie parametry jak częstość skurczów serca (HR), wentylacja minutowa płuc (VE), zużycie tlenu na kilogram masy ciała (VM_{O_2}), częstość oddechu (BF).

Wyniki: Wszystkie badane parametry wskazały wzrost obciążenia pracą w ubraniu specjalnym w odniesieniu do ubrania sportowego. Ponadto wszystkie zakresy analityczne poza częstością oddechową podczas pracy w obciążeniu dla ubrania specjalnego ($V_{BF} = 21,7\%$) charakteryzowały się współczynnikiem zmienności poniżej 20%, a zatem oznaczały niskie zróżnicowanie cechy. Potwierdzają to również niskie wartości niepewności pomiarowych, które poza BF są niższe od 5%. Żaden z przedziałów ufności dla $\alpha = 0,1$ nie zazębiał się, a kryterium porównawcze w każdym z przypadków spełniało zależność $|X_2 - X_1| > \Delta X_1 + \Delta X_2$. Zatem wartości parametrów w ubraniu specjalnym można uznać za istotnie wyższe od parametrów w stroju sportowym z prawdopodobieństwem równym 90%.

Wnioski: Różnica parametrów mierzonych pomiędzy strojem sportowym a ubraniem specjalnym jest duża i wynosiła co najmniej 16,7% (VM_{O_2}), osiągając w przypadku BF aż 51%. Jako pomiar analizowany przyjęto pomiar będący medianą badanej serii pomiarowej odpowiednio dla ubrania specjalnego oraz stroju sportowego. Tak znaczne różnice wskazują konieczność podjęcia kroków mających na celu skonstruowanie ubrań specjalnych powodujących mniejsze obciążenie organizmu. Dane literaturowe wskazują, iż sam aspekt psychologiczny prowadzenia działań (np. przystąpienie do ataku na pożar) powoduje wzrost HR do 71% osobniczego HR_{max} oraz VE do ~56 dm³/min, co pokazuje konieczność ograniczenia innych czynników stresu – jednym z nich może być zbyt niski komfort pracy w ubraniu specjalnym.

Słowa kluczowe: badania ergospirometryczne, obciążenie strażaka, zużycie tlenu, wentylacja, rytm serca

Typ artykułu: doniesienie wstępne (komunikat z badań)

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to determine the demands placed on a firefighter as a result of wearing special garments during rescue operations.

Design and Methods: The article presents results from research performed with the aid of ergo-spirometer Start 2000M. A middle aged firefighter, of average physical build (36 years of age, 179 cm high, 92 kg weight) was exposed to research tests which were repeated five times. Each test was performed after fasting, on different days in an enclosed space with stable temperature conditions and humidity (temperature in the range 21–22°C and relative humidity 33–34%). The mass of the garment was calculated at 620 g/m². Results were compared with performance where sport attire was worn. It was assumed that wearing sportswear precluded generation of heat and probably afforded maximum comfort. Comparative tests were performed for constant workload sessions consisting of a 10-minute quick march

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa / Main School of Fire Service, Warsaw, Poland; wesierskitomasz@poczta.onet.pl;

² Autorzy wnieśli jednakowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

($v = 7$ km/h), preceded by a four minute rest period. During the course of research, parameters such as the heart rate (HR), lung ventilation per minute (VE), oxygen consumption for every kilogram of body weight (VM_{O_2}) and breathing rate (BF) were recorded and analyzed. **Results:** All tested parameters revealed a higher workload during tests, when the special garment was worn compared with sportswear. Additionally, all analysed parameters whilst attired in the special garment, apart from breathing frequency ($V_{BF} = 21.7\%$) were characterized by a variation coefficient of less than 20% (low population differential). This is confirmed by low uncertainty values, which are, apart from BF, lower than 5%. None of the confidence intervals for $\alpha = 0.1$ overlapped, and the comparative criterion for each of the cases fulfilled the dependence $|X_2 - X_1| > \Delta X_1 + \Delta X_2$. Thus, parameter values for a special garment are significantly higher than parameters for sportswear with a probability of 90%.

Conclusions: The difference between measured parameters for sportswear and specialist garment is large, at least 16.7% (VM_{O_2}) and in the case of BF rising to 51%. The median of all measurements obtained during experiments, for conditions involving specialist attire and sportswear, was exposed to analysis. Such significant differences indicate a need for steps to manufacture special garments, which cause less stress on the body. Data contained in literature reveals that the psychological aspect alone, of performing operational activities (eg. initial approach to attack the fire) causes an increase in HR to 71% of an individual's maximum heart rate and VE up to ~ 56 dm³/min. This indicates a need to minimise the influence of other stress factors, one of which may be relatively low comfort at work whilst wearing a special garment.

Keywords: ergo-spirometry, fireman workload, oxygen consumption, ventilation, heart frequency

Type of article: short scientific report

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью статьи является определение влияния специальной одежды на степень физической нагрузки пожарного во время проведения спасательных действий.

Проект и методы: В статье были представлены результаты исследований, проведенных при помощи эргоспирометра Start 2000M. В исследовании приняли участие спасатели среднего возраста типичного телосложения (179 см, 92 кг, 36 лет). Измерение было проведено пять раз. Каждое исследование проводилось натощак, в разные дни недели, в закрытом помещении со стабильными условиями температуры и влажности (21–22°C, относительная влажность 33–41%). Используемая для исследований четырёхслойная пожарная одежда отвечала требованиям стандарта PN-EN 469:2008. Её вес на единицу поверхности составлял 620 г/м². Результаты сравнили с условиями работы в спортивной одежде, которая, как принято считать, не вызывает термической нагрузки и обеспечивает максимально возможный комфорт. Сличительные исследования были осуществлены во время (рабочей) нагрузки, которая заключалась в постоянной 10-минутной быстрой ходьбе ($v = 7$ км/ч), которой предшествовал четырёхминутный отдых. В ходе исследований были зарегистрированы и проанализованы такие параметры как: частота сокращения сердца (HR), минутная вентиляция легких (VE), потребление кислорода на килограмм массы тела (VM_{O_2}) и частота дыхания (BF).

Результаты: Все измеряемые параметры указывали на увеличение рабочей нагрузки в случае её выполнения в специальной одежде по сравнению с работой в спортивной одежде. Кроме того, все аналитические характеристики, кроме частоты дыхания во время работы с нагрузкой, связанной с использованием специальной одежды ($V_{BF} = 21,7\%$), характеризовались коэффициентом изменчивости (вариации) ниже 20%, поэтому показывали низкое различие результатов. Данный факт подтверждает также низкий уровень погрешности измерения, который, за исключением BF, есть ниже 5%. Ни один из доверительных интервалов для $\alpha = 0,1$ не входил друг на друга, а сравнительный критерий в каждом случае отвечал зависимости $|X_2 - X_1| > \Delta X_1 + \Delta X_2$. Поэтому значения параметров в специальной одежде можно считать существенно высшими от параметров работы в спортивной одежде с вероятностью равной 90%.

Выводы: Разница параметров, измеряемых между спортивной и специальной одеждой, высока и составляет как минимум 16,7% (VM_{O_2}), достигая в случае BF почти 51%. В качестве анализируемой величины измерения принято значение, являющееся медианой исследуемой серии измерений соответственно для спортивной и специальной одежды. Такие значительные различия указывают на необходимость принятия мер, направленных на создание специальной одежды, создающую более низкую нагрузку на организм. Литературные данные указывают, что сам психологический аспект проведения действий (например борьба с пожаром) приводит к повышению HR до 71% индивидуального HR_{max} и VE до ~ 56 дм³/мин, вызывая тем самым необходимость ограничения других факторов стресса, которыми могут быть, кроме всего прочего, слишком низкий комфорт работы в специальной одежде.

Ключевые слова: эргоспирометрические исследования, нагрузка пожарного, потребление кислорода, вентиляция, ритм сердца

Вид статьи: предварительный отчёт

1. Wprowadzenie

Praca ratownika związana jest z dużym wysiłkiem psychicznym, fizycznym oraz dyskomfortem temperaturowym [1–7]. Nadmierna izolacyjność cieplna ubrań specjalnych powoduje akumulację ciepła w organizmie ratownika, co może doprowadzić do przegrzania. Reakcją termofizjologiczną organizmu na proces przegrzania jest wystąpienie pocenia, przy czym pot jest pochłaniany przez warstwę odzieży stykającą się ze skórą [8]. Zawilgocenie

i niewydolna praca membrany paroprzepuszczalnej powodują spadek jej ciepłochłonności. Przegrzanie ratownika ma wpływ na wydajność pracy, obniżając jednocześnie szybkość i dokładność wykonywanych zadań oraz zdolność do podejmowania decyzji. Jest to szczególnie istotne podczas długotrwałych działań ratowniczo-gaśniczych, zwłaszcza w warunkach dużych obciążeń termicznych. W warunkach działań ratowniczych trudno jest zadbać o komfort psychofizyczny ratownika skuteczniej niż poprzez umożliwienie

mu pracy z wykorzystaniem profesjonalnego wyposażenia – dzięki możliwości prowadzenia działań z dystansu, automatyzacji, czy też choćby przez optymalny dobór parametrów wydajności armatury pożarnej. Nie wszystkie czynności da się jednak wykonać zdalnie i konieczne jest wejście ratownika w rejon wysokiego poziomu zagrożenia. Stąd też konstrukcja ubrań specjalnych przechodzi ciągłą ewolucję celem poprawy bezpieczeństwa oraz komfortu pracy ratownika w trakcie działań.

Ze względu na specyfikę pracy strażaka dokładne określenie poziomu wysiłku nie jest łatwe i wymaga zastosowania metod opartych na pomiarze różnych parametrów organizmu człowieka takich jak zmiany częstości skurczów serca (HR), wentylacji minutowej płuc (VE), zużycia tlenu (VM_{O_2}), czy też częstości oddechu (BF) w warunkach symulowanego obciążenia. Niektóre z wymienionych parametrów takie jak HR oraz VE zostały również zbadane w warunkach rzeczywistych działań, co pozwoliło między innymi na określenie reakcji organizmu w zależności od rodzaju bodźca psychofizycznego [9]. Okazuje się bowiem, że przyczyną aż 44% wypadków śmiertelnych wśród strażaków w USA w okresie pomiędzy 1995–2007 była nagła niewydolność serca [10–12]. Poznanie zatem wpływu poszczególnych stresorów jest konieczne celem poprawy bezpieczeństwa pracy.

2. Metodyka badań

Do pomiarów wykorzystano ergospirometr Start 2000M. Jest to urządzenie przenośne do prowadzenia testów wysiłkowych w warunkach laboratoryjnych lub w warunkach naturalnego wysiłku (bieg, jazda na rowerze itp.) z bezpośrednim podglądem mierzonych wielkości. Dzięki zastosowaniu niskooporowej głowicy pneumatycznej istnieje możliwość wielogodzinnego pomiaru wentylacji minutowej płuc, a zamontowane analizatory CO_2 , O_2 oraz system do bezprzewodowej rejestracji pulsu

dają możliwość pełnego zapisu najważniejszych parametrów ergospirometrycznych podczas pracy. Urządzenie zostało połączone w sposób przewodowy z komputerem, na którym zainstalowano oprogramowanie Ergo2k służące do obróbki danych pochodzących z ergospirometru Start 2000M. W czasie badań mierzono przede wszystkim parametry takie jak tętno (HR), wentylacja minutowa płuc (VE), zużycie tlenu (VM_{O_2}), częstość oddechu (BF). Obciążeniu pracą w postaci szybkiego marszu na bieżni ($V = 7 \text{ km/h}$) poddano ratownika w wieku średnim, o przeciętnej budowie ciała (179 cm, 92 kg, 36 lat). Badania w ubraniu specjalnym powtarzano pięciokrotnie, odnosząc je do wyników badań w stroju sportowym. Każde badanie było wykonane na czczo, w różnych dniach, w pomieszczeniu zamkniętym o stabilnych warunkach temperaturowych oraz wilgotności (21–22°C, wilgotność względna 33–41%).

Użyte w badaniach ubranie specjalne spełniało wymagania normy PN-EN 469: 2008 [13]. Ubranie składało się z kurtki $\frac{3}{4}$ oraz spodni z szelkami. Obie części miały budowę warstwową, na którą składały się:

- warstwa zewnętrzna – chroniąca przede wszystkim przed wnikaniem płomieni i urazami mechanicznymi,
- membrana wodoszczelna i paroprzepuszczalna – chroniąca przed wnikaniem wilgoci do wnętrza ubrania i przepuszczająca parę wodną z wnętrza ubrania,
- warstwa termoizolacyjna – chroniąca przed wnikaniem ciepła do wnętrza ubrania,
- podszewka – zabezpieczająca pozostałe warstwy od wewnątrz.

Przykładowy wygląd oraz układ warstw ubrania specjalnego przedstawiono na ryc. 1. Badane ubranie zgodnie z wymaganiami posiadało masę mniejszą od 3,8 kg. [15]. Jego masa w przeliczeniu na jednostkę powierzchni była standardowa i wynosiła 620 g/m^2 .



Ryc. 1. Przykładowy wygląd oraz układ warstw ubrania specjalnego

1 – warstwa zewnętrzna, 2 – membrana, 3 – włóknista warstwa termoizolacyjna przeszpikowana z podszewką [14]

Fig. 1. An example of the appearance and layout of the special firefighting garment

1 – external layer, 2 – membrane, 3 – termoinsulation layer joined with lining [14]

Odtwarzalne badania wykonano za pomocą ergospirometru Start 2000M, przy czym obciążenie polegało na stałym 10-minutowym szybkim marszu ($v = 7 \text{ km/h}$)

poprzedzonym 4-minutowym okresem spoczynkowym. W toku badań rejestracji i analizie poddano takie parametry jak:

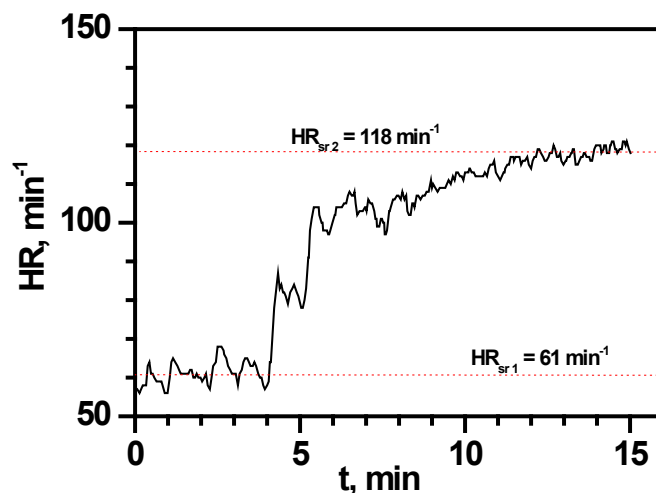
- a) częstotliwość skurczów serca (HR)
- b) wentylacja minutowa płuc (VE)
- c) zużycie tlenu na kilogram masy ciała (VM_{O_2})
- d) częstotliwość oddechu (BF)

Jako obszary analityczne przyjęto czterominutowy okres spoczynkowy oraz dwuminutowy okres obciążenia w jego fazie końcowej (oprócz częstości oddechowej BF, dla której przyjęto cały zakres obciążeniowy). Wynika to z faktu ustabilizowania się pracy organizmu w czasie wysiłku. Niepewności pomiarowe podano w formie iloczynu odchylenia standardowego od wartości średniej i współczynnika dystrybuanty rozkładu normalnego $N(0,1)$ przyjętego na poziomie istotności $\alpha = 0,1$. Jako najbardziej reprezentatywne analitycznie przyjęto badania, które stanowią wartość medialną $HR_{sr2} - HR_{sr1}$, $VE_{sr2} - VE_{sr1}$, $VM_{O_2sr2} - VM_{O_2sr1}$, $BF_{sr2} - BF_{sr1}$ ze wszystkich pięciu prób przeprowadzonych w ubraniu sportowym oraz specjalnym, i tylko one zostały poddane analizie i przedstawione w postaci rycin w części wyniki i dyskusja.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Częstotliwość skurczów serca (HR)

Przeciętna częstotliwość skurczów serca dla osoby będącej w stanie spoczynku wynosiła odpowiednio $HR_{sr1} \pm \Delta HR_{sr1} = 61 \pm 1 \text{ min}^{-1}$ oraz $74 \pm 1 \text{ min}^{-1}$ odpowiednio dla badań w stroju sportowym oraz w tradycyjnym ubraniu specjalnym (ryc. 2, 3). Końcowy okres obciążenia charakteryzował się parametrami $HR_{sr2} \pm \Delta HR_{sr2} = 118 \pm 1 \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $143 \pm 1 \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Zatem różnica $HR_{sr2} - HR_{sr1}$ wynosi odpowiednio: $57 \pm 2 \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $69 \pm 2 \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Otrzymany wynik wskazuje zatem, że przeciętny przyrost częstotliwości skurczów serca w fazie końcowej obciążenia jest o 21% wyższy dla ubrania specjalnego. Zaobserwowano jednak, że różnica wartości przyrostu częstotliwości skurczów serca obserwowana jest dopiero od szóstej minuty pracy pod obciążeniem (ryc. 4).

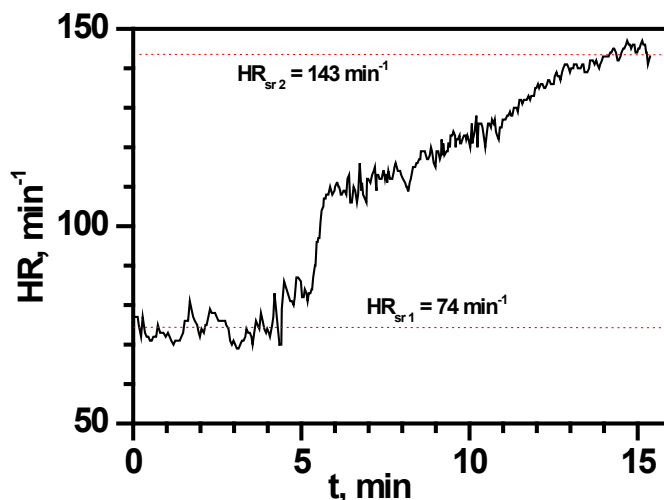


Ryc. 2. Częstotliwość skurczów serca (HR) dla badań przeprowadzonych w stroju sportowym

Fig. 2. Heart rate (HR) for measurements taken in sportswear

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

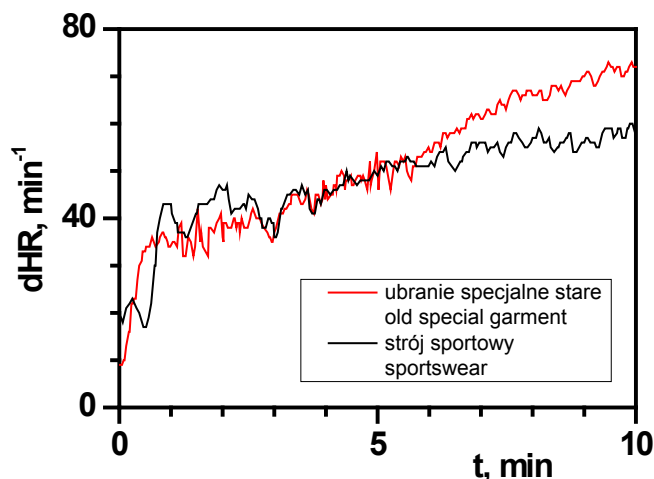


Ryc. 3. Częstotliwość skurczów serca (HR) dla badań przeprowadzonych w ubraniu specjalnym

Fig. 3. Heart rate (HR) for measurements taken wearing a special garment

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



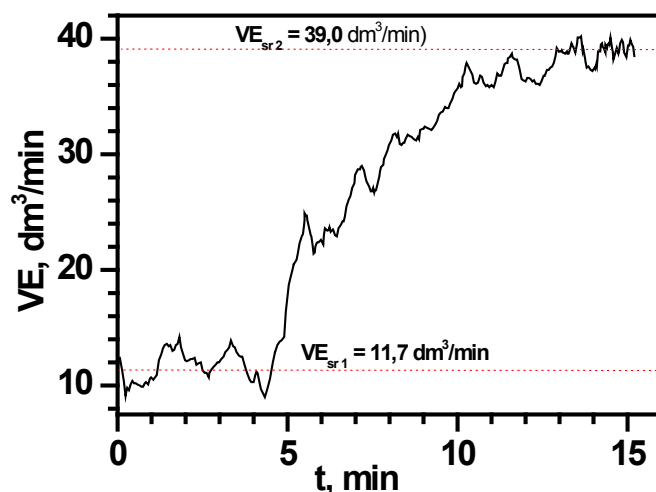
Ryc. 4. Przyrost wartości częstotliwości skurczów serca dHR podczas pracy pod obciążeniem w ubraniu sportowym i specjalnym względem wartości przeciętnej stanu spoczynkowego
 Fig. 4. Increase in the heart rate dHR under workload wearing sportswear and special garment in terms of to the average value during state of rest

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.

3.2. Wentylacja minutowa płuc (VE)

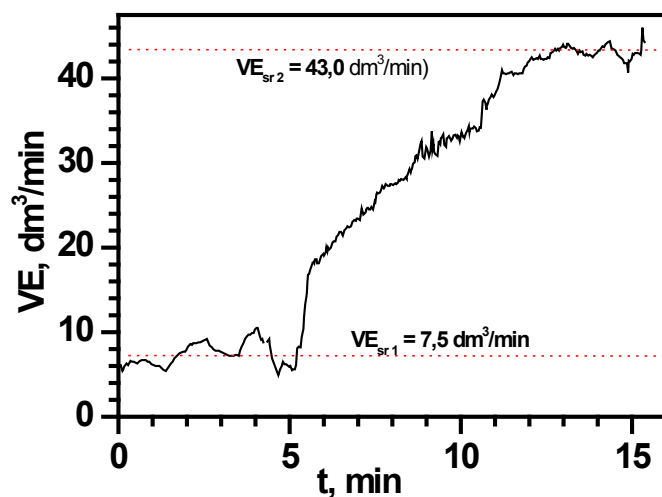
Przeciętna wartość wentylacji minutowej płuc dla osoby będącej w stanie spoczynku wynosiła odpowiednio $VE_{sr1} \pm \Delta VE_{sr1} = 11,7 \pm 0,3 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ oraz $7,5 \pm 0,3 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ odpowiednio dla badań w stroju sportowym oraz w tradycyjnym ubraniu specjalnym (ryc. 5, 6). Końcowy okres obciążenia charakteryzował się parametrami $VE_{sr2} \pm \Delta VE_{sr2} = 39,0 \pm 0,2 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $43,0 \pm 0,2 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Zatem

różnica $VE_{sr2} - VE_{sr1}$ wynosi odpowiednio: $27,3 \pm 0,5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $35,5 \pm 0,5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Otrzymany wynik wskazuje zatem, że przeciętny przyrost wentylacji w fazie końcowej obciążenia jest o 30% wyższy dla ubrania specjalnego (ryc. 7). Numeryczne wyznaczenie powierzchni w różnych zakresach czasu podczas obciążenia pracą wskazuje, że procentowy przyrost objętości podczas obciążenia w ubraniu specjalnym w stosunku do ubrania sportowego jest większy od 25–30% (tabela 1).



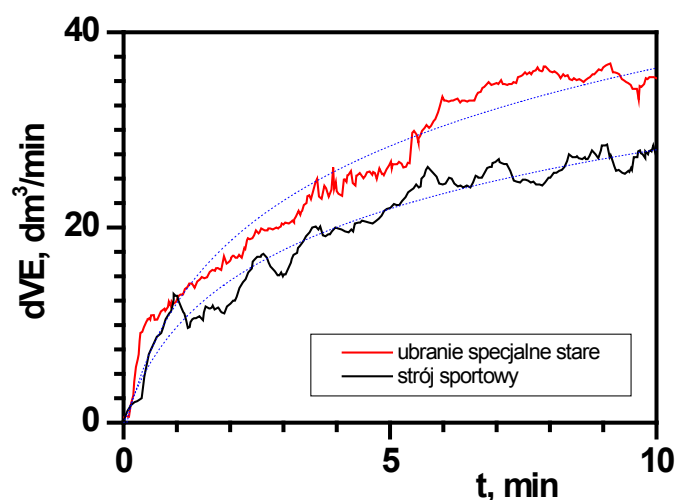
Ryc. 5. Wentylacja minutowa płuc (VE) dla badań przeprowadzonych w stroju sportowym
 Fig. 5. Ventilation (VE) for measurements taken wearing sportswear

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.



Ryc. 6. Wentylacja minutowa płuc (VE) dla badań przeprowadzonych w ubraniu specjalnym
 Fig. 6. Ventilation (VE) for measurements taken wearing a special garment

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Przyrost wartości wentylacji minutowej płuc dVE podczas pracy pod obciążeniem w ubraniu sportowym i specjalnym względem wartości przeciętnej stanu spoczynkowego

Fig. 7. Increase to the ventilation value dVE under workload in sportswear and special garment in terms of the average value during state of rest

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.

Tabela 1. Wartość różnicy objętości powietrza wydychanego po czasie t podczas pracy pod obciążeniem w ubraniu specjalnym oraz stroju sportowym względem stanu spoczynkowego

Table 1. The difference in the volume of air exhaled after time t when working under load in a sportswear and at rest

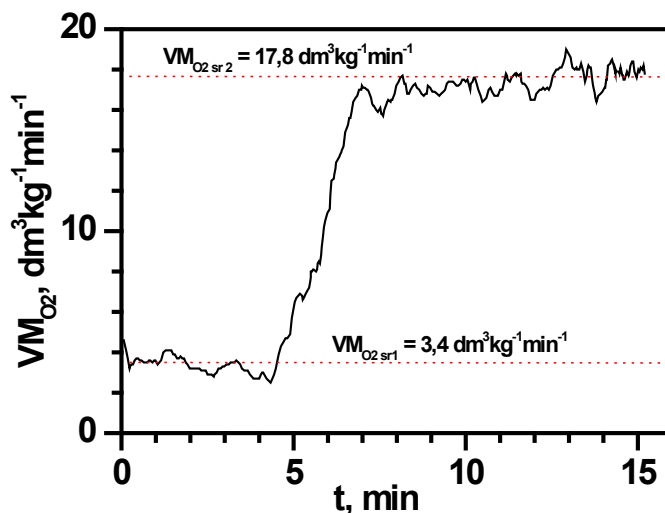
	ubranie specjalne / special garment	ubranie sportowe / sportswear	
t [min]	V_2 [dm ³]	V_1 [dm ³]	V_2/V_1
3	42,4	33,2	1,28
5	90,6	72,3	1,25
10	259,0	200,9	1,29

Źródło: Opracowanie własne.
 Source: Own elaboration.

3.3. Zużycie tlenu na kilogram masy ciała (VM_{O_2})

Przeciętna wartość zużycia tlenu dla osoby będącej w stanie spoczynku wynosiła odpowiednio $VM_{O_2 sr1}$ $\pm \Delta VM_{O_2 sr1} = 3,4 \pm 0,1 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ zarówno dla badań w stroju sportowym, jak i w tradycyjnym ubraniu specjalnym (ryc. 8, 9). Końcowy okres obciążenia charakteryzował się parametrami $VM_{O_2 sr2}$ $\pm \Delta VM_{O_2 sr2} = 17,8 \pm 0,1 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $20,2 \pm 0,1$

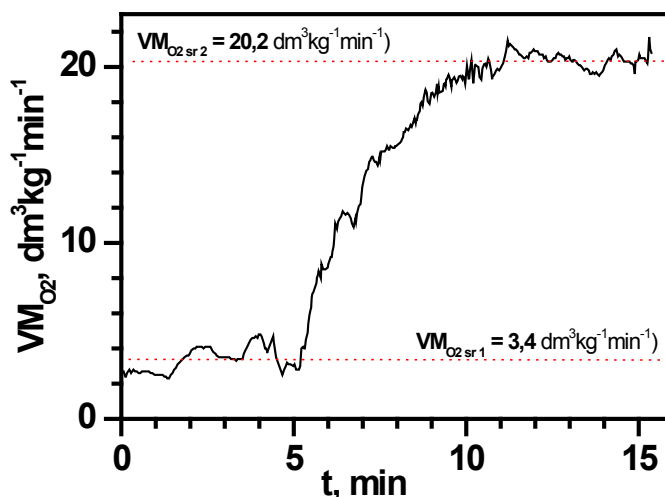
$\text{dm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Zatem różnica $VM_{O_2 sr2} - VM_{O_2 sr1}$ wynosi odpowiednio: $14,4 \pm 0,2 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $16,8 \pm 0,2 \text{ dm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Otrzymany wynik wskazuje zatem, że przeciętny przyrost zużycia tlenu w fazie końcowej obciążenia jest o 16,7% wyższy dla ubrania specjalnego (ryc. 10). Różnica wartości przyrostu dVM_{O_2} zaczyna być obserwowana już przed drugą minutą cyklu pomiarowego odbywającego się pod obciążeniem.



Ryc. 8. Zużycie tlenu VM_{O_2} dla badań przeprowadzonych w stroju sportowym
Fig. 8. Oxygen consumption (VM_{O_2}) for measurements taken wearing sportswear

Źródło: Opracowanie własne.

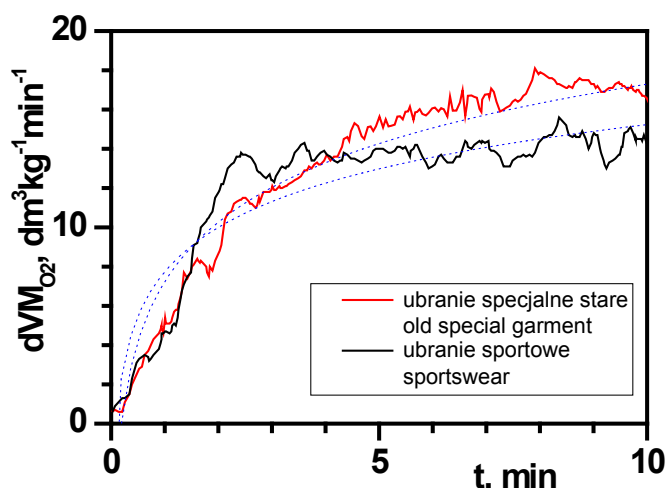
Source: Own elaboration.



Ryc. 9. Zużycie tlenu VM_{O_2} dla badań przeprowadzonych w ubraniu specjalnym
Fig. 9. Oxygen consumption (VM_{O_2}) for measurements taken wearing a special garment

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Ryc. 10. Przyrost wartości zużycia tlenu dVM_{O_2} podczas pracy pod obciążeniem w ubraniu sportowym i specjalnym względem wartości przeciętnej stanu spoczynkowego. Parametry badanego ratownika: wiek lat 36, waga 92 kg, wzrost 179 cm. Obciążenie: szybki marsz $v=7$ km/h

Fig. 10. Increase to oxygen consumption (VMO2) under workload in sportswear and special garment in terms of average value during state of rest. Firefighter data : age 36 years, weight 92 kg, height 179 cm. Work load: quick march $v = 7$ km/h

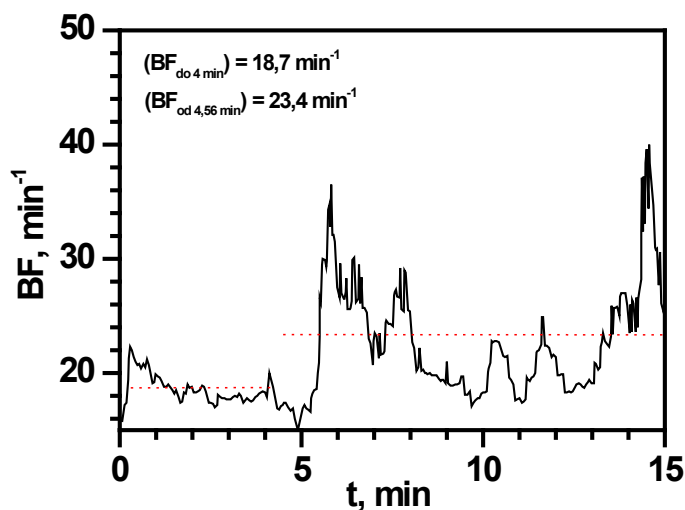
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

3.4. Częstotliwość oddechu (BF)

Przeciętna częstotliwość oddechu dla osoby będącej w stanie spoczynku wynosiła odpowiednio $BF_{sr1} \pm \Delta BF_{sr1} = 18,7 \pm 0,3 \text{ min}^{-1}$ oraz $20,3 \pm 0,4 \text{ min}^{-1}$, odpowiednio dla badań w stroju sportowym oraz w tradycyjnym ubraniu specjalnym (ryc. 11, 12). Natomiast całkowity okres

obciążenia charakteryzował się parametrami $BF_{sr2} \pm \Delta BF_{sr2} = 23,4 \pm 0,6 \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $27,4 \pm 0,5 \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Zatem różnica $BF_{sr2} - BF_{sr1}$ wynosi odpowiednio: $4,7 \pm 0,9 \text{ min}^{-1}$ (strój sportowy) oraz $7,1 \pm 0,9 \text{ min}^{-1}$ (ubranie specjalne). Otrzymany wynik wskazuje zatem, że przeciętny przyrost częstotliwości oddechu w czasie obciążenia jest o 51% wyższy dla ubrania specjalnego.



Ryc. 11. Częstotliwość oddechu dla badań przeprowadzonych w stroju sportowym.

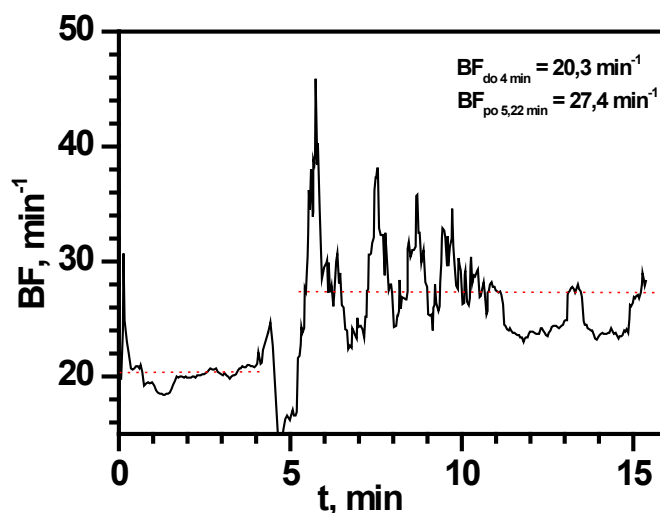
Parametry badanego ratownika: wiek lat 36, waga 92 kg, wzrost 179 cm. Obciążenie: szybki marsz ($v = 7$ km/h) poprzedzony okresem spoczynkowym (4 min)

Fig. 11. Breath frequency (BF) for measurements taken wearing sportswear.

Firefighter data : age 36 years, weight 92 kg, height 179 cm. Load: fast march ($v=7$ km/h) preceded by a rest period (4 min)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Ryc. 12. Częstotliwość oddechu dla badań przeprowadzonych w ubraniu specjalnym.

Parametry badanego ratownika: wiek lat 36, waga 92 kg, wzrost 179 cm. Obciążenie: szybki marsz ($v=7$ km/h) poprzedzony okresem spoczynkowym (4 min)

Fig. 12. Breathing frequency (BF) for measurements taken wearing a special garment.

Firefighter data: age 36 years, weight 92 kg, height 179 cm. Work load: quick march ($v=7$ km/h) preceded by a rest period (4 min)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

4. Wnioski

Wszystkie badane parametry wskazały podwyższony wysiłek w ubraniu specjalnym w odniesieniu do ubrania sportowego. Ponadto wszystkie zakresy analityczne poza częstotliwością oddechową podczas pracy w obciążeniu dla ubrania specjalnego ($V_{BF} = 21,7\%$) charakteryzowały się współczynnikiem zmienności poniżej 20%, a zatem oznaczały niskie zróżnicowanie cechy. Potwierdzają to również niskie wartości niepewności pomiarowych, które poza BF są niższe od 5%. Żaden z przedziałów ufności nie zazębiał się, a kryterium porównawcze w każdym z przypadków wykazało $|X_2 - X_1| > \Delta X_1 + \Delta X_2$. Zatem wartości parametrów w ubraniu specjalnym można uznać za istotnie wyższe od parametrów w stroju sportowym z prawdopodobieństwem równym 90%.

Różnica parametrów mierzonych pomiędzy strojem sportowym a ubraniem specjalnym wynosiła co najmniej 16,7% (VM_{O_2}), osiągając aż 51% w przypadku BF. Tak znaczne różnice wskazują konieczność podjęcia kroków mających

na celu konstruowanie i użytkowanie ubrań specjalnych powodujących mniejsze obciążenie organizmu. Może to zostać osiągnięte poprzez zmniejszenie gęstości powierzchniowej ubrań, dopasowanie odpowiednich technologii membran paroprzepuszczalnych, zmiany kroju czy też zastąpienie filcowej warstwy termoizolacyjnej poduszką powietrzną. Jest to możliwe do zrealizowania choćby przez zastosowanie technologii AIRLOCK [16]. Minimalizacja poziomu negatywnych bodźców związanych z obciążeniem pracą w ubraniu specjalnym przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych ograniczy ryzyko zawodowe strażaków i tak już znacząco narażonych w związku ze specyfiką wykonywanej pracy. Naukowcy z Indiana University Firefighter Health wskazują, iż sam aspekt psychologiczny prowadzenia działań (np. przystąpienie do ataku na pożar) powoduje wzrost HR do 71% osobniczego HR_{max} oraz VE do ~ 56 dm³/min [9], czyli w ostatnim przypadku więcej niż otrzymane przez nas wartości doświadczalne podczas symulowanego obciążenia pracą.

Literatura

- [1] Dmochowska A., Majder-Łopatka M., Jarosz W., *Praca strażaka ratownika w chemoodpornym ubraniu gazoszczelnym w aspekcie fizycznego obciążenia organizmu*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, Issue 46, 2013, pp. 31–39.
- [2] Guzowski P., Pawłowski R., Ranecki J., *Ubrania ochrony przeciwchemicznej*, SA PSP, wyd. I, Poznań 1997.
- [3] Czarnecka A., Dobrodziej C., *Psychologiczne aspekty działań ratowniczych*, ZWiS, Warszawa 2001.
- [4] Świderski A., *Źródła stresu zawodowego, jego objawy i skutki ekonomiczne dla przedsiębiorstwa*, Seminarium Okręgowego Inspektoratu Pracy w Łodzi „Stres w pracy”, 15 listopada 2006.
- [5] Guidotti T.L., *Human factors in firefighting: ergonomic, cardiopulmonary-, and psychogenic stress-related issues*, “International Archive of Occupational and Environmental Health”, Vol. 64, 1992, pp. 1–12.
- [6] Kales S.N., Soteriades E.S., Christophi C.A., Christiani D.C., *Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States*, “The New England Journal of Medicine”, Vol. 356 Issue 12, 2007, pp. 1207–1215.

- [7] Sothmann M.S., Saupe K., Jasenof D., Blaney J., *Heart rate response of firefighters to actual emergencies; implications for cardiorespiratory fitness*, "Journal of Occupational Medicine", Vol. 34 Issue 8, 1992, pp. 797–800.
- [8] 8. *Physiological Stress Associated with Structural Firefighting Observed in Professional Firefighters*, Indiana University Firefighter Health & Safety Research School of Health, Physical Education & Recreation Department of Kinesiology Bloomington, Indiana 2011.
- [9] Zwolińska M., Bogdan A., *Izolacyjność cieplna odzieży*, „Bezpieczeństwo Pracy”, Issue 2, 2010, pp. 17–20.
- [10] Fahy R.F., *U.S. firefighter fatalities due to sudden cardiac death, 1995–2004*, Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2005.
- [11] U.S. Fire Administration, *Firefighter fatalities in the United States in 2005*, Emmitsburg, MD, 2006.
- [12] U.S. Fire Administration, *Firefighter fatalities in the United States in 2006*, Emmitsburg, MD, 2006.
- [13] PN – EN 469: 2008, *Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dla odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej*.
- [14] Czarnecki R., *Ubranie specjalne*, „Przegląd Pożarniczy” Issue 1, 2011, p. 42.
- [15] Rozporządzenie MSWiA z dnia 27 kwietnia 2010 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz. U. Nr 85, poz. 553).
- [16] Informacja o seminarium pn. „Testy użytkowe ubrań specjalnych” [dok. elektr.], http://old.edura.pl/html/konferencja/testy_ubran.html [dostęp: 1.06.2015].

* * *

mł. kpt. dr Tomasz Węsierski – adiunkt w Zakładzie Fizyki i Chemii Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Doktorat ukończył na Wydziale Chemii UAM w Poznaniu. Od września 2008 roku związany z Państwową Strażą Pożarną. Zajmuje się problematyką ratownictwa chemicznego oraz ekologicznego.

mł. bryg. mgr inż. Przemysław Kowalczyk – wykładowca w Zakładzie Ratownictwa Technicznego oraz kierownik Pracowni Bezpieczeństwa Działań Ratowniczych w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Zajmuje się kwestiami bezpieczeństwa działań ratowniczych oraz środków ochrony indywidualnej.