

# Wspomaganie strażaka w warunkach ekstremalnego zagrożenia – monitorowanie stanu ruch/bezruch

dr inż. GRZEGORZ OWCZAREK  
mgr inż. GRZEGORZ GRALEWICZ

Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

mgr inż. REMIGIUSZ DANYCH

mgr inż. BARTOSZ OSTROWSKI

Neovision, Sławomir Zwolenik w tożdy

Ocena stanu ruch/bezruch jest istotnym elementem określającym motorykę osób znajdujących się w sytuacjach niebezpiecznych. W artykule przedstawiono wyniki badań weryfikacyjnych modelowych układów do monitorowania stanu ruch/bezruch. Zdefiniowano i wyznaczono tzw. współczynniki sprawności modułu pomiarowego do określenia stanu ruch/bezruch. Zbadano układy z czujnikiem przyspieszeń liniowych, akcelerometrem oraz czujnikiem mechanicznym. Wyniki badań pozwoliły na wybór metody monitorowania ruchu w projektowanej odzieży dla strażaków.

## Assisting firefighters in extreme danger – monitoring mobility/immobility

Information about emergency workers' mobility/immobility is an important parameter in dangerous situations. This paper presents the results of a verification of a prototype system for monitoring mobility/immobility. It defines and sets coefficients of efficiency of the measuring module for determining mobility/immobility. Systems with a linear acceleration sensor and with a mechanical sensor were examined. The results make it possible to select methods of monitoring mobility/immobility in protective clothing for firefighters.



## Wstęp

Ruch oznacza zmianę położenia ciała względem określonego układu odniesienia. Najważniejszymi wielkościami, które go charakteryzują, są jego szybkość i przyspieszenie. Możliwość pomiaru tych wielkości pozwala na określenie rodzaju ruchu, a co za tym idzie – stanu, w jakim znajduje się dane ciało. Przystępując do analizy stanu ruch/bezruch w odniesieniu do osób uczestniczących w akcjach ratowniczych należy mieć na względzie, że stan określany jako ruch musi odzwierciedlać aktywność fizyczną związaną z wykonywaniem czynności typowych podczas akcji ratowniczych, a nie jedynie przemieszczanie się ratownika. Czujniki pomiarowe w odzieży należy umieszczać w miejscach, gdzie nie będą przenoszone drgania, które mogłyby zostać zarejestrowane jako stan ruchu, nawet gdy użytkownik odzieży nie przemieszcza się oraz nie wykonuje jakiegokolwiek aktywności fizycznej.

Monitorowanie stanu ruch/bezruch jest ważnym elementem określającym motorykę osób w sytuacjach niebezpiecznych [1-3]. Kontrola podstawowych funkcji organizmu powiązana z systemem określenia stanu ruch/bezruch, sprzężona dodatkowo z inteligentnymi systemami reagowania na narastające zagrożenia może niejednokrotnie uratować ludzkie życie. Możliwość pomiaru w czasie rzeczywistym takich parametrów, jak: temperatura

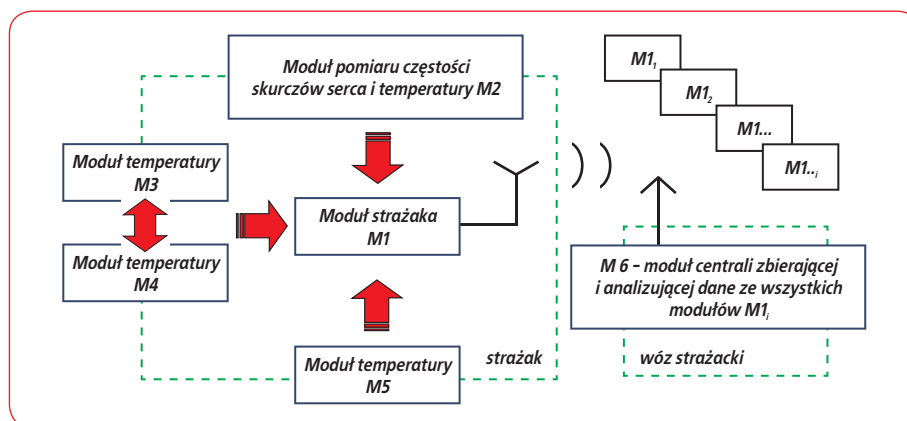
skóry, temperatura pod odzieżą, temperatura otoczenia, częstość akcji serca oraz detekcja bezruchu w powiązaniu z systemem informowania użytkownika o aktualnych wartościach mierzonych parametrów oraz przekroczeniu ich wartości dopuszczalnych ułatwia podjęcie decyzji, co do pozostania w zagrożonej strefie lub opuszczenia jej.

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym prowadzono

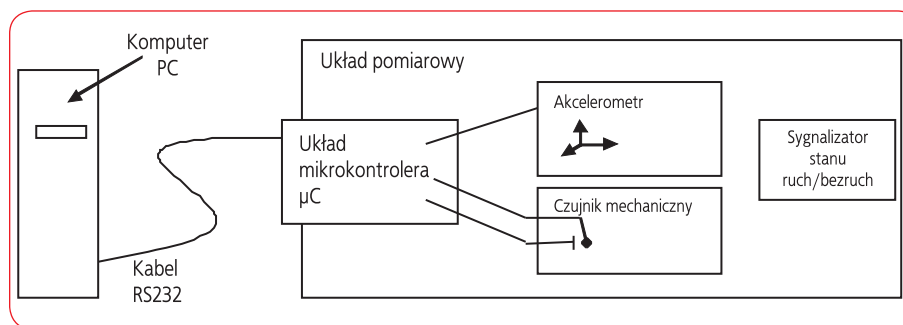
badania nad opracowaniem systemu wspomagającego strażaka wykonującego pracę w warunkach ekstremalnego zagrożenia [4, 5]. Wyniki badań układów do monitorowania stanu ruchu, przedstawione w niniejszym artykule, zostały wykorzystane do zaprojektowania ubrań strażackich z systemem monitorowania wspomnianych parametrów. Część elektroniczna projektowanej odzieży składa się z 6 następujących modułów:

- M1 – moduł strażaka (z zaimplementowanym układem do monitorowania stanu ruchu)
- M2 – moduł pomiaru częstości skurczów serca (tętna) i temperatury skóry
- M3 – implementowany do włókniny moduł pomiaru temperatury pododzieżowej i temperatury zewnętrznej umieszczany na przodzie kurtki
- M4 – implementowany do włókniny moduł pomiaru temperatury pododzieżowej i temperatury zewnętrznej umieszczany na plecach
- M5 – implementowany do włókniny moduł pomiaru temperatury zewnętrznej umieszczany w nogawce spodni
- M6 – moduł centrali zbierającej i analizującej dane ze wszystkich modułów M1, (poszczególnych monitorowanych strażaków) na szczeblu dowodzenia akcją, umieszczony w wozie strażackim.

Schemat blokowy układów elektronicznych zaimplementowanych w projektowanej odzieży strażackiej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układów elektronicznych zaimplementowanych w projektowanej odzieży strażackiej  
Fig. 1. A block diagram of electronic circuits implemented in protective clothing for firefighters



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiarowego  
Fig. 2. A block diagram of the measurement system

**Cel badań**

Do określenia stanu ruchu stosowane są mechaniczne czujniki drgań oraz akcelerometry. Pierwsza grupa czujników rejestruje drgania mechaniczne, które mogą być wynikiem przemieszczeń. Za pomocą drugiej grupy czujników można rejestrować przyspieszenia liniowe lub kątowe. Celem badań opisanych w niniejszym artykule był wybór rodzaju czujnika pomiarowego, który pozwala na skuteczne monitorowanie stanu ruch/bezruch w zależności od rodzaju aktywności fizycznej oraz sposobu mocowania w odzieży.

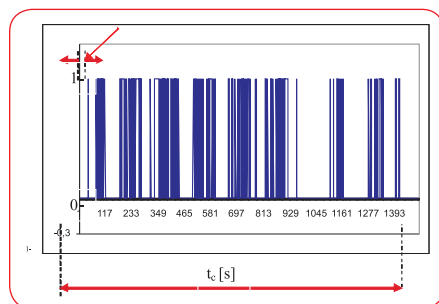
**Materiały i metoda**

Realizacja założonego celu wymagała opracowania układów umożliwiających pomiar stanu ruch/bezruch z wykorzystaniem opracowanych układów modelowych. Weryfikacja działania tych układów polegała na wyznaczeniu współczynników sprawności w dwóch konfiguracjach pomiarowych, tj. układ z czujnikiem przyspieszeń liniowych (akcelerometrem) oraz z czujnikiem mechanicznym. Schemat blokowy układu pomiarowego pokazano na rys. 2.

Sprawność (Q) badanego modułu określono w tym przypadku jako stosunek czasu, w którym rejestrowany jest ruch, do czasu całkowitego. Suma czasu rejestracji ruchu i bezruchu to całkowity czas trwania eksperymentu. Na rys. 3. przedstawiono schematycznie sposób wyliczania sprawności (Q) modułu ruchu, który wyrażono wzorem:

$$Q = \Sigma(t_r) / t_c$$

gdzie:  
 $t_r$  – czas, w którym rejestrowany jest stan ruchu; występuje wtedy różnica poziomów pomiędzy kolejnymi wartościami sygnału (próbkowanie co 5 s)  
 $t_c$  – całkowity czas trwania eksperymentu.



Rys. 3. Sposób wyliczania sprawności (Q) modułu ruchu. Wartość logiczna 0 – brak ruchu, wartość logiczna 1 – ruch  
Fig. 3. Calculating efficiency (Q) of the mobility module. Logical value 0 – immobility, logical value 1 – mobility

Wybrano dwa sposoby mocowania układu pomiarowego: do pasa (przy takiej lokalizacji możliwe jest przenoszenie większej liczby drgań pochodzących od strażaka) lub bezpośrednio w kurtce strażaka (układ pomiarowy został wszyty z przodu kurtki w dolnej jej części). W drugim przypadku większa część sygnału informującego o ruchu może wynikać z przyspieszeń pochodzących nie tyle od drgań, ale od samego ruchu strażaka. Rejestrowanym ruchem w tym przypadku jest przemieszczanie się (a nie drgania) strażaka w dowolnym kierunku.

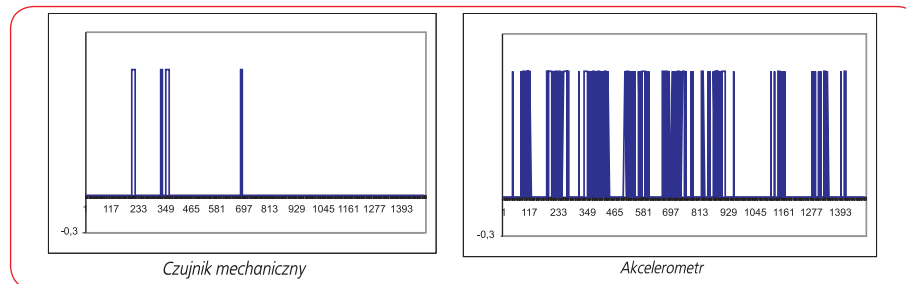
Badania (72 badania podzielone na 4 grupy) były wykonywane zgodnie z następującym programem:

- 1) Stan spoczynku (osoby badane w pozycji leżącej, stojącej i siedzącej),
- 2) Praca kończyn górnych (obciążenie 3 kg):  
 – ręce opuszczone, uniesione na bok i uniesione do przodu,
- 3) Praca kończyn górnych (obciążenie 3 kg):  
 – osoby badane w pozycji leżącej, stojącej i siedzącej,
- 4) Praca kończyn dolnych:  
 – jazda na тренаżerze, przysiady i wchodzenie po schodach.

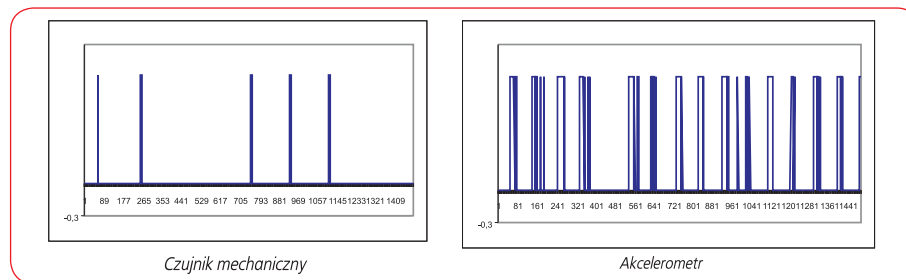
Sygnał z badanych modułów był próbkowany co 5 sekund. W przypadku czujnika mechanicznego, występowanie różnicy pomiędzy kolejnymi próbkami było traktowane jako ruch (wartość logiczna 1). Jeśli różnica taka nie występowała, sygnałowi przypisywano wartość logiczną 0, czyli brak ruchu. W przypadku zastosowania czujnika przyspieszeń liniowych sygnał traktowany był jako *ruch*, jeśli suma logiczna z trzech kanałów (osie x, y, z) wynosiła 1. Aby wartość logiczna pojedynczego kanału wynosiła 1, musiała również występować różnica poziomów pomiędzy kolejnymi próbkami.

**Wyniki badań**

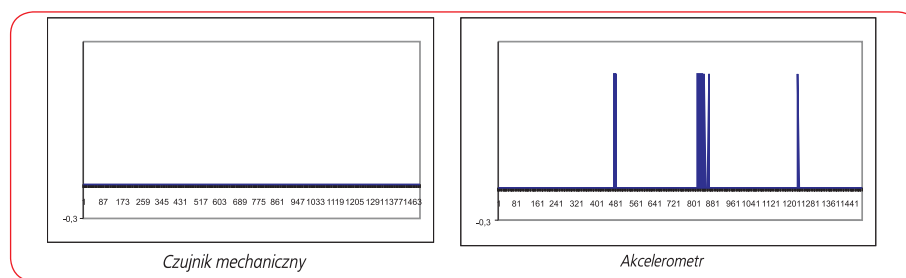
Przykładowe wykresy binarne, na podstawie których były wyznaczone współczynniki sprawności dla czujnika mechanicznego oraz czujnika przyspieszeń liniowych (akcelerometru), przedstawiono na rys. 4 – 6.



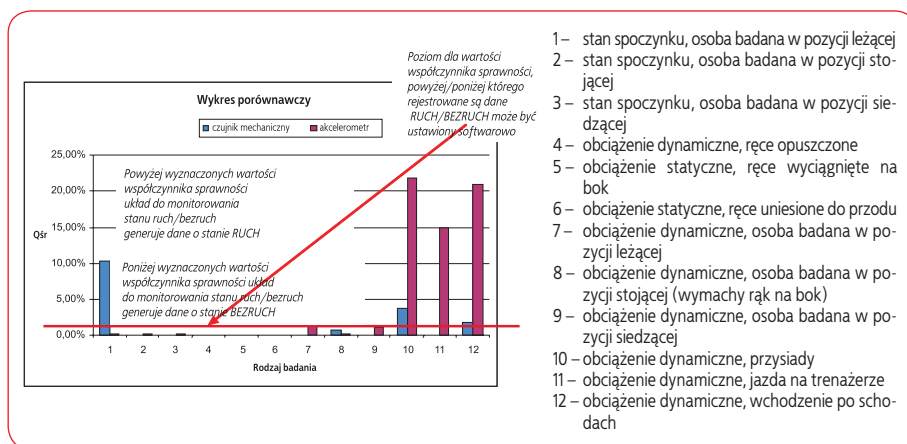
Rys. 4. Przysiady  
Fig. 4. Exercise



Rys. 5. Wchodzenie po schodach  
Fig. 5. Climbing stairs



Rys. 6. Osoba badana w pozycji stojącej (wymachy rąk na bok)  
Fig. 6. Dynamic load, the subject in a standing position (raising arms sideways)



- 1 – stan spoczynku, osoba badana w pozycji leżącej
- 2 – stan spoczynku, osoba badana w pozycji stojącej
- 3 – stan spoczynku, osoba badana w pozycji siedzącej
- 4 – obciążenie dynamiczne, ręce opuszczone
- 5 – obciążenie statyczne, ręce wyciągnięte na bok
- 6 – obciążenie statyczne, ręce uniesione do przodu
- 7 – obciążenie dynamiczne, osoba badana w pozycji leżącej
- 8 – obciążenie dynamiczne, osoba badana w pozycji stojącej (wymachi rąk na bok)
- 9 – obciążenie dynamiczne, osoba badana w pozycji siedzącej
- 10 – obciążenie dynamiczne, przysiady
- 11 – obciążenie dynamiczne, jazda na тренаżerze
- 12 – obciążenie dynamiczne, wchodzenie po schodach

Rys. 7. Wykres porównawczy sprawności oraz wybór poziomu dla wartości współczynnika sprawności, przy którym określany jest stan ruch/bezruch

Fig. 7. A chart comparing efficiency and choosing the value of the coefficient of efficiency at which mobility/immobility is defined

Zbiorcze zestawienie wyników określonych zdefiniowanym programem badań przedstawiono na rys. 7.

## Dyskusja

Analiza wyników przedstawionych na rys. 7. wykazała zaskakujący wynik, gdy badana osoba była w pozycji leżącej, nie wykonując przy tym żadnych ćwiczeń (badanie nr 1). Oba czujniki zarejestrowały ruch, przy czym była bardzo duża różnica współczynników sprawności pomiędzy analizowanymi rodzajami czujników (10,2% w przypadku czujnika mechanicznego oraz 0,20% w przypadku akcelerometru). O ile wynik odnośnie do czujnika mechanicznego można w tym badaniu potraktować jako przypadkowe wzbudzenie (zakłócenie pomiaru na skutek drgań), o tyle wynik uzyskany z użyciem akcelerometru pozwala przypuszczać, że stwierdzony poziom sprawności (0,20%) należy uznać jako stan, przy którym ruch nie występuje. Tak znacząca różnica wartości dla czujnika mechanicznego i akcelerometru (podczas spoczynku) potwierdza, że za pomocą czujnika mechanicznego nie można precyzyjnie ocenić stanu ruch/bezruch w badanej konfiguracji układu. W celu określenia wartości współczynnika sprawności, dla którego pomiar stanu ruch/bezruch przy użyciu akcelerometru będzie mógł być uznany za graniczny, przeanalizowano wyniki kolejnych badań.

Badania od 2. do 9. miały na celu określenie zachowania się obu testowanych czujników, gdy tułów badanej osoby był unieruchomiony. W warunkach określanych jako poligonowe należy bowiem przyjąć, że to właśnie unieruchomienie tułowia określa stan bezruchu. W tych badaniach wartości współczynnika sprawności nie przekraczały 0,60% dla czujnika mechanicznego (badanie nr 8) oraz 1,13% w przypadku akcelerometru (badanie nr 9). Bezsprzecznie wchodzenie po schodach (badanie nr 12) oraz wykonywanie przysiadów (badanie nr 10) związane jest ze zmianą położenia tułowia. W obu tych przypadkach zarówno dla układu z czujnikiem mechanicznym, jak również układu z akcelerometrem wartości współczynnika sprawności były znacznie wyższe niż w pozostałych przypadkach (do wartości 20,87% dla akcelerometru w badaniu nr 12). Wynik ten wskazuje, że oba testowane czuj-

niki mogą być wykorzystane w konstrukcji odzieży z elektronicznymi układami do monitorowania stanu ruch/bezruch. Dyskusyjny pozostał jednak wynik badania 11. (jazda na тренаżerze). Czujnik mechaniczny nie wykazał ruchu (współczynnik sprawności 0,00%), natomiast wartość współczynnika sprawności dla akcelerometru była na wysokim poziomie (14,93%). Powtórnie wykonane próby na тренаżerze potwierdziły, że w tym przypadku wartości współczynnika sprawności nie osiągają poziomu wyższego niż 0,20%. Wynik tego badania określono jako dyskusyjny, głównie ze względu na możliwość zakwalifikowania jazdy na тренаżerze zarówno do stanu ruchu, jak również bezruchu (w badaniu nie obserwowano ruchu tułowia). Jazda na тренаżerze może więc być traktowana na równi z badaniami, w których uczestnik badań stał lub leżał, wykonując jedynie ruchy rękoma. Badania te, jak opisano wcześniej, nie były traktowane jako stan ruchu. Przystępując do prac projektowych nad układami pozwalającymi na skuteczne monitorowanie stanu ruch/bezruch w odzieży przeznaczonej dla strażaków wybrano układy z akcelerometrem. Wynika to głównie z tego, iż uzyskane podczas badań wartości współczynników sprawności uzyskiwane w przypadku układu z akcelerometrem są zdecydowanie wyższe niż układu z czujnikiem mechanicznym. Pozwala to w konsekwencji na wybranie takiego poziomu wartości współczynnika sprawności, powyżej którego stan ruchu będzie odzwierciedlał faktyczne przemieszczanie się użytkownika, eliminując tym samym przypadkowe drgania lub niewielkie wychylenia. Wybór poziomu dla wartości współczynnika sprawności, przy którym określany jest stan ruch/bezruch zobrazowano na rys. 7.

Wybrany poziom dla wartości współczynnika sprawności, przy którym określany jest stan ruch/bezruch można ustawić programowo.

Dla zaprojektowanych układów do monitorowania stanu ruch/bezruch przeprowadzono również wstępne badania poligonowe na terenie Wyższej Szkoły Służby Pożarniczej w Warszawie. Strażacy biorący udział w badaniach byli ubrani w kompletne ubranie strażackie, w którym badane układy ruch/bezruch zostały zamontowane bezpośrednio w dolnej części kurtki strażackiej. Badania wykonywano w komorze dymowej oraz na placu ćwiczeń. Strażacy wykonywali typowe ćwiczenia

(zestaw ćwiczeń określony procedurą wewnętrzną). W celu określenia średniego czasu zwłoki zadziałania czujników ruch/bezruch ćwiczenia były przerywane, a strażacy przyjmowali przypadkowe pozycje w bezruchu. Mierzony czas zwłoki testowanych układów ruch/bezruch wynosił  $(22 \pm 4)$  s. Zgodnie z opinią specjalistów ze Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, czas ten został programowo wydłużony i wynosił minimalnie 30 s, maksymalnie 50 s.

## Podsumowanie

Z przedstawionych wyników badań wynika, że układ do monitorowania bezruchu wykorzystujący czujnik mechaniczny lub akcelerometr umożliwia dwustanowy stopień oceny stanu ruch/bezruch, przy czym zastosowanie czujnika mechanicznego nie pozwoliło na precyzyjnie określenie stanu ruch/bezruch w badanych konfiguracjach. Poza tym wobec układu ćwiczeń, określanych jako stan spoczynku, obciążenie statyczne oraz obciążenie dynamiczne, układy wykorzystujące liniowy czujnik przyspieszeń (akcelerometr) charakteryzują się lepszą „sprawnością” działania w warunkach, w których następowało przemieszczanie się tułowia badanej osoby.

Wnioski szczegółowe wskazują jednoznacznie, że w przypadku takich zdarzeń, jak np. zakleszczenie ratownika lub utrata przytomności, informacje o stanie ruch/bezruch otrzymywane z wykorzystaniem układów z akcelerometrem będą o wiele bardziej wiarygodne niż w przypadku wykorzystania czujnika mechanicznego. Możliwość wprowadzenia na drodze programowej określonego poziomu wartości współczynnika sprawności oraz czasu zwłoki, przy którym określany jest stan ruch/bezruch pozwala na „dopasowanie” zaprojektowanych układów do specyficznych zastosowań, w których stan określany jako ruch musi odzwierciedlać aktywność fizyczną związaną z wykonywaniem określonych czynności.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Informacja o stanie bezpieczeństwa pożarowego, występujących zagrożeniach oraz stopniu przygotowania Komendy Miejskiej PSP w Łodzi do prowadzenia działań ratowniczych. Komenda Miejska PSP w Łodzi, styczeń 2004
- [2] T. Sawicki Czynniki zagrażające bezpieczeństwu strażaków w warunkach pożaru. „Bezpieczeństwo Pracy” 7-8(396-397)2004, s. 35-38
- [3] H. Makinen *Analysis of problems in the protection of fire fighters by personal protective equipment and clothing – development of a new turnout suit*, Helsinki 1991
- [4] G. Owczarek, K. Łęzak, G. Gralewicz *Koncepcja systemu monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych podczas pracy w odzieży strażackiej*. „Bezpieczeństwo Pracy” 9(432)2007, s. 8-10
- [5] G. Owczarek, J. Leśnikowski, K. Łęzak, P. Lewandowski *Systemy komunikacji bezpośredniej pomiędzy odzieżą strażacką a centrum monitorowania na szczeblu interwencyjnym*. Materiały konferencyjne: „Tendencje rozwojowe w technikach ratowniczych i wyposażeniu technicznym”, Kraków, październik 2006, s. 115-125

Publikacja opracowana na podstawie wyników projektu pn. „Ubranie strażackie nowej generacji z tektonicznym systemem monitorowania parametrów fizjologicznych” zrealizowanego w latach 2004-2006 w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego – Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego UE.