

*Materiały informacyjne do projektu III.N.16 pt. „Opracowanie i ocena funkcjonalności modelu systemu sygnalizacji zagrożeń do zastosowania w inteligentnej odzieży ochronnej z uwzględnieniem przewidywanych warunków jej stosowania”*

## **Systemy sygnalizacji zagrożeń do zastosowania w inteligentnej odzieży ochronnej dla strażaków**

### **1. Wprowadzenie**

Operacje straży pożarnej są często związane z narażeniem strażaków na działanie różnorodnych czynników, takich jak promieniowanie cieplne, wysoka temperatura otoczenia, dym pożarowy. Działaniom tym towarzyszy duży wysiłek fizyczny, spowodowany między innymi z wysoką masą wyposażenia osobistego (około 40 kg) (Gaura et al., 2009), ciemność i słaba widoczność (i związane z nimi kwestie lokalizacyjne), jak również zagrożenia fizyczne ściśle związane z potknięciami, upadkami i zmiżdżeniami (Grant et al., 2015). Strażacy narażeni są również na permanentny stres psychiczny, co w połączeniu z zagrożeniami fizycznymi ma ogromny wpływ na stan ich zdrowia, a także na wypadki zdarzające się podczas akcji ratowniczych (Fahy et al., 2017). Badania potwierdzają, że narażenia strażaków na wyczerpującą aktywność fizyczną, stresi emocjonalne i zanieczyszczenia środowiska mogą wpływać na układ sercowo-naczyniowy i w konsekwencji mogą prowadzić do zatrzymania krążenia. Wskazywali, że nagłe zgony sercowe częściej występują w związku z obowiązkami podczas tłumienia pożaru, a także u strażaków z miażdżycą tętnic i/lub strukturalną chorobą serca (Smith et al., 2013).

Dlatego w ostatnich latach zaobserwowano szczególne zainteresowanie monitorowaniem zarówno stanu fizjologicznego strażaków (Ghosh et al., 2013), jak i zagrożeń na które narażeni są podczas akcji. Czujniki i sygnalizatory zagrożeń zaimplementowane mogą być bezpośrednio w odzieży, jak również w elementy noszone na odzieży. Nowy rodzaj odzieży z aktywną funkcją monitorowania zagrożeń istotnych z punktu widzenia zdrowia i życia strażaków nazwany jest odzieżą inteligentną. Zagrożenia wynikające ze stanu zdrowia, strażaka jak i warunków środowiskowych podczas akcji, są analizowane za pomocą specjalnych, uczących się algorytmów, a sytuacje krytyczne - sygnalizowane.

W kontekście inteligentnych systemów zintegrowanych z odzieżą ochronną przeprowadzono już wiele prac badawczych, w szczególności w zakresie rozwiązań przeznaczonych dla strażaków. Należy jednakże podkreślić, iż dotychczas nie zostały opracowane wymagania i metody badań, które w sposób jednolity na rynku europejskim umożliwiłyby potwierdzenie bezpieczeństwa i funkcjonalności stosowania tego rodzaju inteligentnych systemów w przewidywanych warunkach użytkowania. Rozwiązania elektroniczne nie mogą powodować dodatkowego zagrożenia dla strażaków, więc podkreśla się istotę niezawodności tych rozwiązań. W przypadku odzieży strażackiej, w szczególności należy wziąć pod uwagę możliwe oddziaływanie czynników gorących (tj. płomień, promieniowanie cieplne, ciepło konwekcyjne) na prawidłowe funkcjonowanie systemów elektronicznych, jak również – inne warunki środowiskowe podczas akcji przeciwpożarowych

(tj. zadymienie, ciemność, hałas) i ich wpływ na możliwość współpracy użytkownika inteligentnej odzieży z wbudowanymi systemami elektronicznymi. Podobne problemy napotykają systemy komunikacji i lokalizacji stosowane w akcjach przeciwpożarowych. Wysoka temperatura, hałas, gęsty dym, podmuchy powietrza, przeszkody i spadający gruz utrudniają rozprzestrzenianie się sygnałów radiowych, ultradźwiękowych i laserowych, co z kolei prowadzi do przerywania łączności i w efekcie do ograniczenia kontroli nad przebiegiem akcji.

## 2. Systemy sygnalizacji do zastosowania z odzieżą ochronną dla strażaków

Obecnie systemy komunikacji, w tym informowania o zagrożeniach w straży pożarnej opierają się na łączności radiowej, którą gwarantują specjalnie dedykowane dla straży pożarnej radiotelefony działające w paśmie UKF. Uzupełnieniem do komunikacji radiowej mogą być systemy sygnalizacji zagrożeń, które najczęściej montowane są na wyposażeniu osobistym strażaka lub mogą być zespolone ze środkami ochrony indywidualnej.



Biorąc pod uwagę preferencje strażaków (Dąbrowska et al., 2019), w CIOP-PIB we współpracy z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej oraz firmą ILED sp. z o.o. opracowano trzy warianty systemów sygnalizacji zagrożeń (SSZ):

- system sygnalizacji zagrożeń z wyświetlaczem LCD,
- system sygnalizacji zagrożeń z diodami LED,
- system sygnalizacji zagrożeń z elementem wibracyjnym.

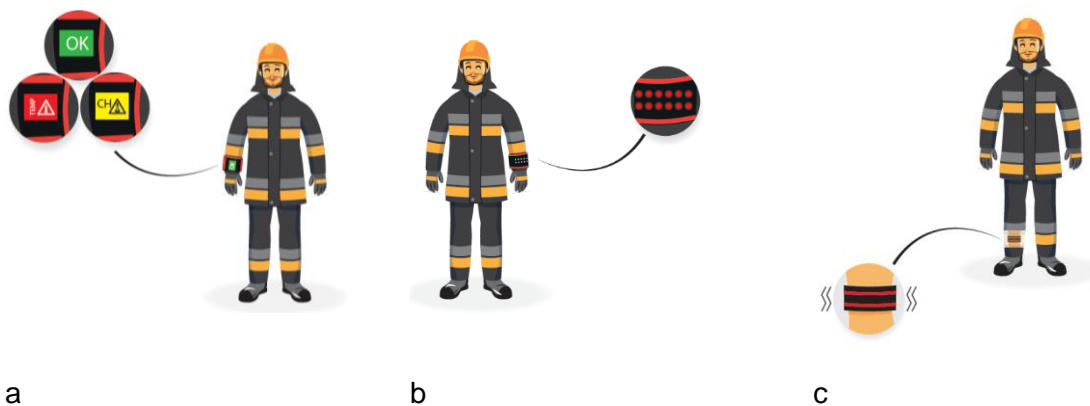
Konstrukcję opracowanych SSZ przedstawiono w tabeli 1. Moduły sygnalizacyjne poszczególnych wariantów SSZ zostały umieszczone w specjalnie zaprojektowanych do tego celu osłonach tekstylnych, mających formę opasek, wykonanych z materiałów charakteryzujących się trudnopalnością i odpornością na ciepło.

Tabela 1. Systemy sygnalizacji zagrożeń

Opis SSZ	Widok SSZ
<b>System sygnalizacji zagrożeń z wyświetlaczem LCD</b>	
<p>SSZ składa się z płytki z 2,4" wyświetlaczem LCD, która jednocześnie pełni funkcję programowalnego procesora (mikrosterownika), modułu komunikacji Wi-Fi oraz wyświetlacza LCD. System ten zasilany jest przez złącze USB za pomocą powerbanka. W wyniku konsultacji ze strażakami, wykonany w ramach projektu SSZ umożliwia przekazanie trzech komunikatów: brak zagrożenia („OK”), alarm temperaturowy, alarm chemiczny.</p>	

Opis SSZ	Widok SSZ
<b>System sygnalizacji zagrożeń z diodami LED</b>	
<p>System ten składa się z dwóch elastycznych linii diod RGB (po 6 szt. w każdej linii), mikrosterownika oraz akumulatora LiPo. Umożliwia regulację barwy światła (model RGB), jasności oraz częstotliwości impulsów świetlnych przekazywanych przez diody poprzez określenie oczekiwanego czasu stanu wysokiego (załączenia diod) i czasu stanu niskiego (wyłączenia diod).</p>	
<b>System sygnalizacji zagrożeń z elementem wibracyjnym</b>	
<p>SSZ zbudowany jest z układu połączonych równolegle 5 sztuk mikrosterowników wibracyjnych, mikrosterownika oraz skumulatora LiPo. Zapewnia on możliwość regulacji w zakresie sposobu wibracji (przebieg trójkątny lub prostokątny) oraz natężenia wibracji w funkcji czasu.</p>	

Systemy sygnalizacji zostały rozmieszczone w sposób zapewniający najłatwiejszy odbiór sygnałów przez strażaka: systemy wizualne zostały umieszczone na rękawach kurtki, system wibracyjny na tyłce, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1. Lokalizacja systemów sygnalizacji zagrożeń podczas badań użytkowych: a) SSZ z wyświetlaczem LCD, b) SSZ z diodami LED, c) SSZ z elementem wibracyjnym

### 3. Ocena funkcjonalności opracowanych systemów sygnalizacji zagrożeń

Opracowane systemy sygnalizacji zostały poddane badaniom z udziałem strażaków w symulowanych warunkach użytkowania, w Laboratorium Badawczo-Demonstracyjnym do oceny funkcjonalności zaawansowanych technologicznie środków ochrony indywidualnej w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP-PIB.

Metodyka badań zakładała symulację warunków użytkowania SSZ podczas pożaru w kamienicy. W związku z powyższym uwzględniała zróżnicowane aktywności fizyczne: marsz na bieżni, symulacja dojścia do miejsca zdarzenia, ćwiczenie na trenażerze wspinaczkowym, symulacja wejścia po schodach przejście z obciążeniem (rys. 2). Podczas badań zastosowano następujące warunki środowiskowe: temperatura: 25°C, wilgotność względna: 50%, prędkość ruchu powietrza: 0,24 m/s, natężenie światła: 1450 lux i 10 lux, barwa światła: 6500 K i 2700 K, zadymienie, hałas.



Rys. 2. Widok strażaków uczestniczących w badaniach użytkowych

Podczas ćwiczeń strażacy mieli zadawane za pomocą aplikacji komputerowej sygnały zagrożeń na poszczególne warianty SSZ. Odbiór danego sygnału strażacy potwierdzali za pomocą systemu do bezprzewodowej komunikacji głosowej. Dodatkowo, podczas badań użytkowych monitorowano parametry fizjologiczne uczestników (częstość skurczów serca, częstość oddechów, reakcję skórno-galwaniczną), jak również wykonano badania psychologiczne przed i po eksperymencie oraz badanie ankietowe. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na sformułowanie wniosków, stanowiących wytyczne do stosowania SSZ w zakresie wpływu rodzaju sygnalizacji, warunków środowiskowych oraz aktywności fizycznych na funkcjonalność SSZ.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- Najlepiej ocenianym sposobem sygnalizacji pod kątem funkcjonalności niezależnie od warunków środowiskowych jest SSZ bazujący na sygnalizacji wibracyjnej. Strażacy wskazali jako preferowany sposób wibracji narastająco-opadający (przebieg trójkątny) o najwyższym poziomie natężenia.
- W odniesieniu do SSZ z diodami LED, spośród analizowanych możliwości świecenia diod preferowany był kolor czerwony o częstotliwości świecenia 100 ms stan wysoki i 100 ms stan niski, o najwyższym poziomie natężenia.
- Wyświetlacz LCD może być wykorzystywany do sygnalizacji zagrożeń w celu przekazywania bardzo określonych i złożonych komunikatów. Bodziec związany z samym wyświetleniem komunikatu może być za mało intensywny. Aby zwracał uwagę strażaków powinien być wyświetlany w formie pulsującej.
- Najbardziej skuteczne sygnalizowanie zagrożeń może zapewnić metoda wibracyjna w połączeniu z metodą sygnalizacji zagrożeń za pomocą wyświetlacza LCD lub diod LED.

Ponadto, z punktu widzenia bezpieczeństwa strażaka, systemy sygnalizacji zagrożeń, przeznaczone do stosowania na odzież ochronnej powinny spełniać określone wymagania w aspekcie odporności na działanie płomienia i wysokiej temperatury. Systemy sygnalizacji zagrożeń, wraz z modułami zasilającymi, powinny być umieszczone w odpowiednio do nich skonstruowanych osłonach tekstylnych (patrz tabela 1), w których wszystkie materiały spełniają wymagania dla akcesoriów w zakresie: rozprzestrzeniania płomienia i odporności na ciepło zgodnie z PN-EN 469.

SSZ nasobne powinny spełniać wymagania w zakresie odporności na wysoką temperaturę – zgodnie z normą wojskową MIL-STD, metoda 501 i odporności na wilgotność – zgodnie z normą wojskową MIL-STD, metoda 507. SSZ jako urządzenia elektryczne powinny być zgodne z założeniami Dyrektywy nr 2006/95/WE (tzw. dyrektywa niskonapięciowa) oraz Dyrektywy nr 2004/108/WE (kompatybilność elektromagnetyczna) i w konsekwencji powinny być znakowane znakiem CE.

*Materiał opracowany na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

## **Bibliografia**

Dąbrowska A., Bartkowiak G., Szmeczyk T., 2019. Potrzeby i oczekiwania strażaków wobec inteligentnej odzieży ochronnej z systemem sygnalizacji zagrożeń - wyniki badań ankietowych. *Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*, 4: 22-25

Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG

Dyrektywa 2006/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia

Fahy, R. F., LeBlanc, P. R. & Molis, J. L., 2017. Firefighters Fatalities in the United States - 2016. Quincy, Massachusetts : NFPA.

Gaura, E. I., Brusey, J., Kemp, J., & Thake, C. D., 2009. Increasing safety of bomb disposal missions: a body sensor network approach. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 39(6), pp. 621–636.

Ghosh, S. K., Chakraborty, S., Jamthe, A. & Agrawal, D. P., 2013. Comprehensive monitoring of firefighters by a wireless body area sensor network. Bhopal, IEEE.

Grant, C. et al., 2015. Research Roadmap for Smart Fire Fighting, Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

PN-EN 469:2008. Odzież ochronna dla strażaków - Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej.

Smith, D. L., Barr, D. A. & Kales, S. N., 2013. Extreme sacrifice: sudden cardiac death in the US fire service. Extreme Physiology and Medicine, 2(6), pp. -.

#### **Literatura uzupełniająca:**

- Dąbrowska A., 2019, Smart firefighting clothing, In: Song G. & Wang F. (ed.), *Firefighter's Clothing and Equipment: Performance, Protection and Comfort*. Boca Raton: Taylor & Francis (CRC Press), pp. 307- 328.
- Dąbrowska A., Bartkowiak G., Szmeczyk T., 2019. Potrzeby i oczekiwania strażaków wobec inteligentnej odzieży ochronnej z systemem sygnalizacji zagrożeń - wyniki badań ankietowych. *Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*, 4: 22-25.