

Inteligentny system ochrony osobistej ratowników górniczych PPE

Streszczenie

Akcje ratownicze powinny być prowadzone w sposób skuteczny, ale również w sposób minimalizujący zagrożenie dla samych ratowników. Opracowanie nowoczesnego systemu służącego wspomaganie uczestników akcji ratowniczej stało się przedmiotem zainteresowania w ramach projektu badawczego i-Protect. W artykule scharakteryzowano prototyp tego systemu oraz opisano jego testowanie przez przyszłych użytkowników.

Słowa kluczowe: projekt europejski, bezpieczeństwo pracy, ratownictwo górnicze, ochrona osobista, monitorowanie systemu ochrony, badania.

Keywords: European project, work safety, mine rescue, personal protection, monitoring of protection system, tests.

Summary

Rescue actions should be conducted in an effective way and with respect to rescuers safety. Development of modern system to aid participants of rescue actions was a subject of research in i-Protect project. A prototype of the system as well as testing by its prospective users is presented in the article.

1. Wprowadzenie

Pracownicy wykonujący zadania w podziemiach kopalń są narażeni na szereg zagrożeń. Warunki zaistniałe po katastrofach górniczych sprawiają, że realizacja akcji ratowniczych jest szczególnie trudna, a uczestnicy akcji narażeni są na zwiększone niebezpieczeństwo. Zagrożone jest zdrowie i życie zarówno ratowanych, jak i ratujących.

Poszukiwanie rozwiązań, które umożliwiają prowadzenie akcji ratowniczych w kopalniach, w sprawny sposób, przy jednoczesnym zagwarantowaniu bezpieczeństwa uczestników tych akcji, były przedmiotem badań w ramach projektu i-Protect - „Inteligentne środki ochrony osobistej w przemysłach wysokiego ryzyka” (ang. „*Intelligent PPE system for personnel in high-risk and complex environments*”). Obok ratownictwa górniczego, badaniami objęto również akcje ratownicze:

- po awariach chemicznych,
- realizowane przez straż pożarną.

Projekt i-Protect, którego koordynatorem był CIOP-PIB (Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy) realizowano w międzynarodowym, interdyscyplinarnym konsorcjum. W projekcie uczestniczyły jednostki naukowe, producenci środków ochrony indywidualnej oraz jednostki realizujące działania ratownicze, z Polski, Niemiec, Czech, Hiszpanii, Włoch,

Finlandii oraz Francji. Przedsięwzięcie zostało sfinansowane w ramach 7. Programu Ramowego UE (numer kontraktu: FP7-NMP-2008-SME-2).

Istotnymi czynnikami decydującymi o sprawnym i bezpiecznym prowadzeniu akcji ratowniczych w górnictwie są:

- monitorowanie parametrów środowiska, takich jak:
 - stężenie metanu i stężenie tlenu; mogą powodować atmosferę zagrożenia wybuchem,
 - stężenie tlenu i stężenie dwutlenku węgla, które determinują atmosferę zdatną do oddychania,
- wyposażenie ratowników w sprzęt ochrony indywidualnej,
- komunikacja między ratownikami a centrum kierowania akcją ratowniczą.

Powyższe elementy wzięto pod uwagę, projektując system wspomaganie służb prowadzących akcje ratownicze w kopalniach. Uwzględniono również monitorowanie parametrów fizjologicznych człowieka, takich jak puls i temperatura. Utworzono prototyp systemu, który poddano badaniom z udziałem jego potencjalnych użytkowników.

Specjaliści ITG KOMAG uczestniczyli w zadaniach dotyczących ratownictwa górniczego, w tym współuczestniczyli w identyfikacji potrzeb przyszłych użytkowników systemu oraz wymagań technicznych [1], oraz brali udział w badaniach i ocenie rozwiązań opracowanych w projekcie [2]. W tym zakresie ściśle

współpracowano z Centralną Stacją Ratownictwa Górniczego (CSRG) w Bytomiu.

Przeprowadzono badania ankietowe dotyczące stosowanych środków ochrony indywidualnej. Zidentyfikowano, jakie konkretnie środki ochrony indywidualnej są stosowane w odniesieniu do występujących zagrożeń. W ramach ankiety poszczególne środki ochrony indywidualnej poddano ocenie (np. w zakresie wygody ich użytkowania, trwałości, funkcjonalności). Przedstawiono również propozycje ich modyfikacji. Pozyskano informacje dotyczące wymagań w stosunku do czujników monitorujących parametry fizjologiczne człowieka oraz czujników monitorujących parametry środowiskowe.

Przetestowano prototyp systemu poprzez symulację czynności, jakie realizowane są podczas akcji ratowniczej. Następnie przeprowadzono wywiady z uczestnikami testów celem oceny systemu i pozyskania wskazówek pozwalających na modyfikację prototypu systemu. Przeprowadzone prace badawcze przedstawiono w niniejszym artykule.

2. Charakterystyka inteligentnego systemu ochrony osobistej ratowników górniczych PPE

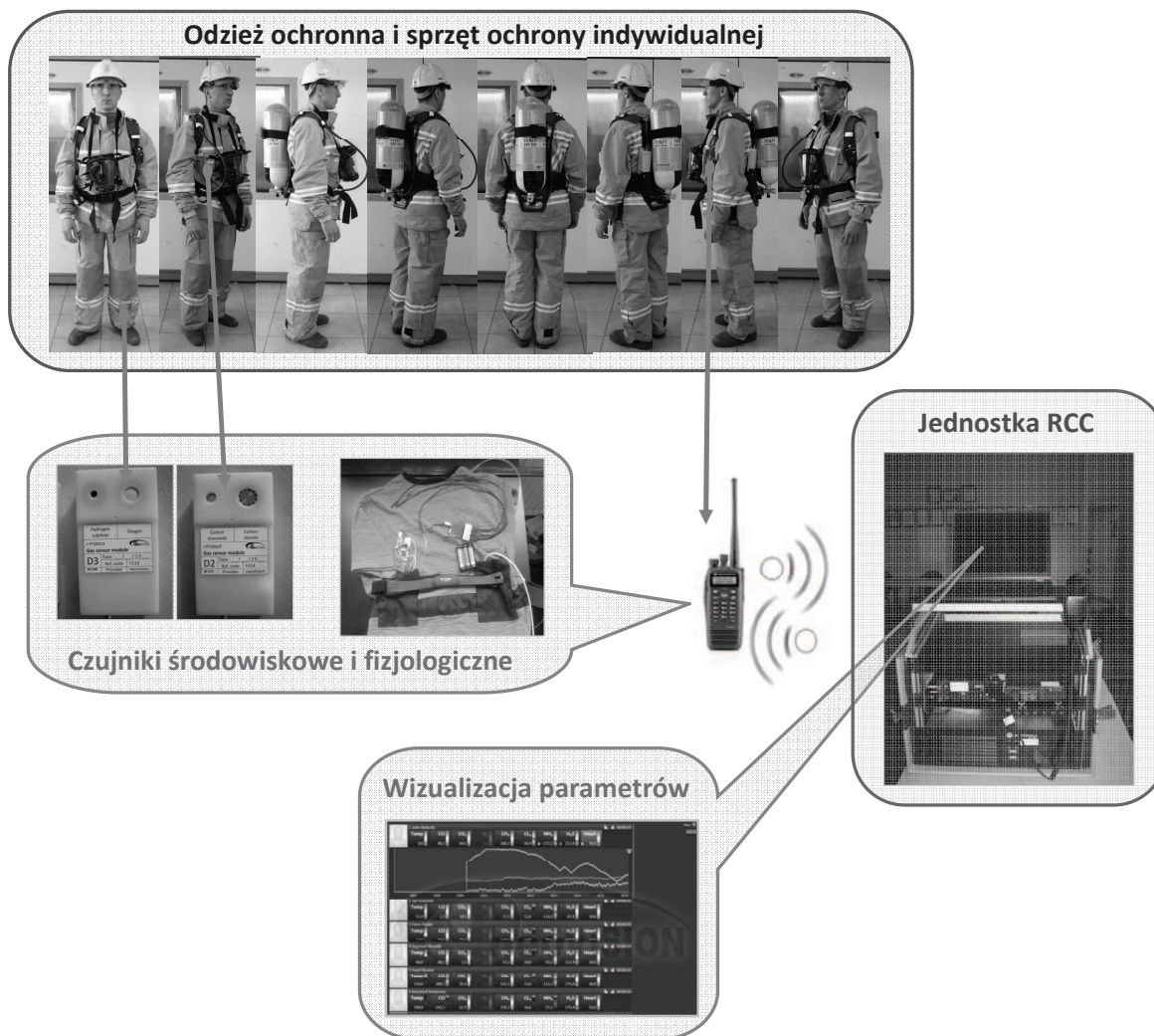
Inteligentny system ochrony osobistej ratowników górniczych (określany dalej nazwą skróconą: inteligentny system PPE) obejmuje (rys. 1):

- odzież ochronną – rozumianą jako elementy stroju: kurtka, spodnie i podkoszulka wraz z modułami zawierającymi czujniki do pomiarów parametrów:
 - fizjologicznych: puls, temperatura, częstotliwość oddechów,
 - środowiskowych: tlen, dwutlenek węgla, tlenek węgla, metan, temperatura otoczenia,
- jednostkę RCC (ang. *Rescue Coordination Center* – centrum kierowania akcją ratowniczą) – zlokalizowaną w bazie, zawierającą system do transmisji danych pomiarowych i rejestracji wskazań czujników oraz do obsługi komunikacji głosowej między ratownikami a kierownikiem akcji, znajdującym się w bazie,
- radiotelefony, noszone w kieszeni kurtki.

Informacje pochodzące z czujników monitorujących wybrane parametry fizjologiczne ratowników oraz wartości poziomów stężeń określonych gazów, a także wartości temperatury otoczenia w atmosferze występującej podczas akcji ratowniczych są bezprzewodowo przesyłane od każdego ratownika wyposażonego w tego typu moduły do specjalnie

zaprojektowanego centrum kierowania akcją [3]. Bezprzewodową transmisję danych osiągnięto dzięki zastosowaniu komercyjnego systemu MOTOTRBO firmy Motorola i odpowiedniej modyfikacji jego elementów. System ten wykorzystuje technologię cyfrowej transmisji radiowej TDMA (Time Division Multiple Access). Zastosowane w projekcie podstawowe elementy systemu to przenośne radiotelefony serii DP 3600/3601 lub DP 3400/3401, radia serii DM, repeater DR 3000, duplexer oraz antena. Kierunkowo zaprogramowane elementy systemu zapewniły transmisję danych pochodzących od dwóch zestawów czujników, w które byli wyposażeni ratownicy. Docelowo istniała możliwość transmisji danych pochodzących z modułów czujników od grupy siedmiu ratowników. System oprócz bezprzewodowej transmisji parametrów fizjologicznych tj. częstotliwości oddechu, tętna, temperatury powierzchni ciała oraz stężeń wybranych gazów zapewniał komunikację głosową pomiędzy ratownikami oraz centrum kierowania akcją ratowniczą. Podstawowe elementy systemu komunikacji wyposażono w komputer z odpowiednią aplikacją umożliwiającą gromadzenie i wizualizację przesyłanych danych pomiarowych. Aplikacja pozwalała na bezpośrednie śledzenie zmian poszczególnych monitorowanych parametrów fizjologicznych, stężeń gazów oraz wartości temperatury otoczenia w miejscu prowadzenia akcji, jak również identyfikowała każdego z monitorowanych ratowników. Dodatkowo aplikacja była wyposażona w algorytm wskazujący poziom obciążenia termicznego ratownika (PSI – Physical Strain Index). Do obliczenia wartości PSI wykorzystywane były wartości rejestrowanych parametrów fizjologicznych.

Stacjonarne elementy systemu komunikacji tj. część tworząca centrum dowodzenia na potrzeby projektu, zasilane były bezpośrednio z sieci. Elementy systemu komunikacji noszone przez ratowników – radia, wyposażone były w indywidualne akumulatory pozwalające na prowadzenie akcji i transmisję danych przez czas do 4 godzin. Możliwości te nie były dotąd wykorzystywane w pełni ze względu na przyjęty w projekcie maksymalny czas prowadzenia akcji. Czas ten został określony na okres do 2 godzin i był determinowany zawartością powietrza do oddychania w aparatach uciezkowych noszonych przez ratowników. Ten sam czas maksymalnego funkcjonowania przyjęto dla poszczególnych modułów czujników, w których źródłem zasilania były indywidualne akumulatory.



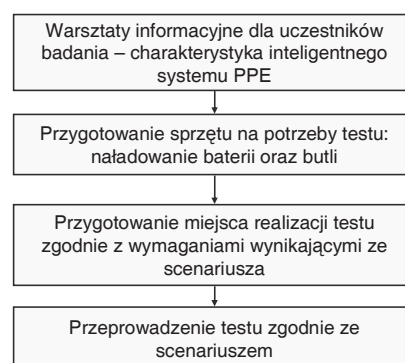
Rys.1. Elementy inteligentnego systemu PPE (na podstawie [2])

3. Metodyka badań prototypu inteligentnego systemu ochrony osobistej ratowników górniczych PPE

3.1. Plan badań

Pierwszym etapem badań było przeprowadzenie z jego uczestnikami warsztatów mających na celu przedstawienie sposobu działania inteligentnego systemu PPE. Przeprowadzenie testów poprzedzono odpowiednim przygotowaniem sprzętu oraz miejsca realizacji badania. Konieczne było naładowanie baterii modułów, jak również naładowanie butli aparatu roboczego. Ponadto na podstawie uprzednio opracowanego scenariusza przebiegu testów należało zidentyfikować, w jaki sposób trzeba przygotować miejsce realizacji badania. Dopiero wówczas możliwe było przetestowanie inteligentnego systemu PPE, zgodnie ze scenariuszem.

Plan badań przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Ramowy plan badania inteligentnego systemu PPE [opracowanie własne]

3.2. Kryteria oceny systemu

Ocenie poddano:

- odzież ochronną (ubrania wraz z modułami); jako kryteria przyjęto wygodę podczas zakładania, zdejmowania oraz komfort jej noszenia podczas realizacji zadań,

- komunikację głosową na linii ratownicy – baza; jako kryteria przyjęto niezawodność, płynność, czystość transmisji głosu,
- transmisję danych na linii moduły – radiotelefon – jednostka RCC; jako kryteria przyjęto płynność, niezawodność.

3.3. Identyfikacja uczestników badań

Realizacja badań wymagała uczestnictwa bezpośrednich użytkowników inteligentnego systemu PPE oraz osób odpowiedzialnych za przygotowanie, zorganizowanie oraz prawidłowy przebieg badania.

Bezpośrednimi użytkownikami badanego systemu byli:

- dwóch ratowników,
- operator jednostki RCC.

Ponadto w badaniu uczestniczyły osoby odpowiedzialne za:

- zestawienie i uruchomienie wyposażenia sprzętowo-programowego systemu,
- dopilnowanie, by uczestnicy testów realizowali zadania zgodnie z planem,
- pozyskanie informacji niezbędnych dla oceny inteligentnego systemu PPE; realizowano to poprzez obserwacje oraz wywiady z uczestnikami testów.

3.4. Przygotowanie wywiadów

Przygotowano dwie wersje kwestionariuszy wywiadu:

- na potrzeby wywiadu z ratownikami; pytania dotyczyły:
 - komfortu termicznego, dopasowania i swobody ruchów w każdym elemencie odzieży,
 - odpowiedniości kształtu, rozmiaru i lokalizacji modułów,
- na potrzeby wywiadu z operatorem jednostki RCC; pytania dotyczyły łatwości stosowania, czytelności interfejsu oraz użyteczności programu w jednostce RCC.

3.5. Opracowanie scenariuszy testów

Scenariusze uwzględniały:

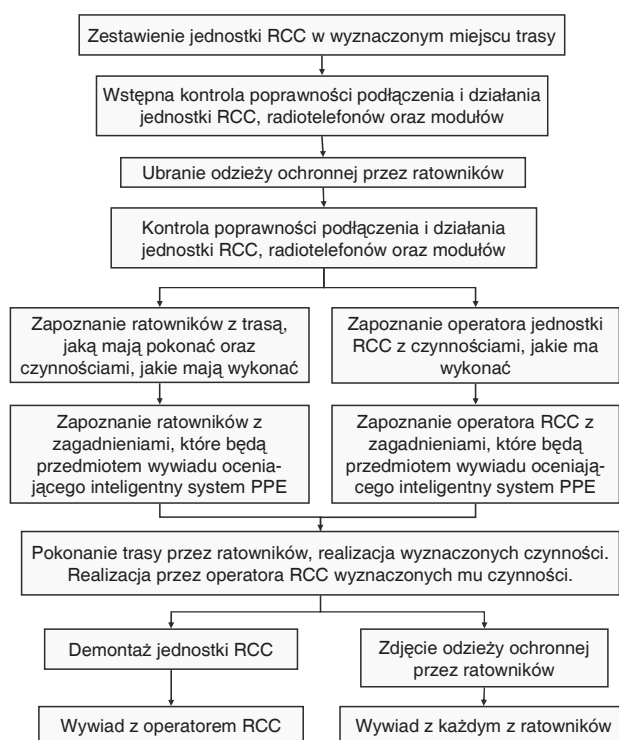
- czynności, jakie należało wykonać, by możliwe było rzetelne dokonanie oceny inteligentnego systemu PPE,

- możliwości i ograniczenia w miejscach, w których były prowadzone testy.

Scenariusze obejmowały następujące działania:

- zapoznanie się z miejscem realizacji testu,
- identyfikację, jakie czynności mogą zostać zrealizowane,
- wyznaczenie:
 - lokalizacji jednostki RCC,
 - trasy, jaką mają pokonać ratownicy oraz czynności, jakie mają zostać wykonane na trasie.

Ramowy scenariusz testu przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Ramowy scenariusz badania inteligentnego systemu PPE [opracowanie własne]

Zidentyfikowano trzy miejsca realizacji testu:

- komorę ćwiczeń Okręgowej Stacji Ratownictwa Górniczego,
- wyrobisko kopalni,
- wyrobisko Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego.

Dla każdego miejsca opracowano odrębny scenariusz szczegółowy.

3.6. Przebieg badań

W każdym ze wskazanych wyżej miejsc, badania przeprowadzono zgodnie ze scenariuszem (rys. 4).



Rys.4. Inscenizacja czynności wykonywanych podczas akcji ratowniczej [2]

Scenariusz testu w komorze ćwiczeń Okręgowej Stacji Ratownictwa Górniczego (OSRG)

W scenariuszu testu w komorze ćwiczeń OSRG uwzględniono następujące etapy:

1. Zestawienie i uruchomienie wyposażenia sprzętowo-programowego.
2. Przeprowadzenie wstępnego testu komunikacji: czy działa komunikacja głosowa oraz czy czujniki są widoczne dla systemu.
3. Ubieranie odzieży i elementów wyposażenia ratowników. Etap obejmuje test odzieży, w zakresie wygody jej ubierania i stosowania. Był rozdzielony na następujące fazy:

FAZA 1: spodnie + (podkoszulka+czujniki),

FAZA 2: spodnie + (podkoszulka+czujniki)+kurtka

FAZA 3: (spodnie + czujniki) + (podkoszulka + czujniki) + (kurtka + czujniki),

FAZA 4: (spodnie + czujniki) + (podkoszulka + czujniki) + (kurtka + czujniki) + aparat roboczy.

Przed pierwszą fazą ratownicy zostali poinformowani o przebiegu tego etapu testu oraz o tym, na co powinni zwrócić uwagę wykonując poszczególne czynności. Po każdej fazie, a więc ubraniu kolejnych elementów odzieży, ratownicy wykonywali ten sam zestaw czynności. Na bieżąco prowadzono wywiady celem zgromadzenia opinii ratowników na temat poszczególnych elementów odzieży.

Czynności wykonywane podczas kolejnych faz ubierania odzieży ochronnej [2]

Tabela 1

Lp.	Czynność	Liczba powtórzeń / czas trwania
1	Kłęknięcie + wstanie	4 razy
2	Kucnięcie + wstanie	4 razy
3	Skłon + wyprost	4 razy
4	Sięgnięcie w górę + powrót do pozycji wyjściowej	4 razy
5	Siad na ziemi + wstanie	4 razy
6	Ćwiczenie z młotem	1,5 minuty
7	Wspinanie się po drabinie bez końca	30 stopni

Czynności oznaczone nr 1 do 5 wykonywane były przez ratowników jednocześnie. Następnie jeden z ratowników wykonywał czynność nr 6, a drugi - czynność nr 7, po czym zamieniali się urządzeniami ćwiczeniowymi. Na temat kolejności, czasu trwania/ilości powtórzeń byli na bieżąco instruowani przez osoby prowadzące test.

4. Kontrola poprawności podłączenia elementów i działania systemu komunikacji.

Etap obejmował kontrolę, czy realizowana była komunikacja między czujnikami, a RCC oraz czy możliwe było nawiązanie komunikacji głosowej (łączność: radiotelefon - RCC). Kontrolę komunikacji przeprowadzono w warunkach pozbawionych zakłóceń – w jednym pomieszczeniu.

5. Oprowadzenie ratowników po trasie i poinformowanie ich na temat czynności, jakie mają wykonać.
6. Symulacja akcji ratowniczej z udziałem zastępu ratowniczego. Realizowana była poprzez pokonanie wskazanej trasy i wykonanie na tej trasie wyznaczonych czynności. Obejmowała test odzieży, w zakresie jej stosowania i test komunikacji.

Czynności wykonywane podczas symulacji akcji ratowniczej [2]

Tabela 2

Lp.	Czynność	Wytyczne, uwagi
1	Siedzenie na ławie	Czas: 5 minut
2	Przejście zadanego odcinka trasy w pozycji wyprostowanej - marsz	Czas: 10 minut
3	Przejście zadanego odcinka trasy w pozycji pochylonej	Wymagana wysokość trasy: 1,3±0,2 m Czas: 5 minut Dystans: 140 m
4	Rozwinięcie i zwinięcie węża pożarowego o dłg. 15 m	Czas: 3 minuty
5	Przenoszenie worków z piaskiem i umieszczenie ich na platformie	Ilość worków: 20 Masa worka: 12 kg Dystans, na którym przenoszone są worki: 10 m
6	Wejście po schodach	
7	Czołganie się na określonym odcinku trasy	Wymagana wysokość trasy: 0,7±0,05 m Czas: 5 minut Dystans: 70 m
8	Podjęcie komunikacji głosowej	W wyznaczonych i odpowiednio oznaczonych miejscach trasy

7. Zdejmowanie elementów systemu stanowiących wyposażenie ratowników.
8. Demontaż jednostki RCC.
9. Przeprowadzenie wywiadów z ratownikami oraz z operatorem jednostki RCC.

Scenariusz testu w wyrobisku kopalni

W scenariuszu testu w wyrobisku kopalni uwzględniono następujące etapy:

1. Zestawienie i uruchomienie wyposażenia sprzętowo-programowego.
2. Przeprowadzenie wstępnego testu komunikacji: czy działa komunikacja głosowa oraz czy czujniki są widoczne dla systemu.
3. Symulacja akcji ratowniczej z udziałem zastępu ratowniczego. Realizowana była poprzez pokonanie wskazanej trasy i podejmowanie komunikacji głosowej z bazą. Ustalono, że komunikacja głosowa ma być nawiązywana co 30 kroków, a pokonywanie trasy w danym kierunku zostanie zatrzymane, w miejscu, w którym nawiązanie komunikacji okaże się niemożliwe.
4. Przeprowadzenie wywiadów z ratownikami oraz z operatorem jednostki RCC.

Scenariusz testu w wyrobisku Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego (CSRG)

W scenariuszu testu w wyrobisku CSRG uwzględniono następujące etapy:

1. Zestawienie i uruchomienie wyposażenia sprzętowo-programowego.
2. Przeprowadzenie wstępnego testu komunikacji: czy działa komunikacja głosowa oraz czy czujniki są widoczne dla systemu RCC.
3. Ubieranie elementów wyposażenia ratowników.
4. Kontrola poprawności podłączenia elementów i działania systemu komunikacji.

Etap obejmował kontrolę, czy realizowana była komunikacja między czujnikami a RCC oraz czy możliwe było nawiązanie komunikacji głosowej (łączość: radiotelefon - RCC). Kontrolę komunikacji przeprowadzono w warunkach pozbawionych zakłóceń – w jednym pomieszczeniu.

5. Kontrola poprawności podłączenia elementów i działania systemu komunikacji.

Etap obejmował kontrolę, czy realizowana była komunikacja między czujnikami a RCC oraz czy możliwe było nawiązanie komunikacji głosowej (łączość: radiotelefon - RCC). Kontrolę komunikacji przeprowadzono w warunkach pozbawionych zakłóceń – w jednym pomieszczeniu.

6. Symulacja akcji ratowniczej. Obejmowała test odzieży i test komunikacji.

Czynności wykonywane podczas symulacji akcji ratowniczej [2]

Tabela 3

Lp.	Czynność	Wytyczne, uwagi
1	Przejsie zadanego odcinka trasy w pozycji wyprostowanej - marsz	Zgodnie z przebiegiem wyznaczonej trasy
2	Odkopywanie zawalu	
3	Klęknienie przy poszkodowanym	
4	Przeniesienie rannego na noszach na określonym odcinku trasy	Dystans: ok. 150 m
5	Przeniesienie ładunku na określonym odcinku trasy	Czynność wykonana w parze. Ładunek: belka drewna
6	Czołganie się - przejście przez przełaz (rure)	Dystans: 15 metrów
7	Wejście po schodach + przejście w pozycji pochylonej + zejście po pochylni	
8	Ściąganie i zakładanie aparatu roboczego w wyznaczonym miejscu trasy	
9	Podejmowanie komunikacji głosowej	W wyznaczonych i odpowiednio oznaczonych miejscach trasy

7. Zdejmowanie elementów systemu stanowiących wyposażenie ratowników.
8. Przeprowadzenie wywiadów z ratownikami oraz z operatorem jednostki RCC.

4. Podsumowanie

W ramach projektu i-Protect opracowano prototyp systemu, który może wspomagać uczestników akcji ratowniczych w zakresie monitorowania i wykorzystywania istotnych informacji dotyczących ratowników oraz środowiska, w jakim się w danej chwili znajdują, oraz w zakresie komunikacji głosowej.

Prototyp przetestowano poprzez symulację czynności realizowanych podczas akcji ratowniczych, w warunkach kopalni lub zbliżonych do nich, oraz z udziałem osób, które w tego typu akcjach uczestniczą. Pozwoliło to na pozyskanie informacji oceniających system oraz pozyskanie wskazówek, w jakim zakresie i w jaki sposób można go zmodyfikować.

Koncepcja inteligentnego systemu ochrony osobistej ratowników górniczych zyskała aprobatę jej potencjalnych użytkowników. Jednak w obecnym stanie prototyp systemu wymaga jeszcze udoskonalenia tak, by w pełni spełniał założenia tej koncepcji.

W obecnej praktyce pomiary parametrów środowiskowych dokonywane są przez zastępowego, za pomocą ręcznego detektora wielogazowego oraz termohigrometra. Natomiast w zakresie pomiaru parametrów fizjologicznych ratowników stosowane są pulsometry. Informacja o wskazaniach odczytanych z detektora, termohigrometra oraz z pulsometrów

może być przekazywana do bazy jedynie za pośrednictwem komunikacji głosowej. Zaproponowane w projekcie i-Protect rozwiązanie daje możliwość nie tylko monitorowania parametrów środowiskowych oraz parametrów fizjologicznych ratowników (w szerszym zakresie niż z zastosowaniem pulsometrów), ale również bieżącej obserwacji wartości tych parametrów przez kierownika akcji ratowniczej znajdującego się w bazie.

Wdrożenie systemu w zakresie komunikacji głosowej oraz transmisji danych wymaga zbudowania w podziemiu kopalni odpowiedniej infrastruktury, w szczególności rozmieszczenia stacji nadawczo-odbiorczych.

Zaproponowana w projekcie odzież ochronna nie zapewnia ratownikom oczekiwanego komfortu termicznego. Powinna być także lepiej dopasowana do sylwetki. Natomiast pozytywnie oceniono lokalizację modułów z czujnikami. Nie utrudniają ani w żaden sposób nie obniżają komfortu wykonywania czynności.

Podziękowania

Projekt współfinansowany przez Komisję Europejską w ramach 7 Programu Ramowego, Obszar 4 NMP - Nanonauki, Nanotechnologie, Materiały i Nowe Technologie Produkcji, grant nr 229275.

Acknowledgements

This work was supported by the European Commission within 7th FRAMEWORK PROGRAMME THEME 4 NMP - Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies , grant no. 229275.

Literatura

1. I-Protect Intelligent PPE system for personnel in high-risk and complex environments. Technical Report. Work Package 1: Identification of end-users needs and defining technical requirements.
2. I-Protect Intelligent PPE system for personnel in high-risk and complex environments. Technical Report. Work Package 7: Verification and validation.
3. Pietrowski P., Hrynyk R.: Monitorowanie parametrów środowiskowych w warunkach pracy ratownika górniczego, chemicznego i straży pożarnej, *Bezpieczeństwo pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 5(213)/2012.

Artykuł wpłynął do redakcji w lutym 2014 r.