



WSPOMAGANIE PROCESÓW ZARZĄDZANIA
DZIAŁANAMI W STRAŻY POŻARNEJ

Redakcja naukowa
dr inż. Jacek Roguski

Wydawnictwo CNBOP-PIB

WSPOMAGANIE PROCESÓW ZARZĄDZANIA DZIAŁANAMI W STRAŻY POŻARNEJ

Opracowano w ramach projektu nr: DOBR-BIO4/051/13087/2013 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pod tytułem „Opracowanie metodologii stałego nadzoru eksploatacji wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania”

Projekt realizowany przez konsorcjum w składzie:

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego
– Państwowy Instytut Badawczy; CMGI Sp. z o.o.; Szkoła Główna Służby Pożarniczej;
MLabs Sp. z o.o.; TELDAT Sp. z o.o. Sp. k.



CMGI



TELDAT

Wydawnictwo CNBOP-PIB

Redakcja opracowania:

dr inż. Jacek Roguski

Recenzja:

prof. dr hab. inż. Jan Posobiec

dr hab. inż. Marek Kubiński

Korekta:

Anna Pacek

Projekt okładki:

Julia Pinkiewicz

Grafika na okładce:

made by Freepik.com

ISBN 978-83-61520-75-7

DOI 10.17381/2016.7

© Copyright by Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2016

Skład i druk:

BEL Studio Sp. z o.o.

01-355 Warszawa

ul. Powstańców Śl. 67 B

tel./fax (+48 22) 665 92 22

e-mail: studio@bel.com.pl

księgarnia: <http://www.iknt.edu.pl>

Wydawca:

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy

05-420 Józefów k/Otwocka ul. Nadwiślańska 213

www.cnbop.pl

SPIIS TREŚCI

Wstęp	5
-----------------	---

Część I

Nadzór nad eksploatacją wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania

Opracowanie metodologii stałego nadzoru eksploatacji wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania <i>Jacek Roguski</i>	15
--	----

Jakość i wydajność transmisji danych w sieci Wi-Fi MESH WDS systemu monitorowania urządzeń eksploatowanych w straży pożarnej <i>Wojciech Makowski, Rafał Motylewski, Paweł Stosik, Marek Jeliński, Łukasz Apiecioneł</i>	39
--	----

Analiza działania komponentów zintegrowanego systemu monitorowania sprzętu pożarniczego <i>Bartosz Kukawka, Mikołaj Sobczak, Michał Tomczyk, Marek Wąsik</i>	49
--	----

Wspomaganie dowodzenia podczas działań ratowniczo-gaśniczych przez monitorowanie systemu eksploatacji <i>Włodzimierz Kupicz, Paweł Ogrodnik</i>	59
---	----

Część II

Logistyka wielopodmiotowych akcji ratowniczych

Koncepcja kryteriów wyboru decyzji logistycznych w wielopodmiotowych akcjach ratowniczych <i>Robert Piec, Adrian Bralewski, Rafał Wróbel</i>	71
--	----

Zabezpieczenie logistyczne służb ratowniczych w akcjach przeciwpowodziowych <i>Dorota Riegert, Zuzanna Ślosorz</i>	89
---	----

Narzędzie teleinformatyczne wspomagające zarządzanie działaniami logistycznymi podczas prowadzenia długotrwałych i wielopodmiotowych akcji ratowniczych <i>Andrzej Grabowski</i>	97
--	----

Część III

Innowacyjne systemy gaśnicze w działaniach ratowniczo-gaśniczych

Systemy gaśnicze bazujące na silnikach odrzutowych i ich wykorzystanie w rzeczywistych działaniach <i>Tomasz Węsierski, Bernard Król</i>	111
Zakończenie	121
Bibliografia	123
Abstrakty	131
Notki biograficzne	143

WSTĘP

Publikacja *Wspomaganie procesów zarządzania działaniami w straży pożarnej* jest wynikiem realizowanych w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowym Instytucie Badawczym (CNBOP-PIB) projektów z obszaru bezpieczeństwa i obronności finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Zaprezentowane opracowania dotyczą projektów badawczych, w realizacji których uczestniczyło CNBOP-PIB zarówno w roli lidera, jak i członka konsorcjum, takich jak:

- DOBR-BIO4/051/13087/2013 „Opracowanie metodologii stałego nadzoru eksploatacji wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania”;
- DOBR-BIO4/047/13419/2013 „System kompleksowego zabezpieczenia logistycznego wielopodmiotowych akcji ratowniczych”;
- DOBR-BIO6/06/113/2014 „Mobilny turbinowy system ratowniczo-gaśniczy”.

W ujęciu definicyjnym proces zarządzania działaniami straży pożarnej w zakresie technicznym jest zjawiskiem techniczno-ekonomicznym zachodzącym w procesie eksploatacji, nadzorowanym i sterowanym przez eksplotatora/logistykę. Jego decyzje mogą być podejmowane intuicyjnie i zależnie od przypadkowej wiedzy lub profesjonalnie, zgodnie z nauką o eksploatacji lub wymaganiami nauki zwanej logistyką. Zaproponowane rozwiązania systemowe, będące efektem projektów ściśle powiązanych z oczekiwaniami gestora reprezentującego środowisko zawodowe, potwierdzają powiązanie efektów prac z oczekiwaniami środowiska zawodowego.

W części I *Nadzór nad eksploatacją wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania* zostały przedstawione najciekawsze elementy powstającego w wyniku realizacji projektu demonstratora technologii – systemu teleinformatycznego zbierającego dane eksploatacyjne wytypowanego wyposażenia straży pożarnej oraz przetwarzającego pozyskane dane w sposób umożliwiający ich wykorzystanie w ramach wspomagania działań logistycznych. Przyjęta struktura pozyskiwania informacji z budowanego systemu pozwala na niezależne i zautomatyzowane pozyskiwanie danych na różnych szczeblach zarządzania, począwszy od poziomu JRG, na KGPS kończąc. Zdaniem wykonawców projektu wytworzony system monitorowania stanu technicznego generując w sposób automatyczny raporty bez konieczności angażowania pracowników do ręcznej analizy danych pozwoli na sprawniejsze zarządzanie operacyjne i logistyczne.

W skład konsorcjum realizującego projekt wchodzi Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy (CNBOP-PIB), Szkoła Główna Służby Pożarniczej (SGSP), CMGI Sp. z o.o., MLABS Sp. z o.o., TELDAT Sp. z o.o. Sp. k. W ramach realizacji zaplanowanych zadań badawczych przygotowano demonstrator technologii wykonany w VIII PGT, pozwalający na:

- monitorowanie stanu wybranych urządzeń za pomocą systemu sensorów;
- przesyłanie na bieżąco w warunkach operacyjnych danych pozyskanych z sensorów do systemu informatycznego przez stworzony system łączności oraz zdalny dostęp do systemu w ramach posiadanych uprawnień;
- zbieranie i przesyłanie danych eksploatacyjno-serwisowych sprzętu objętego systemem nadzoru oraz wspomaganie zadań logistycznych w zakresie serwisowania oraz zakupów sprzętu.

Zapewni to możliwość sporządzania:

- prognoz eksploatacyjnych, na podstawie których tworzy się raporty wykorzystywane w procesie podejmowania decyzji logistycznych;
- informacji dotyczących resursów eksploatacyjnych wyposażenia, a także typowania jednostek organizacyjnych, w których w najbliższym czasie może dojść do uszkodzenia sprzętu;
- tworzenia list rankingowych określonego rodzaju sprzętu pod względem trwałości/awaryjności;
- list posortowanych pod względem kosztów eksploatacji (przy znajomości kosztów zakupu, użytkowania oraz serwisowania).

W ramach etapu III konsorcjum realizuje badania mające na celu walidację zbudowanego systemu oraz sprawdzenie założonych funkcjonalności.

W materiale *Analiza działania komponentów zintegrowanego systemu monitorowania sprzętu pożarniczego* zaprezentowano system monitorowania sprzętu pożarniczego. System pozwala monitorować w czasie rzeczywistym funkcjonowanie urządzeń, na których został zainstalowany, oraz gromadzić dane o ich działaniu. Bezpośrednio na urządzeniach są instalowane czujniki i moduły mierzące podstawowe parametry pracy urządzenia. Wartości pomiarów są automatycznie analizowane, aby w przypadku nieprawidłowości zgłosić odpowiedni komunikat. Pozwala to na szybką reakcję i uniknięcie potencjalnych awarii. System dokonuje pomiarów parametrów pracy urządzeń, na których został zainstalowany, rejestruje je oraz analizuje w celu wykrycia nieprawidłowości w działaniu. Umożliwia również porównywanie danych historycznych i tworzenie raportów. System jest przeznaczony przede wszystkim dla urządzeń pożarniczych, które wymagają niezawodności działania, a których niepoprawne funkcjonowanie można wykryć odpowiednimi czujnikami/sensorami. System zainstalowano i przetestowano na różnego rodzaju motopompach, autopompie oraz agregacie hydraulicznym.

W publikacji opisano działanie systemu, korzyści wynikające z jego użytkowania oraz wnioski z przeprowadzonych testów i spostrzeżenia podczas eksploatacji. W publikacji *Jakość i wydajność transmisji danych w sieci Wi-Fi MESH WDS systemu monitorowania urządzeń eksploatowanych w straży pożarnej* przedstawiono sposoby dozoru nad urządzeniami eksploatowanymi w straży pożarnej za pomocą rozległych sieci bezprzewodowych. Tego typu łącza pozwalają na ciągłe monitorowanie wykorzystywanego sprzętu w całej akcji ratowniczo-gaśniczej. Cechą bezprzewodowych sieci mesh WMN (ang. *Wireless Mesh Network*) są nieruchome, bezprzewodowe

węzły przekaźnikowe, tworzące szkielet sieci dla mobilnych węzłów dostępowych. Przekazywanie danych w sieci mesh odbywa się przez wykonanie wielu przeskoków. Podstawową zaletą tego typu sieci jest łatwość rozbudowy. Sieci mesh charakteryzują się także dużą przepustowością oraz umiejętnością reakcji na awarie. Bazą dla rozwiązań typu mesh są routery Wi-Fi, które działają w układzie *Infrastructure/Backbone*, gdzie punkty dostępowe tworzą (w formie *Infrastructure*) strefy dostępu dla klientów. W przypadku gdy obszar monitorowania jest zbyt duży, aby objęło go jedno urządzenie, wykorzystuje się sieci kratowe – mesh. Na utworzenie tego typu łączności pozwala protokół WDS, zastosowany w rozwiązaniu projektu *Opracowanie metodologii stałego nadzoru eksploatacji wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania*. WDS pozwala na połączenie ze sobą węzłów, które tworzą jedną sieć, umożliwiając użytkownikom mobilnym dostęp do zasobów niezależnie od węzła, do którego są bezpośrednio podłączeni. Ponieważ budowany w ramach projektu system monitoringu na bieżąco przesyła dane, niezbędne było sprawdzenie, czy zwiększenie liczby węzłów do krytycznej wartości znacząco wpłynie na jakość i wydajność transmisji danych. Pod pojęciami *jakość* i *wydajność* rozumie się prędkość, z jaką dane były wysyłane oraz czy zachowano ich integralność.

W publikacji *Wspomaganie dowodzenia podczas działań ratowniczo-gaśniczych poprzez monitorowanie systemu eksploatacji* omówiono zadania realizowane przez Szkołę Główną Służby Pożarniczej polegające na zamontowaniu systemów pomiarowych na samochodzie ratowniczo-gaśniczym oraz przenośnym sprzęcie ratowniczym. Do montażu systemu wykorzystano pojazd GBA 2,5/16 Renault Midlum 220 dCi zabudowany przez ISS Wawraszek o numerze operacyjnym 250W22. Przed zamontowaniem elementów systemu niezbędne było przeprowadzenie prac spawalniczych, modyfikujących kolektor autopompy znajdującej się na pojeździe tak, aby możliwy był montaż czujników pomiarowych. W wyniku prac projektowych dokonano także procesu montażu systemu na następujących urządzeniach: pompie pływającej Niagara 1 KZWM Ogniochron, motopompie szlamowej Honda SST50, motopompie Tohatsu VC72AS a także agregacie hydraulicznym REA 3,3/1,1–6 Weber Rescue. W celu kompleksowej oceny opracowano metodykę badań. Obejmuje ona zarówno sprawdzenia laboratoryjne z wykorzystaniem posiadanej w Szkole Główniej Służby Pożarniczej aparatury pomiarowej, jak i sprawdzenia funkcjonalne w symulowanych stanach obciążenia, zbliżonych do warunków operacyjnych oraz na zakończenie demonstrację systemu w warunkach ćwiczeń podczas akcji ratowniczo-gaśniczych. Zarejestrowane informacje w systemie posłużyły do porównania z prowadzoną w sposób klasyczny ewidencją zdarzeń w systemie SWD-ST. W pracy przedstawiono opracowaną metodykę badań systemu monitorowania oraz proces montażu urządzeń systemu w samochodzie ratowniczo-gaśniczym. Zaprezentowano poszczególne elementy systemu i ich rozmieszczenie w pojeździe. Opracowana metodyka obejmuje, oprócz badań stanowiskowych potwierdzających poprawność działania systemu i pomiarów wykonywanych przez jego poszczególne systemy,

również funkcjonalność operacyjną. System badany był pod kątem wygody użytkowania, odporności na warunki pracy odpowiadające akcjom ratowniczo-gaśniczym i specyfice tych działań. Opracowana metodyka badań pozwoliła na określenie jego zastosowania zarówno na etapie planowania eksploatacji, dowodzenia podczas akcji ratowniczo-gaśniczych oraz wycofywania i naprawy sprzętu ratowniczego. Przedstawiony system monitorowania stanu technicznego potwierdził swoją przydatność jako system wspomagania eksploatacji sprzętu ratowniczo-gaśniczego.

Część II *Wspomaganie procesów zarządzania działaniami logistycznymi w straży pożarnej* poświęcona została wypracowaniu rozwiązań systemowych wspierających organizację zabezpieczenia logistycznego długotrwałych akcji ratowniczych, pozwalających na osiągnięcie zadowalającego stopnia spójności i sprawności podmiotów realizujących i zarządzających zabezpieczeniem logistycznym tych akcji ratowniczych. Jest ona wynikiem realizacji projektu „System kompleksowego zabezpieczenia logistycznego wielopodmiotowych akcji ratowniczych”. Przedstawiony materiał stanowi zbiór prac wykonanych przez konsorcjantów związanych z tworzeniem produktów projektu oraz prowadzonymi pracami badawczymi, dających w efekcie użytkownikom narzędzie do realizacji działań zarządczych pozwalające na uniknięcie błędów w podejmowaniu decyzji logistycznych, a w konsekwencji operacyjnych. Projekt realizują: Szkoła Główna Służby Pożarniczej (SGSP), Akademia Sztuki Wojennej (d. AON), Sonovero Sp. z o.o. Planowanym efektem projektu jest system kompleksowego zabezpieczenia logistycznego wielopodmiotowych akcji ratowniczych. W projekcie zrealizowano poniższe cele szczegółowe:

1. Opracowanie kompleksowego Systemu Zabezpieczenia Logistycznego – narzędzia informatycznego wspierającego:
 - a) logistykę w czasie przygotowania do akcji;
 - b) logistykę w czasie akcji wraz z wizualizacją pozycji wybranych zasobów na mapach cyfrowych;
 - c) proces planowania działań w czasie akcji;
 - d) wspomaganie zarządzania akcją ratowniczą;
 - e) pozyskiwanie informacji o siłach i środkach z zewnętrznych baz.
2. Stworzenie demonstratora prezentującego możliwości systemu teleinformatycznego w warunkach operacyjnych.
3. Analiza systemów logistycznych różnych podmiotów ratowniczych, mechanizmów uruchamiania zabezpieczenia logistycznego oraz wskazanie koniecznych zmian organizacyjnych niezbędnych do optymalnego zabezpieczenia logistycznego wielopodmiotowych akcji ratowniczych.
4. Opracowanie zasad i procedur weryfikacji aktualnego i prognozowanego poziomu gotowości operacyjnej podmiotów zaangażowanych w działania ratownicze.
5. Opracowanie precyzyjnych kryteriów wyznaczania podmiotu wiodącego w zależności od rodzaju, wielkości, prognozy rozwoju i zaniku zagrożeń oraz rzeczywistych możliwości współpracy podczas wielopodmiotowych akcji ratowniczych.

6. Opracowanie konkretnych wymogów i wytycznych dotyczących narzędzia informatycznego wspierającego zabezpieczenie logistyczne wielopodmiotowych akcji ratowniczych, a w szczególności określające wielkość i rodzaj potrzeb sprzętowych, baz danych, programów, narzędzi, ich pożądane zdolności i możliwości.
7. Usprawnienie zarządzania zasobami logistycznymi i reagowanie na dynamicznie zmieniające się potrzeby akcji ratowniczych.
8. Wypracowanie optymalnych mechanizmów wieloaspektowego zabezpieczenia logistycznego dla rejonu działań ratowniczych i strefy objętej działaniami prewencyjnymi.
9. Wypracowanie propozycji zmian legislacyjnych usprawniających tworzenie i uruchamianie zabezpieczenia logistycznego akcji ratowniczych.
10. Przeprowadzenie demonstracji systemu podczas jednej z wybranych wielopodmiotowych akcji na terenie wybranego województwa.

W materiale *Koncepcja kryteriów wyboru decyzji logistycznych w wielopodmiotowych akcjach ratowniczych* przedstawiono kryteria wyboru decyzji w oparciu o teorię gier. Istotą teorii gier jest wyznaczanie optymalnej strategii w warunkach konfliktu i kooperacji. Jednym z zagadnień, które są rozważane, są gry z naturą. W tego typu grach przeciwnikiem jest natura, która może być również obiektem, człowiekiem czy zagrożeniem. Przeciwnik ten posiada jedną ważną cechę – nie jest zainteresowany wynikiem gry. Strategia działania (nazywana stanem natury), którą podejmie przeciwnik, jest nieprzewidywalna. Zatem gracz, który mierzy się z naturą, powinien w pierwszej kolejności określić istotne dla niego kryteria decyzyjne. Reguła minimalnego żalu (kryterium Savage'a) ma na celu zminimalizowanie żalu podjęcia błędnej decyzji. Według tego kryterium należy zidentyfikować maksymalną wygraną, następnie od tej wartości odjąć pozostałe wartości (wygrane) w kolumnie, tworząc matrycę żalu. W kontekście gry z naturą, gdzie przeciwnikiem jest powódź maksymalną, wygraną jest minimalna strata

W publikacji *Zabezpieczenie logistyczne służb ratowniczych w akcjach przeciwpowodziowych* dokonano analizy zabezpieczenia logistycznego służb ratowniczych biorących udział w akcjach powodziowych, które wystąpiły na terenie Polski w 2010 r., na przykładzie działań Państwowej Straży Pożarnej (PSP). Z analizy dostępnych materiałów źródłowych wynika, że współpraca poszczególnych służb w chwili wystąpienia zagrożenia powodziowego i powodzi jest niezbędna, jednakże niejednokrotnie niesie ze sobą również problemy takie jak brak podglądu w zasoby innych służb. Zdaniem autorów niezmiernie ważne jest stworzenie systemu zabezpieczenia logistycznego wielopodmiotowych akcji ratowniczych, którego głównym zadaniem powinno być podnoszenie efektywności systemu ochrony przeciwpowodziowej w Polsce.

W publikacji *Narzędzie teleinformatyczne wspomagające zarządzanie działaniami logistycznymi podczas prowadzenia długotrwałych i wielopodmiotowych akcji ratowniczych* zaprezentowano nowoczesne oprogramowanie komputerowe w połączeniu z środkami bezprzewodowej telekomunikacji i przenośnymi urządzeniami typu

smartfon i tablet, mogące posłużyć do wspomagania pracy dużej grupy osób zaangażowanych w prowadzenie działań ratowniczych. Szczególnie interesujące jest wspomaganie pracy Kierującego Działaniami Ratowniczymi w czasie długotrwałych akcji ratowniczych, które często charakteryzują się koniecznością koordynacji działań różnych podmiotów, a także grup osób nie wyposażonych we własne środki telekomunikacji. Długi, liczony w dniach a nawet tygodniach, czas działań wysuwa na pierwszy plan konieczność zapewnienia dostaw i realizacji potrzeb logistycznych. Nawet najlepiej przeszkoleni i silnie zmotywowani ludzie nie są w stanie skutecznie działać bez zapewnienia odpowiednich środków, w tym materiałów eksploatacyjnych, paliwa, wody i żywności. Ważna jest również kwestia zakwaterowania osób, w tym osób ewakuowanych. W tego typu działaniach przydatne jest wykorzystanie scentralizowanej bazy danych do szybkiego i automatycznego przeliczania potrzeb logistycznych poszczególnych podmiotów oraz przygotowania raportów i dokumentacji opisującej przebieg prowadzonych działań. Dodatkowym atutem systemu teleinformatycznego jest prezentacja wszystkich danych w czasie rzeczywistym na mapie, co może być niezwykle przydatne do podejmowania szybkich trafnych decyzji.

Rola, jaką odgrywa system logistyczny w Państwowej Straży Pożarnej, ma istotne znaczenie, o nim przekonujemy się w trakcie wykonywanych działań ratowniczo-gaśniczych. Zakłada się, że zabezpieczenie logistyczne działań ratowniczych powiązane jest z akcjami dużymi i długotrwałymi [1], gdy wykorzystujemy w maksymalny sposób możliwości zaplecza logistycznego na potrzeby strażaków-ratowników realizujących zlecone działania. W praktyce każde, nawet najdrobniejsze działanie wymagające interwencji jednostki ratowniczej, uzależnione jest od sprawnie zarządzanego systemu logistycznego. Istotne jest znaczenie zarządzania logistycznego, nie tylko w prawidłowym funkcjonowaniu Państwowej Straży Pożarnej, ale również w kształtowaniu bezpieczeństwa na różnych poziomach zarządzania [2]. Trudno ocenić efektywność systemu logistycznego stosowanego w PSP, wiemy jednak, że wymaga on nieustannej transformacji uwzględniającej wszystkie możliwe rozwiązania w tym zakresie, przy wykorzystaniu najnowszych osiągnięć w tej dziedzinie. Sprawny systemem logistyczny przyczynia się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa, z drugiej strony zaś jest sposobem optymalizacji kosztów. Doświadczenia i wnioski z przeprowadzonych akcji ratowniczo-gaśniczych stały się przyczynkiem do podjęcia próby analizy systemu zarządzania eksploatacją sprzętu, a także zarządzania logistycznego w celu podwyższenia efektywności tworzenia oraz wykorzystania istniejącego potencjału ratowniczego dla potrzeb szeroko rozumianego bezpieczeństwa publicznego (przy zaadaptowaniu najnowszych osiągnięć i rozwiązań w dziedzinie zarządzania logistycznego i procesami eksploatacji) [3–4].

Część III *Innowacyjne systemy gaśnicze w działaniach ratowniczo-gaśniczych* zawiera informacje związane z wykorzystaniem nowych konstrukcji sprzętu w szeroko pojętych działaniach ratowniczo-gaśniczych. W ramach projektu „Mobilny turbinowy system ratowniczo-gaśniczy” realizowanego przez konsorcjum w składzie: Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony

Przeciwpozarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii oraz JAS technologie Sp. z o.o. – jest opracowany demonstrator technologii mobilnego turbinowego systemu ratowniczo-gaśniczego pozwalający na gaszenie pożarów dużych instalacji technologicznych, obiektów wielkokubaturowych oraz pożarów lasów na dużej przestrzeni, a także możliwość wykorzystania w dekontaminacji masowej oraz ograniczaniu rozprzestrzeniania i likwidacji skażeń. W ramach projektu wypracowano rozwiązania systemowe wspierające organizację zabezpieczenia logistycznego długotrwałych akcji ratowniczych – osiągnięto zadowalający stopień spójności i sprawności podmiotów zarządzających zabezpieczeniem logistycznym tych akcji ratowniczych i realizujących je.

Celem działań zespołu projektowego było opracowanie demonstratora technologii na poziomie możliwości zastosowania w przewidywanych warunkach. Ze względu na bardzo duże zainteresowanie gestora posiadaniem sprzętu gotowego do użycia konsorcjum podjęło działanie zmierzające do przygotowania takiego systemu. Znane są rozwiązania zagraniczne turbinowych systemów gaśniczych, jednakże posiadają one szereg ograniczeń, które były wyeliminowane w toku trwania projektu. Demonstrator jest kompatybilny z obecnie używaną armaturą pożarniczą jednostek ratowniczych w Polsce również w zakresie współpracy z samochodami oraz agregatami proskowymi. W ramach projektu zostaną wytworzone:

- mobilny demonstrator turbinowego systemu ratowniczo-gaśniczego posiadający wszelkie niezbędne dopuszczenia konieczne do praktycznego wykorzystania w działaniach ratowniczo-gaśniczych;
- zbiór wymagań certyfikacyjnych dla technologii turbinowych systemów gaśniczych;
- dokumentacja techniczna demonstratora technologii;
- taktyka działań ratowniczo-gaśniczych z wykorzystaniem demonstratora, ze szczególnym uwzględnieniem armatury współdziałającej;
- wyniki badań dotyczące zasięgu i stopnia rozproszenia prądów wody i roztworów wodnych w zależności od dodatków;
- wyniki badań wpływu stopnia rozproszenia neutralizatora na przebieg procesu neutralizacji.

W ramach badania demonstratora i weryfikacji jego funkcjonalności przeprowadzone zostaną badania skuteczności dekontaminacji przy użyciu poszczególnych środków nanoszonych za pomocą turbinowego systemu ratowniczo-gaśniczego, zostaną sporządzone charakterystyki użytkowe pod kątem zasięgu rzutu, skuteczności gaśniczej, charakterystyki chłodniczej podczas działań w obronie, możliwości prowadzenia działań w trudnym terenie oraz współdziałania z dotychczas stosowanym sprzętem pożarniczym.

CZĘŚĆ I

NADZÓR NAD EKSPLOATACJĄ WYBRANYCH OBSZARÓW WYPOSAŻENIA STRAŻY POŻARNEJ W ZAKRESIE NIEZAWODNOŚCI I SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA

JAKOŚĆ I WYDAJNOŚĆ TRANSMISJI DANYCH W SIECI WI-FI MESH WDS SYSTEMU MONITOROWANIA URZĄDZEŃ EKSPLOATOWANYCH W STRAŻY POŻARNEJ

Wojciech Makowski
Rafał Motylewski
Paweł Stosik
Marek Jeliński
Łukasz Apiecionek

Wprowadzenie

Aby umożliwić dozór nad urządzeniami eksploatacyjnymi straży pożarnej, systemy monitoringu wymagają zastosowania rozległych sieci bezprzewodowych. Tego typu łącza pozwalają na ciągłe monitorowanie wykorzystywanego sprzętu na całej powierzchni akcji ratowniczo-gaśniczej.

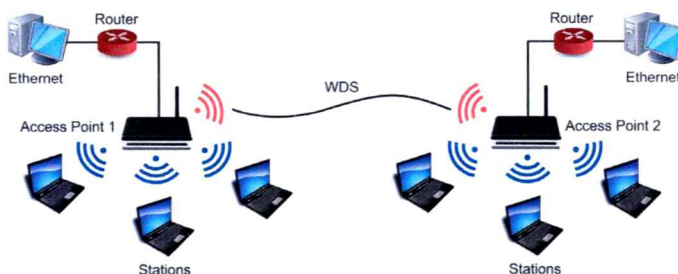
Cechą bezprzewodowych sieci mesh WMN (ang. *Wireless Mesh Network*) są nieruchome, bezprzewodowe węzły przekaźnikowe, tworzące szkielet sieci dla mobilnych węzłów dostępowych.

Przekazywanie danych w sieci mesh odbywa się poprzez wykonanie wielu przeskoków. Podstawową zaletą tego typu sieci jest łatwość rozbudowy. Sieci mesh charakteryzują się także dużą przepustowością oraz umiejętnością reakcji na awarie. Bazą dla rozwiązań typu mesh są routery Wi-Fi, które działają w układzie *Infrastructure/Backbone*, gdzie punkty dostępowe tworzą (w formie *Infrastructure*) strefy dostępu dla klientów. Transmisję w szkielecie sieci (ang. *backbone*) zapewniają specjalistyczne routery wykorzystujące przynajmniej dwie karty sieciowe. Druga generacja sieci typu mesh cechuje się wykorzystaniem urządzeń posiadających dwa interfejsy sieciowe. Pierwszy z nich, działający w paśmie 2,4 GHz, służy do połączenia pomiędzy routerem a klientami. Drugi, na pasmach z zakresu 5 GHz łączy się z innymi węzłami. Wieloetapowa transmisja danych pomiędzy węzłami wykonywana jest poprzez tzw. przeskoki. Węzły sieci mesh trzeciej generacji wyposażone są nawet w sześć kart sieciowych, co umożliwia wielokanałową pracę, jednocześnie na wielu interfejsach radiowych. W ten sposób możliwa do uzyskania jest łączność typu *full-duplex* w nieinterferujących kanałach radiowych. Transmitowanie ramek z węzła szkieletowego sieci jest zapewnione w warstwie 1 i 2 modelu OSI, w przeciwieństwie do dotychczasowych rozwiązań poprzez optymalizację protokołów routingu w warstwie 3.

Sieć MESH WDS

Jednym z rozwiązań sieci typu mesh jest WDS (ang. *Wireless Distribution System*). Technologia ta wykorzystuje własny protokół HWMP+ (ang. *Hybrid Wireless Mesh Protocol+*), którego głównym zadaniem jest zapewnienie optymalnego routingu z ominięciem pętli w sieci mesh. Protokół HWMP+ działa w drugiej warstwie modelu OSI. Jest on podobny do protokołu HWMP, którego opis zawarto w standardzie IEEE 802.11s [1]. Powyższe protokoły nie są ze sobą kompatybilne ze względu na różnice w architekturze.

WDS to technologia pozwalająca na tworzenie bezprzewodowego mostu pomiędzy urządzeniami sieciowymi pracującymi w standardzie Wi-Fi. Gdy punkt dostępowy lub bezprzewodowy router posiadają funkcję WDS, możliwe jest bezprzewodowe łączenie tych urządzeń – drugi punkt dostępowy otrzymuje sygnał od pierwszego, wzmacnia go i rozsyła dalej w granicach swojego zasięgu. Przykładowa architektura sieci wykorzystującej WDS została przedstawiona na rysunku 1.



Rysunek 1. Przykładowa architektura technologii WDS

Źródło: opracowanie własne

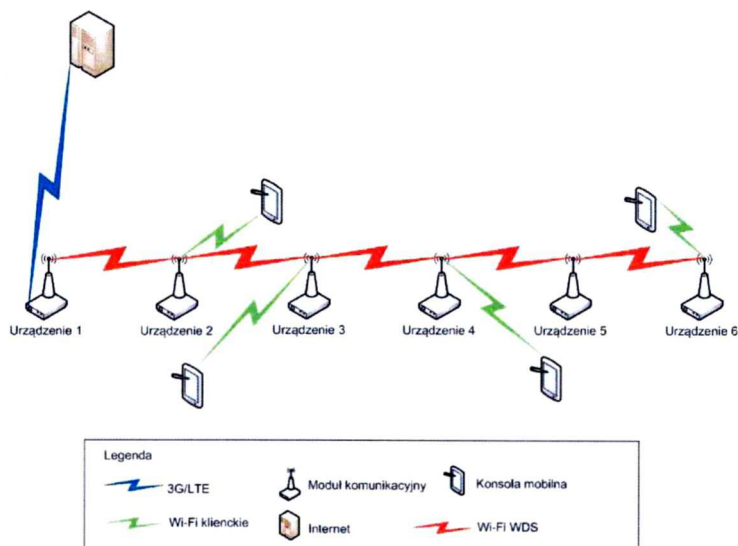
Główne założenia sieci typu WDS są następujące:

- punkt dostępowy 1 jest jednocześnie urządzeniem brzegowym i serwerem DHCP dla punktu dostępowego 2;
- wszystkie punkty dostępowe:
 - są w tej samej sieci LAN;
 - mają taki sam SSID (*identyfikator sieciowy*) oraz klucz zabezpieczający;
 - rozgłaszane są na tym samym kanale radiowym.

Urządzenia działające w trybie WDS cechują się możliwością jednoczesnej pracy jako punkt dostępowy, a także most bezprzewodowy pomiędzy innymi punktami dostępowymi. Rozwiązanie to pozwala na tworzenie szkieletu sieci o wielu strukturach. Zaletą sieci bezprzewodowej wykorzystującej tryb WDS jest znacznie większy obszar zasięgu, jaki może osiągnąć sieć bez konieczności zmiany anteny na większą o silniejszym sygnale.

W ramach projektu „Opracowanie metodologii stałego nadzoru eksploatacji wybranych obszarów wyposażenia straży pożarnej w zakresie niezawodności i skuteczności działania” (nazywanego *Monitoring*) zbudowano Moduł Komunikacji wykorzystujący

technologię WDS [2]. Podczas trwania projektu dokonano badań nad omawianą technologią przy pomocy zbudowanego demonstratora. Przykładowa architektura systemu wykorzystanego podczas badań została przedstawiona na rysunku 2.



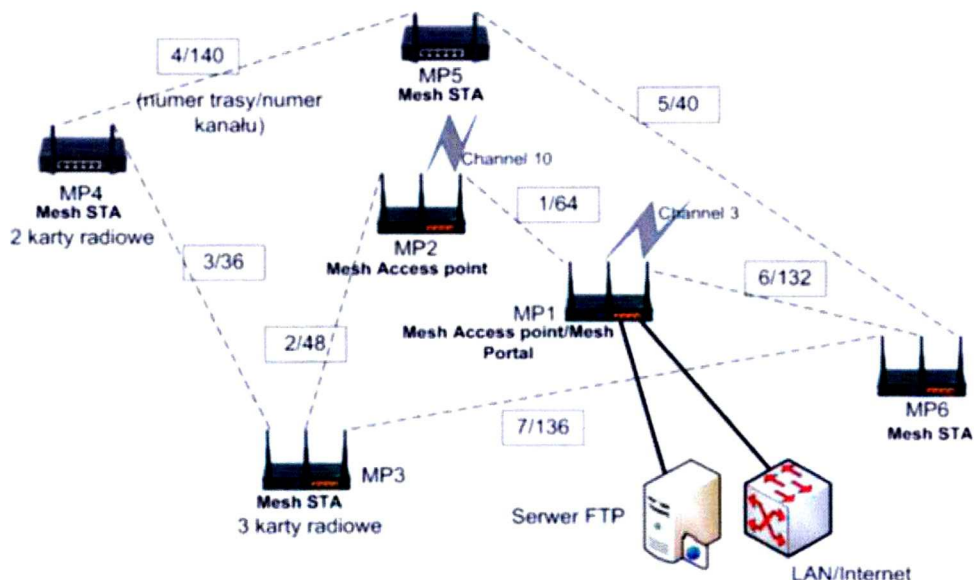
Rysunek 2. Architektura badanego systemu [3]

Podstawowym medium łączności pomiędzy Modułami Komunikacji jest Wi-Fi pracujące w trybie WDS. Połączone w ten sposób routery Modułu Komunikacji tworzą jedną sieć mesh na terenie akcji ratowniczo-gaśniczej. Do tej sieci, poprzez Wi-Fi kliencie, podłączone są konsole mobilne. Dostęp do publicznej sieci Internet umożliwia modem 3G/LTE jednego z Modułów Komunikacji. Jeżeli urządzenie 6 wykorzystywane podczas akcji ratowniczo-gaśniczej będzie znajdowało się na terenach pozbawionych zasięgu sieci 3G/LTE, a urządzenie 1 będzie pracować w tej sieci, monitoring lokalnych urządzeń PSP będzie możliwy dzięki zastosowaniu bezprzewodowej sieci Wi-Fi.

Analiza badań technologii WDS

Technologia bezprzewodowa sieci typu mesh WDS została przetestowana przez badaczy z Politechniki Opolskiej. Autor publikacji *Badania wpływu transmisji wieloskokowej na wartość wybranych parametrów oceny wydajności bezprzewodowej sieci kratowej* [4] wykonał szereg badań eksploatacyjnych transmisji sieciowej. W ramach testów zbudowana została sieć typu mesh, umożliwiająca przeprowadzenie badań i doświadczeń w terenie otwartym oraz na kampusie Politechniki Opolskiej. Do jej budowy wykorzystano 6 routerów RouterBOARD 433AH firmy Mikrotik wyposażonych w trzy niezależne interfejsy sieciowe standardu IEEE 802.11 a/b/g/n. Umożliwiło to wykorzystanie trzech różnych kanałów radiowych. Aby zapewnić

funkcjonalność przesyłania plików w sieci oraz przeprowadzenia badań wydajności transmisji, do sieci przyłączono serwer FTP. Architektura środowiska sieciowego, przedstawiona na rysunku 3, pozwoliła na badanie wydajności transmisji w zależności od: liczby przeskoków, doboru parametrów kształtujących transmisję radiową oraz rodzaju protokołu warstwy czwartej modelu OSI [4].



Rysunek 3. Testowa sieć Wi-Fi WDS zainstalowana w kampusie nr 1 Politechniki Opolskiej z ponumerowanymi trasami szkieletu sieci oraz numerami kanałów radiowych [4]

Podczas testów wykonano wiele badań eksploatacyjnych transmisji sieciowej. Dotyczyły one określenia wpływu wyboru protokołu warstwy sieciowej TCP oraz UDP na wydajność transmisji w sieci typu mesh. Każde badanie trwało 30 sekund, rozmiar pakietu dla obydwu protokołów został ustawiony na 1500 bajtów. W ramach testów została zmierzona przepustowość łącza oraz liczba utraconych podczas transmisji pakietów. Badania zostały przeprowadzone dla 1–4 oraz 5 przeskoków pomiędzy routerami [4].

Podczas badania transmisji z wykorzystaniem protokołu TCP nie zaobserwowano utraty pakietów. Średnia liczba pakietów straconych w czasie 1 s dla protokołu UDP wynosiła 250 [4].

Zastosowanie protokołu TCP obniżyło prędkość transmisji danych o około 6 Mb/s w stosunku do transmisji wykorzystującej protokół UDP, jest to jednak strata rekompensowana niższym współczynnikiem strat pakietów. Testy dowiodły, że liczba utraconych danych może zostać znacznie zmniejszona dzięki zastosowaniu mechanizmów wykorzystywanych w protokole połączeniowym TCP. Podczas testu trwającego 5 minut, mechanizm retransmisji został zastosowany 35 razy dla każdej trasy wyznaczonej przez przeskok [4].

Wraz ze wzrostem liczby przeskoków zauważono spadek przepustowości łącza. Przy przesłaniu danych za pomocą dwóch przeskoków przepustowość łącza wyniosła tylko 10,9 Mb/s. Wzrost liczby przeskoków do pięciu spowodował gwałtowny spadek przepustowości łącza do zaledwie 2 Mb/s [4].

Przedstawione powyżej wyniki badań sieci mesh zbudowanej na Politechnice Opolskiej potwierdziły, że obecnie zostały stworzone podstawy do realizacji rozległego środowiska sieciowego, w którym przełączanie transmisji pomiędzy węzłami jest prowadzone z wykorzystaniem niezależnych kanałów radiowych. Pozwala ono na uzyskanie wydajnej komunikacji sieciowej nawet po wykonaniu pięciu przeskoków. Przeprowadzone badania wydajności wieloetapowych transmisji danych pokazały, że wartość przepustowości transmisji w szkielecie sieci nie zmniejsza się po wykonaniu kolejnych skoków, a wartość opóźnienia transmisji osiągnięta nawet po pięciu skokach jest wystarczająca do zapewnienia prowadzenia rozmów VoIP [4].

Moduł komunikacji wykorzystujący WDS

Do przeprowadzenia badań wykorzystano urządzenia łączności powstałe podczas projektu *Monitoring* [2].

Moduł Komunikacji to podstawowe urządzenie sieciowe zapewniające łączność pomiędzy wszystkimi elementami systemu. Pozwala on na łączność z lokalną siecią Wi-Fi WDS, a także z siecią Internet poprzez zastosowany interfejs 3G/LTE.

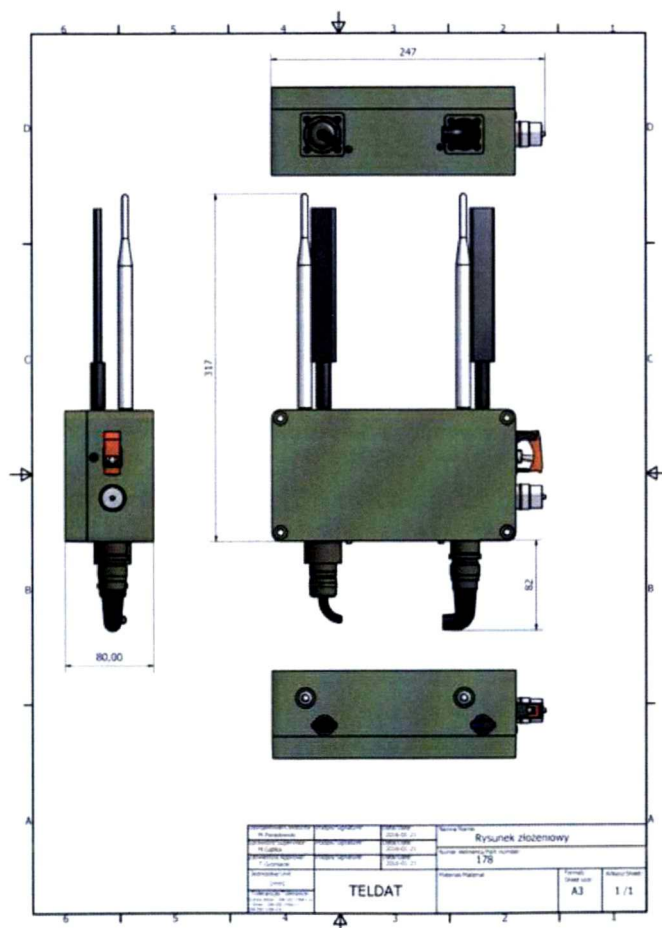
Moduł Komunikacji składa się z dwóch głównych elementów, zabudowanych w ragedyzowanej obudowie. Są to: modem 3G/LTE i router WDS [5].

Elementy te zostały umieszczone w obudowie odpornej na zachłapania. Zastosowano także technologię pozwalającą na pracę urządzenia podczas wstrząsów, np. generowanych przez motopompy. Moduł Komunikacji posiada wyprowadzone cztery anteny: dwie Wi-Fi oraz dwie sieci komórkowej, które umożliwiają uzyskanie lepszych osiągnięć tej sieci oraz poprawiają zasięg modemu. Na dłuższej ścianie bocznej znajduje się złącze zasilania oraz Ethernet. Umieszczona została także dioda LED, sygnalizująca status włączenia i wyłączenia urządzenia. Moduł Komunikacji wyposażono również w bezpiecznik chroniący przed uszkodzeniami związanymi ze skokami napięcia.

Modem jest urządzeniem sieciowym modelującym sygnał w celu zakodowania informacji cyfrowych, tak aby mogły być przesyłane w wybranym medium transmisyjnym. Demoduluje on także zakodowany sygnał w celu dekodowania odbieranych danych. Modem Modułu Komunikacji umożliwia bezprzewodowy dostęp do sieci Internet. Zadaniem tego urządzenia jest nawiązanie połączenia GSM, może on pracować w trybie sieci 3G lub LTE, w zależności od zasięgu dostępnej sieci. Preferowaną siecią jest LTE, zapewniająca lepszą jakość oraz wyższą prędkość transmisji danych niż 3G. W przypadku braku lub bardzo słabego zasięgu, uniemożliwiającego prawidłowe funkcjonowanie podsystemu transmisyjnego, modem będzie pracował w dostępnej sieci 3G.

Router to urządzenie komunikacyjne służące do sprzęgania sieci cyfrowych. Jego zadaniem jest połączenie sieci w jednolitą całość. Umożliwia on współdzielenie łącza sieciowego przez kilku użytkowników. Urządzenie to jest zgodne ze standardem IEEE 802.11n, co oznacza że pozwala tworzyć bezprzewodowe sieci o prędkości transmisji 300Mb/s, ograniczając straty sygnału powstałe na skutek dużych odległości lub przeszkód (stalowych lub betonowych ścian budynków). Ponadto, w porównaniu do produktów starszego standardu 11g, routery 11n umożliwiają transmisję sygnału bezprzewodowego na znacznie dalsze odległości. Standard ten pozwala na efektywne wykorzystanie nie tylko sieci 3G, ale także 4G/LTE [6]. Za bezpieczeństwo transmisji bezprzewodowej w sieci LAN rozgłaszanej przez router odpowiada szyfrowanie WPA i WPA2 [7]. Router Modułu Komunikacji wspiera technologię WDS.

Rysunek 4 przedstawia projekt konstrukcyjny Modułu Komunikacji wykonany przez inżynierów firmy TELDAT. Na rysunku 5 widać Moduł Komunikacji podczas testów wibracyjnych.



Rysunek 4. Moduł Komunikacji – rysunek złożeniowy [5]

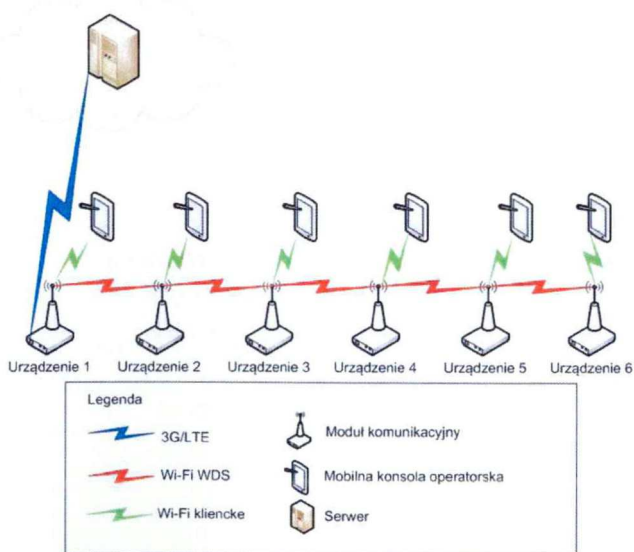


Rysunek 5. Moduł Komunikacji – testy wibracyjne [3]

Badania nad WDS

W procesie badań nad WDS wykorzystano omawiany Moduł Komunikacji oraz aplikację *IPerf*. Jest to narzędzie do pomiaru wydajności łącza. Aplikacja ta dostępna jest dla wielu systemów operacyjnych, w tym dla systemów Windows (jako JPerf) oraz Android. Dzięki jej multiplatformowości badania łącza są możliwe zarówno na urządzeniach przenośnych, jak i stacjonarnych [3].

Sprzęt laboratoryjny stanowiło sześć Modułów Komunikacji połączonych ze sobą za pomocą WDS, jak przedstawia rysunek 6. W tabeli 1 zamieszczono konfigurację sieci laboratoryjnej.



Rysunek 6. Architektura sieci laboratoryjnej

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1. Adresacja LAN routerów WDS [3]

Numer urządzenia	Adres IP
PM-MK-01	192.168.0.1
PM-MK-02	192.168.0.2
PM-MK-03	192.168.0.3
PM-MK-04	192.168.0.4
PM-MK-05	192.168.0.5
PM-MK-06	192.168.0.6

Źródło: Opracowanie własne

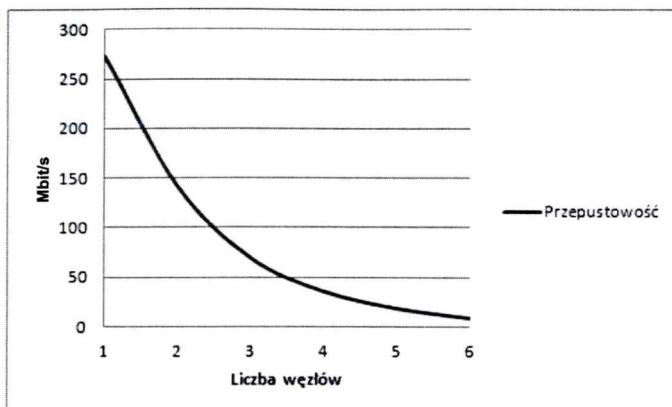
Pierwsze urządzenie, o numerze PM-MK-01 stanowiło Access Point do sieci Internet poprzez wbudowany modem GSM. Kolejne urządzenia były ze sobą połączone za pomocą technologii WDS na zasadzie łańcucha. Utworzona sieć miała jednakowe SSID. Za bezpieczeństwo odpowiadało hasło szyfrowane przy użyciu protokołu WPA2 [7]. Sieć rozgłaszana była na kanale 7, routery rozstawiono, tak aby były w zasięgu wyłącznie sąsiedzkich urządzeń. Podczas badań nie odnotowano zakłóceń spowodowanych przez inne sieci Wi-Fi [3].

Badania nad niezawodnością połączeń pozwoliły ocenić, czy wszystkie mosty bezprzewodowe WDS zostały prawidłowo zestawione. W tym celu sprawdzono integralność pakietów danych przy pomocy protokołu ICMP. Do sieci rozgłaszanej przez ostatnie urządzenie, PM-MK-06, zostało przyłączone urządzenie mobilne. Za jego pośrednictwem wysłano polecenie PING na adres 192.168.0.1. Wszystkie pakiety zwrotne otrzymano, opóźnienia, które wystąpiły były minimalne, rzędu 1ms. Następnie podłączono kolejne urządzenie mobilne do sieci rozgłaszanej przez urządzenie PM-MK-01. Na obu tabletach uruchomiony został program IPerf. Jeden z tabletów działał jako serwer, drugi jako klient. Czynność tę powtarzano, odłączając kolejno ostatnie ogniwa łańcucha. W ten sposób sprawdzono przepustowość łącza w sieci lokalnej. Rezultaty tych badań prezentuje tabela 2 oraz wykres na rysunku 7.

Tabela 2. Wyniki badań

Liczba węzłów	Przepustowość [Mbit/s]
1	272,81
2	141,54
3	69,35
4	35,48
5	18,45
6	8,62

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 7. Spadek przepustowości w stosunku do liczby węzłów

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

Podczas testów zauważono tendencję spadkową prędkości transmisji po podłączeniu większej liczby urządzeń. Utworzenie każdego kolejnego mostu bezprzewodowego WDS powodowało spadek prędkości transmisji o blisko połowę. Przepustowość 8,62 Mbit/s osiągnięta przy wykorzystaniu maksymalnej liczby sześciu routerów jest wystarczająca, aby prowadzić pomiędzy nimi *streaming* obrazu, nawet w jakości HD.

Zastosowanie protokołu WDS pozwala na sprawne przesyłanie danych w sieci lokalnej systemu monitorowania. Dzięki jego zastosowaniu dowódca ma pełny wgląd w czasie zbliżonym do rzeczywistego do parametrów i statusu wszystkich urządzeń wykorzystywanych podczas prowadzonej akcji ratowniczo-gaśniczej, na całej powierzchni objętej operacją.

Zarządzanie odgrywa coraz większą rolę we współczesnych formach kierowania. W odniesieniu do służb ratowniczych widać, iż pojawiające się różne zagrożenia wymuszają potrzebę systemowego przygotowania i wdrażania nowych, skutecznych form organizacji działań oraz likwidacji skutków zagrożeń. Możemy doskonalić nasze systemy decyzyjne, tak aby spełniały swoją rolę w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa publicznego w każdej postaci. W odniesieniu do prowadzonych akcji ratowniczych może to być zmiana sposobu pojmowania zarządzania logistycznego jako zbioru uporządkowanych działań po wystąpieniu danego zdarzenia oraz przygotowania się na wypadek nadejścia sytuacji kryzysowej. Od sprawnego zarządzania logistycznego oraz nadzoru eksploatacji zależeć będzie możliwość współpracy podmiotów ratowniczych uczestniczących w działaniach ratowniczych. Z tego też względu tak ważne jest pozyskiwanie niezbędnych informacji w czasie rzeczywistym, dla racjonalnego i technicznie uzasadnionego zarządzania eksploatacją, działaniami logistycznymi oraz pozyskiwania niezbędnych informacji pod kątem ich wykorzystanych w tworzonych systemach informatycznych wspomagających organizację działań.

ISBN 978-83-61520-75-7

DOI: 10.17381/2016.7

Wydawnictwo CNBOP-PIB

www.cnbop.pl

