

Wojciech Kamiński, Antoni Masiukiewicz  
Akademia Finansów i Biznesu Vistula – Warszawa

# ANALIZA NIEZAWODNOŚCI SIECI WI-FI WYKORZYSTUJĄCEJ PUNKTY DOSTĘPowe AEROHIVE

## Streszczenie

W artykule przedstawiono projekt sieci bezprzewodowej Wi-Fi oparty na punktach dostępowych Aerohive 130. Przeprowadzono analizę niezawodności zaprojektowanej sieci w sytuacji, której mamy do czynienia z awarią jednego lub dwóch punktów dostępowych. Przeanalizowano szereg scenariuszy oraz wykonano symulację z wykorzystaniem narzędzi do projektowania sieci Aerohive On-line Wi-Fi Planner oraz Hive Manager. Wykonano pomiary siły sygnału zaprojektowanej sieci przy użyciu programu Ekahau Heat Mapper. Przedstawiono analizę ryzyka dla wybranych scenariuszy. Zastosowanie trzech punktów dostępowych Aerohive 130 pozwala na uzyskanie odpowiedniego pokrycia sieci i akceptowalnego poziomu ryzyka związanego z wystąpieniem awarii punktu dostępowego.

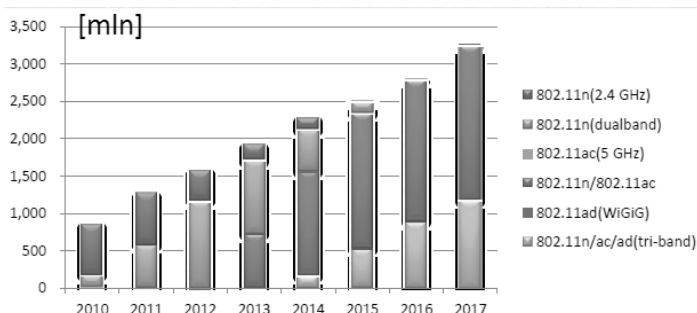
**Słowa kluczowe:** punkt dostępowy, prędkość transmisji, zasięg sieci Wi-Fi.

**Kody JEL:** L86

## Wstęp

Sieci bezprzewodowe Wi-Fi zyskują ciągle na popularności jako rozwiązanie wykorzystywane przy budowie sieci lokalnych. W stosunku do sieci kablowych mają wiele zalet, a rozwój standardu zapewnia coraz wyższą prędkość transmisji nieodlegającą od prędkości w sieciach przewodowych w standardzie Ethernet. Pierwsze stabilne wersje standardu 802.11 udostępniono w 1997 roku (Hiertz 2010). Wykorzystanie ogólnie dostępnych częstotliwości w pasmach ISM pozwoliło na szybki rozwój tej technologii. Początkowo była to alternatywa dla technologii bezprzewodowych, potem jako końcówka zapewniająca dostęp do Internetu w sieciach domowych. Obecnie mamy 7 pełnych standardów i kilkadziesiąt opcji, które wprowadzają wybrane funkcjonalności. Obecnie do dwóch najpopularniejszych standardów 802.11 należą wersje n i ac. Wersje te zostały ostatecznie wdrożone odpowiednio w latach 2009 i 2013. Na rysunku 1 pokazano wolumen produkcji różnych typów chipsetów obsługujących technologie 802.11 (Abdul-Magd 2014).

**Rysunek 1. Zmiany w wolumenie produkcji chipsetów w różnych wersjach standardu 802.11**



Źródło: Abdul-Magd (2014).

O ile ciągle wykorzystywane są urządzenia Wi-Fi zawierające starsze wersje standardu, o tyle od 2015 roku produkcja została zdominowana przez urządzenia dwu- n+ac i trójsystemowe n+ac+ad. Wydaje się, że okres dominacji tych systemów dobiegnie końca z końcem dekady. Nowe wymagania dotyczące Wi-Fi związane z nowymi perspektywami wykorzystania tej technologii spowodowały intensywne prace nad kolejną pełną wersją standardu o nazwie 802.11ax. Pomimo, iż standard wykorzystuje pasma ISM i był w pewnym sensie dedykowany użytkownikom indywidualnym, to jego zalety spowodowały zainteresowanie firm oferujących rozwiązania komunikacyjne. Ocenia się (Bellata 2015; 2017), że koniec dekady przyniesie znaczący wzrost zapotrzebowania na sieci Wi-Fi, ale takie, które sprostać nowym wymaganiom. Wymagania te określa się skrótem HEW (ang. High Efficiency WLAN). Odnoszą się one do przyszłych zastosowań Wi-Fi. Przewiduje się (Bellata 2015; 2017), że Wi-Fi będzie coraz powszechniej wykorzystywane do zapewnienia bieżącej komunikacji w wielu środowiskach takich jak stadiony, komunikacja miejska, budynki o dużym zagęszczeniu użytkowników.

W tabeli 1 zestawiono parametry kilku najważniejszych obecnie standardów 802.11.

Kombinacja Standardów 802.11n i ac pozwala na nadawanie w dwóch pasmach oraz znaczący wzrost przepływności (802.11ac).

W artykule przedstawiono wybrane aspekty projektu sieci bezprzewodowej dla biura o powierzchni użytkowej ok. 200 m<sup>2</sup> składającego się z czterech pomieszczeń A, B, C, D. Do budowy sieci wykorzystano punkty dostępowe firmy Aerohive pracujące w standardzie 802.11n/ac. Firma Aerohive wyposażyla swoje punkty dostępowe w wiele funkcjonalności dodatkowych w stosunku do wymagań zapisanych w standardzie, które poprawiają bezpieczeństwo i niezawodność sieci.

**Tabela 1 Wybrane parametry najważniejszych standardów 802.11**

Nazwa	Data udostępnienia	Opis
802.11n	2009	Technologia DL SU MIMO, agregacja pakietów, łączenie kanałów, modulacja 64 QAM, kanał o szerokości 40 MHz, krótki czas ochronny, pasmo 2.4 i 5 GHz
802.11ad	2012	Pasmo 60 GHz, przepływność na poziomie 4620 Mbit/s, szerokość kanału 2.16 GHz, 4 nienakładające się kanały, jeden użytkownik
802.11ac	2013	Pasmo 5 GHz, DL MU MIMO, przepływność na poziomie 1 GHz, modulacja 256 QAM, kanały o szerokości 20, 40, 80 i 160 MHz
802.11ax	2019*	Pasmo 2.4 i 5 GHz, kanały 20, 40, 80, 160 MHz, modulacja 1024 QAM, nadawanie w systemie OFDMA, DL i UL MU MIMO, różne kategorie transmisji, full duplex?

\*Końcowa specyfikacja standardu jest oczekiwana w 2019 roku.

Źródło: opracowanie własne.

W artykule przedstawiono kolejno porównanie parametrów punktów dostępowych Aerohive, wybrane funkcje poprawiające bezpieczeństwo i niezawodność sieci, projekt sieci z wykorzystaniem punktów dostępowych Aerohive 130 oraz testy niezawodności sieci wraz z analizą ryzyka.

## Punkty dostępowe Aerohive

Aerohive Networks, to amerykańska firma zajmująca się sprzętem sieciowym z siedzibą w Milpitas w Kalifornii. Firma została założona w 2006 roku i tworzy urządzenia głównie do sieci bezprzewodowych dla średnich i dużych firm. Aerohive oferuje 13 różnych modeli punktów dostępowych. W tabeli 2 przedstawiono porównanie czterech wybranych punktów dostępowych.

Wszystkie urządzenia obsługują częstotliwości 2,4 i 5 GHz. Zarówno AP122, jak i AP130 mają zbliżone parametry, obsługują te same wersje standardu 802.11 oraz mają ten sam maksymalny transfer. Punkty dostępowe AP230 oraz AP250 w stosunku do AP130 są zaopatrzone w podwójne złącza RJ-45 służące do agregacji. Agregacja pozwala na jednoczesne łączenie przewodem dwóch punktów w jedno połączenie logiczne, przez co transfer zwiększa się blisko dwukrotnie.

Przewagą rozwiązań Aerohive nad konkurencją jest specjalny protokół, który wykorzystywany jest w celu konfiguracji urządzenia. Aerohive pozwala na rozmieszczanie punktów dostępowych, routerów i przełączników za pomocą aplikacji Aerohive Online Wi-Fi Planner i Redirector. Redirector przy użyciu aplikacji HiveManager opartej na rozwiązaniach chmurowych umożliwia skonfigurowanie urządzeń Aerohive w wielu miejscach na świecie (np. w filiach i oddziałach zagranicznych) w ciągu kilku minut. Rozwiązanie to radykalnie obniża koszty operacyjne organizacji oraz czas potrzebny na uruchomienie urządzeń. Unikalna funkcja powoduje, że wstępna konfiguracja jest niepotrzeb-

na, ponieważ inteligentna chmura Aerohive przekierowuje każde urządzenie Aerohive do platformy zarządzającej HiveManager, niezależnie od tego, czy platforma znajduje się w chmurze Aerohive, czy na lokalnym serwerze.

**Tabela 2. Porównanie parametrów wybranych punktów dostępowych Aerohive**

Model	AP122	AP130	AP230	AP250
Specyfikacje radiowe	2x Zintegrowana jednopasmowa, Anteny dookólne 2,4-2,5 GHz	2x Zintegrowane pojedyncze pasmo, 2,4-2,5 GHz Anteny dookólne	3x zintegrowane, jednopasmowe, anteny dookólne 2,4-2,5 GHz	6 + 2 wewnętrznych anten Wi-Fi zapewniających różnorodność przestrzenną i polaryzacyjną
	2x Zintegrowana jednopasmowa antena dookólna 5.1-5.8 GHz	2x Zintegrowane pojedyncze pasmo, 5,1-5,8 GHz Anteny dookólne	3x zintegrowane, jednopasmowe, anteny dookólne 5.1-5.8 GHz	1x wewnętrzna antena BLE
	1x wewnętrzna antena BLE (Bluetooth Low Energy)			
Obsługiwane standardy Wi-Fi	802.11 a/b/g/n/ac	802.11 a/b/g/n/ac	802.11 a/b/g/n/ac	802.11 a/b/g/n/ac
Interfejsy	Port RJ-45 10/100/1000 PoE (PoE 802.3af)	Port RJ-45 10/100/1000 PoE (PoE 802.3af)	2x Porty Dual GbE z agregacją linków	2x Porty Dual GbE z agregacją linków
	Port RJ-45 do konsoli	Port RJ-45 do konsoli	Port RJ-45 do konsoli	Port RJ-45 do konsoli
	Port USB 2.0		Port USB 2.0	Port USB 2.0
Funkcjonalność	TPM – sprzętowe przechowywanie i szyfrowanie kluczy	TPM – sprzętowe przechowywanie i szyfrowanie kluczy	TPM – sprzętowe przechowywanie i szyfrowanie kluczy	TPM – sprzętowe przechowywanie i szyfrowanie kluczy
	Obsługa MIMO przy częstotliwości 2,4 i 5 GHz na dwóch antenach	Obsługa MIMO przy częstotliwości 2,4 i 5 GHz na dwóch antenach	Obsługa MIMO przy częstotliwości 2,4 i 5 GHz na trzech antenach	Obsługa MIMO przy częstotliwości 2,4 i 5 GHz na trzech antenach
	Wbudowany moduł Bluetooth Low Energy dla iBeacon (technologie nawigacyjna)			Technologia 3x3 Wave 2 802.11ac z Możliwością MU-MIMO i 3 strumienie przestrzenne
Maksymalny transfer – dane producenta	802.11n – 300Mbps	802.11n – 300Mbps	802.11n – 450Mbps	802.11n – 450Mbps
	802.11ac – 867Mbps	802.11ac – 867Mbps	802.11ac – 1300Mbps	802.11ac – 2600Mbps

Źródło: jak w tabeli 1.

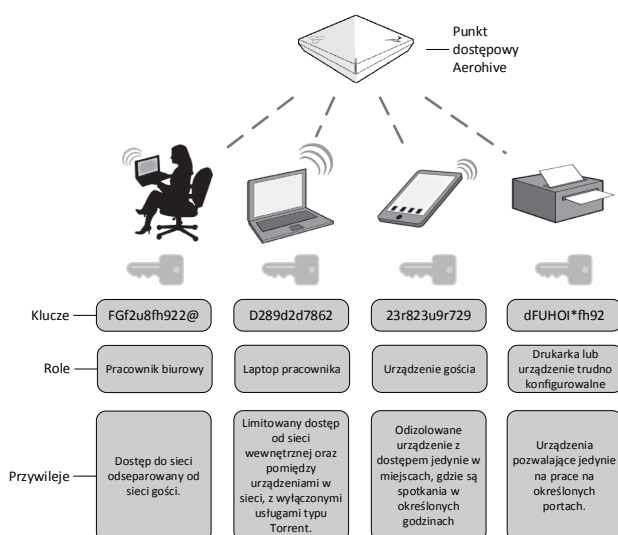
Do projektu niezawodnej sieci Wi-Fi wybrano urządzenia producenta Aerohive Networks. Spośród czterech modeli tego producenta wybrano punkt dostępowy AP130. Urządzenie to ma np. funkcję Aerohive Networks Cooperative Control Protocols, pozwalającą na współpracę punktów dostępowych

między sobą zapewniając synchronizację sesji oraz Aerohive Channel Selection Protocol, która analizując zakłócenia oraz sygnały pobliskich sieci dostosowuje ustawienia kanału transmisji i/lub mocy w celu zapewnienia ciągłości działania sieci. Aerohive posiada również funkcje PPSK (ang. Private Pre-Shared Key) zwiększającą bezpieczeństwo i wygodę zarządzania siecią bezprzewodową. Każdy użytkownik ma własny klucz dostępowy do sieci PPSK, np. w przypadku odejścia pracownika z pracy kasuje się jego konto bez potrzeby zmiany hasła na wszystkich urządzeniach, w których obowiązuje klucz PSK.

## Funkcje punktów dostępowych Aerohive zwiększające bezpieczeństwo i niezawodność sieci

Punkty dostępowe Aerohive mają funkcje zwiększające bezpieczeństwo, a co za tym idzie niezawodność sieci. Szczególne znaczenie ma funkcja PPSK (ang. Private Pre-Shared Key). W odróżnieniu od jednego klucza PSK, w celu zalogowania się do sieci Wi-Fi utworzone są klucze prywatne PPSK, które są unikalnymi kluczami stworzonymi dla osób lub grup użytkowników dla sieci o tej samej nazwie SSID. Pozwala to na przykład na łatwe odwołanie dostępu dla pojedynczego urządzenia w sieci, bez konieczności ingerencji w ustawienia innych użytkowników i urządzeń (aerohive 2018a). Na rysunku 2 pokazano możliwości wykorzystania szyfrowania do rozdzielania uprawnień różnych użytkowników stosowane w rozwiązaniach Aerohive.

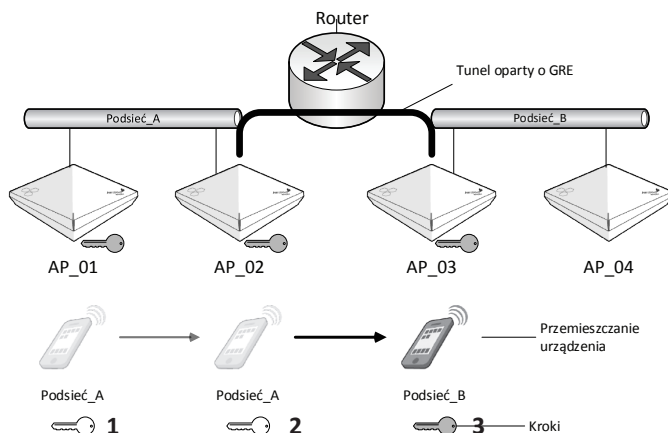
Rysunek 2. Sposób wykorzystania funkcjonalności PPSK w sieci bezprzewodowej wykorzystującej punkty dostępowe Aerohive



Źródło: opracowanie własne.

Zgodnie z rysunkiem, funkcja PPSK daje możliwość przydzielenia w jednej sieci SSID wielu kluczy pozwalających na połączenie z daną siecią. Kolejną przydatną funkcją jest ANCCP (ang. Aerohive Networks Cooperative Control Protocols). Funkcja ta opiera się na protokole DNX (ang. Dynamic Network Extension Protocol), który w czasie przemieszczania się użytkownika między punktami dostępowymi będzie dynamicznie ustanawiać tunel od nowego urządzenia do tego, z którym pierwotnie był połączony. W przypadku tradycyjnych sieci przemieszczanie się użytkownika z podsieci do innej podsieci powoduje zmianę ustawienia IP, co zazwyczaj prowadzi do utraty sesji i przerwania działania aplikacji opartych na protokole IP (aerohive 2018b). Protokół DNX umożliwia użytkownikom zachowanie ustawień IP i połączeń sieciowych podczas przemieszczania się w obrębie wielu punktów dostępowych. Ruch użytkownika jest tunelowany z powrotem do jego oryginalnej podsieci, co pozwala klientom zachować takie ustawienia, jak adres IP, stan uwierzytelnienia, klucze szyfrowania, sesje zapory i ustawienia wymuszania. Jest to szczególnie ważne w przypadku użytkowników korzystających z aplikacji głosowych i wideo (aerohive 2018c). Rysunek 3 obrazuje działanie mechanizmu pozwalającego na przemieszczanie się pomiędzy punktami dostępowymi AP\_01, AP\_02, AP\_03 i AP\_04 bez utraty sesji.

Rysunek 3. Diagram działania DNX



Źródło: jak w rysunku 2.

W czasie, gdy urządzenie jest przemieszczane z punktu dostępowego AP\_02 do AP\_03, punkt AP\_03 posiada już wszystkie informacje potrzebne do tunelowania dozwolonego ruchu przez tunel GRE (ang. Generic Routing Encapsulation) do AP\_02 w oryginalnej podsieci A klienta. Jest to możliwe, ponieważ tożsamość klienta i kluczowe informacje są aktywnie synchronizowane między sąsiednimi punktami dostępowymi. Takie działanie pozwala

urządzeniu utrzymać jego adres IP i aktywne sesje podczas przemieszczania się. Punkt AP\_03 automatycznie przekazuje dalej informacje dotyczące klienta do AP\_04 w oczekiwaniu na możliwe dalsze przemieszczanie urządzenia klienta.

Punkty dostępowe, Aerohive posiadają dodatkowe zabezpieczenia poprawiające bezpieczeństwo. Przykładem takiego zabezpieczenia jest zastosowanie w urządzeniu modułu TPM (ang. Trusted Platform Module). Moduł TPM oparty na mikrokontrolerze jest wbudowany w punkt Aerohive i przechowuje klucze, cyfrowe certyfikaty i hasła. Moduł ten na urządzeniu Aerohive szyfruje poświadczenia sieciowe, informacje uwierzytelniające użytkownika i klucze zabezpieczające sieć. Dodatkowo w przypadku, gdy urządzenie zostanie poddane manipulacji TPM automatycznie kasuje wszystkie poufne informacje.

Funkcje urządzeń Aerohive, które wspomagają zabezpieczenie sieci bezprzewodowych to m.in.:

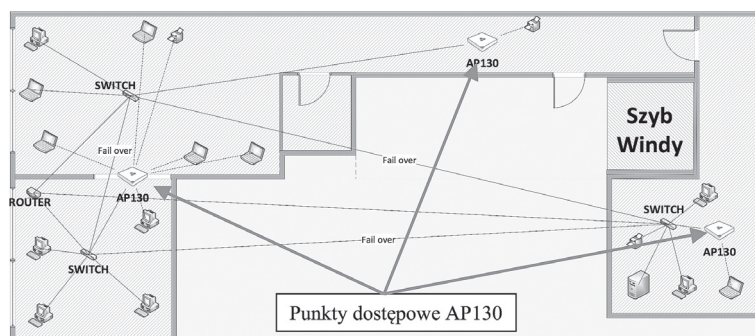
- WIPS – wykrywanie nieautoryzowanego punktu dostępowego;
- Stateful Firewall – funkcja dwukierunkowej zapory firewall;
- rekonfiguracja – w przypadku pojawienia się zakłóceń powodujących problemy z Wi-Fi, urządzenie Aerohive rejestruje i w zadanym momencie, gdy ruch jest mniejszy automatycznie rekonfiguruje się zmieniając kanał bądź siłę sygnału. Pozwala to na ciągłą pracę, a rekonfiguracja urządzeń nie wpływa negatywnie na dostępność sieci.

Inną funkcją Aerohive jest równoważenie obciążenia. Jeśli punkt dostępowy zostanie przeciążony zbyt dużym ruchem bądź liczbą użytkowników, wnioskuje do pobliskich punktów dostępowych z większą przepustowością o przejęcie jego użytkowników. Działanie takie nosi nazwę ACSP (ang. Aerohive Channel Selection Protocol). ACSP to oparty na heurystyce algorytm wyboru kanału, który analizuje wykorzystanie kanału, zakłócenia, wskaźniki błędów CRC (ang. Cyclic Redundancy Check) sąsiednich sieci Wi-Fi na nakładających się kanałach (Nowicki, Woźniak 1998). Włączając ACSP punkty dostępowe mogą dynamicznie oceniać środowisko w celu określenia optymalnych ustawień kanału i reagować na zmieniające się warunki radiowe powodowane przez zakłócenia lub zwiększony poziom błędów CRC. Na podstawie warunków panujących podczas pracy urządzenia Aerohive oceniają optymalny wybór kanału. W ustawieniach określa się czas (na przykład w nocy) oraz deklaruje się maksymalną liczbą użytkowników, którzy mają w ustawionym czasie być podłączeni do punktu dostępowego i w wyniku tych ustawień punkt dostępowy zmienia kanał.

## Projekt sieci Wi-Fi

Na rysunku 4 przedstawiono projekt sieci zawierający trzy punkty dostępowe AP130 oraz trzy przełączniki, które są ze sobą połączone w układzie Fail Over, a dodatkowo są połączone z routerem, który jest jednocześnie modemem dostępowym do Internetu. Wymienione urządzenia tworzą bezprzewodową sieć lokalną (Kamiński 2018). Plan rozmieszczenia urządzeń wykonany został przy pomocy oprogramowania Aerohive Online Wi-Fi Planner przy założeniu, że użytkownicy zlokalizowani są w pomieszczeniach A, B, C i D.

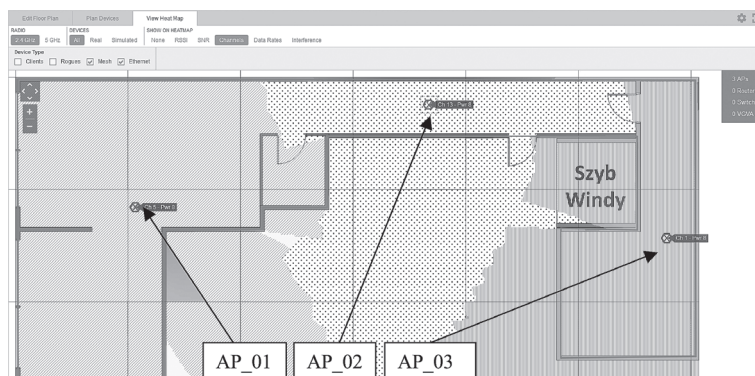
Rysunek 4. Projekt sieci w lokalizacji złożonej z czterech pomieszczeń A,B,C,D



Źródło: jak w rysunku 2.

Po rozmieszczeniu punktów dostępowych, ich podłączeniu ze sobą i po skonfigurowaniu urządzeń program HiveManager automatycznie zaproponował przydział kanałów transmisji, co pokazano na rysunku 4.

Rysunek 5. Przydział kanałów zrealizowany przez HiveManager



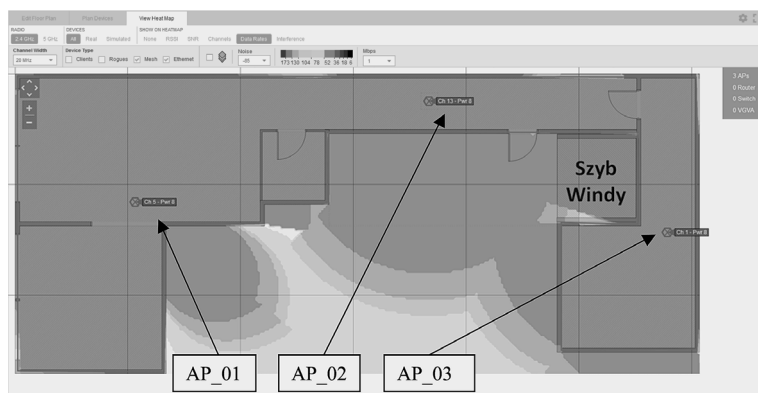
Źródło: jak w rysunku 2.

Na rysunku 4 przedstawiono trzy punkty dostępowe, przy czym ukośnymi liniami oznaczono propagację sygnału w kanale 5 punktu dostępowego AP\_01,



a kropkami – w kanale 13 punktu dostępowego AP\_02. Pionowymi liniami oznaczono propagację sygnału w kanale 1 punktu dostępowego AP\_03. Kanaly te zostały przydzielone urządzeniom w sposób automatyczny. Na rysunku 6 pokazano zasięg sieci, zaplanowany urządzeń zapewnia pokrycie całego obszaru dla częstotliwości 2,4 GHz przy zachowaniu prędkości, co najmniej 173 Mb/s, (brązowy kolor tła). Pomiary te zostały wykonane w programie Aerohive Online Wi-Fi Planner, który skorzystał z parametrów technicznych urządzeń zapisanych w wewnętrznej bazie oraz z właściwości odwzorowanych przeszkód w pomieszczeniach.

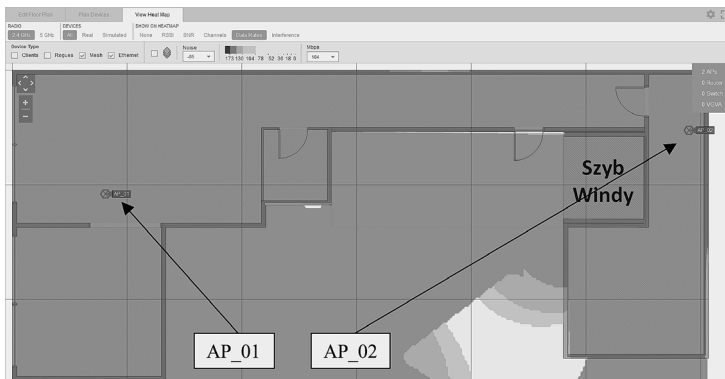
Rysunek 6. Wyniki pomiaru prędkości transferu danych



Źródło: jak w rysunku 2.

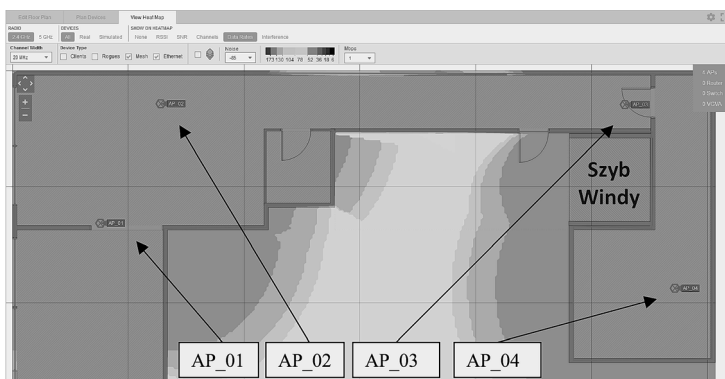
Moc punktów dostępowych została dopasowana podczas symulacji i ustawiona na 8 dBm. Ustawienie to polegało na wybraniu w ustawieniach takiej mocy, aby uzyskać kompromis między pokryciem obszaru użytkownego i propagacją sygnałów poza ten obszar. Okazało się, że jest to wystarczająca moc punktów dostępowych do pokrycia całej powierzchni użytkownej przy zapewnieniu szybkości przesyłania danych większej niż 173 Mb/s. Dodatkowo przeprowadzono testy prędkości przesyłu danych i pokrycia siecią z wykorzystaniem 2 i 4 punktów dostępowych (rysunki 7a i 7b).

Rysunek 7a. Sieć z wykorzystaniem dwóch punktów dostępowych



Źródło: jak w rysunku 2.

Rysunek 7b. Sieć z wykorzystaniem czterech punktów dostępowych



Źródło: jak w rysunku 2.

Wykonane testy w różnych wariantach wykazały, że używając zarówno dwóch, trzech, jak i czterech urządzeń Aerohive AP130 można uzyskać pokrycie zasięgiem sieci o częstotliwości 2,4 GHz całej powierzchni danej lokalizacji. W tabeli 3 pokazano, jak w HiveManager zostały ręcznie skonfigurowane punkty dostępowe w zakresie minimalnej i maksymalnej mocy.

Tabela 3. Ustawienia mocy punktów dostępowych

Nr	Wariant	Minimalna moc urządzeń	Maksymalna moc możliwa do osiągnięcia
1	2 punkty dostępowe	20 dBm	20 dBm
2	3 punkty dostępowe	8 dBm	20 dBm
3	4 punkty dostępowe	8 dBm	20 dBm

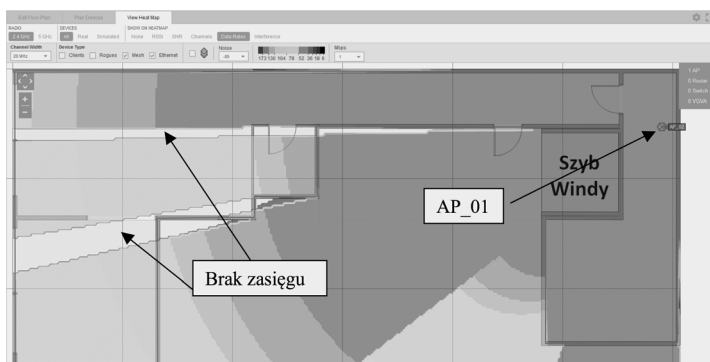
Źródło: jak w tabeli 1.

W wariancie numer 1 w celu pokrycia zasięgiem sieci całej powierzchni biura urządzenia muszą korzystać z maksymalnej dla nich mocy, czyli 20 dBm, bowiem jej ustawienie na wartość mniejszą np. 19 dBm zmniejsza zasięg. W wariancie numer 2 i 3 w celu pokrycia zasięgiem całej powierzchni biura urządzenia mogą korzystać z ograniczonej do 8 dBm mocy.

## Testy niezawodności sieci

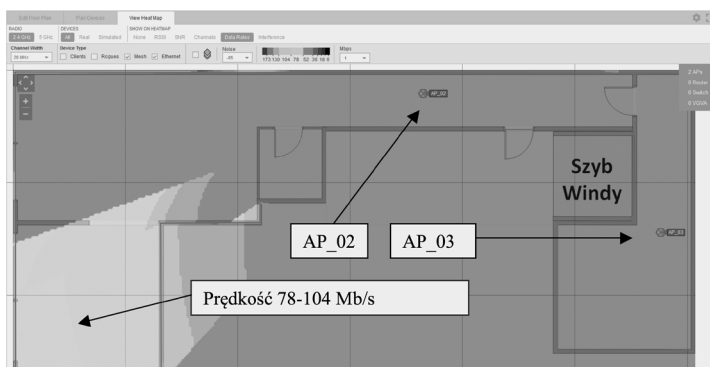
W celu analizy niezawodności sieci przeprowadzone zostały testy symulowanej awarii jednego bądź dwóch losowo wybranych punktów dostępowych. Testy wykonano przy użyciu aplikacji Aerohive Online Wi-Fi Planner. Na rysunkach 8a-e pokazano pokrycie lokalizacji siecią i dostępne prędkości w przypadku wystąpienia pięciu przykładowych awarii polegających na wyłączeniu jednego lub dwóch z dostępnych punktów dostępowych.

Rysunek 8a. Awaria jednego z dwóch AP



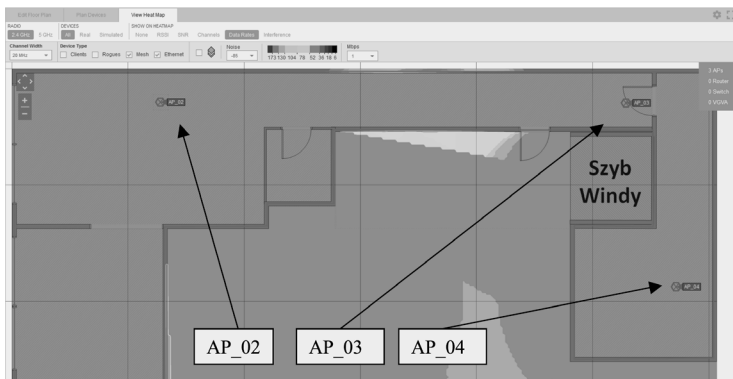
Źródło: jak w rysunku 2.

Rysunek 8b. awaria jednego z trzech AP



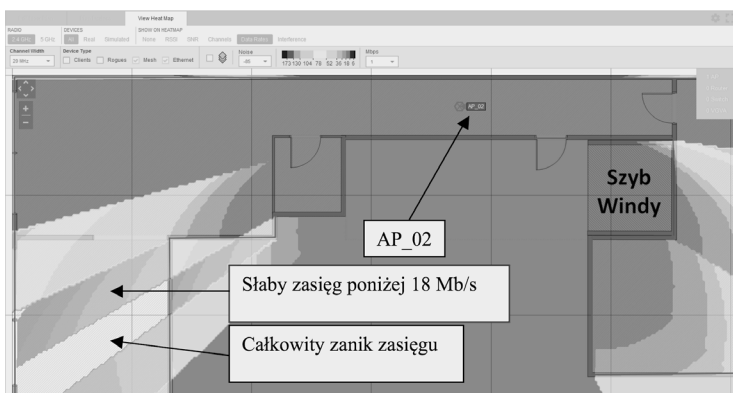
Źródło: jak w rysunku 2.

Rysunek 8c. Awaria jednego z czterech AP



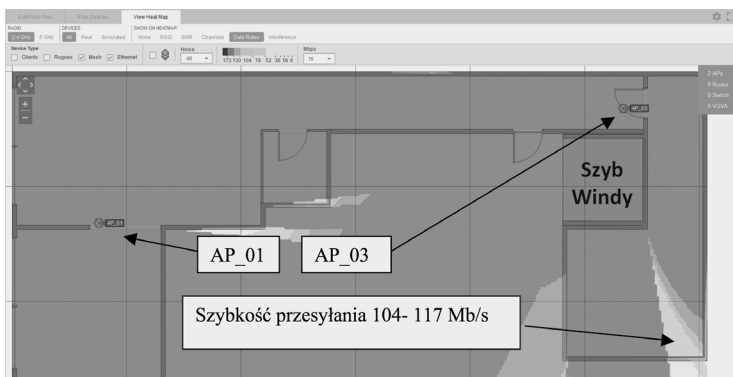
Źródło: jak w rysunku 2.

Rysunek 8d. Awaria dwóch z trzech AP



Źródło: jak w rysunku 2.

Rysunek 8e. Awaria dwóch z czterech AP



Źródło: jak w rysunku 2.

Rysunek 8a pokazuje, że w przypadku awarii jednego niewidocznego punktu dostępowego AP\_01 punkt dostępowy AP\_02 nie pokrył zasięgiem całej powierzchni użytkowej, na co wskazują białe plamy pomiędzy różnokolorowymi obszarami.

Rysunek 8b pokazuje, że w przypadku awarii jednego punktu dostępowego AP\_01 punkty dostępowe AP\_02 i AP\_03 pokryły zasięgiem całą powierzchnię, ale w pomieszczeniu A transfer spadł do wartości od 78 do 104 Mb/s. Moc punktów obu punktów AP\_02 i AP\_03 została zwiększona automatycznie do 20 dBm, dzięki funkcji Aerohive Networks Cooperative Control Protocols.

Rysunek 8c pokazuje, że w przypadku awarii jednego punktu dostępowego AP\_01 działanie sieci nie zostało zaburzone. Punkty dostępowe AP\_02, AP\_03 i AP\_04 automatycznie zwiększyły moc do 15 dBm i pokryły zasięgiem całą powierzchnię. Szybkość przesyłania danych wynosi powyżej 173 Mb/s.

Z przeprowadzonych testów wynika, że urządzenia w wariantach 2 (rys. 8b) i 3 (rys. 8c) po utracie jednego z punktów dostępowych inne punkty podniosły moc zwiększając zasięg sieci. W przypadku wariantu 2 po utracie jednego z nich pozostałe zwiększyły moc z 8 dBm do maksymalnej wartości 20 dBm, natomiast urządzenia w wariantcie 3, aby pokryć zasięgiem sieci całą powierzchnię biura zwiększyły moc jedynie do 15 dBm. Najgorzej wypadł wariant 1 (rys. 8a), w którym działający punkt dostępowy mimo zwiększenia mocy do maksymalnej wartości 20 dBm nie zdołał pokryć zasięgiem sieci całej powierzchni. Na rysunku 8a przedstawiono to białe obszary, które stanowią mniej niż 10% powierzchni.

Rysunek 8d pokazuje, że w przypadku awarii dwóch punktów dostępowych AP\_01 i AP\_03 punkt dostępowy AP\_02 nie pokrył zasięgiem całej powierzchni, na co wskazują białe obszary. W pomieszczeniu A wystąpiły obszary z przepustowością wynoszącą poniżej 18 Mb/s.

Rysunek 8e pokazuje, że w przypadku awarii dwóch punktów dostępowych AP\_02 i AP\_04 punkty dostępowe AP\_01 i AP\_03 zwiększyły moc, co pozwoliło na pokrycie zasięgiem sieci bezprzewodowej o szybkości 173 Mb/s prawie całej powierzchni. Jedynie w pewnych miejscach pomieszczenia D pojawiły się obszary o zmniejszonej prędkości przesyłania oscylującej pomiędzy 104 Mb/s, a 117 Mb/s.

Na podstawie testów niezawodności przeprowadzono analizę ryzyka dla wybranych scenariuszy. W tabeli 4 pokazano wyniki analizy ryzyka, a na rys. 9 macierz ryzyka. Ocena skutków dla budowy sieci Wi-Fi wygląda następująco:

- ryzyko akceptowalne – ryzyko pozwalające na normalną pracę,
- ryzyko wymagające uwagi – ryzyko wymagające dodatkowych zabezpieczeń w postaci wyposażenia w dodatkowe awaryjne urządzenia,
- ryzyko nieakceptowane – ryzyko skutkujące brakiem możliwości normalnej pracy.

Tabela 4. Analiza ryzyka wystąpienia awarii i oceny jej skutków

Numer scenariuszy	Liczba zaplanowanych punktów dostępowych	Ilość punktów dostępowych, które uległy awarii	Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii	Skutki awarii
1	2	1	średnie	średnie
2	3	1	średnie	małe
3	4	1	średnie	małe
4	2	2	małe	duże
5	3	2	małe	średnie
6	4	2	małe	małe

Źródło: jak w tabeli 1.

Rysunek 9. Macierz ryzyka

Prawdopodobieństwo	Duże			
	Średnie		1	
	Małe	2 3 6	5	4
		Małe	Średnie	Duże
		Skutki		

Źródło: jak w rysunku 2.

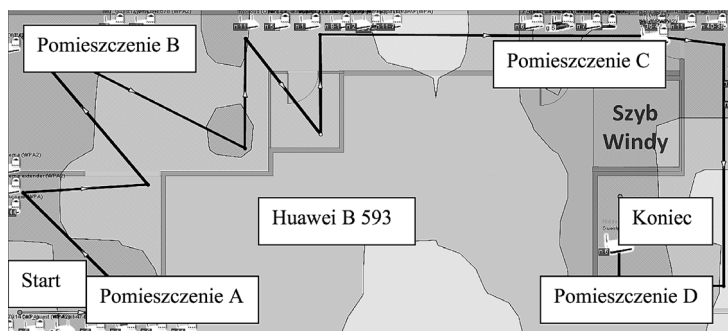
Z rysunku 9 wynika, że utrata urządzeń według scenariuszy 1 i 4 skutkuje koniecznością podjęcia dodatkowych działań (jasne pola), czyli zabezpieczenia się na wypadek awarii i zakupu dodatkowego awaryjnego punktu dostępowego. W przypadku pozostałych scenariuszy ich rezultat mieścił się w ryzyku akceptowalnym (ciemne pola).

## Podsumowanie

W celu sprawdzenia, propagacji sygnału Wi-Fi wykonano mapę propagacji sygnału w programie EKAHAU Heat Mapper. Rysunek 10 przedstawia mapę

propagacji sygnału. Pomiar został wykonany za pomocą laptopa z uruchomionym programem EKAHAU Heat Mapper, który przemieszczano od punktu START do punktu KONIEC wzdłuż linii ze strzałką.

Rysunek 10. Pomiar siły sygnału z wykorzystaniem programu EHM



Źródło: jak w rysunku 2.

Po wdrożeniu projektu zasięg sieci bezprzewodowej zgodnie z mapą przedstawioną na rysunku 10 obejmuje wszystkie pomieszczenia A, B, C i D. Propagacja sygnału zgodnie z rysunkiem jest wynikiem zastosowania trzech punktów dostępowych Aerohive model AP130 rozmieszczonych według planu na rysunku 4. Kolorem zielonym zaznaczono obszar, w którym poziom sygnału sieci jest maksymalny i mieści się w granicach od -25 do -45 dBm. Prędkość przesyłania danych na tym obszarze wynosi, co najmniej 173 Mb/s (rysunek 6). Testy wykazały również, że zastosowanie już dwóch punktów dostępowych Aerohive (model AP130) pozwoli pokryć zasięgiem sieci wszystkie pomieszczenia, ale nie zapewnia niezawodności sieci. Dopiero użycie trzech punktów tą niezawodność zapewnia, bowiem awaria jednego z punktu dostępowego pozostawia przy pracy dwa, które wzajemnie się uzupełniają. Ponadto, dodatkowe funkcje urządzeń Aerohive, takie jak Aerohive Networks Cooperative Control Protocols, Chanel Selection Protocol oraz Private Pre-Shared Key zwiększają bezpieczeństwo sieci, a tym samym jej niezawodność.

## Bibliografia

- Aboul-Magd O. (2014), *Wi-Fi Technology State of the Art and Future Directions*, [www.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW\\_308587](http://www.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_308587) [dostęp: 15. 10.2017].
- Bellalta B. (2017), *IEEE 802.11ax: Wireless Networking in High-density WLANs*, "IEEE Spectrum Webinar".
- Bellalta B., Checco A., Zocca A., Barcelo J. (2015), *On the Interactions between Multiple Overlapping WLANs using Channel Bonding*, "IEEE Transaction on Vehicular Technology".

- Hiertz G.R., Denteneer D., Stibor L., Zang Y., Costa X.P., Walke B. (2010), *The IEEE 802.11 Universe*, "IEEE Communications Magazine", Vol. 48, Iss. 1.
- Kamiński W. (2018), *Projekt niezawodnej sieci bezprzewodowej dla Kancelarii Patentowej z użyciem punktów dostępowych Aerohive*, praca magisterska, AFiBV, Warszawa.
- Nowicki K., Woźniak J. (1998), *Sieci LAN, MAN, WAN – protokoły komunikacyjne*, Fundacja Postępu Telekomunikacji, Warszawa.
- <https://www.aerohive.com/technology/ppsk/> [dostęp: 11.02.2018].
- <https://blog.aerohive.com/an-introduction-to-aerohive-networks-cooperative-control-protocols/> [dostęp: 11.02.2018].
- [https://www.aerohive.com/wp-content/uploads/Aerohive\\_Datasheet\\_HiveOS.pdf](https://www.aerohive.com/wp-content/uploads/Aerohive_Datasheet_HiveOS.pdf) [dostęp 11.02.2018].

## Analysis of the reliability of the Wi-Fi network using Aerohive access points

### Summary

The authors presented a Wi-Fi wireless network project based on Aerohive 130 access points. An analysis of the reliability of the designed network in a situation where one or two access points fail was carried out. A number of scenarios were analyzed and simulations were carried out using the Aerohive On-line Wi-Fi Planner and Hive Manager network design tools. The signal strength of the designed network was measured using the Ekahau Heat Mapper program. Risk analysis for selected scenarios is presented. The use of three Aerohive 130 access points allows for adequate coverage of the network and an acceptable level of risk associated with the failure of the access point.

**Key words:** access point, throughput, Wi-Fi network coverage.

**JEL codes:** L86

Afilacja:  
dr Antoni Masiukiewicz  
mgr Wojciech Kamiński  
Akademia Finansów i Biznesu Vistula  
Wydział Inżynierski  
ul. Stokłosa 3  
02-787 Warszawa  
e-mail: a.masiukiewicz@vistula.edu.pl

Artykuł zaakceptowany do druku we wrześniu 2019 roku.