

THE USE OF WiMAX MOBILE NETWORK FOR AIR MONITORING

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA MOBILNEJ SIECI WiMAX W MONITORINGU POWIETRZNYM

Grzegorz Roslan

Akademia Obrony Narodowej
g.roslan@aon.edu.pl

Abstract: *The transformations, which is subject to the theory of fighting, their dynamics and the blurring of differences between different types of actions have forced the need to introduce the new measure army reconnaissance aircraft - flying an unmanned aerial vehicle (UAV).*

Considering the issue of the use of UAV to conduct reconnaissance should be aware of the possibility of their use in a civilian environment, even in the context of the organization of EURO 2012 in Poland.

The article examines the possibility of transmission of video and data in real time using a microwave radio network - WiMAX. It has been shown the advantages and disadvantages of this technology. Moreover, an analysis of its application in video surveillance from the air by means of unmanned flying machines that can be used for example to observe large areas of forest, border control, supervise sports events or traffic.

Keywords: *WiMAX radio network, air monitoring, unmanned aerial vehicle (UAV).*

Streszczenie: *Przeobrażenia, jakim podlega teoria prowadzenia walki, ich dynamika i zacieranie różnic pomiędzy poszczególnymi rodzajami działań, wymusiły konieczność wprowadzenia do wojsk lądowych nowego środka rozpoznania powietrznego - bezzałogowego aparatu latającego (BAL).*

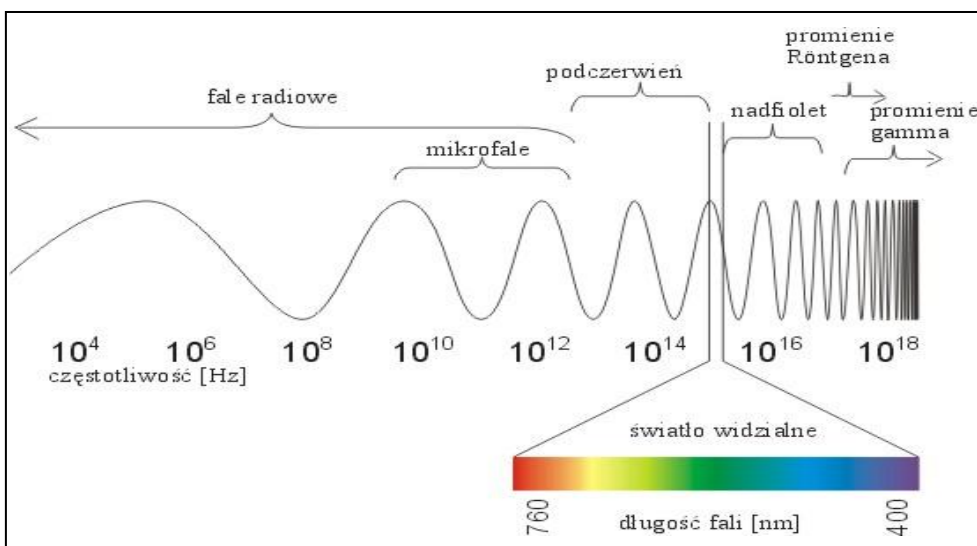
Wykorzystując BAL do prowadzenia rozpoznania należy zwrócić uwagę na możliwości wykorzystania ich w środowisku cywilnym, np. do ochrony EURO 2012. W artykule zbadano możliwości transmisji obrazu i danych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem mikrofalowej sieci radiowej - WiMAX. Wykazano wady i zalety tej technologii. Dokonano analizy zastosowania jej w wizyjnym monitoringu z powietrza za pomocą bezzałogowych aparatów latających.

Słowa kluczowe: *sieć radiowa WiMAX, monitoring z powietrza, bezzałogowy aparat latający (BAL).*

1. Wstęp

Opisując sieci bezprzewodowe w tym sieć WiMAX, która korzysta z zakresu częstotliwości mikrofalowych, koniecznym jest przedstawienie definicji mikrofal. Mikrofałe to częstotliwości od 300 MHz (w praktyce od 1GHz) do 300 GHz. Odpowiadają temu długości fal od 1m do 1mm. Zakres mikrofal jest dzielony na kilka podzakresów. Spotyka się różne przypisanie poszczególnych częstotliwości do podzakresów¹.

Mikrofałe to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego o długości fali pomiędzy podczerwienią i falami ultrakrótkimi (rysunek 1), zaliczane do fal radiowych. Na podstawie różnych opracowań można spotkać różne zakresy promieniowania uznawanego za mikrofalowe, przykładowo od 30cm dla częstotliwości 1 GHz do 1mm dla częstotliwości 300 GHz².



Rysunek 1. Widmo fal elektromagnetycznych

Źródło: <http://fizyka.maszyna.pl/img/widmo.jpg> - z dn. 19.05.2011***

Pierwotnie, szczególnie po II wojnie światowej technika mikrofalowa była utożsamiana z techniką radarową. Obecnie najczęściej kojarzymy ją z kuchenką mikrofalową³. Dziś mikrofałe wykorzystywane są jednak w rozmaitych dziedzinach nauki, techniki, przemyśle i medycynie. Można zatem dokonać następującego podziału:

- **Radiolokacja i technika radarowa:** radar kontroli obszaru powietrznego, radary pogodowe, policyjne radary (Dopplera), radary antykolidacyjne;

¹ J. Szóstka, *Mikrofałe*, wyd. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008, s. 15.

² <http://pl.wikipedia.org/wiki/Mikrofałe> - z dn. 26.03.2011.

³ J. Szóstka, *Mikrofałe*, wyd. cyt., s. 16.

radiometria mikrofalowa pozwalająca określić rodzaj gleby, stan zanieczyszczenia wody.

- **Przemysł:** podgrzewanie i rozmrażanie żywności, sterylizacja, suszenie budynków i papieru, niszczenie szkodników w drewnie, czujniki mikrofalowe w systemach alarmowych i zdalnego otwierania drzwi, precyzyjne położenie w geodezji za pomocą GPS (ang. *Global Positioning System* – jeden z systemów nawigacji satelitarnej), komputery z zegarem o częstotliwości powyżej 1GHz.
- **Transport:** kontrola taboru samochodowego poprzez system GPS, systemy do uiszczania opłat za przejazd autostradą, system rejestracji wagonów kolejowych.
- **Medycyna:** termografia mikrofalowa do diagnozowania i wykrywania guzów nowotworowych, hipertermia i diatermia mikrofalowa do nagrzewania i niszczenia komórek nowotworowych.
- **Nauka:** wytwarzanie i wykorzystywanie plazmy mikrofalowej (badania nad reakcją termojądrową), liniowe i synchroniczne akceleratory elektronów, spektrometria mikrofalowa (badanie widma rezonansowego pochłaniania i emisji przez substancje w zakresie mikrofalowym), meteorologia (satelitarne mapy pogody, prognozy).
- **Telekomunikacja:** horyzontowe i pozahoryzontowe linie radiowe, łączność satelitarna, system nawigacyjny GPS wykorzystywany do synchronizacji sieci telekomunikacyjnych, systemy nadawcze TV w IV i V zakresie, systemy radiokomunikacji ruchomej – GSM (ang. *Global System for Mobile Communications* – najpopularniejszy obecnie system telefonii komórkowej), DECT (ang. *Digital Enhanced Cordless Telecommunications* - system cyfrowej łączności bezprzewodowej), UMTS (ang. *Universal Mobile Telecommunications System* - najpopularniejszy obecnie standard telefonii komórkowej trzeciej generacji), system Bluetooth, bezprzewodowe łącza abonenckie (systemy dostępowe), bezprzewodowe sieci lokalne WLAN (ang. *Wireless Local Area Network* – bezprzewodowa sieć lokalna), systemy TV kablowej⁴.

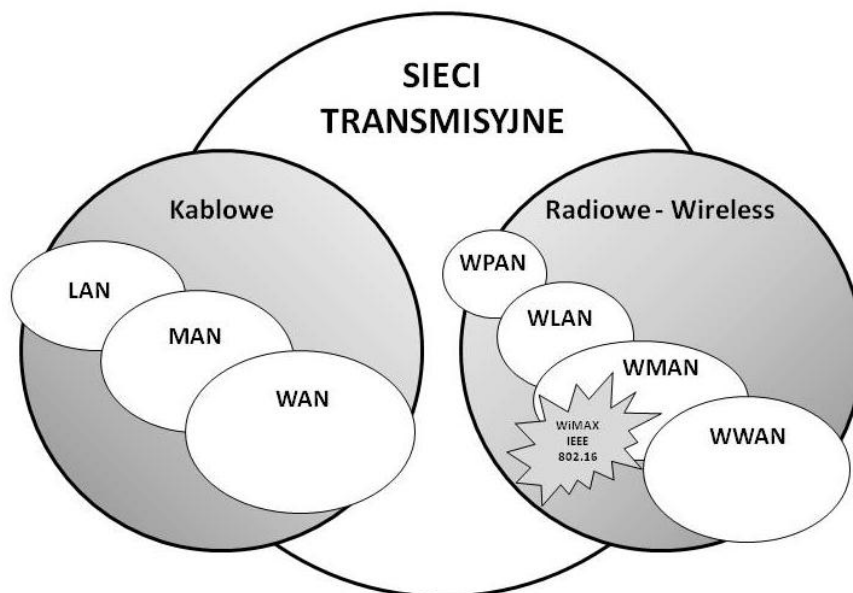
2. Szerokopasmowa bezprzewodowa sieć WiMAX

Mikrofałe jak wynika z powyższego mają zastosowanie w wielu dziedzinach lecz największe zastosowanie obserwujemy w telekomunikacji. Rozmawiamy przez telefony komórkowe, oglądamy TV satelitarną, korzystamy z szerokopasmowej bezprzewodowej transmisji danych. Częstotliwości nadawania leżą w tym przypadku w paśmie mikrofalowym⁵. Tak też jest z WiMAX, który pracuje w zakresie mikrofalowym. Na rysunku 2 widać umiejscowienie wśród sieci radiowych i kablowych technologii WiMAX w standardzie IEEE 802.16.

⁴ Tamże, s. 17.

⁵ Tamże, s. 18.

Parametry tej sieci umiejscawiają ją w zasięgu WMAN – czyli sieci o zasięgu miejskim.



Rys. 2 Podział sieci radiowych i kablowych⁶

W tym miejscu warto przedstawić jeszcze podział sieci radiowych w porządku od najmniej rozległych do tych najbardziej. I tak sieci radiowe dzielą się na:

- **WPAN** (ang. Personal Area Network) – przesyłanie danych z telefonów komórkowych za pomocą np: Bluetooth
- **WLAN** (ang. Wireless Local Area Network) – radiowy odpowiednik kablowej sieci LAN.
- **WMAN** (ang. Wireless Metropolitan Area Network) – radiowy odpowiednik sieci miejskiej.
- **WWAN** (ang. Wireless Wide Area Network) – radiowy odpowiednik sieci rozległej.

Jak widać sieć WiMAX (ang. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), to bezprzewodowa radiowa transmisja danych oparta na standardzie IEEE 802.16. Standard ten stworzono na potrzeby obsługi dużych obszarów⁷. Amerykański standard IEEE – Instytut Elektryków i Elektroników (ang. IEEE - *The Institute of Electrical and Electronic Engineers*) – jest odpowiedzialny za definiowanie i publikowanie standardów telekomunikacyjnych oraz przesyłania danych. Jego

⁶ Źródło: opracowanie własne

⁷ <http://pl.wikipedia.org/wiki/WiMAX> - z dn. 27.03.2011.

największym osiągnięciem jest dotychczas zweryfikowanie standardów sieci. Standardy te tworzą wielki i skomplikowany zbiór norm technicznych⁸. Europejski odpowiednik amerykańskiego standardu IEEE to standard ETSI (ang. *The European Telecommunications Standards Institute*) – tworzy normy telekomunikacyjne, zbliżone do tych z USA⁹.

Podsumowując, WiMAX to sieci bezprzewodowe o zasięgu miejskim - MAN (ang. *Metropolitan Area Network*), dlatego też do pokrycia terenu takiego, jaki jest zastosowany w telefonii komórkowej potrzeba jest większej ilości stacji nadawczych.

W standardzie 802.16 podstawę sieci stanowi stacja bazowa, która poprzez anteny wysyła i odbiera sygnał zapewniając tym samym dostęp do sieci¹⁰. Rysunek 3 przedstawiający rodzaje sieci bezprzewodowych ze względu na zasięg.

W dzisiejszym świecie dostęp do informacji jest niezwykle istotny. Jednocześnie aby sprostać wyzwaniom i potrzebom człowieka rosną wymagania, co do nowych technologii. Nie jest już priorytetem, aby mieć stałe kablone szerokopasmowe łącze transmisji danych, ale priorytetem takim stała się mobilność, czyli wykorzystanie technologii bezprzewodowej podczas ruchu.

Technologia WiMAX dzięki zastosowanym standardom umożliwia trzy takie typy dostępu:

- Dostęp stały - nie ma możliwości przełączania pomiędzy sektorami sieci;
- Przenośność - możliwość podłączenia do sieci z dowolnego miejsca w zasięgu działania sieci;
- Pełna mobilność - szybkie przełączenia w infrastrukturze sieci z bardzo małymi stratami pakietów akceptowalnymi przez aplikacje czasu rzeczywistego¹¹.

Mocną stroną sieci WiMAX jest fakt, że dzięki standardowi 802.16 i jego ewolucji do standardu 802.16e ma ona możliwość pracy przy widoczności optycznej jak również bez widoczności. W bezprzewodowych sieciach szerokopasmowych było to trudne do zrealizowania przy jednoczesnym zachowaniu stosunkowo dużej prędkości transmisji danych.

3. Przegląd standardów dla sieci WiMAX

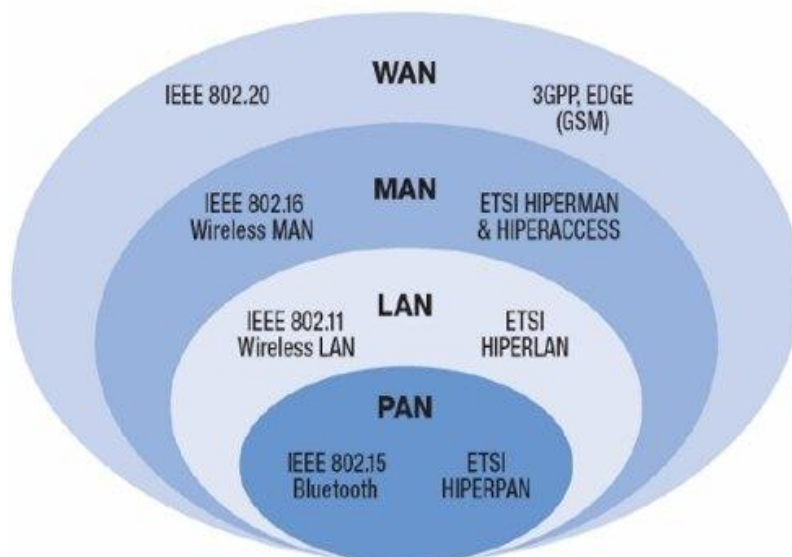
Podstawowymi modelami stosowanymi w sieci WiMAX są modele sieci stacjonarnych i ruchomych. Określa to standard 802.16 dla sieci stałej (antena i urządzenia zainstalowane na stałe) oraz standard 802.16e dla sieci ruchomej¹².

⁸ M. Sportack, *Sieci komputerowe*, Helion, Warszawa 1999, s. 25.

⁹ <http://www.wimax.biz.pl/index.php/content/view/4/12/#12> – z dn. 27.03.2011.

¹⁰ K. Jurkowski, *Nowoczesne technologie: WiMAX jako alternatywa sieci GSM, GPRS i UMTS*, Praca dyplomowa 2005, <http://www.zsk.p.lodz.pl/~morawski/Dyplomy> - z dn. 27.03.2011.

¹¹ Zob. O. Pochodaj, *Mobilny WiMAX - Migracja do 802.16e*, 2005, <http://www.wimax.biz.pl/wimax -artykuly/mobilny-wimax-migracja-do-802.16e-4.html> - z dn. 11.05.2011.



Rys. 3 Graficzne zobrazowanie zasięgu sieci bezprzewodowych¹³

Głównym celem standardu IEEE 802.16 opracowanego w 2001 roku jest to, że definiuje fizyczny interfejs radiowy oraz protokół warstwy MAC (ang. *Media Access Control*) dla bezprzewodowej sieci MAN (ang. *Metropolitan Area Network*). Początkowe prace to prace nad standardem dla częstotliwości 10 – 66 GHz, jednak wysokie pasma mają ograniczenia w postaci zasięgu oraz widzialności optycznej, co też ograniczało ich zastosowanie. Rozszerzono, zatem prace na inną część standardu, na częstotliwości od 2GHz do 11GHz (standard IEEE 802.16a). Praca w niższych częstotliwościach pozwoliła na wydłużenie zasięgu i pracę bez widoczności optycznej, tak ważne atrybuty w zastosowaniu w miejskiej zabudowie oraz w użytku mobilnym¹⁴.

Rok 2003 to kolejne opracowane standardy 802.16b oraz 802.16c, obejmują one poprawki mechanizmów, jakości połączenia QoS (ang. *Quality of Service*) jak i wstecznej kompatybilności. W roku 2004 opracowana została wersja 802.16d, w której to poprawiono wcześniejsze wersje standardu. Standard ten jest uważany za podstawowy w definiowaniu charakterystyk, wdrożeń i projektowania dla szerokopasmowego radiowego systemu WiMAX. Jest to podstawa budowy systemów niewspierająca mobilności a tylko przenośność terminala klienckiego. Kamieniem milowym w standardzie WiMAX posiadającym walory mobilności był standard 802.16e, który to definiował obsługę urządzeń stacjonarnych jak

¹² Zob. J. Szóstka, *Mikrofale*, wyd. cyt., s. 248.

¹³ Źródło: http://www.vivasemfio.com/blog_images/ieee_padroes.jpg - z dn. 19.05.2011.

¹⁴ O. Pochodaj, *Czym tak naprawdę jest WiMAX?*, 2005, <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/czym-tak-naprawde-jest-wimax-4.html> - z dn. 27.03.2011.

i mobilnych. W specyfikacji tej ograniczono się do pasma 2-6 GHz¹⁵. Tabela 1 przedstawia ewolucję standaryzacji wersji IEEE 802.16.

Tabela 1 Ewolucja standardu IEEE 802.16¹⁶

Data zatwierdzenia	Standard	Opis
Grudzień 2001	802.16	Dostęp w paśmie 10 - 66GHz – Środowisko LOS
Marzec 2003	802.16a	Dostęp w paśmie 2 - 11GHz – środowisko NLOS
Rok 2003	802.16b	Poprawiony QoS (ang. Quality of Service)
Rok 2003	802.16c	Dodane protokoły testujące
Czerwiec 2004	802.16d	Separacja antenowa, podział na podkanały
Luty 2006	802.16e	Mobilność

Proces standaryzacji to zadanie stowarzyszenia IEEE, certyfikacja sprzętu oraz kompatybilność urządzeń należą do organizacji WiMAX Forum. Organizacja zrzesza ponad 230 członków, a są to m.in.: producenci sprzętu, korporacje telekomunikacyjne, dostawcy usług. Dzięki temu zakupiony certyfikowany sprzęt jest zawsze kompatybilny bez względu na markę czy kraj pochodzenia.

4. Propagacja sygnału radiowego WiMAX

Fale radiowe to medium transmisyjne dla technologii WiMAX. Podobnie jak w innych sieciach radiowych występuje konieczność radzenia sobie z uciążliwościami transmisyjnymi. Do technicznych niedogodności radiowych transmisji danych zaliczyć można:

- tłumienie,
- interferencje,
- wielodrogowość sygnału.

Pasma częstotliwości zaprojektowane dla WiMAX, czyli 10 – 66GHz i 2,5 – 11GHz są bardzo podatne na w/w negatywne aspekty transmisji. Praca w standardzie 802.16 w wysokim paśmie stwarza konieczność stosowania odpowiednich metod kodowania oraz modulacji sygnałów radiowych dla zapewnienia odpowiedniej jakości usługi. W opisywanej technologii

¹⁵ O. Pochodaj, *Historia powstawania standardu*, 2005, <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/czym-tak-naprawde-jest-wimax-4.html> - z dn. 23.03.2011.

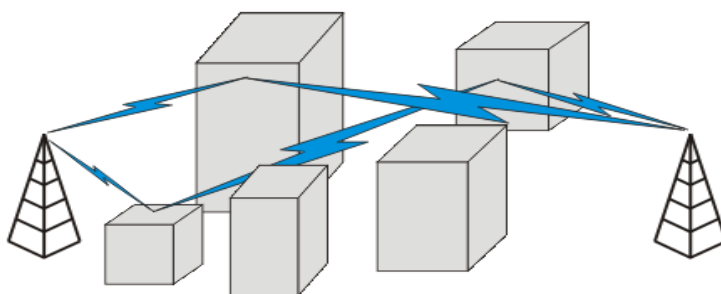
¹⁶ Źródło: opracowanie własne na podstawie, <http://pl.wikipedia.org/wiki/WiMAX> - z dn. 19.05.2011.

zaprojektowanej do pracy w zakresie 2,5 – 11GHz oraz 10 – 66GHz stosuje się różne szerokości kanału transmisji danych od 1,25 do 20MHz w zależności od potrzeb i dostępności¹⁷.

Pojęcie związane bezpośrednio z jakością sygnału radiowego to jego propagacja. Właściwości propagacyjne środowiska są tym istotniejsze im wyższa jest wykorzystywana częstotliwość. W technologii WiMAX jako technologii mikrofalowej odpowiednia propagacja odgrywa pierwszorzędą rolę. Standard 802.16 cechuje się dwoma modelami propagacji sygnału¹⁸:

- **LOS** (ang. *Line of Sight*) - bezpośrednia widoczność między antenami,
- **NLOS** (ang. *Non Line Of Sight*) – sygnał dociera do odbiornika w wyniku odbić, rozproszeń i ugięć.

Począwszy od standardu 802.16a system WiMAX umożliwia brak widoczności optycznej anten, zapewniona jest transmisja w środowisku NLOS – sygnał dociera do odbiornika w wyniku odbić, rozproszeń i ugięć. Zobrazowane jest to na rysunku 4.



Rys. 4 Model NLOS¹⁹

Środowisko NLOS uniemożliwia pracę w zakresie częstotliwości pasma 10 – 66 GHz, dlatego też dla standardu 802.16a określono zakres pracy poniżej 11GHz²⁰. Stosowany model NLOS ze względu na spadek mocy sygnału w stosunku do modelu LOS charakteryzuje się zmniejszonym zasięgiem stacji bazowej. Wprowadzone zostały jednak mechanizmy, które umożliwiają wydłużenie obszaru zasięgu. Takimi mechanizmami są:

- podział na podkanały,
- technologia OFDM (ang. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) – technika transmisyjna o wielu nośnych prostopadłych; dane niesione przez nośne sąsiadujące zachodzą na siebie; jest to zaleta umożliwiająca lepsze wykorzystanie pasma,

¹⁷ K. Jurkowski, *Nowoczesne technologie...*, wyd. cyt. - z dn. 27.03.2011.

¹⁸ Tamże.

¹⁹ Źródło: <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/czy-potrzebna-jest-widoczność-optyczna-los-i-nlos-4.html> - z dn. 11.05.2011.

²⁰ Tamże.

- anteny kierunkowe,
- separację nadawania i odbioru,
- techniki korekcji błędów,
- sterowanie mocą²¹.

5. Zasięg, przepustowość i techniki antenowe w sieci WiMAX

W sieciach WiMAX takie parametry jak przepustowość i zasięg to kwestie budzące wiele kontrowersji. Parametry te, bowiem zależą od wielu czynników. Nie można powiedzieć jednoznacznie, że zasięg danej sieci radiowej to 50 km i przepustowość 70Mbit/s. Na zasięg oraz przepustowość mają wpływ takie czynniki jak:

- szerokość kanału radiowego,
- moc nadawania i czułość odbiornika,
- wielkość oraz rodzaj anten,
- strefa klimatyczna i ukształtowanie terenu,
- rodzaj technologii radiowej (FDD, TDD).

Ważnym aspektem jest też zastosowana modulacja. W WiMAX zastosowano cztery schematy modulacyjne: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM. Mają one wpływ dynamiczny na łącze. Modulacja jest dostosowywana w zależności od odstępów sygnału od szumu (SNR). Kiedy panują dobre warunki wybierany jest najlepszy wariant modulacyjny – kodowy i możliwa jest transmisja o wysokiej przepustowości. Gdy sygnał jest coraz gorszy występuje przełączenie na niższą modulację w celu zachowania stabilności, ale przepustowość maleje²².

W sieci WiMAX istotne jest pojęcie dostępności transmisji. Zasięg – patrząc przez pryzmat dostępności, nabiera trochę innego znaczenia. Nie mierzy się w tym przypadku zasięgu maksymalnego w momencie, kiedy łącze w ogóle przestaje działać, ale określa się poziom dostępności na poziomie np.: 99,9% w skali miesiąca czy roku i w ten sposób określa zasięg sieci. Takie rozwiązanie oczywiście bardziej znajduje zastosowanie w standardzie stacjonarnym sieci²³. Tabela 2 przedstawia przykładową przepustowość i zasięg.

Do określenia przykładowych zasięgów podanych w tabeli konieczne było przyjęcie takich założeń jak:

- szerokość kanału transmisyjnego 3,5MHz,
- anteny sektorowa i panelowa,
- warunki klimatyczne i terenowe dla Polski,
- dostępność na poziomie 99,95%,
- widoczność radiowa,
- praca w trybie full duplex (FDD).

²¹ O. Pochodaj, *Czy potrzebna jest widoczność optyczna - LOS i NLOS*, 2005, <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/czy-potrzebna-jest-widoczność-optyczna-los-i-nlos-4.html> - z dn. 11.05.2011.

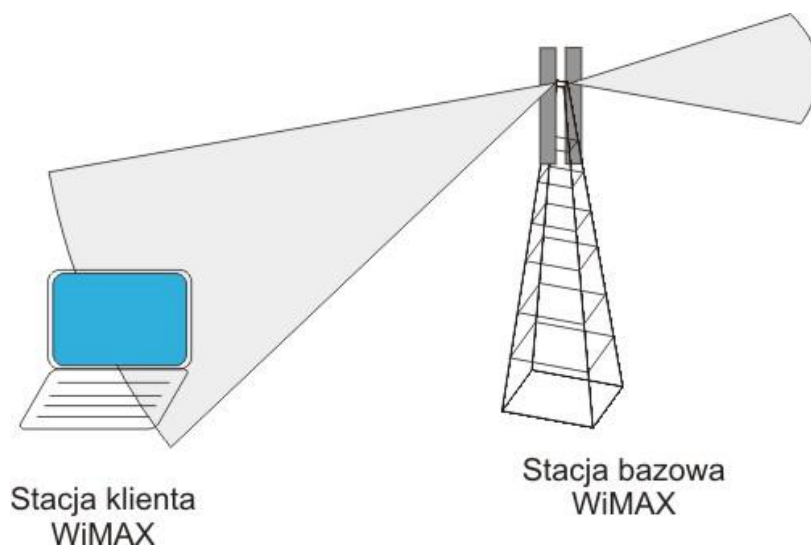
²² K. Jurkowski, *Nowoczesne technologie...*, wyd.cyt. - z dn. 16.05.2011.

²³ O. Pochodaj, *Zasięgi i efektywna przepływność dla sieci typu WiMAX*, 2005, <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/zasięgi-i-efektywna-przeplýwnosc-dla-sieci-typu-wimax-11.html> - z dn. 16.05.2011.

Tabela 2 Tabela przepustowości i zasięgów²⁴

MODULACJA	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM
Zasięg	30 km	25 km	14 km	5 km
Przepustowość radiowa	4Mbit/s	8Mbit/s	16Mbit/s	24Mbit/s
Przepustowość efektywna	3Mbit/s	6Mbit/s	12Mbit/s	18Mbit/s

W tym miejscu warto wspomnieć fakt, że na zasięg oraz przepustowość ogromny wpływ mają techniki antenowe stosowane w sieciach WiMAX. W standardach 802.16d oraz 802.16e zdefiniowano rozwiązania dwóch technik antenowych AAS (ang. *Advanced Antena System*) oraz MIMO (ang. *Multiple Input Multiple Output*). Pierwsza z nich pozwala na skierowanie wiązki z anteny, inaczej mówiąc zmianę jej charakterystyki kierunkowej. Chodzi tutaj o możliwość skierowania wiązki bezpośrednio do użytkownika. Zastosowanie tego typu rozwiązania umożliwia lepszy podział zasobów jak i zmniejsza obszary o zwiększonej interferencji²⁵. Przykład zastosowania techniki antenowej AAS przedstawia rysunek 5.



Rys. 5 Technika antenowa AAS²⁶

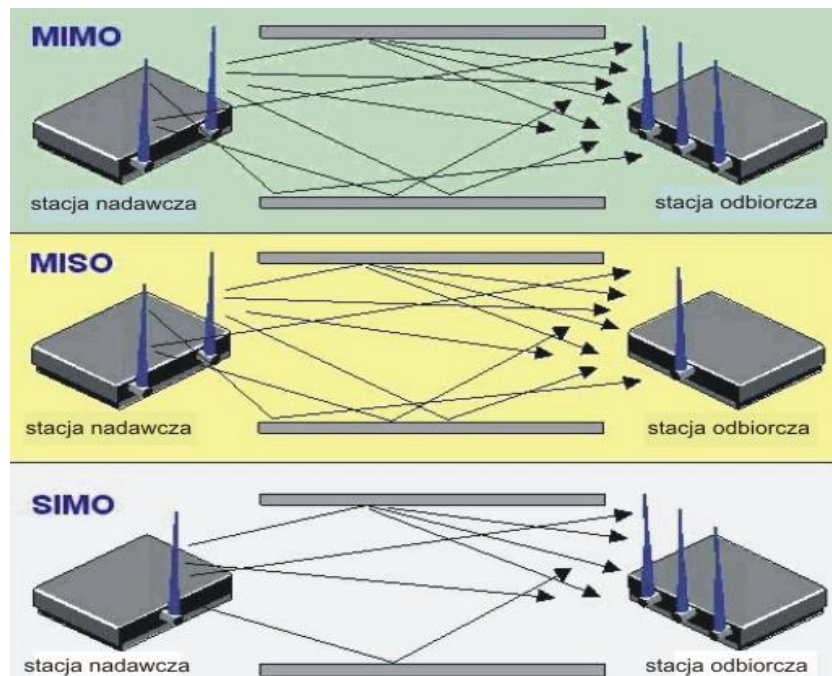
²⁴ Źródło: Opracowanie własne na podstawie, O. Pochodaj, *Zasięgi i efektywna przepływność dla sieci typu WiMAX, 2005*, <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/zasięgi-i-efektywna-przeplownosc-dla-sieci-typu-wimax-11.html> - z dn. 20.05.2011.

²⁵ http://www.speedtest.pl/internet,wimax_technology.html – z dn. 18.05.2011.

²⁶ Źródło: <http://www.conniq.com/WiMAX/images/beamforming-AAS.gif> - z dn. 18.05.2011.

Druga to technika wielotorowa znana pod ogólną nazwą MIMO, która charakteryzuje się różną liczbą torów nadawczych i odbiorczych. W tym przypadku najważniejszym jest dokonanie podziału ze względu na wykorzystywanie liczby anten. Technikę tę zatem dzielimy na:

- MIMO (ang. *Multiple Input Multiple Output*) – wiele anten nadawczych, wiele anten odbiorczych;
 - SIMO (ang. *Single Input Multiple Output*) – jedna antena nadaje, wiele anten odbiera;
 - MISO (ang. *Multiple Input Single Output*) – wiele anten nadaje, jedna odbiera.
- Mobilny WiMAX w standardzie 802.16e używa techniki MIMO. Zwiększa to znacznie przepustowość łącza. Na rysunku przedstawione są opisane techniki²⁷.



Rys. 6 Antenowe techniki wielotorowe²⁸

6. Warianty pracy sieci WiMAX

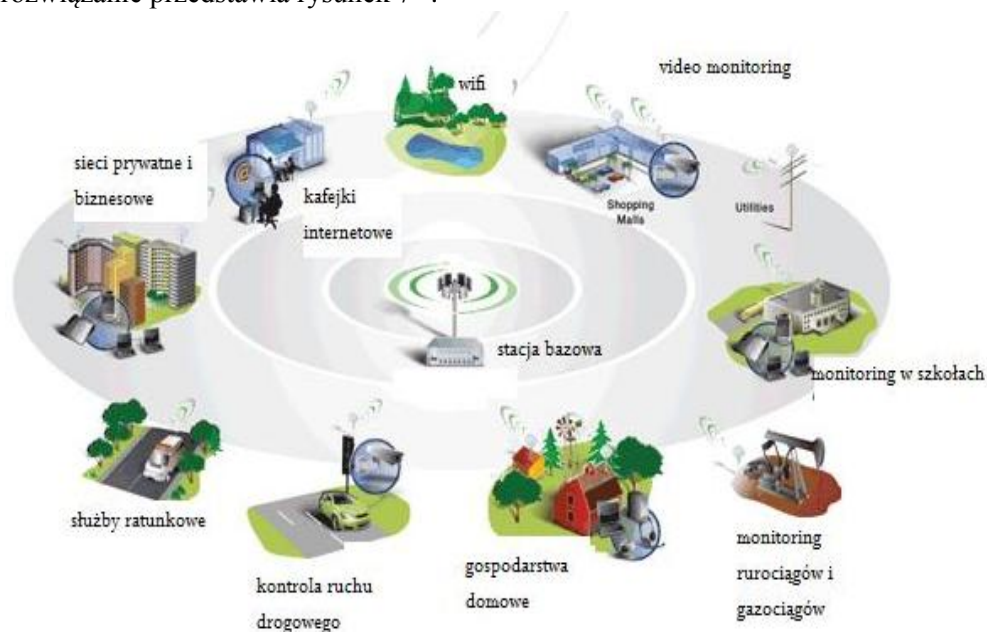
Sieć WiMAX umożliwia pracę w trzech wariantach:

- PtMP (ang. *Point to Multi Point*) - punkt – wielopunkt,
- PtP (ang. *Point to Point*) – punkt – punkt, oraz
- MESH – tryb kraty.

²⁷ <http://computer.yourdictionary.com/mimo> - z dn.18.05.2011.

²⁸ Źródło: <http://computer.yourdictionary.com/mimo> - z dn. 18.05.2011.

Wariant pierwszy charakteryzuje stacja bazowa, z którą za pomocą anten komunikują się pozostałe stacje klienckie. Stacja bazowa jest punktem centralnym do którego styku podłączone mogą być inne sieci za pomocą różnych mediów transmisyjnych takich jak: kable miedziane, kable światłowodowe itp. Takie rozwiązanie przedstawia rysunek 7²⁹.



Rys. 7 Tryb Point – Multi Point³⁰

Wariant drugi to sytuacja, w której połączone są stacje bazowe a poziom transmisji między komunikującymi się urządzeniami jest maksymalny³¹. Tryb Point to Point jest przedstawiony na rysunku 8.

Z kolei wariant trzeci to tryb kraty - MESH - wykorzystywane jest łącze radiowe do innej stacji bazowej. Przykładowa sieć MESH zobrazowana jest na rysunku 9. W tym przykładzie transmisja bazuje na połączeniu między klientami lub wykorzystaniu terminala jednego klienta przez terminale innych klientów do połączenia ze stacją bazową. W trybie MESH mamy do czynienia z sytuacją gdzie dzięki połączeniu każdego z każdym zapewniamy lepsze wykorzystanie i pokrycie większego terenu przez sieć³².

²⁹ K. Jurkowski, *Nowoczesne technologie...*, wyd. cyt. - z dn. 16.05.2011.

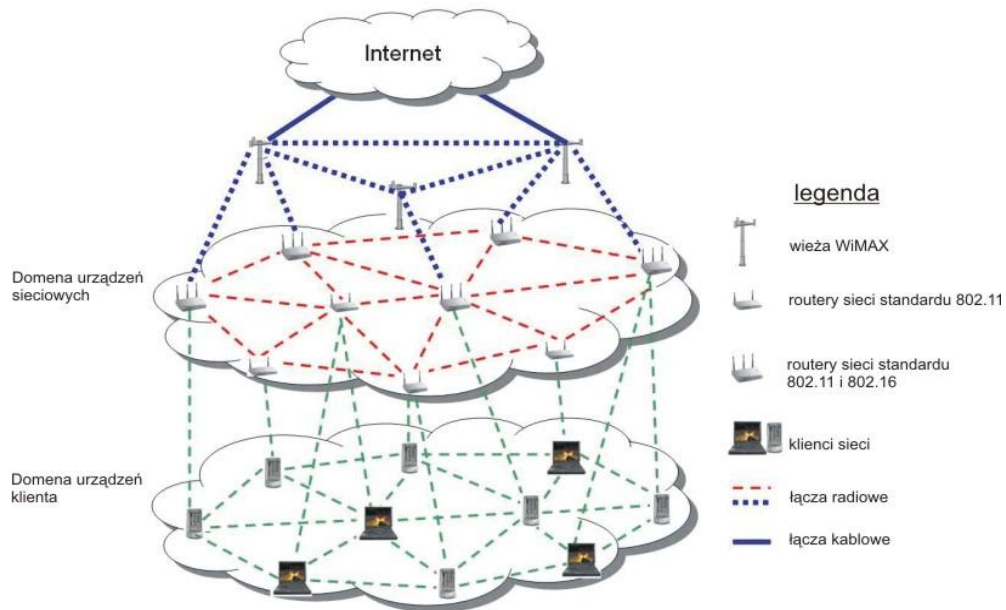
³⁰ Źródło: http://wireless.bfiopitlas.co.uk/objects/15_2_597748917/Point-multi-point-image.gif
z dn. 18.05.2011.

³¹ K. Jurkowski, *Nowoczesne technologie...*, wyd. cyt. - z dn. 16.05.2011.

³² K. Jurkowski, *Nowoczesne technologie...*, wyd. cyt. - z dn. 16.05.2011.



Rys. 8 Tryb Point to Point³³



Rys. 9 Transmisja w trybie MESH³⁴

³³ Źródło: http://wireless.bfiopitilas.co.uk/objects/1_2_75406416/BreezeNetBptop.jpg - z dn. 18.05.2011.

³⁴ Źródło: <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/substation/> - z dn. 18.05.2011.

7. Praktyczne przykłady zastosowania sieci WiMAX

Rozwiązania sieci WiMAX to znakomita alternatywa w miejscach gdzie brak jest infrastruktury kablowej a inne rozwiązania radiowe czy mobilno-radiowe są ograniczone lub też stanowią ofertę mało opłacalną w stosunku do przedstawionej sieci. Na świecie jak też w Polsce wiele firm zdecydowało się na wdrożenie sieci WiMAX w miastach gdzie rosło zapotrzebowanie na alternatywne sieci radiowego dostępu transmisji danych.

Pierwszą sieć WiMAX opartą na standardzie 802.16 uruchomiono w 2005 roku w Bielsku Białej. Uruchomienia dokonała firma StrefaNET w ramach projektu WiMAX Południe. Zastosowane rozwiązanie zapewnia radiowy dostęp do Internetu w promieniu 30 km od nadajnika. W ramach tego projektu uruchomiono również sieci w takich miastach jak: Cieszyn, Żywiec, Czechowice – Dziedzice³⁵.

W 2009 roku konsorcjum czterech firm z Gliwic zajęło się realizacją inwestycji, której celem było stworzenie i uruchomienie systemu monitoringu wizyjnego z wykorzystaniem technologii WiMAX. System oparty został na czterech stacjach bazowych. Poszczególne stacje połączone zostały radioliniami oraz światłowodami oraz stworzono centrum zarządzania systemem, w którym umieszczono wszystkie niezbędne urządzenia potrzebne do działania tej sieci. W systemie monitoringu zamontowano 54 kamery. Dzięki możliwościom technologii WiMAX możliwe było zamontowanie kamer w miejscach gdzie infrastruktura kablowa była niewystarczająca lub też nie możliwa do wybudowania. Rozwiązanie techniczne sieci WiMAX w Gliwicach pozwoliło też na uruchomienie oprócz kamer również punktów HOTSPOT, czyli punkty dostępu do Internetu. Kolejnym rozwiązaniem na bazie sieci radiowej było uruchomienie sterowania sygnalizacją świetlną. Systemem zostały objęte trzy największe, najbardziej ruchliwe skrzyżowania. Umożliwia on stałą analizę ruchu oraz możliwość sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach w czasie rzeczywistym³⁶.

Również w 2009 roku, w Gdańsku dwie firmy Alcatel-Lucent oraz Intel przy współpracy z Urzędem Miejskim uruchomiły mobilną wersję radiowej szerokopasmowej sieci WiMAX w standardzie 802.16e. System oferuje do 18Mbit/s w jednym sektorze radiowym. Pierwsza pilotażowa instalacja sieci w wersji mobilnej ma za zadanie zademonstrowanie możliwości tej sieci w pracy służb miejskich, użytkowników indywidualnych, przedsiębiorstw. Nowa technologia wykorzystana jest w takich obszarach jak: bezpieczeństwo, turystyka, wspomaganie ruchu, nadzór i dysponowanie służbami miejskimi, zdalną nauką czy transmisją multimedialną. Jednym z jej celów jest też wspomaganie w zarządzaniu i obsłudze takiej imprezy jak mistrzostwa UEFA EURO 2012. Projekt wdrożony w Gdańsku znakomicie oddaje ideę oraz pokazuje jak WiMAX może uzupełniać lub zastępować już istniejące technologie transmisji danych³⁷.

³⁵ <http://www.sferanet.pl/technologie/internet.html> - z dn. 18.05.2011.

³⁶ Miejski Serwis Informacyjny Nr 3/2010, Gliwice 2010, s. 4, 5.

³⁷ <http://it.wnp.pl/pilotazowa-siec-wimax-w-gdansk>,82962_1_0_0.html – z dn. 18.05.2011.

8. WiMAX w służbie monitoringu powietrznego

Nowy rodzaj zagrożeń, zwany zagrożeniami asymetrycznymi, stawia przed rozpoznaniem wojskowym nowe wymagania. Wymagania, związane ze stworzeniem koncepcji nowoczesnego systemu rozpoznania, którego potencjał technologiczny i zdolności bojowe odpowiadałyby nowemu typowi zagrożeń i realizowanym operacjom. Wszystko to wymusza daleko idące zmiany w środkach rozpoznania powietrznego.

Jednocześnie postęp cywilizacyjny, gwałtowny wzrost populacji w aglomeracjach miejskich, masowe migracje ludności związane z konfliktami w różnych rejonach globu, zagrożenie terroryzmem, piractwo morskie, rozwój plantacji narkotykowych, gwałtowne zmiany pogodowe powodujące klęski żywiołowe, zanieczyszczenie środowiska i inne tym podobne zjawiska stworzyły nowe wyzwania dla bezzałogowych statków powietrznych.

Parametry sieci WiMAX jak przedstawiono powyżej mogą nadawać się do wykorzystania, jako medium transmisyjne obrazu w czasie rzeczywistym z BAL do naziemnej stacji sterowania. Bezzałogowe statki, które można byłoby wykorzystać do w/w misji to statki powietrzne bliskiego zasięgu, niskiej lub średniej wysokości lotu oraz krótko i średnio trwałej długości lotu. Sieć WiMAX dla takich statków powietrznych spełniałaby parametry, bowiem jej zasięg to ok. 30 km i prędkość przemieszczania się obiektu ok. 100 – 120 km/h.

Przy opracowywaniu systemów monitoringu powietrznego w czasie rzeczywistym ważne jest zapewnienie stałej łączności między BAL a stacją monitoringu. Ze względu na szerokość pasma i spore prędkości transmisji danych znakomicie nadają się do tego sieci mikrofalowe. Wadą takiego systemu jest krótki zasięg do ok. kilku kilometrów w przypadku trybu NLOS - bez widoczności anten oraz zależność tłumienia sygnału od panujących warunków atmosferycznych³⁸.

Wobec wyzwań technologicznych obserwuje się migracje różnych systemów szerokopasmowych w kierunku ujednoczenia. Tak też dzieje się z szerokopasmowymi mediami bezprzewodowymi. Technologie te powinny się przenikać. Stanowiłyby wtedy jednolity system pokrywający się w paśmie licencjonowanym jak i nielicencjonowanym. W przedstawionym rozwiązaniu stacje bazowe powinny być montowane na wieżach tak, aby było możliwe pokrycie ich zasięgiem jak największego obszaru. Biorąc pod uwagę technologie WiMAX oraz inne dostępne technologie to spełniającym te wymagania i sprawdzonym chociażby w stacjonarnym monitoringu jest zaprezentowany system WiMAX³⁹.

³⁸ E. Kołodziński, W. Mąka, *Analiza możliwości zapewnienia stabilnej komunikacji z bezpilotowymi statkami powietrznymi systemu monitoringu zagrożeń bezpieczeństwa w regionie warmińsko-mazurskim*, <http://www.uwm.edu.pl/mkzk/index.php?p=articles> - z dn.22.05.2011.

³⁹ Tamże.

Czas rzeczywisty transmisji obrazu z BAL determinuje również znaczny wzrost ilości danych przesyłanych w jednym czasie. Ciekawym rozwiązaniem tej sytuacji może być zastosowanie przetwarzania danych wyjściowych do stacji kierowania już na pokładzie BAL. Konieczne byłoby jednak zastosowanie mocnej jednostki obliczeniowej zainstalowanej na pokładzie bezzałogowca, co mogłoby wiązać się ze wzrostem wagi urządzenia. Jest to jednak inne wyzwanie dla konstruktorów⁴⁰.

Warunkiem koniecznym, co do możliwości użycia sieci WiMAX w monitoringu powietrznym jest niewątpliwie nieprzerwalność transmisji. W sytuacji, kiedy technologia ta nie przenika się obecnie jeszcze z innymi technologiami, przez co nie może być wspomagana, koniecznym jest takie rozlokowanie stacji bazowych, aby warunki atmosferyczne oraz przeszkody terenowe (szczególnie w warunkach górzystych) nie stanowiły problemu z transmisją.

Na zakończenie warto jeszcze wspomnieć, że komunikację w częstotliwościach mikrofalowych cechuje, jak dotąd spory poziom bezpieczeństwa przesyłania danych a spowodowane jest to:

- pracę na dużych częstotliwościach gdzie dostęp nie jest łatwy,
- pasma te to pasma koncesjonowane i wymagające opłat.

Cechy technologii WiMAX to także:

- system dalekiego zasięgu,
- adaptacyjny system wielu anten (MIMO i AAS),
- elastyczność standardów od IEEE 802.16 do IEEE 802.16e,
- stacja bazowa, jako urządzenie zarządzające i przełączające⁴¹.

WiMAX jest systemem, który oferuje implementację IP, jest więc bardzo konkurencyjny i wydajny. Trzeba podkreślić, że przecież stacje bazowe zainstalowane na potrzeby BSP, mogą służyć, jako stacje bazowe dla rozwiązań stacjonarnych czy też służyć rozwojowi regionu pod względem dostępności do Internetu⁴².

BSP na bazie WiMAX mógłby z powodzeniem realizować zadania na szczeblu pojedynczej placówki Straży Granicznej, jednostki Straży Pożarnej czy Policji, Centrum Reagowania Kryzysowego, a także w służbach takich jak GOPR, TOPR czy WOPR. Przekłada się to oczywiście bezpośrednio na zasięg takiego rozwiązania. Ogromna rola takich zestawów BAL w służbach cywilnych to operowanie w trudnym terenie i nad obszarami trudno dostępnymi takimi jak, np.:

- zbiorniki wodne,
- bagna,
- tereny gęsto zalesione,
- tereny pokryte lodem,
- tereny objęte powodzią,
- tereny objęte pożarem,
- rejony katastrof (np. lotniczych).

⁴⁰ Tamże.

⁴¹ E. Kołodziński, W. Mąka, *Analiza możliwości zapewnienia...*, wyd. cyt., <http://www.uwm.edu.pl/mkzk/index.php?p=articles> - z dn. 22.05.2011.

⁴² Tamże.

9. Zakończenie

Technologia WiMAX to szerokopasmowe, radiowe rozwiązanie transmisji danych o bardzo dużym potencjale. Dzięki rozwiązaniom propagacji sygnału NLOS – bez wzajemnej widoczności, bardzo dobrze sprawdza się w warunkach miejskiej zabudowy. Ze względu na zróżnicowane możliwości, co do trybu transmisji danych charakteryzuje się niską podatnością na zakłócenia. Zastosowane schematy modulacyjne dają możliwość nieprzerwalności transmisji i dopasowują prędkość transmisji do panujących warunków propagacyjnych sygnału. Transmisja w związku z tym ma charakter dynamiczny. Jak widać na przykładach z obszaru Polski, WiMAX może stanowić alternatywę dla innych technologii transmisji danych i znakomicie sprawdzać się w służbach miejskich, monitoringu miejskim itp. usługach związanych z funkcjonowaniem skupisk miejskich zarówno w wersji sieci stacjonarnej jak i mobilnej IEEE 802.16e.

WiMAX jest szerokopasmową siecią radiową działającą w zakresie mikrofalowym. Cechy takie jak: możliwość propagacji sygnału bez widoczności anten, krótki i średni zasięg, różnorodność trybów transmisji danych, prędkości transmisji odpowiadające potrzebom przesyłania obrazu w czasie rzeczywistym, a także mobilność sieci polegająca na możliwości transmisji z obiektów będących w ruchu, stwarza dla użytkownika odpowiednie medium transmisyjne dla małych bezzałogowych statków powietrznych stosowanych lokalnie lub o zasięgu regionu. Możliwości technologiczne szerokopasmowej bezprzewodowej sieci transmisji danych WiMAX zaimplementowanej na pokład bezzałogowego statku powietrznego stwarzają ogromne możliwości dla służb cywilnych i służb porządku publicznego. Na obszarze Polski nie zbyt wielkim terytorialnie gdzie mamy do czynienia ze zróżnicowanym terenem takim jak obszar morski, jeziora, góry, sporo terenów leśnych oraz konieczność utrzymywania odpowiedniej szczelności wschodniej granicy będącej jednocześnie granicą Unii Europejskiej WiMAX może stanowić alternatywę dla innych droższych rozwiązań. Sieć WiMAX to nie tylko możliwości dla transmisji z BAL w czasie rzeczywistym, to możliwość podłączenia obszarów tam gdzie nie ma możliwości poprowadzenia infrastruktury kablowej do sieci globalnej, jaką jest Internet.

Przed nami EURO 2012. Obsługa tak wielkich imprez masowych w największych miastach Polski, ochrona przed zagrożeniami terrorystycznymi, konieczność uszczelnienia granic wymusza potrzebę dobrze zorganizowanego monitoringu. Niezbędne są zatem rozwiązania, które będą mogły współdziałać ze sobą w zakresie obserwacji w czasie rzeczywistym, a także szybkim przesyłaniu danych już przetworzonych do stacji zarządzania czy stanowiska dowodzenia. W przekonaniu autora, rozwiązaniem takim jest sieć WiMAX.

10. Bibliografia

- [1] Jurkowski K., *Nowoczesne technologie: WiMAX jako alternatywa sieci GSM, GPRS i UMTS*, Praca dyplomowa 2005.
- [2] Pochodaj O., *Czy potrzebna jest widoczność optyczna - LOS i NLOS*, 2005.

- [3] Pochodaj O., *Czym tak naprawdę jest WiMAX?*, 2005.
- [4] Pochodaj O., *Mobilny WiMAX - Migracja do 802.16e*, 2005.
- [5] Pochodaj O., *Zasięgi i efektywna przepływność dla sieci typu WiMAX*, 2005.
- [6] Sportack M., *Sieci komputerowe*, Helion, Warszawa 1999.
- [7] Szóstka J., *Fale i anteny*, wyd. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- [8] Szóstka J., *Mikrofale*, wyd. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.

Źródła internetowe

- [1] <http://www.wimax.biz.pl/wimax-artykuly/czy-potrzebna-jest-widocznosc-optyczna-los-i-nlos-4.html> - z dn. 11.05.2011.
- [2] http://www.vivasemfio.com/blog_images/ieee_padroes.jpg - z dn. 19.05.2011.
- [3] http://www.speedtest.pl/internet,wimax_technology.html – z dn. 18.05.2011.
- [4] <http://www.conniq.com/WiMAX/images/beamforming-AAS.gif> - z dn. 18.05.2011.
- [5] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Mikrofale> - z dn. 26.03.2011.
- [6] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Mikrofale> - z dn. 26.03.2011.
- [7] <http://pl.wikipedia.org/wiki/WiMAX> - z dn. 27.03.2011.
- [8] <http://www.wimax.biz.pl/index.php/content/view/4/12/#12> – z dn. 27.03.2011.
- [9] <http://computer.yourdictionary.com/mimo> - z dn. 18.05.2011.



***plk nawig. dr inż. Grzegorz Roslan**, ukończył Wyższą Oficerską Szkołę Lotniczą w Dęblinie, 1989 roku, pracował w 10 płm, a następnie w 1 Korpusie Obrony Powietrznej w Warszawie. W 1993 roku ukończył Politechnikę Warszawską oraz w 1998 roku Akademię Obrony Narodowej. Od 1998 roku jest pracownikiem naukowym AON. W 2005 roku został doktorem nauk wojskowych. Aktualnie zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Lotnictwa w Instytucie Lotnictwa i Obrony Powietrznej, Wydziału Zarządzania i Dowodzenia AON.*