

# Analiza mechanizmu zarządzania poborem energii w sieci ad-hoc standardu IEEE 802.11

Marek Natkaniec (e-mail: natkaniec@kt.agh.edu.pl)  
Katedra Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków

## STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia analizę mechanizmu zarządzania poborem energii, stosowanego w sieci ad-hoc standardu IEEE 802.11. W badaniach założono stosowanie warstwy fizycznej IEEE 802.11b. Przeprowadzone symulacje pozwoliły określić wpływ takich parametrów, jak rozmiar okna ATIM\_Window i długość Beacon\_Interval na wydajność pracy sieci bezprzewodowej oraz zużycie energii. Uzyskane wyniki pozwalają określić wartości tych parametrów, dla których sieć pracuje jeszcze stosunkowo wydajnie nie pobierając przy tym zbyt wiele energii.

## ABSTRACT

### **An analysis of power saving mechanism in IEEE 802.11 ad-hoc networks**

This paper presents an analysis of the power-saving mechanism used in ad-hoc mode of IEEE 802.11 networks. This research assumes IEEE 802.11b as a physical layer type. The performed simulations allow to determine the influence of ATIM\_Window size and Beacon\_Interval parameters on the wireless network efficiency and power consumption. The obtained results allow to determine the value of these parameters guaranteeing the efficient network operation and reasonable energy consumption.

## 1. Wstęp

W ostatnich latach obserwujemy wzrost zainteresowania urządzeniami przenośnymi, takimi jak: laptopy, palmtopy oraz telefony komórkowe. Są one używane głównie przez ludzi, których praca związana jest z nieustannym przemieszczaniem się, oraz przez wszystkich tych, którzy dużo podróżują. Mimo wygody jaką oferują, nie są one pozbawione wad. Jedną z nich jest ich ograniczony czas pracy, którego długość jest ściśle uzależniona od:

- szybkości pracy procesora,
- wielkości i rozdzielczości ekranu,
- pamięci,
- szybkości dysku,
- liczby interfejsów sieciowych

ale przede wszystkim

- pojemności akumulatorów, stanowiących główne źródło zasilania tych urządzeń.

Wraz ze zwiększaniem pojemności akumulatorów rosną ich wymiary i waga, co ogranicza w pewnym momencie ich użycie w urządzeniu przenośnym. Od wielu lat prowadzone są na szeroką skalę prace badawcze w kierunku poszukiwania jak najbardziej wydajnych źródeł energii, jednak historia mówi, że nie należy oczekiwać w najbliższej przyszłości wielkiego przełomu w zwiększaniu pojemności akumulatorów. Dobrym przykładem jest tutaj akumulator Ni-Cd, którego pojemność zwiększono zaledwie dwukrotnie na przestrzeni ostatnich trzydziestu lat. W zasadzie jedyną metodą, pozwalającą wydłużyć czas pracy urządzeń przenośnych zasilanych z akumulatorów, jest stosowanie odpowiednich mechanizmów ograniczających pobór energii przez

poszczególne podzespoły urządzenia. Oszczędność energii polega w tym przypadku na wyłączeniu nieużywanych lub też niewykorzystywanych w danym momencie podzespołów, np.:

- okresowe wyłączenie systemu chłodzenia (wentylatora),
- dysku twardego,
- wyświetlacza,
- karty sieciowej,
- ograniczanie mocy obliczeniowej procesora do wartości wykorzystywanej przez działające aplikacje, itd.

Oczywiście, uruchomienie systemu oszczędzania poboru energii pogarsza w pewnym stopniu wydajność pracy urządzenia przenośnego (zwykle określonego rodzaju komputera), jednakże docelowe założenie, jakim jest oszczędność energii zgromadzonej w akumulatorach, zostaje najczęściej osiągnięte. Powyższe metody wydłużania czasu pracy urządzeń przenośnych pozwoliły na osiągnięcie wartości kilku godzin nieustannego działania takich urządzeń bez konieczności doładowywania akumulatorów, co wydaje się być wynikiem zadowalającym. Problem ograniczania poboru energii dotyczy również wszystkich urządzeń przenośnych, wyposażonych w karty lokalnych sieci bezprzewodowych standardu IEEE 802.11 [10].

IEEE 802.11 określa specyfikację warstwy fizycznej i podwarstwy kontroli dostępu do medium MAC protokołu, dla zapewnienia bezprzewodowej łączności pomiędzy stacjami stałymi, przenośnymi i ruchomymi

rozmieszczonymi na pewnym obszarze. Obszary te, za pomocą punktów dostępu AP (*Access Point*), mogą być ze sobą połączone. Standard definiuje też pewne logiczne obiekty, umożliwiające współpracę z dowolnym typem sieci, np. standardu IEEE 802.x. Nie zawsze jednak musi istnieć punkt dostępu do sieci opartej na kablu. Gdy brakuje takiego komputera, stacje sieci standardu 802.11 mogą utworzyć sieć tymczasową typu *ad-hoc*, tj. grupę kilku komputerów porozumiewających się ze sobą bez pośrednictwa sieci stałej lub centralnego modułu sterującego. Sieci tego typu nazywane są niekiedy sieciami improwizowanymi. Standard IEEE 802.11 określa dwie funkcje dostępu do medium. Pierwsza z nich, DCF, obowiązkowa dla sieci *ad-hoc*, zapewnia transmisję danych asynchronicznych. Druga funkcja, PCF, zapewnia dostarczanie danych z ograniczeniami czasowymi i jest możliwa w sieci z infrastrukturą. Standard IEEE 802.11 definiuje również dwa tryby oszczędzania poboru energii, związane z pracą w trybie z infrastrukturą oraz w trybie *ad-hoc* [10].

Istnieje kilka prac naukowych poświęconych mechanizmom ograniczania poboru energii w sieci standardu IEEE 802.11 [6, 12, 1, 14]. Związane są one jednak zwykle z trybem pracy PCF, bądź też obejmują analizę sieci typu *multi-hop ad-hoc*. Duża część z nich jest również poświęcona modyfikacjom oryginalnego mechanizmu [2, 5, 7, 4, 11, 8]. Prace [13] i [9] przedstawiają wpływ zmian niektórych parametrów zarządzania poborem energii na wydajność pracy sieci standardu IEEE 802.11. Niestety, badania te przeprowadzono kilka lat temu, jeszcze dla wersji wstępnej standardu 802.11, w oparciu o warstwę fizyczną DSSS przy prędkości transmisji 1 Mbit/s. Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie analizy symulacyjnej mechanizmu zarządzania poborem energii w sieci *ad-hoc* aktualnej wersji standardu IEEE 802.11, rozszerzonej o warstwę fizyczną IEEE 802.11b pracującą z szybkością 11 Mbit/s. Przebadany zostanie wpływ najważniejszych parametrów tego mechanizmu: czasu trwania okna ATIM oraz interwału czasowego między generacją kolejnych ramek *Beacon*, na wydajność pracy sieci oraz zużycie energii.

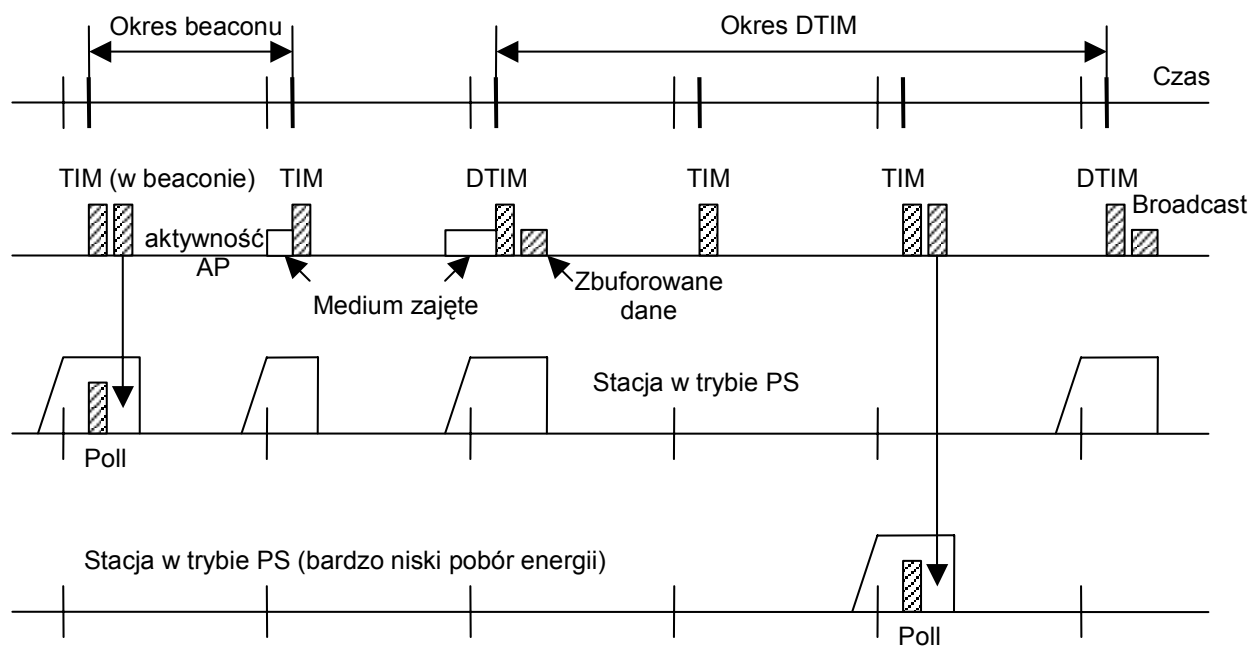
## 2. Tryby oszczędzania poboru energii w standardzie IEEE 802.11

Stacje bezprzewodowe zużywają energię w czasie nadawania i odbioru. W przypadku kart sieci WLANs (*Wireless Local Area Networks*) zapotrzebowania na energię okazały się być bardzo duże. Mogło by się wydawać, że moc pobierana przez kartę WLAN z akumulatorów związana jest głównie z wypromieniowy-

waniem energii elektromagnetycznej poprzez antenę nadajnika karty WLAN. Z przeprowadzonych doświadczeń opisanych w [7] wynika, że karta WLAN, pracująca z szybkością 1 Mbit/s, pobiera dwunastokrotnie więcej energii niż standardowa karta Ethernet, pracująca z szybkością 10 Mbit/s. Niestety z pomiarów wynika, że karta WLAN, pracując w trybie odbioru, zużywa w porównaniu do trybu nadawania niewiele mniej energii. Zastosowanie karty WLAN bez trybu oszczędzania poboru energii może więc w ekstremalnych sytuacjach powodować zmniejszenie o kilkadziesiąt procent czasu pracy komputera przenośnego. Mechanizm zarządzania poborem mocy w sieci 802.11 pozwala na pełnoprawną pracę stacji w sieci z wyłączonym przez pewien czas zasilaniem. Jednak zmniejszając w drastyczny sposób zużycie baterii zmniejsza się wydajność stacji – ogólnie istnieje odwrotnie proporcjonalna zależność pomiędzy ilością zużywanej energii a osiąganą wydajnością – daje to pewne możliwości ustalenia punktu pracy stacji na krzywej tych dwóch parametrów.

### 2.1. Tryb oszczędzania poboru energii w sieci z infrastrukturą

W stacji AP znajduje się bufor ramek, w którym przechowywane są ramki przygotowane do transmisji. Każda stacja przechodząca do trybu mniejszego zużycia energii (okresowe, prawie całkowite wyłączenie – pracują tylko liczniki czasu) informuje o tym AP. Dzięki temu AP nie wysyła do wyłączonych stacji ramek, a czeka na powrót ich do normalnego trybu pracy. AP utrzymuje tablicę TIM (*Traffic Indication Map*). Jest to wykaz stacji, dla których w buforze są przechowywane ramki. Stacja dowiaduje się, że jest do niej buforowana ramka z danymi, w czasie odebrania ramki *Beacon* – przesyłana jest tam również aktualna wartość TIM (rys. 1). Ramki *Beacon* generowane są okresowo. Stacje mogą same decydować, co którą ramkę *Beacon* mają obowiązek odebrać poprzez ustalenie własnego parametru *Listen\_Interval*. Zmieniając ten parametr otrzymujemy inne zużycie energii i inną wydajność sieci. Stacja, gdy już wie, że jest buforowana do niej ramka, wysyła żądanie do komputera AP i ten, w odpowiedzi na to żądanie, dokonuje transmisji buforowanej ramki. W niektórych ramkach *Beacon*, zamiast tablicy TIM, znajduje się tablica DTIM (*Delivery Traffic Indication Map*). Zawiera ona również wykaz stacji, do których buforowane są ramki, ale dodatkowo, bezpośrednio po zakończeniu nadawania ramki *Beacon*, nadawane są wszystkie buforowane ramki typu *broadcast* i *multicast*. Nie są one potwierdzane. Częstotliwość występowania ramki *Beacon* z tablicą DTIM ustala się odrębnie dla danej sieci – może ona np. być nadawana w co trzeciej ramce *Beacon*, a w pozostałych nadawane są tablice TIM.



Przykład: DTIM co trzy TIM

Rys. 1. Praca w trybie oszczędzania poboru energii PSM (*Power Save Mode*)

Rysunek 1 przedstawia aktywność punktu dostępowego i stacji. Ramka DTIM jest wysyłana co trzy ramki TIM. Górna oś, przedstawiona na rysunku, jest osią czasu, przedstawiony jest na niej interwał czasowy DTIM i ramek *Beacon*. Na osi poniżej przedstawiona jest aktywność punktu dostępowego. Punkt dostępowy próbuje wysłać ramkę *Beacon* w określonych odstępach czasu, jednak może zdarzyć się niewielkie opóźnienie, w przypadku, gdy AP natrafi na zajęte medium. Należy zauważyć, że druga stacja nie przechodzi w stan aktywny w przypadku każdej ramki *Beacon*, co pozwala na jeszcze większą oszczędność energii. Trzecia i czwarta oś przedstawiają aktywność dwóch stacji, pracujących z różnymi wymaganiami energetycznymi. Obie stacje uruchamiają swoje odbiorniki, gdy chcą nasłuchiwać ramek TIM. Przykładowo, pierwsza stacja uruchamia swój odbiornik i odbiera TIM w pierwszej ramce *Beacon*. TIM wskazuje na dane zgromadzone dla tej stacji. Wówczas stacja generuje ramkę odpytującą PS-poll, która inicjuje transmisję zgromadzonych danych przez punkt dostępowy. Dane typu *broadcast/multicast* są wysyłane okresowo po każdej ramce *Beacon* zawierającej DTIM. DTIM jest znacznikiem TIM z polem identyfikacyjnym stacji ustawionym na „0”, co oznacza – dla wszystkich stacji.

Urządzenia nadawczo-odbiorcze stacji mogą przebywać w dwóch stanach:

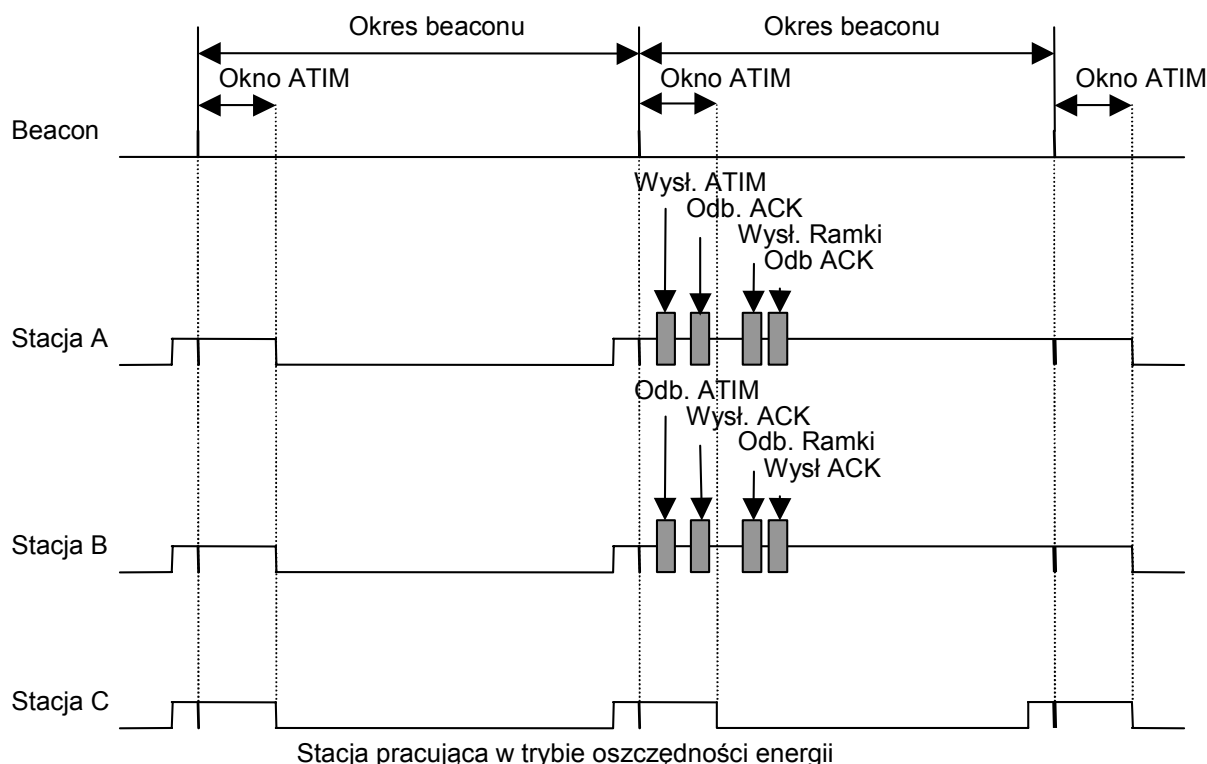
- 1) Aktywnym (*Awake*) – odbiornik pracuje pełną mocą – realizowany jest odbiór lub oczekiwanie na odbiór.

- 2) Uśpienia (*Power Save Mode*) – stacja nie może nadawać i odbierać – zużywa bardzo mało energii, niektóre obwody są jednak aktywne (np. liczniki). W trybie oszczędności energii stacja powinna pozostawać w trybie uśpienia i budzić się okresowo, w celu: nasłuchiwania wszystkich lub wybranych ramek *Beacon*, odbioru danych *broadcast* lub *multicast*, które podążają za ramką *Beacon*, transmisji danych, oczekiwania na potwierdzenie ramki PS-poll przez PC (AP), odbioru zgromadzonych danych przez PC (AP).

Stacje mają możliwość zmiany trybu pracy. Ponieważ komputer AP przechowuje dane o aktualnym trybie wszystkich stacji, muszą one go zawiadamiać o zaisntniałych zmianach. Tryby pracy danej stacji są przekazywane w nagłówku każdej ramki. Stacja AP nigdy nie buforuje ramek do stacji nie będących w trybie PSM (oszczędzania energii) – ramki są zawsze do nich bezpośrednio przesyłane według normalnych procedur. Jeżeli sieć pracuje w trybie DCF, to stacje pracujące w trybie PSM, po usłyszeniu w TIM, że są do nich buforowane ramki, muszą nadać, po przeprowadzeniu standardowej procedury zajmowania medium, ramkę PS-Poll. Ramka ta sygnalizuje komputerowi AP, że stacja jest już gotowa do odbioru ramki – AP przesyła ją i oczekuje na potwierdzenie. Stacja potwierdza odbiór, ale musi pozostać aktywna, jeżeli nadawane są jeszcze jakieś fragmenty tej jednostki MSDU (*Message Service Data Unit*). Po odbiorze i potwierdzeniu ostatniego fragmentu, stacja może przejść w tryb oszczędzania energii PSM, aż do kolejnej chwili TBTT.

Jeżeli sieć pracuje w trybie PCF i znajduje się obecnie w okresie CFP (*Contention Free Period*), to stacje zawsze włączają zasilanie, aby przynajmniej odebrać ramkę *Beacon* z DTIM. Odczytują stamtąd informacje, do których stacji buforowane są ramki. Stacja AP, po nadaniu ramek typu *broadcast* i *multicast*, przystępuje do nadawania buforowanych ramek do stacji. Każda z przesłanych ramek musi być potwierdzana przez odbiorcę. Wysyłanie buforowanych ramek i ich potwierdzanie w okresie CFP odbywa się każdorazowo po czasie SIFS niezajętości medium. Jeżeli stacje odebrały ramki, zawierające informacje o następnych fragmentach danej wiadomości oczekujących na transmisję, mogą je uzyskać później wysyłając ramkę PS-Poll.

ka *Beacon*, a zaraz po niej następuje okres zwany *ATIM\_Window* (rys. 2). Każda stacja, która buforuje ramki do innych, ma prawo po przeprowadzeniu standardowej procedury *Backoff* nadać ramkę ATIM. Jeżeli nie zdąży tego zrobić w okresie *ATIM\_Window*, musi czekać do następnego takiego okresu występującego po transmisji ramki *Beacon* w lub po momencie TBTT. W przedziale *ATIM\_Window* zabroniona jest transmisja innych ramek niż ATIM. Ramki te niosą informacje o buforowanych danych. Jeżeli są to ramki typu *unicast* to muszą być one potwierdzone. Stacje przebywające w trybie PSM (wyłączenia) mają obowiązek włączenia zasilania również na czas trwania ramki ATIM. Jeżeli usłyszą tam swój adres, muszą



Rys. 2. Praca w trybie oszczędzania poboru energii sieci ad-hoc

## 2.2. Tryb oszczędzania poboru energii w sieci ad-hoc

Działanie mechanizmów zarządzania poborem energii jest podobne jak w przypadku sieci z infrastrukturą, np. stacje muszą być zsynchronizowane a informacje o buforowanych ramkach, które są adresowane do stacji przebywających w trybie oszczędzania energii, są wcześniej ogłaszane. Stacje przebywające w trybie oszczędzania energii muszą tylko słuchać tych rozgłoszeń (zwanymi Ad-Hoc TIM, lub ATIM), aby określić, czy muszą włączyć na dłużej odbiornik. W sieci *ad-hoc* brakuje centralnego węzła buforującego ramki i wysyłającego dane TIM. Każda stacja jest odpowiedzialna za generowanie własnych informacji ATIM. Co każdy okres *Beacon\_Interval* generowana jest ramka

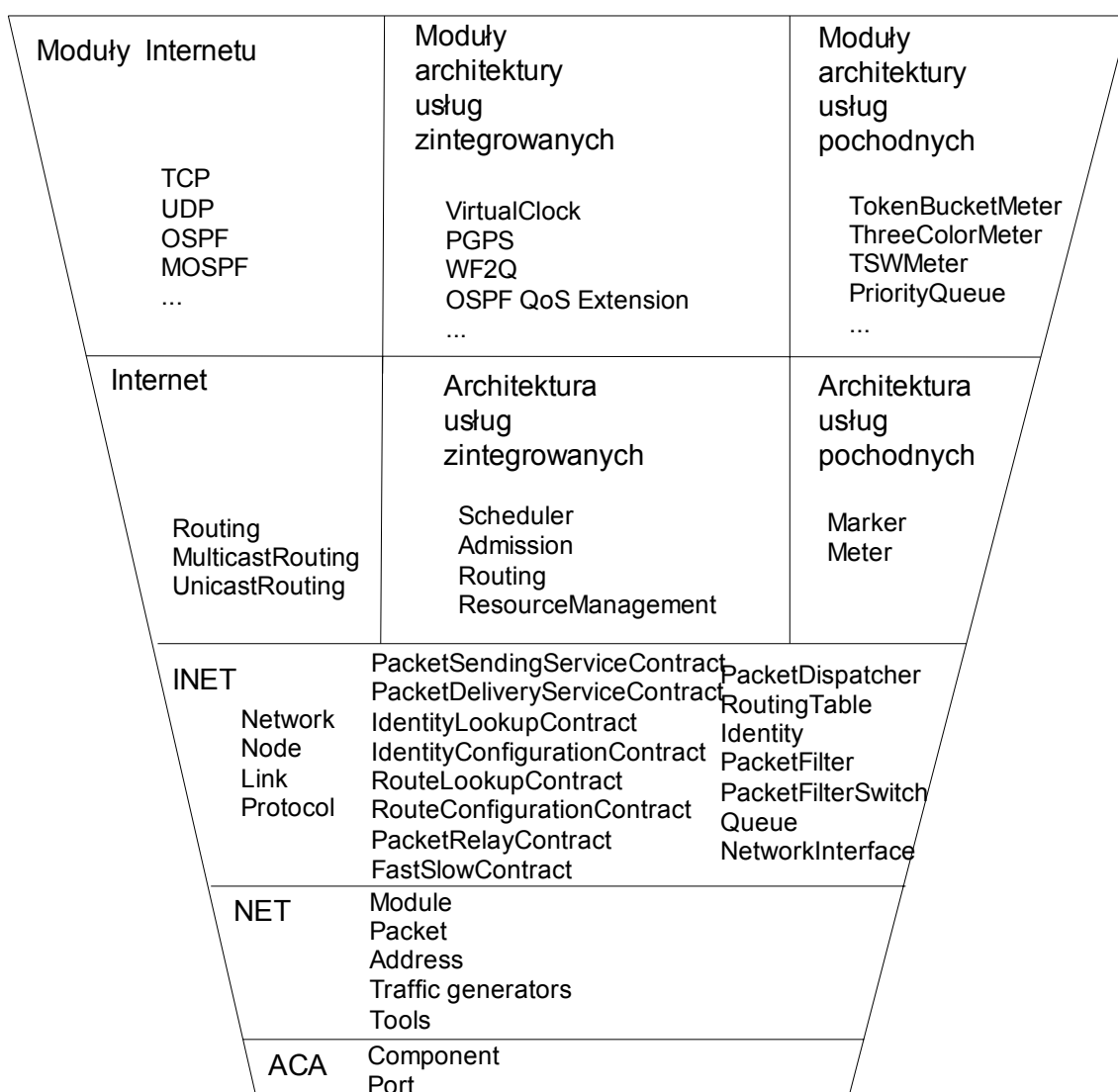
potwierdzić ramkę ATIM oraz oczekiwać przy włączonym zasilaniu na transmisję buforowanej stacji. Nie zawsze stacja buforująca ramkę zdąży ją nadać przed następnym okresem *ATIM\_Window*. W takim wypadku musi ponownie potwierdzić fakt buforowania ramki poprzez transmisję ramki ATIM. Stacje są zsynchronizowane dzięki działaniu mechanizmu rozproszonej generacji ramek *Beacon*. Jednym z celów takiej synchronizacji jest właśnie koordynacja okresów czuwania i wymiana danych ATIM.

Na rysunku 2 przedstawiono przebieg transmisji pomiędzy dwoma stacjami pracującymi w sieci *ad-hoc*. Stacje A i B wymieniają między sobą informacje, stacja C nie bierze udziału w wymianie ramek, więc przechodzi w stan uśpienia po zakończeniu okna ATIM Window.

### 3. Symulator J-Sim

Środowisko symulacyjne J-Sim bazuje na architekturze komponentów [3]. Podstawową jednostką w środowisku J-Sim jest komponent, ale w przeciwieństwie do innych symulatorów, których budowa opiera się na podobnej architekturze, komponenty są niezależne. Symulator J-Sim umożliwia między innymi badanie sieci WLAN standardu IEEE 802.11, uwzględniając przy tym, jako jeden z nielicznych na świecie symulatorów, model zarządzania poborem energii. Komponenty architektury sieci zostały zaimplementowane w postaci odrębnych klas, a te z kolei zostały zorganizowane w warstwy. Rysunek 3 przedstawia pięciowarstwową organizację klas w omawianym symulatorze.

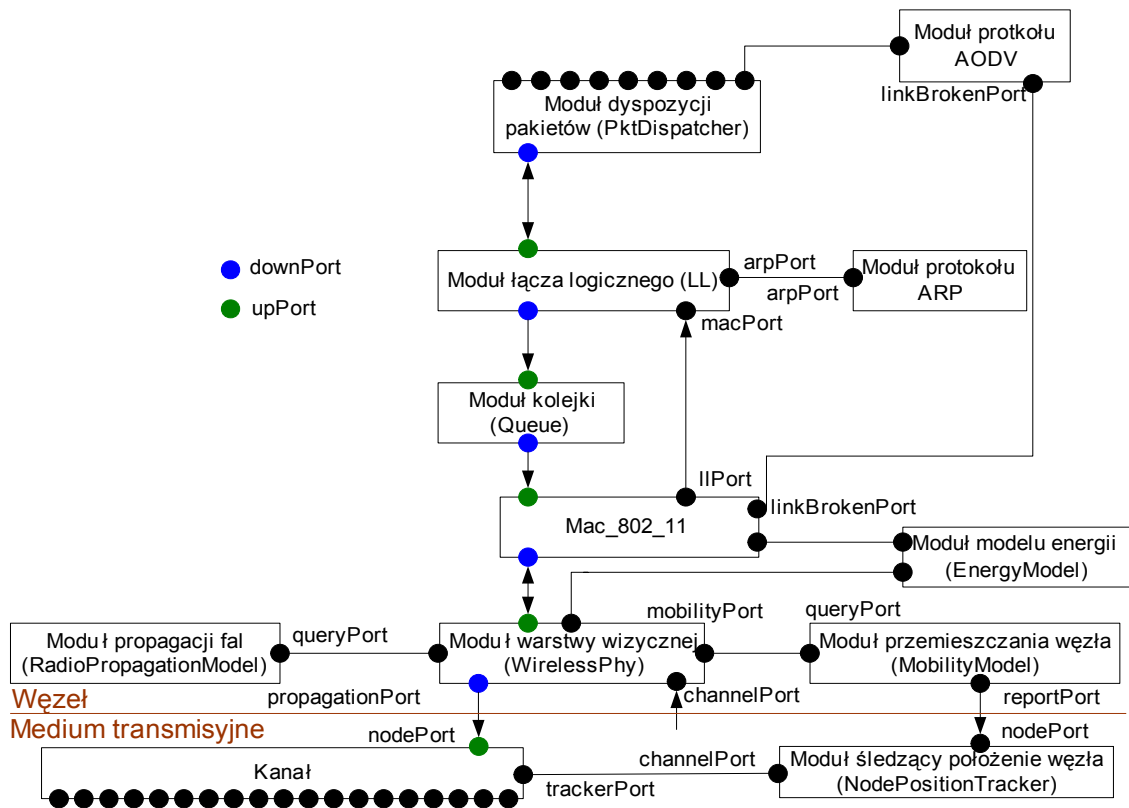
neratory pakietów, monitory ruchu) do prawidłowego przeprowadzenia symulacji oraz jej monitorowania czy graficznego ilustrowania wyników. Warstwa INET (*Internetworking Simulation Platform*) zawiera między innymi takie klasy, jak: klasy podstawowe do konstruowania hierarchicznych sieci, klasy implementujące komponenty protokołów, klasy kontraktów – jedną dla każdego zdarzenia. Warstwa zawiera trzy różne architektury sieciowe: architekturę Internetu, architekturę usług zintegrowanych, architekturę usług pochodnych. Na szczycie wszystkich warstw znajdują się moduły protokołów i specyficznych dla architektury sieciowej algorytmów. Implementacja sieci bezprzewodowych zawiera zestaw komponentów, które ułatwiają symulację podstawowych zagadnień związanych z rozpa-



Rys. 3. Organizacja klas w symulatorze J-Sim

Warstwa ACA (*Autonomous Component Architecture*) zawiera klasę komponentu oraz portu. Warstwa NET zawiera podstawowe klasy i narzędzia niezbędne (ge-

trywanymi sieciami. Na rysunku 4 przedstawiono schemat budowy węzła bezprzewodowego sieci standardu IEEE 802.11, złożonego z komponentów.



Rys. 4. Schemat budowy węzła bezprzewodowego sieci standardu IEEE 802.11 w J-Sim

Aby umożliwić symulację bezprzewodowej stacji ruchomej sieci standardu IEEE 802.11, należy zaimplementować dodatkowe komponenty, zgrupowane w trzy główne kategorie wymienione poniżej:

- 1) Zestaw protokołów obsługujących komunikację pomiędzy stacjami (AODV, ARP, IEEE802.11 i LL).
- 2) Zestaw komponentów reprezentujących fizyczną architekturę węzłów ruchomych, które umożliwiają: zmianę pozycji, śledzenie ruchu, uwzględnianie poboru energii przez każdą stację oraz moc sygnału każdej odebranej ramki poprzez kartę WLAN. Komponenty te to: WirelessPhy, MobilityModel, RadioPropagationModel i EnergyModel (zawarty wewnątrz komponentu WirelessPhy).
- 3) Zestaw klas implementujących współdzielone przez stacje medium. Te klasy to: Channel i NodePositionTracker.

W symulatorze J-Sim zaimplementowano zarządzanie poborem energii dla sieci *ad-hoc* zgodnej ze standardem 802.11. W związku z tym zaimplementowano następujące klasy:

- TSFTimer – klasa generująca logiczny zegar służący do synchronizacji czasowej. Jeżeli jego przesunięcie wynosi 0, wówczas następuje synchronizacja wszystkich stacji w momencie uruchamiania symulacji.
- ATIMEndTimer – klasa sygnalizująca czas zakończenia okresu okna ATIM.
- TBTTTimer – klasa generująca okresy między ramkami *Beacon*.
- BeaconTimer – klasa rozpoczynająca transmisję ramek *Beacon* wewnątrz okna ATIM.
- EnergyModel – określa profil energii stacji oraz śledzi jej zużycie w trakcie trwania symulacji.

Poprzez odpowiednie ustawianie flag w skrypcie zawierającym scenariusz symulacji, można tryb zarządzania poborem energii włączać lub wyłączać. Możliwe jest też manipulowanie czasami *BeaconInterval* i *ATIMWindow*, oraz ustawianie parametrów energetycznych kart sieciowych.

## 4. Wyniki symulacji

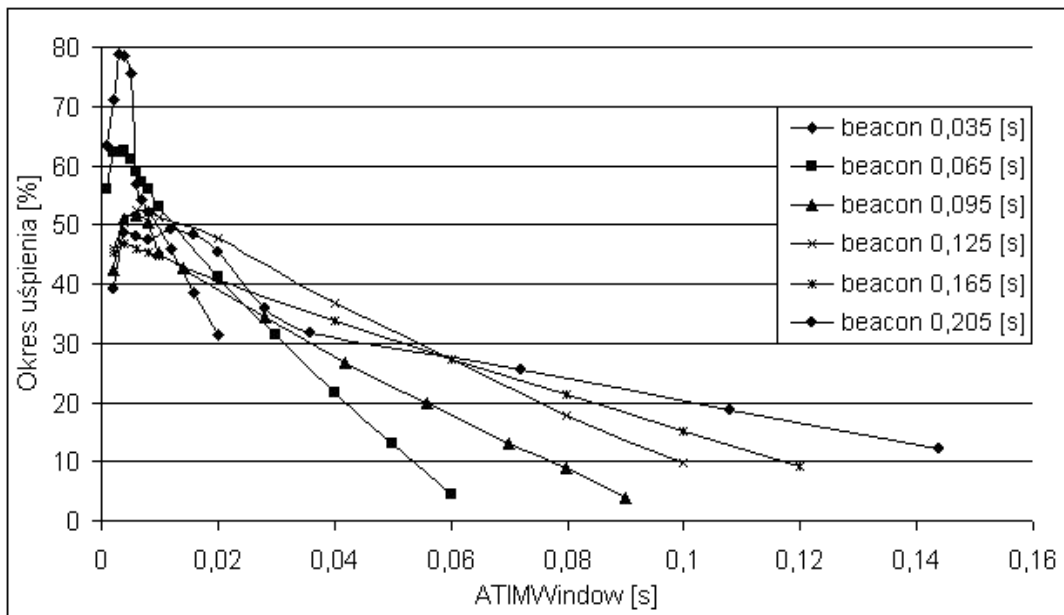
Analizie symulacyjnej poddano pięć stacji pracujących w sieci *ad-hoc* standardu IEEE 802.11b na obszarze 50m x 50m. Wszystkie stacje były stacjami aktywnymi i nadawały dane do pozostałych stacji. Rozmiar bufora stacji wynosił 10000B. Karta WLAN oparta była na układzie firmy ATMEL ATR 3515 o następujących wartościach poboru mocy: moc wyjściowa (*Output Power*) – 0,251W, moc nadawania (*Transmit Power*) – 0,594W, moc w czasie odbioru (*Receive Power*) – 0,495W, moc pobierana w stanie nieaktywnym (*Off Power*) – 0,043W. Prezentowane wyniki są wartościami uśrednionymi dla wszystkich stacji.

#### 4.1. Wpływ parametru *ATIM\_Window* i *Beacon\_Interval* na długość okresu uśpienia stacji

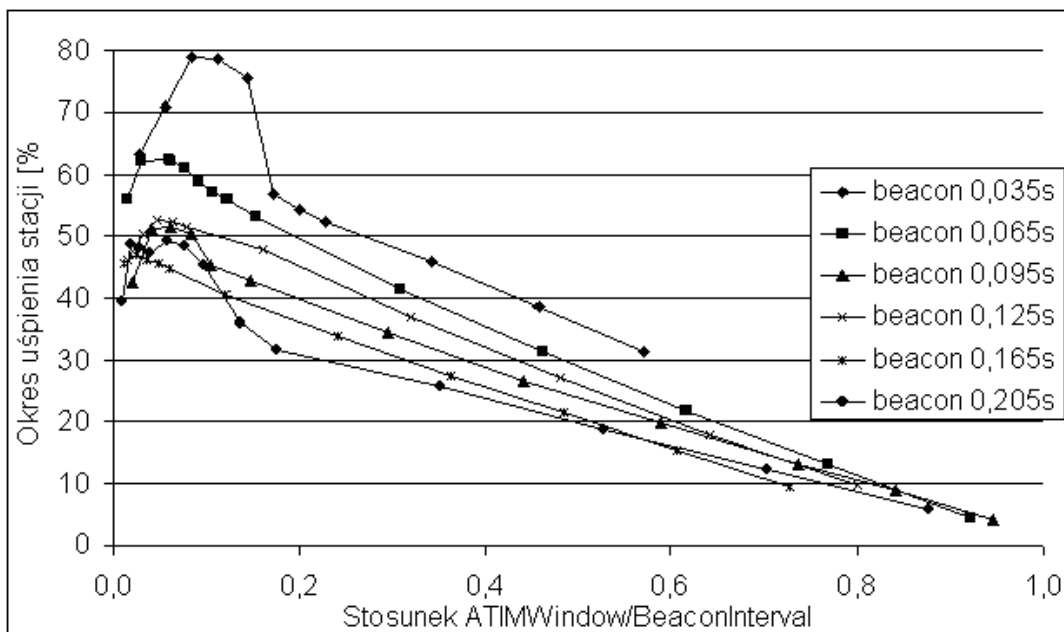
W przeprowadzonych badaniach zmieniano szerokość okna *ATIM\_Window* dla określonych wartości parametru *Beacon\_Interval*. Rozmiar pakietów generowanych przez źródło wiadomości wynosił 512B, a odstęp generacji pomiędzy pakietami 0,001 s. Rysunek 5 przedstawia zależność okresu *ATIM\_Window* od czasu uśpienia stacji dla różnych wartości parametru *Beacon\_Interval*.

Wraz z poszerzaniem okna czasowego *ATIM\_Window*, czyli okresu, w którym stacja musi pozostać aktywna, aby nasłuchiwać ramki ATIM, maleje czas jej nieaktywności, czyli okres uśpienia. Czas ten odpowiada różnicy okresu *Beacon\_Interval* i okna *ATIM\_Window*. Charakterystyczne jest występowanie maksimum, dla których stacja pozostaje aktywna najkrócej. Wraz ze zwiększaniem się parametru *Beacon\_Interval* maleją maksymalne wartości okresu uśpienia stacji.

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ zmiany stosunku *ATIM\_Window/Beacon\_Interval* na okres uśpienia stacji. Czas uśpienia stacji podano w procentach jako



Rys. 5. Zależność *ATIM\_Window* od okresu uśpienia stacji dla różnych wartości *Beacon\_Interval*



Rys. 6. Wpływ zmian stosunku *ATIM\_Window/Beacon\_Interval* na okres uśpienia stacji

stosunek czasu uśpienia do czasu trwania symulacji. Ze względu na oszczędność energii bezsensowne byłoby przyjmowanie długich odstępów pomiędzy ramkami *Beacon* i dużych wartości *ATIM\_Window*. Stacja znajdowałaby się wówczas przez długi okres w stanie aktywnym i pobierałaby więcej energii. W związku z tym, należałoby pójść na kompromis i znaleźć takie wartości *Beacon\_Interval* oraz *ATIM\_Window*, dla których okresy uśpienia będą w miarę długie – ze względu na zmniejszony pobór energii w tym czasie. Okresy te nie mogą być jednak zbyt długie, gdyż powodowałyby to zmniejszenie wydajności pracy sieci (spadek ruchu realizowanego).

Podobnie jak na poprzednim wykresie, istnieją pewne maksima w okresach uśpienia stacji dla określonego stosunku parametrów *ATIM\_Window/Beacon\_Interval* (np. *ATIM\_Window* = 0,003 s i *Beacon\_Interval* = 0,035 s). Wartości te są optymalne dla założonej konfiguracji pracy sieci. Dla dużych wartości *Beacon\_Interval* nie jest możliwe pełne wykorzystanie oferowanego przez sieć pasma, ze względu na niemożność wysyłania danych w okresie uśpienia. Przesuwając się w kierunku większych wartości stosunku *ATIM\_Window/Beacon\_Interval*, otrzymujemy krótsze okresy uśpienia. Wartość stosunku powyżej 0,5 powoduje nieefektywne wykorzystanie pasma, ponieważ stacja przez długi okres jest w stanie uśpienia.

#### 4.2. Wpływ parametru *ATIM\_Window* na pobór energii

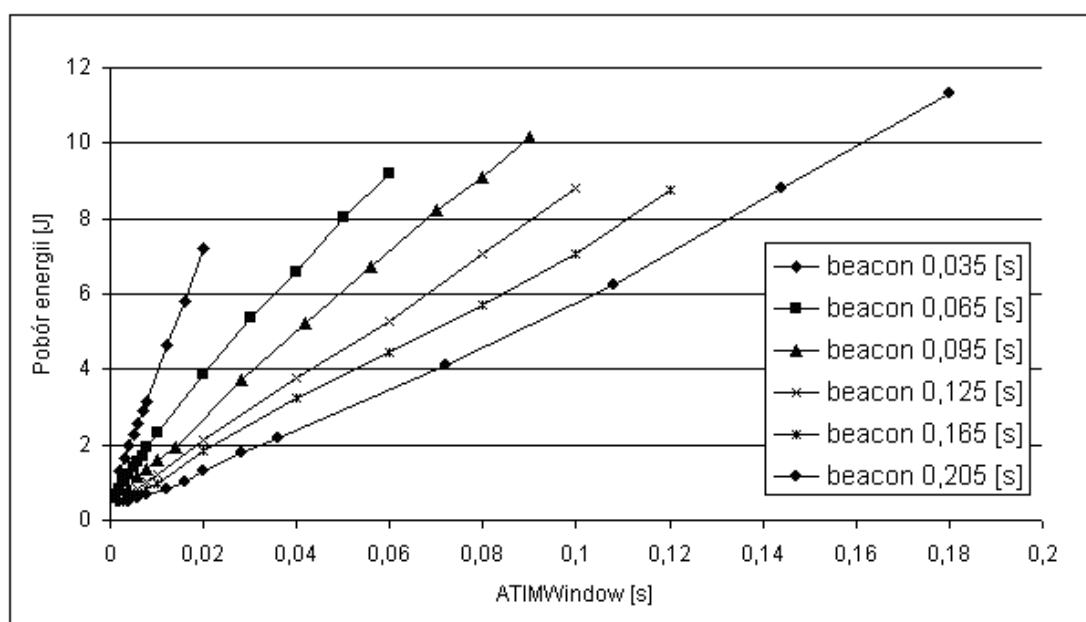
Wartość początkowa energii, dla każdej karty, została ustawiona na 1000J. J-Sim implementuje mechanizm poboru energii przez kartę, polegający na odejmowaniu, od ustalonej wartości, energii zużywanej przy transmisji/odbiorze pakietów oraz w trakcie uśpienia

stacji. Mechanizm ten wzorowany jest na mechanizmie zaimplementowanym w symulatorze NS-2. Energia, jaką posiada karta po zakończeniu symulacji, równa jest energii początkowej pomniejszonej o energię zużytą w trakcie trwania procesu symulacji. Wyniki wpływu zmian parametru *ATIM\_Window*, dla różnych wartości czasu nadawania ramek *Beacon*, na pobór energii (podobnie jak w poprzednim przypadku uśredniony dla wszystkich stacji) przedstawiono na rysunku 7.

Analizując otrzymany wykres zauważamy, że wraz ze wzrostem długości okna ATIM rośnie pobór energii. Jest to intuicyjne, ponieważ wydłużając okres *ATIM\_Window*, wydłużamy czas, w którym stacja pozostaje aktywna (nawet gdy nie ma do wysłania/odbioru danych) pobierając tym samym więcej energii. Wzrost odstępu generacji ramek *Beacon* pociąga za sobą wzrost długości okresu *ATIM\_Window*. Nielogiczne jest ustawianie bardzo długiego okresu *Beacon\_Interval* i bardzo krótkiego okna *ATIM\_Window*. Stacje nie zdążyłyby zgłosić wszystkich danych do wysłania, przez co, mimo dużego czasu przeznaczonego na transmisję danych, pozostałby on niewykorzystany.

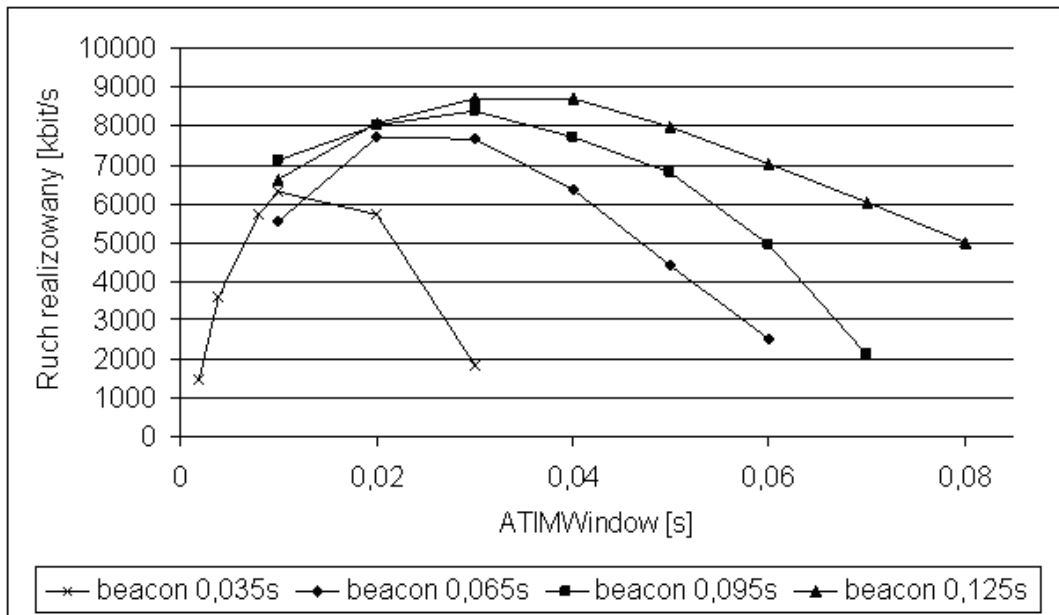
#### 4.3. Wpływ parametrów *ATIM\_Window* i *Beacon\_Interval* na wielkość ruchu realizowanego

Dla zbadania wpływu parametrów *ATIM\_Window* i *Beacon\_Interval* na wielkość ruchu realizowanego, zmieniano wielkość parametru *ATIM\_Window* dla zadanych wartości parametru *Beacon\_Interval*. W każdym z przypadków źródło wiadomości pojedynczej stacji generowało pakiety o wielkości 512B co 0,0007 s (ok. 5700 kbit/s).

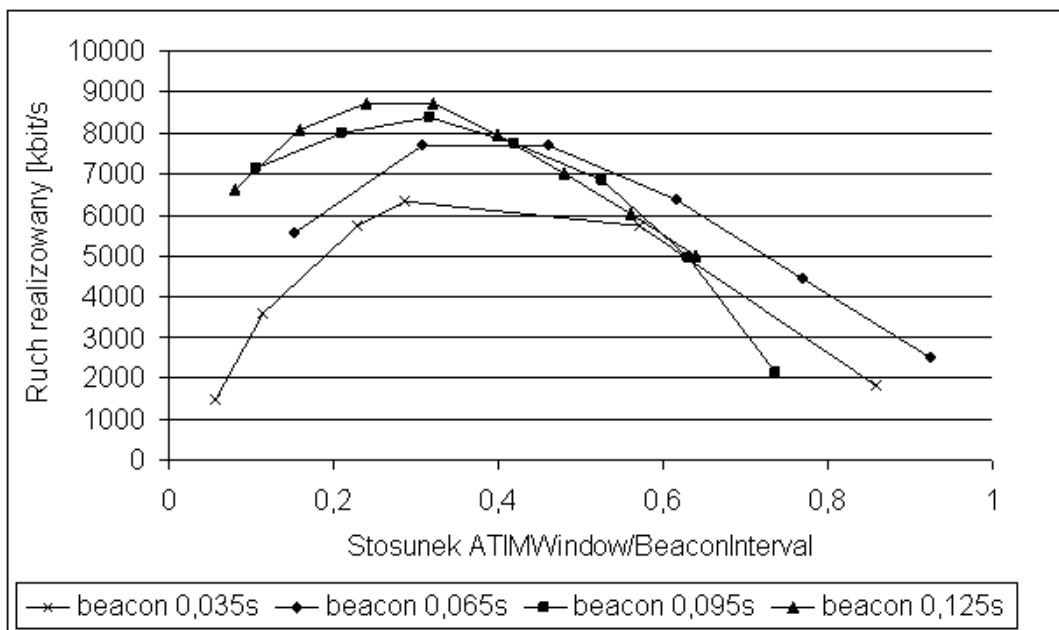


Rys. 7. Wpływ zmian parametru *ATIM\_Window* na pobór energii





Rys. 8. Wpływ zmian parametrów ATIM\_Window i Beacon\_Interval na sumaryczną wielkość ruchu realizowanego



Rys. 9. Wpływ zmian stosunku ATIM\_Window/Beacon\_Interval na sumaryczną wielkość ruchu realizowanego

Analiza otrzymanego wykresu (rys. 8) pozwala zaobserwować maksymalną przepustowość dla pewnego przedziału wartości *ATIM\_Window* przy ustalonym parametrze *Beacon\_Interval*. Zmiana wartości okna ATIM powoduje zmniejszanie się ruchu realizowanego. Dla małych wartości okna ATIM stacja pozostaje przez dłuższy okres w stanie uśpienia i nie może wysłać ani odbierać danych – stąd przepustowość nie może osiągnąć maksymalnej wartości. Dla ATIM zbliżonych wartością do parametru *Beacon\_Interval* stacja pozostaje przez długi okres aktywna, ale w trakcie trwania okna ATIM nie może wysłać żadnych innych ramek poza sterującymi. Stąd przepustowość nie może osiągnąć

zadawalających wartości. Należy zastanowić się, jak dobrać zmieniane parametry, aby efektywnie wykorzystać dostępne pasmo. Parametry są ze sobą powiązane i wzajemnie zależne, dlatego trzeba je dobrać tak, aby ich stosunek zawierał się w pewnym przedziale, co przedstawiono na rysunku 9.

Z wykresu wynika, że maksymalną wydajność pracy sieci uzyskamy, jeżeli przyjmijemy wartości *ATIM\_Window* i *Beacon\_Interval* tak, aby ich stosunek wynosił 0,25 – 0,4. Zapewni to dużą efektywność pracy sieci, stosunkowo krótki okres uśpienia stacji (por. rys. 6) oraz optymalne zużycie energii.

## 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę symulacyjną mechanizmu zarządzania poborem energii w sieci *ad-hoc* standardu IEEE 802.11. Z przeprowadzonych badań wynika, że problem właściwego doboru parametrów mechanizmu zarządzania poborem energii nie jest sprawą trywialną i zależy od wielu czynników. Przy ich doborze należy pamiętać o następujących składnikach: ruchu realizowanym jako wskaźniku wydajności pracy sieci, generowaniu dodatkowego ruchu przez ramki kontrolne, okresach uśpienia stacji. Należy szukać wartości parametrów, które zapewnią, z jednej strony, wydajną pracę sieci, a z drugiej – stosunkowo długi czas pracy stacji z ograniczonych źródeł zasilania. Parametrami, które mają kluczowe znaczenie w rozpatrywanym zagadnieniu są: czas trwania okna ATIM oraz interwał czasowy pomiędzy generacją kolejnych ramek *Beacon*. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepszym rozwiązaniem będzie taki dobór parametrów *ATIM\_Window* i *Beacon\_Interval*, aby ich stosunek zawierał się w przedziale od 0,25 – 0,4. Zapewniona zostanie wówczas duża oszczędność energii przy efektywnej pracy sieci. Oczywiście wartość parametru *ATIM\_Window* zależy również od liczby aktywnych stacji oraz generowanego przez nie ruchu. Jeżeli w sieci *ad-hoc* wiele stacji przebywa w trybie ograniczonego poboru energii lub generowany przez nie ruch jest duży, nie możemy przyjąć zbyt małej wartości okna *ATIM\_Window*. Istnieje również zależność pomiędzy ograniczaniem poboru energii i nadmiarem kontrolnym, wprowadzonym do sieci przez sam mechanizm jego działania. Okazuje się bowiem, że spadek całkowitej szybkości transmisji o około kilkanaście procent, w wyniku działania samego mechanizmu ograniczania poboru energii, może przynieść nawet kilkadziesiąt procent oszczędności w poborze energii.

## Literatura

- [1] Chen Y., Smavatkul N., Emeott S.: *Power Management for VoIP over IEEE 802.11 WLAN*
- [2] Feeney L.M.: *A QoS Aware Power Save Protocol for Wireless Ad Hoc Networks*. In: Proceedings of Med-Hoc-Net 2002, Saredegna, Italy, September 2002
- [3] <http://www.j-sim.org>
- [4] Jeong Y., Park J., Ma J., Kim D.: *An Enhanced Power Save Mode for IEEE 802.11 Station in Ad Hoc Networks*. Lecture Notes in Computer Science, Volume 3260/2004
- [5] Pack S., Choi Y.: *An Adaptive Power Saving Mechanism in IEEE 802.11 Wireless IP Networks*. Journal

of Communications And Networks, Vol. 7, No. 2, June 2005

- [6] Qiao D., Choi S., Choi S., Jain A., Shin K.: *An Optimal Low-Energy Transmission Strategy for 802.11*. Taipei, Taiwan, 1998
- [7] Qiao D., Choi S., Soomro A., Shin K.G.: *Energy-Efficient PCF Operation of IEEE 802.11a WLANs via Transmit Power Control*. Taipei, Taiwan, 1999
- [8] Qiao D., Choi S., Soomro A., Shin K.G.: *Energy-efficient PCF operation of IEEE 802.11a Wireless LAN*. IEEE INFOCOM 2002, Proceedings IEEE INFOCOM 2002, New York, USA, June 23-27, 2002
- [9] Rohl Ch., Woesner H., Wolisz A.: *A Short Look on Power Saving Mechanisms in the Wireless LAN Standard Draft IEEE 802.11*. Berlin, Germany, 2001
- [10] Standard IEEE 802.11: *IEEE Standards for Information Technology – Local and Metropolitan Area Network – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. 1999
- [11] Takahashi E.S.C.: *Application aware scheduling for power management on IEEE 802.11*. Proceeding of the IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC'00), Feb 2000
- [12] Tseng Y-C., Hsu C-S., Hsieh T-Y.: *Power-Saving Protocols for IEEE 802.11-Based Multi-Hop Ad Hoc Networks*. INFOCOM 2002, Proceedings IEEE INFOCOM 2002, New York, USA, June 23-27, 2002
- [13] Wosneger H., Ebert J-P., Schlager M., Wolisz A.: *Power Saving Mechanism in Emerging Standards for Wireless LANs: the MAC Level Perspective*. Berlin, Germany, April 5, 2001
- [14] Zheng R., Hou J., Sha L.: *Performance analysis of the IEEE 802.11 power saving mode*. In Proc. CNDS 2004, San Diego, USA, Jan. 2004



Marek Natkaniec - otrzymał tytuł magistra inżyniera oraz doktora telekomunikacji na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w latach 1997 i 2002. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej. Jego zainteresowania obejmują: lokalne sieci bezprzewodowe, projektowanie protokołów komunikacyjnych, zagadnienia QoS, usługi multimedialne, modelowanie oraz analiza wydajności pracy sieci teleinformatycznych. Pracuje aktywnie w projektach europejskich. Uczestniczy również w realizacji projektów badawczych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Marek Natkaniec jest współautorem czterech książek oraz ponad sześćdziesięciu publikacji.