



KAPITAŁ LUDZKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI



Prezentac



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Piotr Korbel

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Przegląd standardów sieci bezprzewodowych – sieci krótkiego zasięgu

Zadanie nr 14 – Studia podyplomowe „Bezprzewodowe systemy nadzoru i monitorowania”

Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl



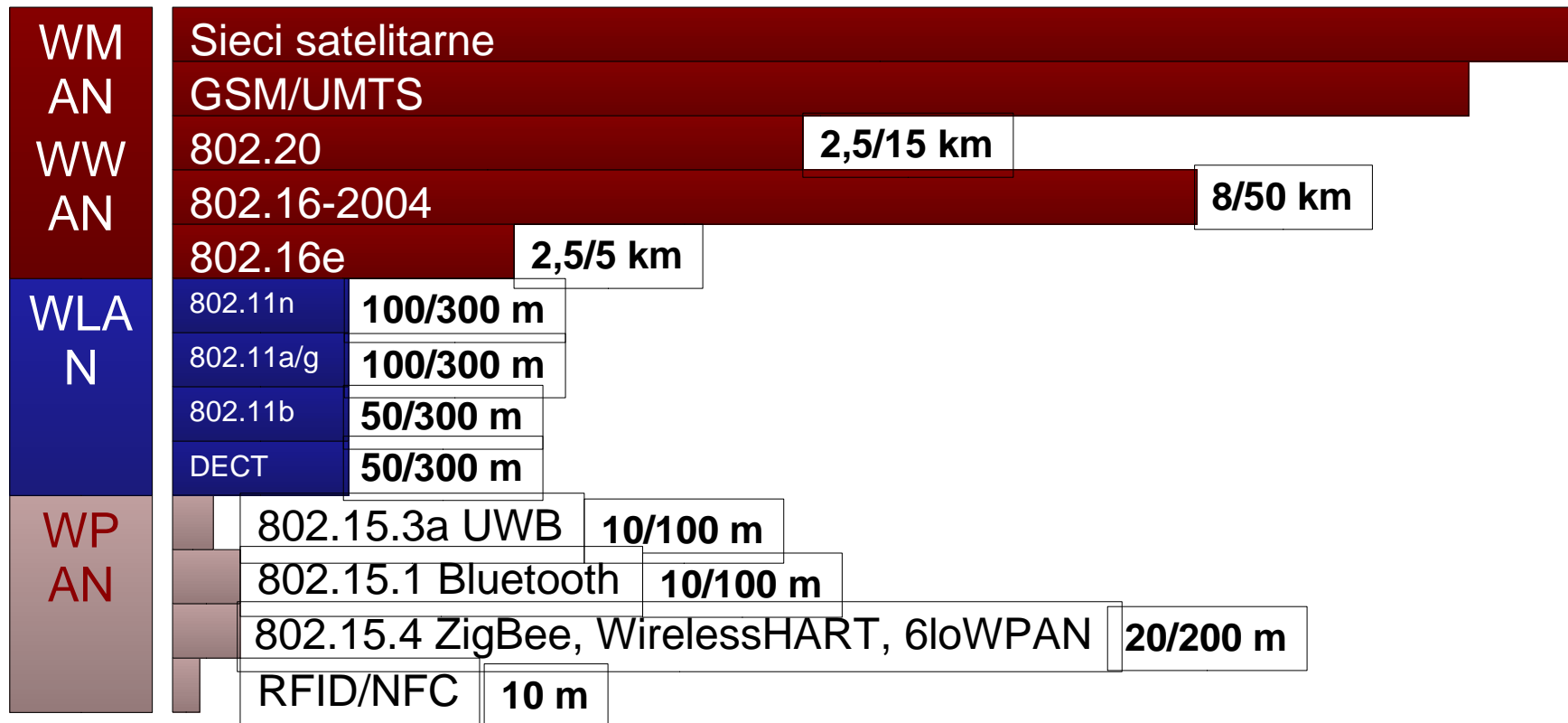
Cele i plan wykładu

- Cele wykładu
 - Zapoznanie z przykładowymi rozwiązaniami sieci bezprzewodowych krótkiego zasięgu
- Plan wykładu
 - Wprowadzenie
 - Sieci WLAN (IEEE 802.11)
 - Sieci WPAN (IEEE 802.15, ZigBee)
 - Sieci WMAN (IEEE 802.16 WiMAX)
 - Narzędzia wspomagające projektowanie i analizę funkcjonowania sieci



Sieci bezprzewodowe

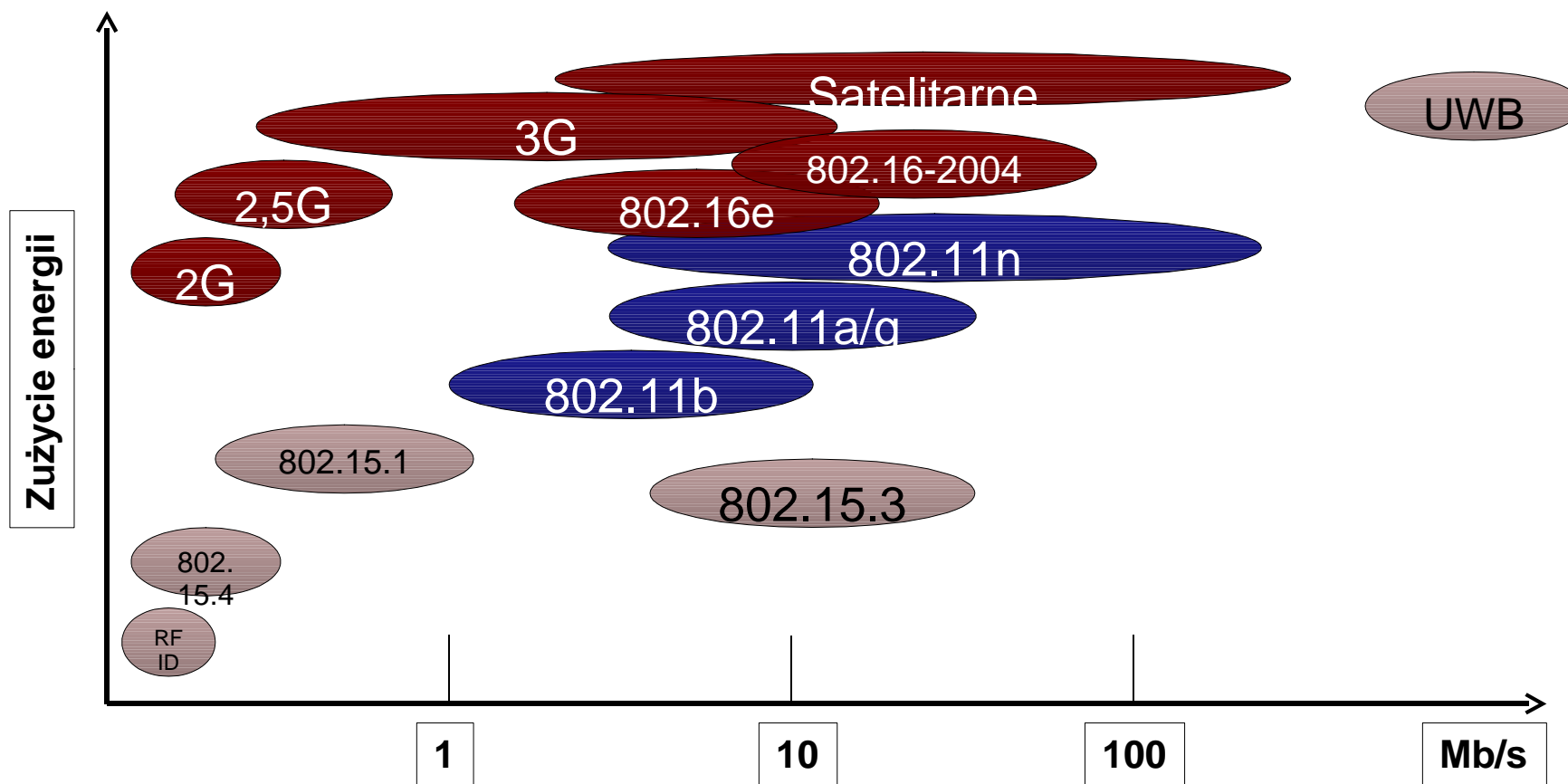
- Porównanie zasięgów przykładowych rozwiązań sieci bezprzewodowych



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Sieci bezprzewodowe

- Porównanie szybkości i poboru energii



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

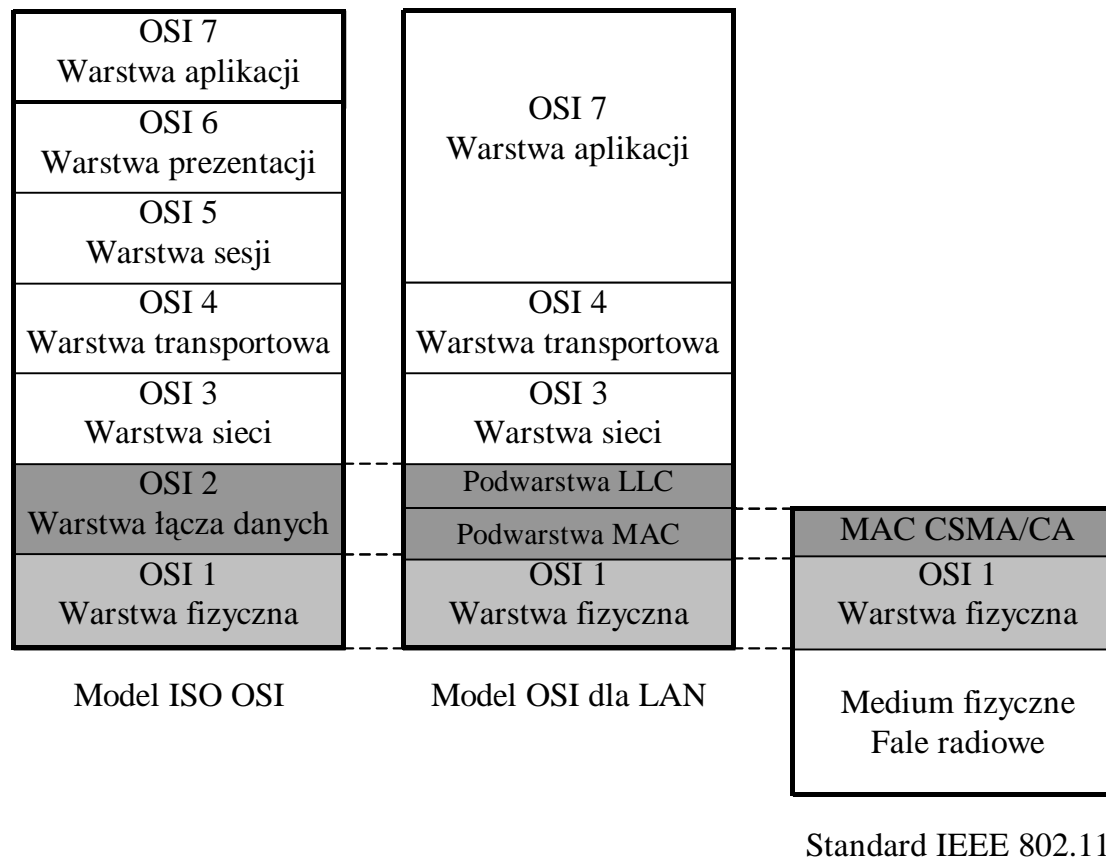


Sieci IEEE 802.11

- Początki – 1997 rok
- IEEE Std 802.11TM-1999, Local and metropolitan area networks — Specific requirements, Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- Rozszerzenia
 - 1999: a, b
 - 2001: d
 - 2003: g, h
 - 2004: i, j
 - 2005: e
- IEEE Std 802.11TM-2007, Local and metropolitan area networks — Specific requirements, Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- Rozszerzenia:
 - 2008: k, r, y



Sieci IEEE 802.11



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



Sieci IEEE 802.11 – Alfabet

- 802.11a – warstwa fizyczna systemu pracującego w pasmie 5 GHz i z szybkościami do 54 Mb/s
- 802.11b – warstwa fizyczna systemu pracującego w pasmie 2,4 GHz i z szybkościami do 11 Mb/s
- 802.11c – mosty bezprzewodowe
- 802.11d – implementacja w różnych krajach; przemieszczanie się w sieciach bezprzewodowych
- 802.11e – mechanizmy zapewniania jakości usług (QoS)
- 802.11g – warstwa fizyczna systemu pracującego w pasmie 2,4 GHz i z szybkościami do 54 Mb/s





Sieci IEEE 802.11 – Alfabet

- 802.11h – ograniczenie poziomu interferencji z innymi systemami pracującymi w pasmie 5 GHz
- 802.11i – skuteczniejsze metody szyfrowania danych i uwierzytelniania stacji; protokół AES, EAP, Radius, Kerberos, 802.1x
- 802.11j – dostosowanie standardu 802.11a do rynku japońskiego
- 802.11k – zarządzanie zasobami radiowymi, funkcje raportowania i pomiarów
- 802.11n – warstwa fizyczna systemu pracującego w pasmach 2,4 i 5 GHz i z szybkościami do 300 Mb/s





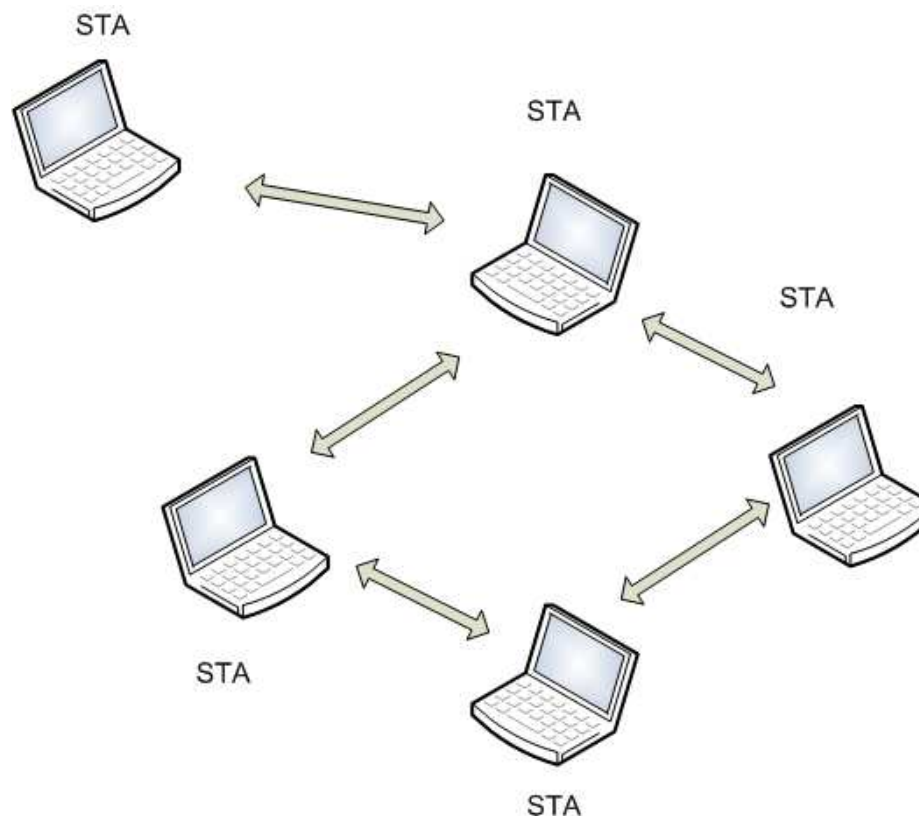
Sieci IEEE 802.11 – Alfabet

- 802.11p – komunikacja z urządzeniami poruszającymi się z dużymi prędkościami (pojazdy samochodowe)
- 802.11r – szybkie przełączanie pomiędzy komórkami sieci WLAN
- 802.11s – sieci typu mesh (architektura kratowa)
- 802.11t – metody testowania i pomiarów urządzeń sieci WLAN
- 802.11u – mechanizmy umożliwiające współpracę z innymi sieciami (np. 3G)
- 802.11v – zarządzanie sieciami bezprzewodowymi
- 802.11w – bezpieczeństwo ramek zarządzających



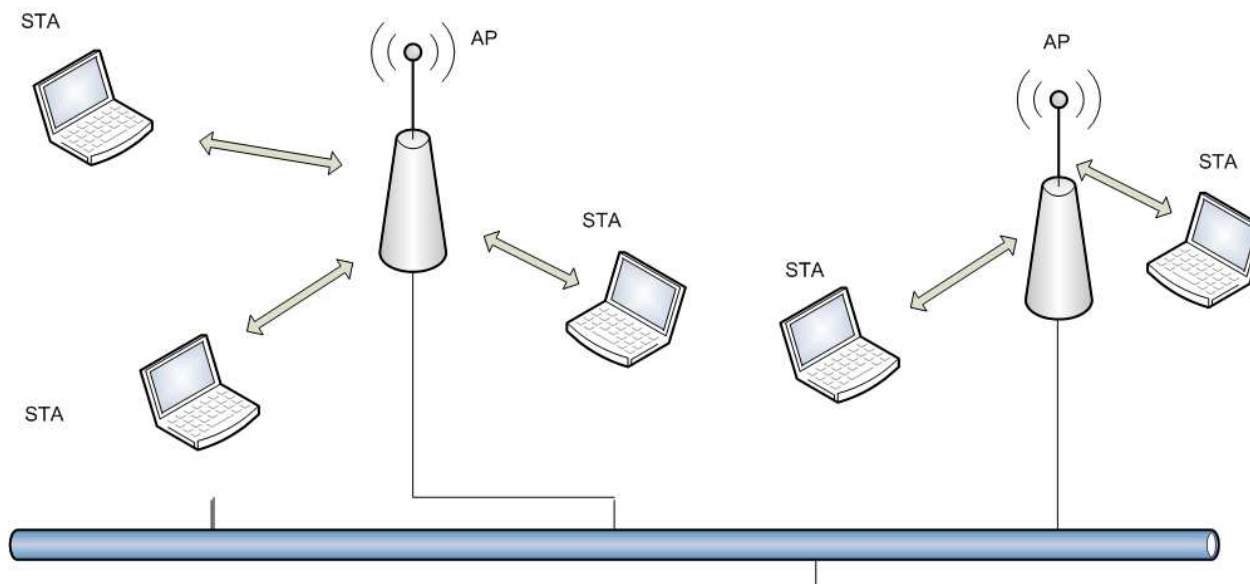
Sieci 802.11 – Architektura

- BSS (Basic Service Set) / IBSS (Independent BSS) (ad hoc)



Sieci 802.11 – Architektura

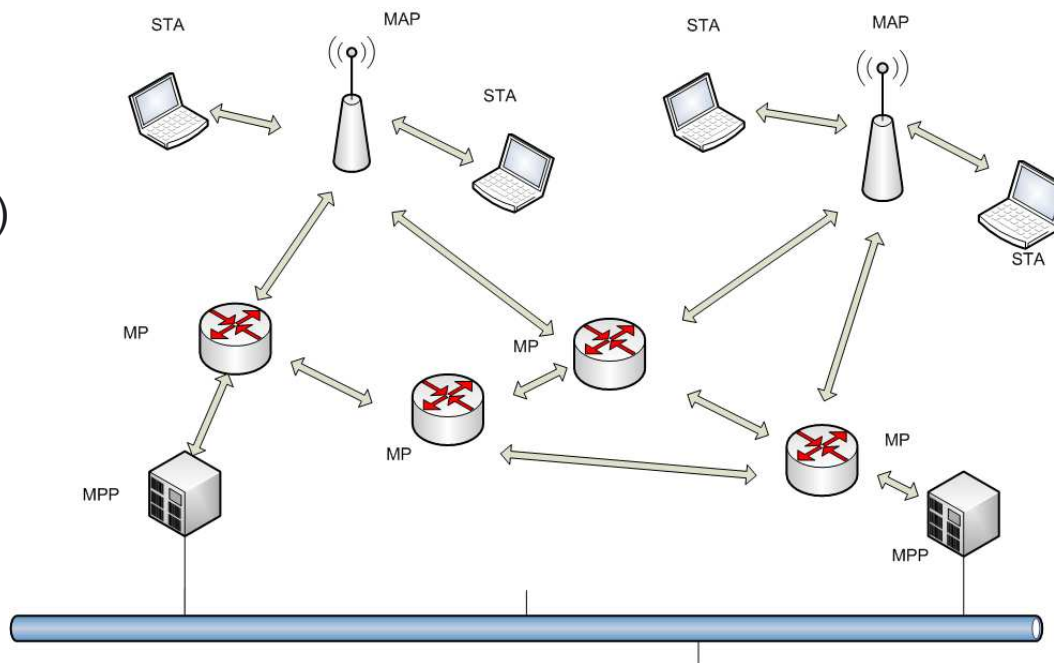
- ESS (Extended Service Set) / Infrastructure Mode
 - STA (Station)
 - AP (Access Point)
 - typowo przewodowo przyłączone do sieci (!)



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Sieci 802.11 – Architektura

- Mesh (802.11s)
 - MP (Mesh Point)
 - MPP (Mesh Portal Point)
 - MAP (Mesh Access Point)
 - STA (Station)
- Routing
 - HWMP (RM-AODV + TBR)
 - RM-OLSR



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



Sieci 802.11 – Warstwa fizyczna

- 802.11b
 - pasmo 2,4 GHz
 - 1/2/5,5/11 Mbit/s
 - DSSS, FHSS
- 802.11a/g
 - pasmo 2,4 GHz (g) lub 5 GHz (a)
 - 6/9/12/18/24/36/48/54 Mbit/s
 - OFDM
- 802.11n
 - pasmo 2,4 GHz
 - 300 Mbit/s, MIMO



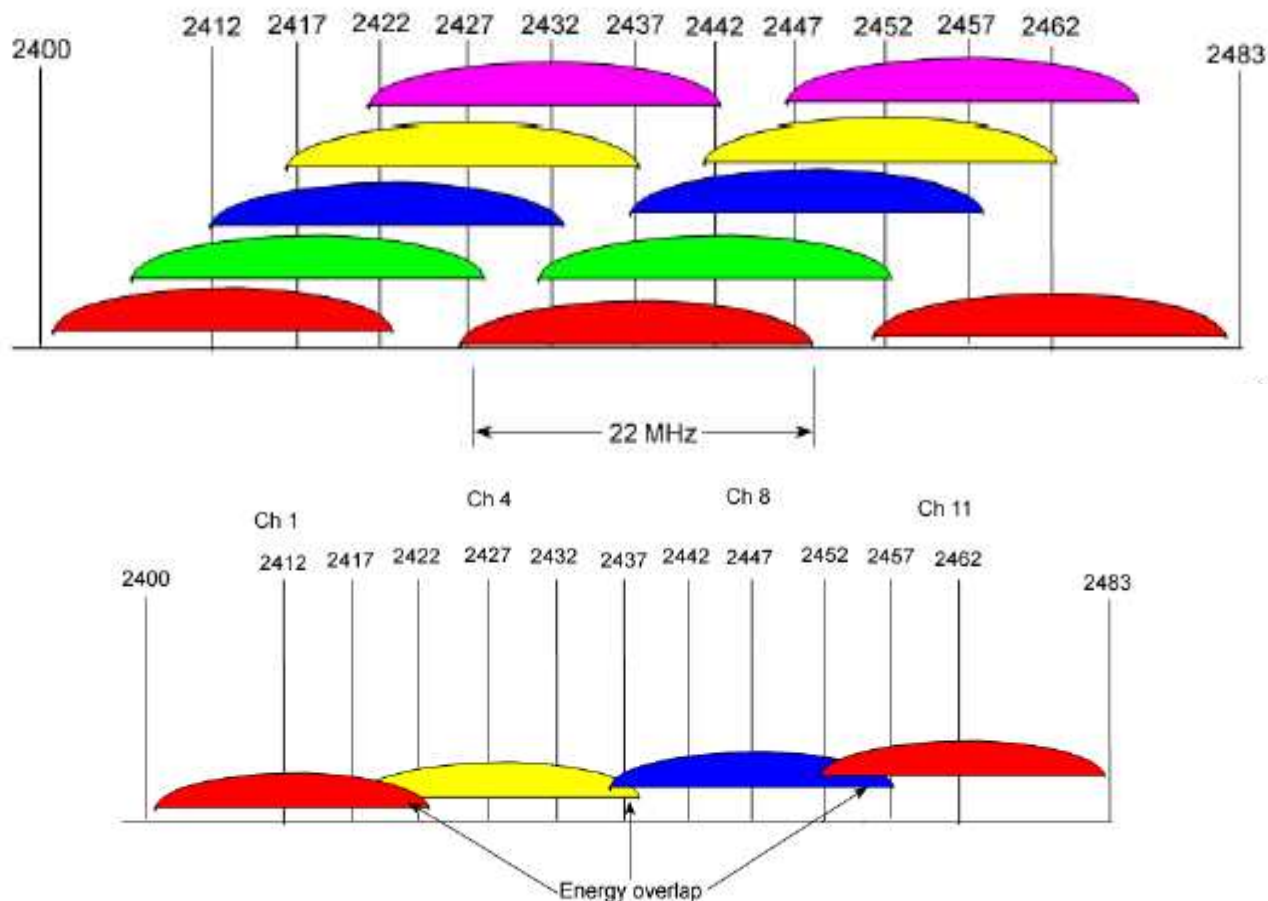
Sieci 802.11 – Warstwa fizyczna

- Pasmo 2,4 GHz
 - DSSS, 22 MHz

CHNL_ID	Frequency	Regulatory domains						
		X'10' FCC	X'20' IC	X'30' ETSI	X'31' Spain	X'32' France	X'40' Japan	X'50' China
1	2412 MHz	X	X	X	—	—	—	X
2	2417 MHz	X	X	X	—	—	—	X
3	2422 MHz	X	X	X	—	—	—	X
4	2427 MHz	X	X	X	—	—	—	X
5	2432 MHz	X	X	X	—	—	—	X
6	2437 MHz	X	X	X	—	—	—	X
7	2442 MHz	X	X	X	—	—	—	X
8	2447 MHz	X	X	X	—	—	—	X
9	2452 MHz	X	X	X	—	—	—	X
10	2457 MHz	X	X	X	X	X	—	X
11	2462 MHz	X	X	X	X	X	—	X
12	2467 MHz	—	—	X	—	X	—	X
13	2472 MHz	—	—	X	—	X	—	X
14	2484 MHz	—	—	—	—	—	X	—

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

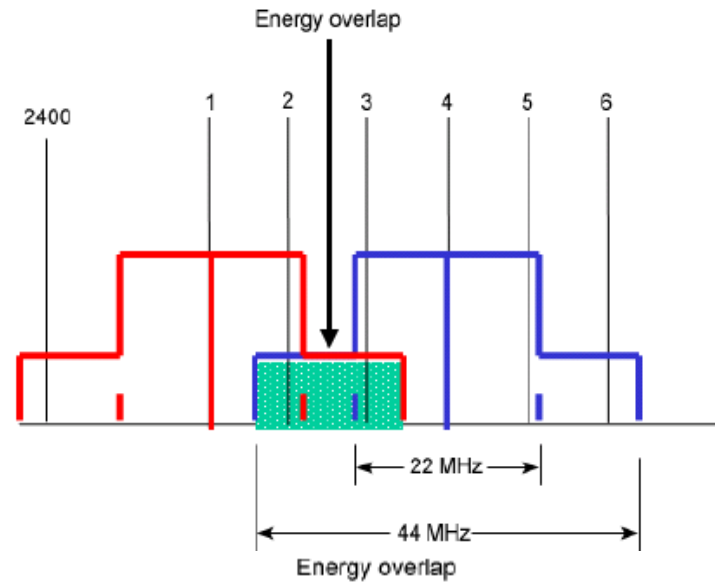
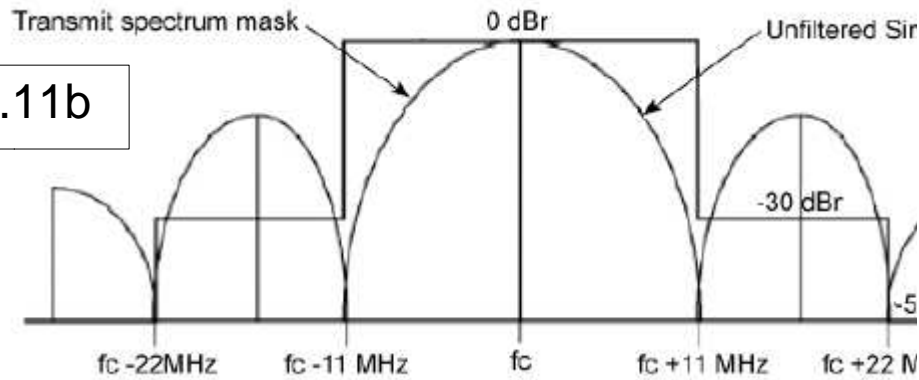
Sieci 802.11 – Warstwa fizyczna



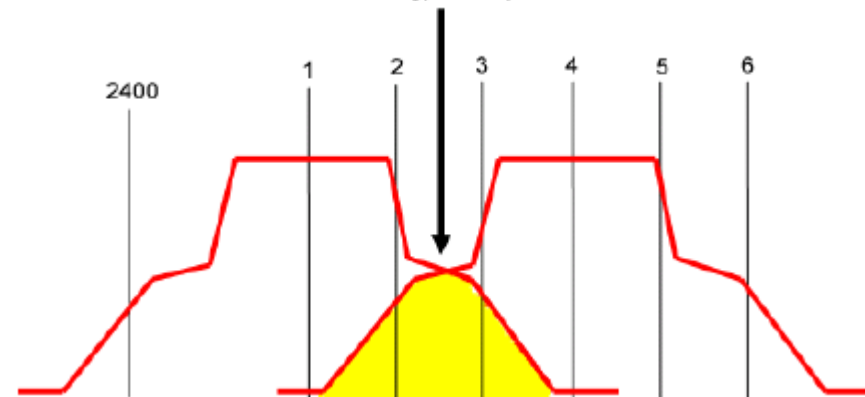
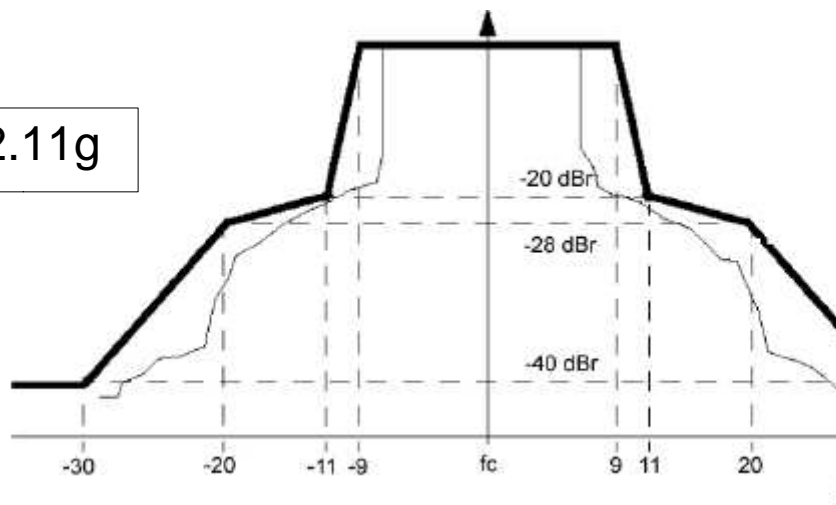
Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Sieci 802.11 – Warstwa fizyczna

802.11b



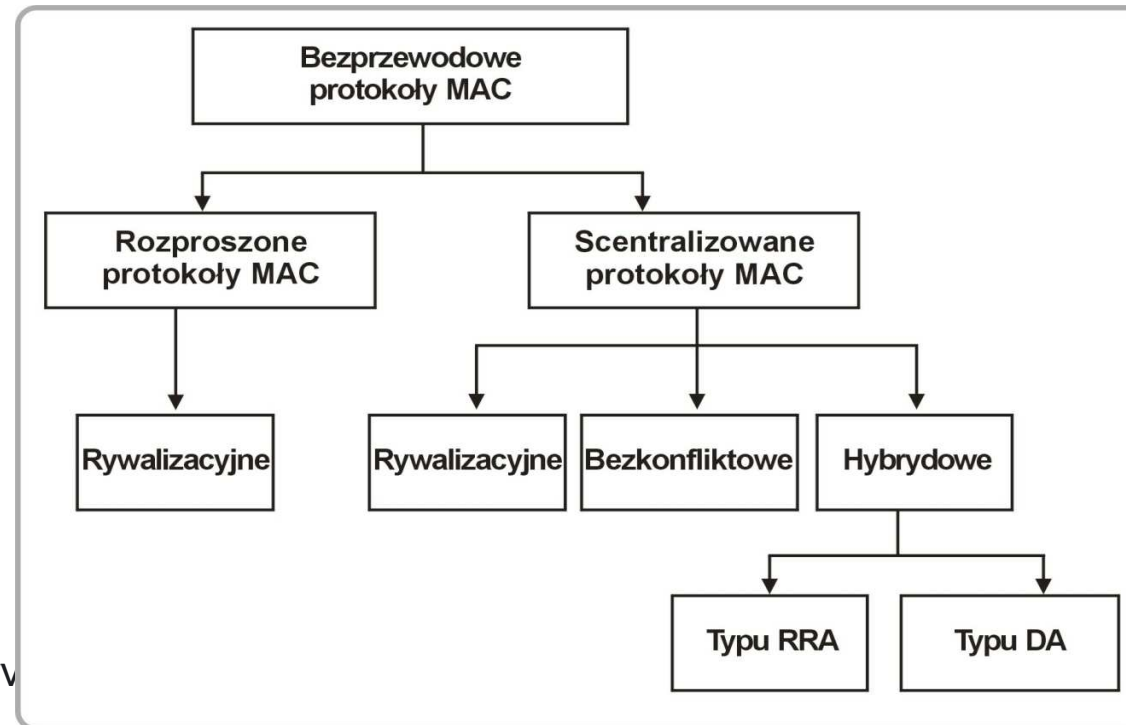
802.11g



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- Protokoły dostępu do łącza bezprzewodowego



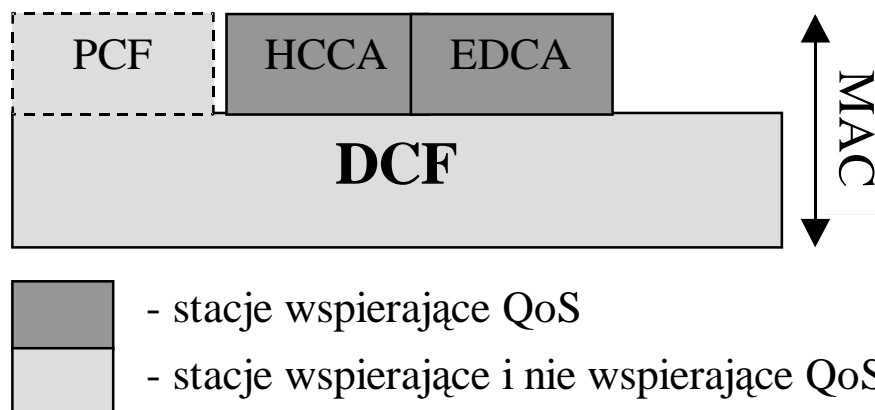
- RRA (Random Reserv
- DA (Demand Assignment)

Sieci 802.11 – Format ramki MAC, dostęp do łącza

Liczba oktetów:

2	2	6	6	6	2	6	2	0-23424	4
Pole kontrolne	Długość ramki	Adres 1	Adres 2	Adres 3	Kontrola kolejności	Adres 4	Pole QoS	Dane	CRC

Nagłówek MAC



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



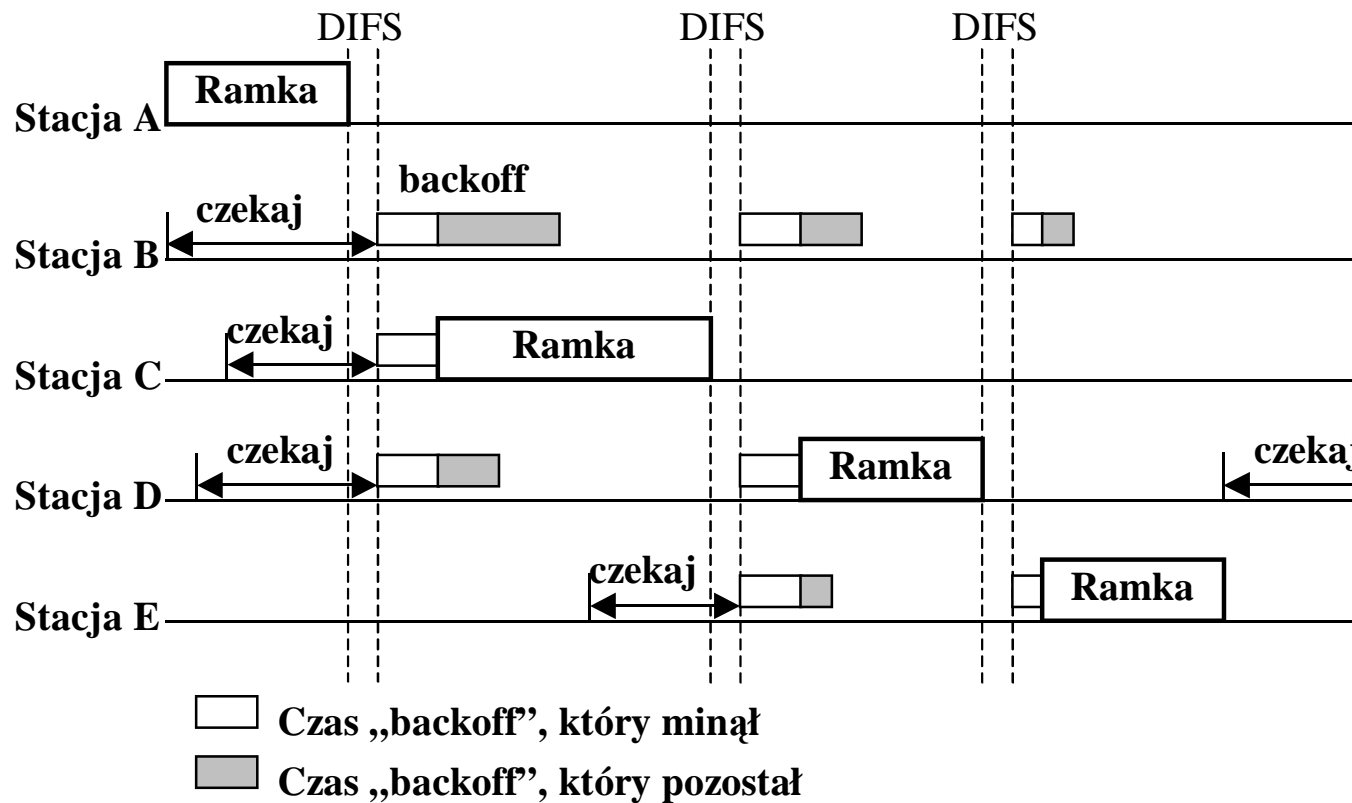
Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- DCF (Distributed Coordination Function)
 - CSMA/CS (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
 - Sprawdzanie stanu łącza przed transmisją
 - Transmisja jedynie gdy łącze nie jest zajęte
 - Podanie czasu planowanej transmisji
 - Brak nadawania przez inne stacje przed upływem podanego czasu
 - Potwierdzanie otrzymania ramki jedynym sposobem wykrycia kolizji
 - Losowo wybrany czas oczekiwania przed kolejną próbą nadawania



Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)


- DCF (Distributed Coordination Function)







Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- PCF (Point Coordination Function)
 - Punkt dostępowy przejmuje kontrolę nad łączem
 - Ramki zarządzające (beacon frames) – wektor NAV (network allocation vector) precyzuje czas bez rywalizacji CFP (contention free period)
 - Punkt dostępowy może wskazać stację, która ma prawo do transmisji
 - odstęp międzyramkowy IFS dla PCF jest krótszy od DIFS, dzięki czemu PCF ma większy priorytet od transmisji DCF

 ← Slot Time

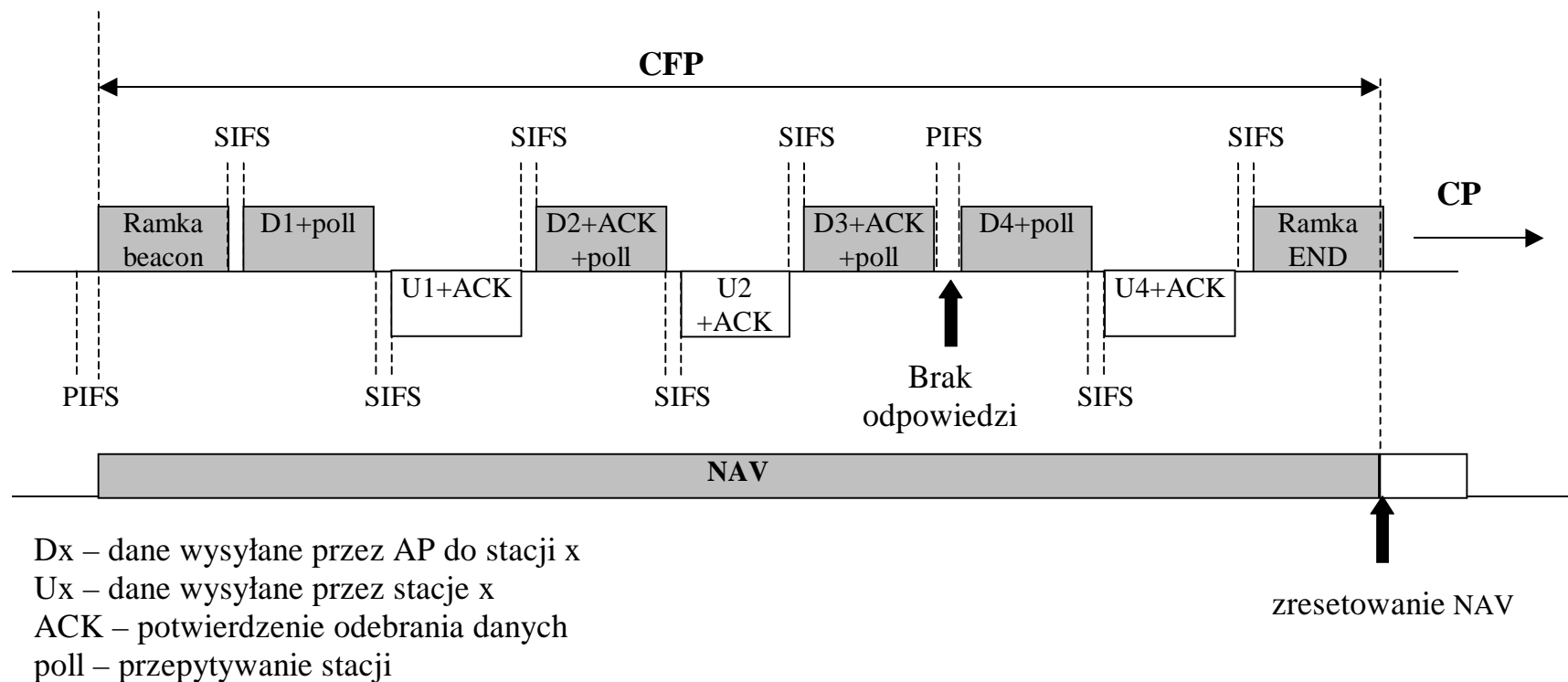


 +  = 

 +  +  = 

Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- PCF (Point Coordination Function)





Sieci 802.11 – Jakość usług (QoS)

Aplikacja	Wymagana przepływność [kbps]	Dopuszczalne opóźnienie transmisji [ms]	Dopuszczalna bitowa stopa błędów BER
Telefonia	13-64	<150	$3 \cdot 10^{-5}$
Wideotelefonia	32 - 2000	<100	$1 \cdot 10^{-7}$
Telewizja IP	15-4000		$1 \cdot 10^{-10}$
Transfer plików, e-mail, strony WWW	64-2000	>1000	$1 \cdot 10^{-8}$





Sieci 802.11 – Jakość usług (QoS)

- Metody zapewniania QoS
 - Rezerwacja zasobów sieci
 - Priorytetyzacja ruchu
- Problemy typowe dla sieci 802.11
 - zmienność warunków propagacji fal radiowych
 - brak możliwości zagwarantowania przepływności





Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)
 - EDCF (Enhanced DCF)
 - dostęp z rywalizacją (contention-based)
 - 4 kategorie dostępu do medium (8 priorytetów użytkownika, pozostałe ramki HCCA)
 - HCCA (HCF control channel access)
 - dostęp bez rywalizacji



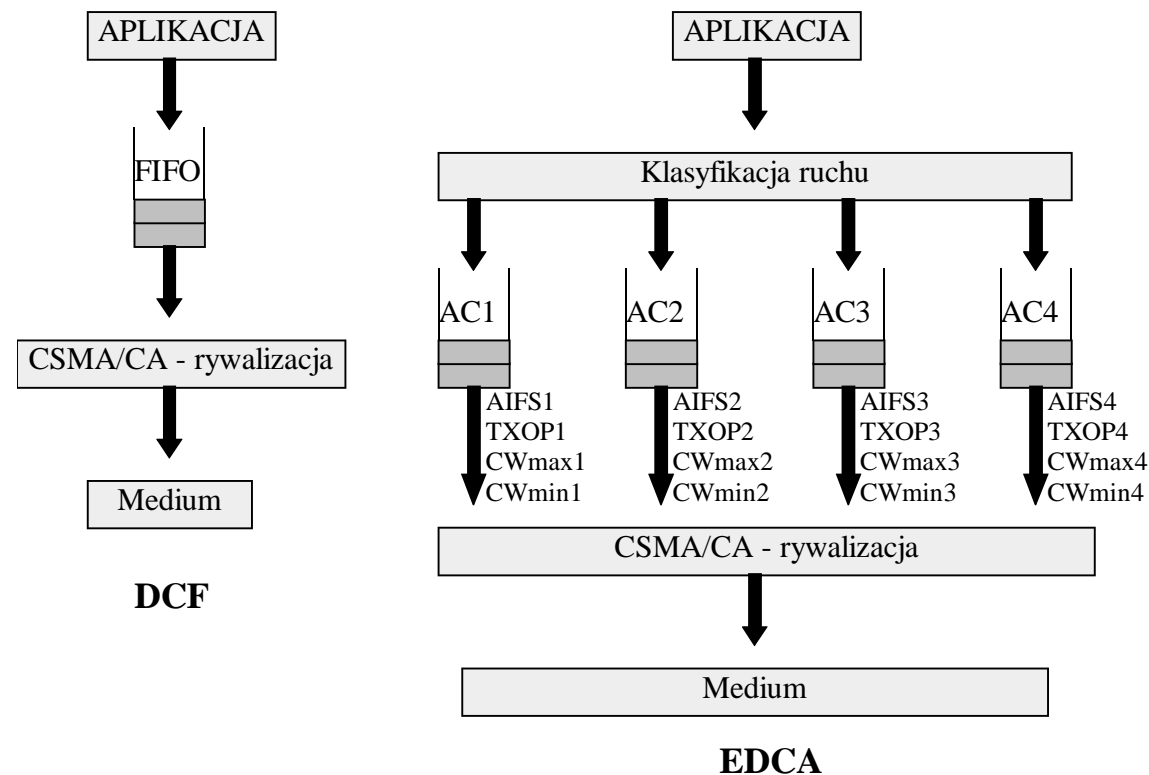
Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)
 - EDCF (Enhanced DCF)

Kategoria dostępu	Opis	Priorytet użytkownika
AC_VO	Głos	7
AC_VO	Głos	6
AC_VI	Wideo	5
AC_VI	Wideo	4
AC_BE	„best effort”	3
AC_BE	„best effort”	0
AC_BK	Dane w tle	2
AC_BK	Dane w tle	1

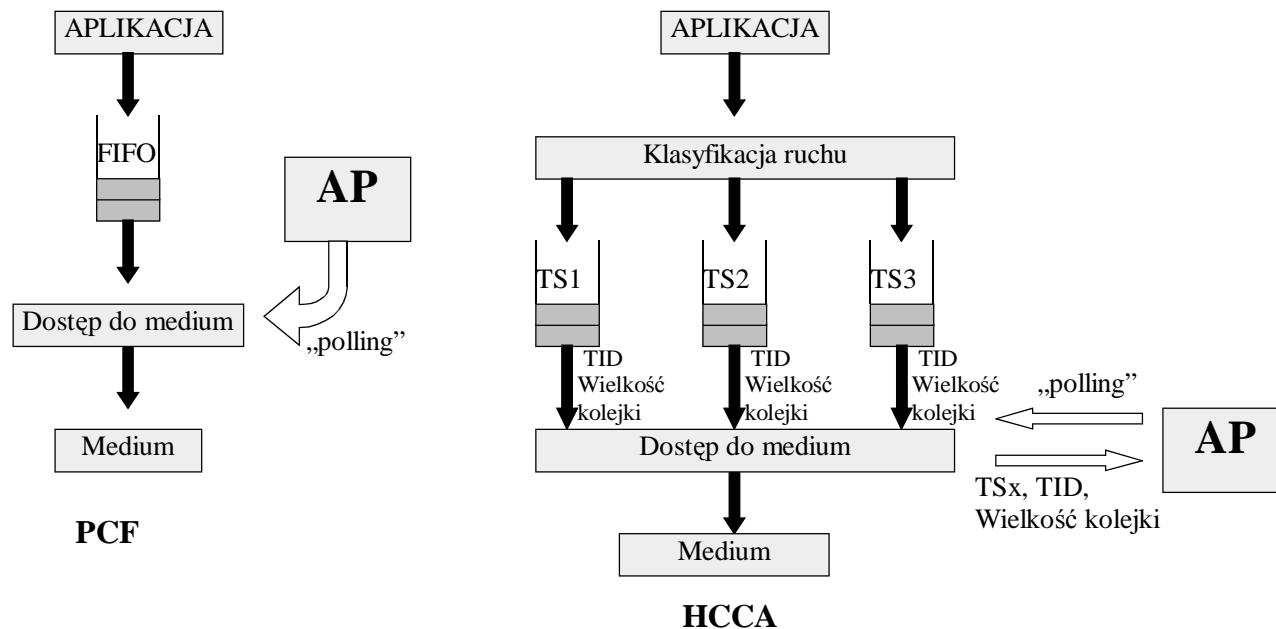
Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)
 - EDCF (Enhanced DCF)



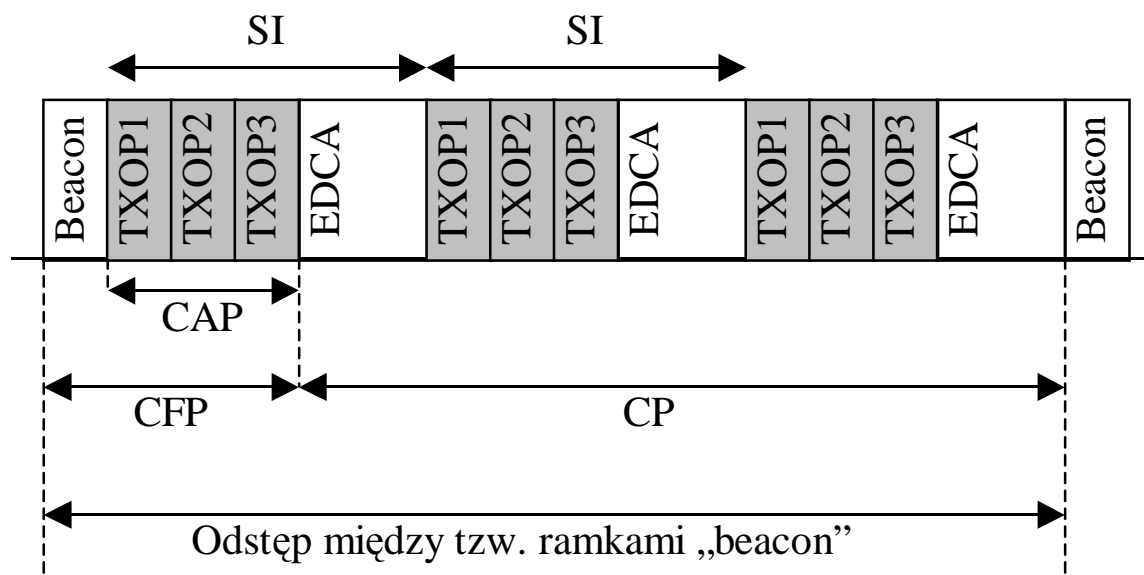
Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)
 - HCCA (HCF control channel access)
 - wymiana zarówno w okresie z rywalizacją, jak i bez
 - możliwość wymiany ramek bez pośrednictwa AP



Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)
 - HCCA (HCF control channel access)
 - CAP (Controlled Access Phase)
 - SI (Service Interval) – minimalny czas pomiędzy kolejnym uzyskaniem TXOP przez dany strumień



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)

Cecha	EDCA	HCCA
Zapewnienie QoS	Pośrednie, poprzez priorytetyzację, brak gwarancji	QoS zagwarantowane przyjętym przepływowom
Zjawisko asymetrii	Znacząco zredukowane	Zredukowane
Współczynnik kolizji	Kolizje występują szczególnie przy ruchu o tych samych wymaganiach czyli należących do tej samej kategorii dostępu	Kolizje nie występują
Ograniczenia dostępnego dla użytkownika pasma	Wynikają z koncepcji algorytmu CSMA/CA, występują liczne okresy gdy brak jest transmisji, np. podczas czasu zwłoki lub czasu AIFS, a także z powodu kolizji	Wynikają z występowania licznych ramek zarządzających (przed każdym przyznaniem TXOP)

Sieci 802.11 – Dostęp do łącza (MAC)

- HCF (802.11e) (Hybrid Coordination Function)

Cecha	EDCA	HCCA
Zmienne warunki propagacji, zmiana trybu szybkości przesyłania danych	Nie ma znaczenia dla działania, ponieważ jest to algorytm rozproszony	Algorytm HCF jest scentralizowany, powinien na nowo zainicjalizować fazę negocjacji
Pokrywanie się zasięgów dwóch odrębnych sieci WLAN	Nie ma znaczenia, ponieważ jest to algorytm rozproszony	Wymaga dodatkowych procedur zabezpieczania przed występowaniem kolizji, co ograniczyć może dostępne pasmo
Przystosowanie do ruchu o zmiennych w czasie charakterystykach	Nie ma znaczenia	Algorytm zawarty w standardzie nieprzystosowany, jednak występuje możliwość jego rozwoju

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



Sieci 802.11 – Bezpieczeństwo

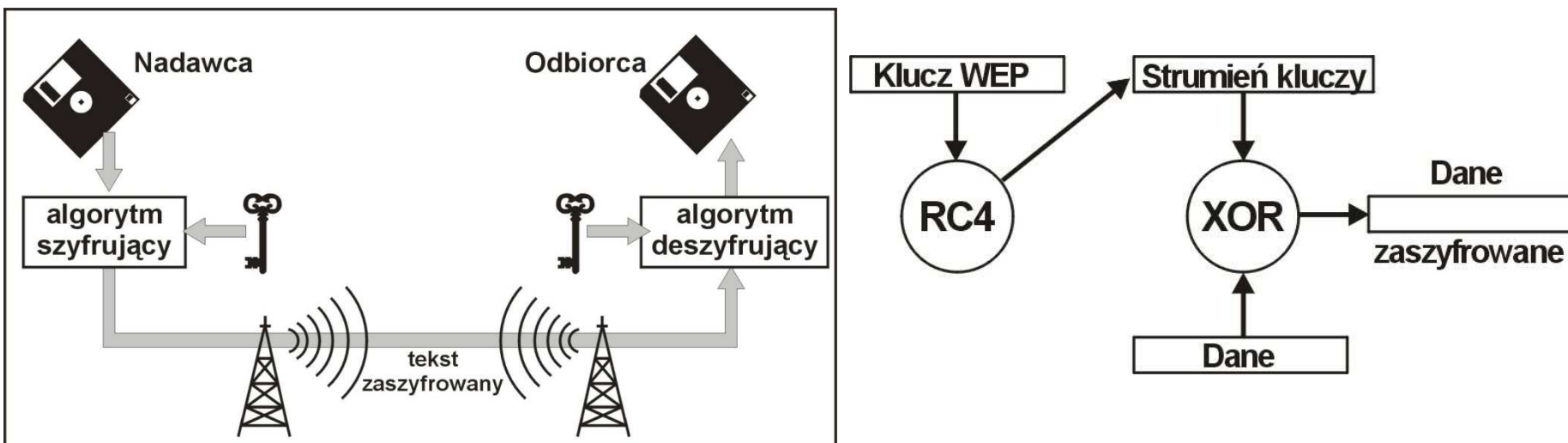
- Metody uwierzytelniania
 - sieci otwarte (bez zabezpieczeń)
 - umożliwia każdemu dostęp przez wymianę klucza identyfikacyjnego w całej sieci
 - metodą każdy z każdym o identycznym identyfikatorze SSID – nadaje się do publicznych sieci WLAN
 - z wymianą kluczy współdzielonych WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA, WPA2 (WiFi Protected Access)
 - pozwala na komunikację wyłącznie z innymi urządzeniami o identycznie skonfigurowanym protokole dostępu (WEP, WPA, WPA2)
 - z podaniem adresu MAC
 - weryfikuje zgodność adresu MAC klienta z listą dopuszczonych do pracy w sieci urządzeń; ten sposób uwierzytelnienia poprawia w/w mechanizmy uwierzytelnienia, eliminując możliwość wtargnięcia do sieci metodą podszywania się



Sieci 802.11 – Bezpieczeństwo

- WEP

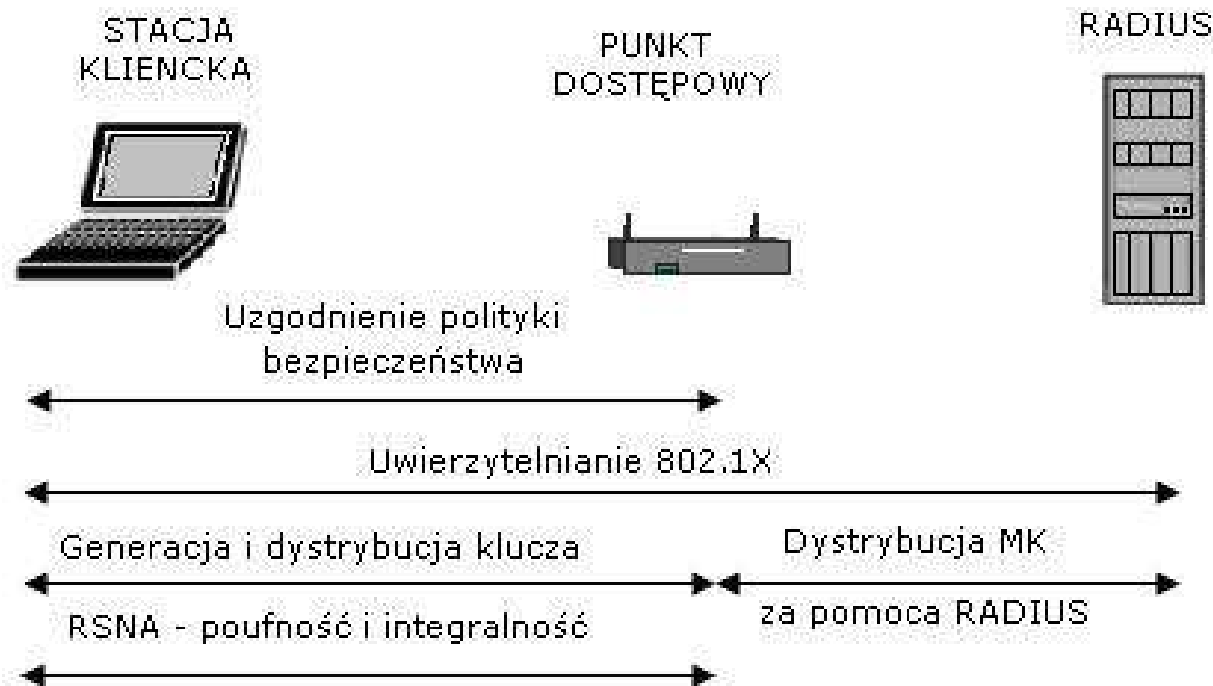
- Protokół kodowania WEP (ang. Wired Equivalent Privacy) oparty na algorytmie RC4 korzysta z 40- lub 104-bitowych sekwencji kodowych oraz 24-bitowego tzw. wektora inicjującego (IV) dodawanego w sposób jawny (niezaszyfrowany) do sekwencji kodowych. W efekcie długość klucza wynosi 64 lub 128 bitów.



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

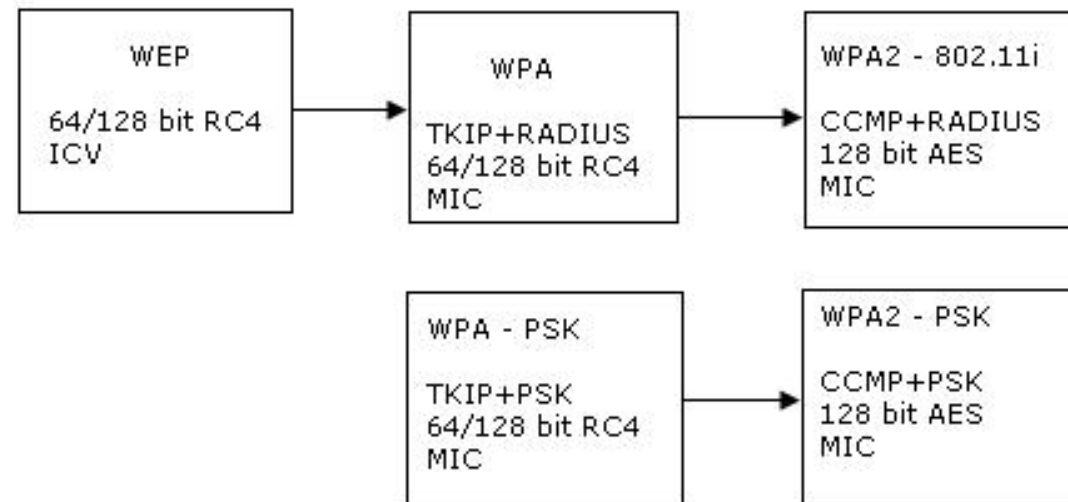
Sieci 802.11 – Bezpieczeństwo

- WPA2



Sieci 802.11 – Bezpieczeństwo

- WEP
 - względnie prosty do złamania, potrzebna wystarczająca liczba IVs
- WPA
 - ataki słownikowe, siłowe, DoS
- WPA2
 - ataki na poszczególne etapy uwierzytelniania





Projektowanie sieci WLAN

- Określenie liczby, położenia oraz parametrów punktów dostępowych
- Przydział kanałów
- Analiza zasięgów działania poszczególnych AP oraz całej sieci
- Analiza przepustowości łączy radiowych
- Analiza zakłóceń, SNR





Parametry odbiornika – OFDM

Modulation	Coding rate (R)	Adjacent channel rejection (dB)	Alternate adjacent channel rejection (dB)	Minimum sensitivity (dBm) (20 MHz channel spacing)	Minimum sensitivity (dBm) (10 MHz channel spacing)	Minimum sensitivity (dBm) (5 MHz channel spacing)
BPSK	1/2	16	32	-82	-85	-88
BPSK	3/4	15	31	-81	-84	-87
QPSK	1/2	13	29	-79	-82	-85
QPSK	3/4	11	27	-77	-80	-83
16-QAM	1/2	8	24	-74	-77	-80
16-QAM	3/4	4	20	-70	-73	-76
64-QAM	2/3	0	16	-66	-69	-72
64-QAM	3/4	-1	15	-65	-68	-71



Parametry kart sieciowych

	Karta sieciowa PCI TL-WN551G	Karty PCMCIA TL-WN610G	Karta sieciowa USB TL-WN321G
Standardy	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.11b/g
Zakres pasma	2.412 – 2.472 GHz	2.400 – 2.4835 GHz	2.400 – 2.4835 GHz
Moc wyjściowa	17 dBm	17 dBm	18 dBm
Czułość odbiornika dla standardu 802.11g	-68 dBm dla 54 Mb/s -72 dBm dla 48 Mb/s -75 dBm dla 36 Mb/s -79 dBm dla 24 Mb/s -82 dBm dla 18 Mb/s -84 dBm dla 12 Mb/s -87 dBm dla 9 Mb/s -88 dBm dla 6 Mb/s	-68dBm dla 108 Mb/s -68dBm dla 54 Mb/s -88dBm dla 6 Mb/s	-68dBm dla 54 Mb/s -88dBm dla 6 Mb/s
Czułość odbiornika dla standardu 802.11b	-85 dBm dla 11 Mb/s -85 dBm dla 5.5 Mb/s -86 dBm dla 2 Mb/s -89 dBm dla 1 Mb/s	-85 dBm dla 11 Mb/s -90 dBm dla 1 Mb/s	-85 dBm dla 11 Mb/s -90 dBm dla 1 Mb/s

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



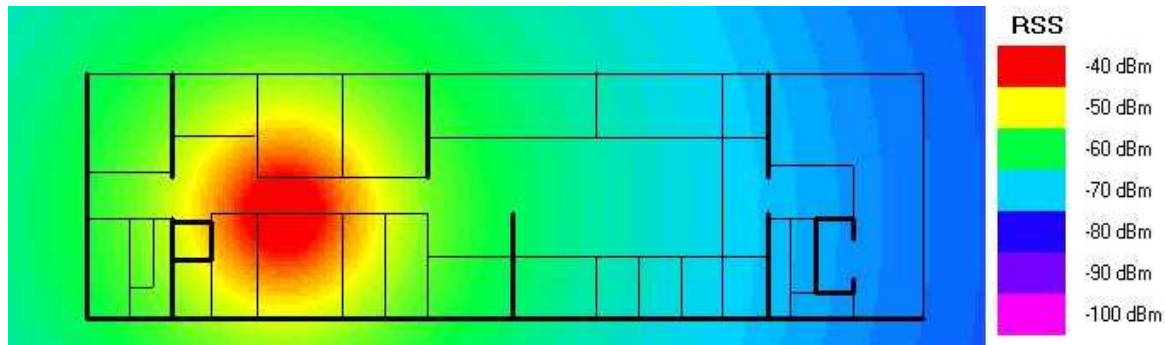
Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

- Wspomaganie projektowania rozmieszczenia punktów dostępowych
 - modelowanie zasięgów działania (modele propagacyjne, model środowiska propagacji)
 - modelowanie poziomów SNR
 - wyznaczanie obszarów dominacji
- Realizacja pomiarów funkcjonujących sieci
 - pomiary mocy
 - pomiary szybkości łączy
 - pomiary SNR
- Optymalizacja rozmieszczenia punktów dostępowych

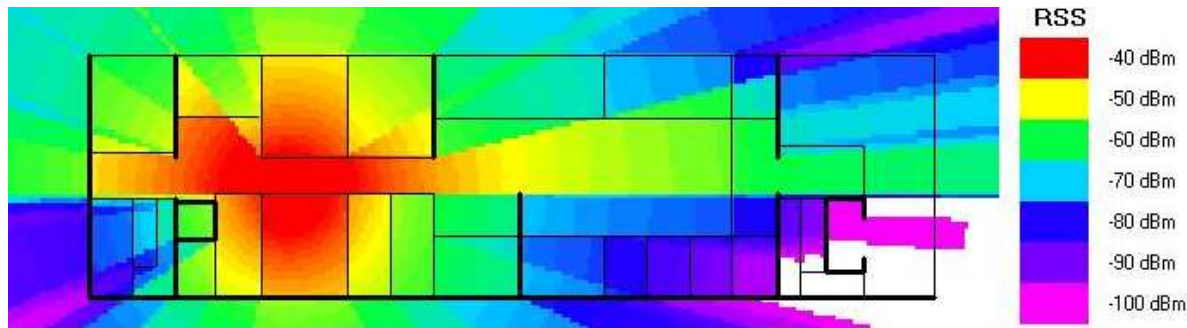


Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

- I-Prop



Model One-Slope

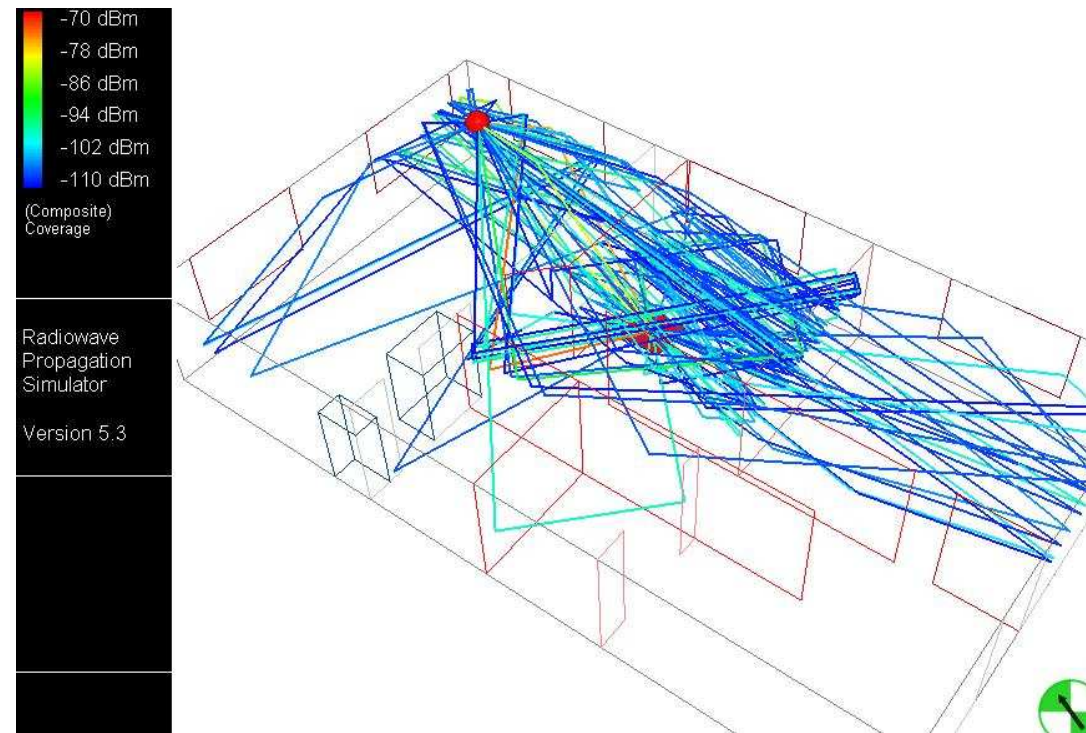


Model Multi-Wall

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

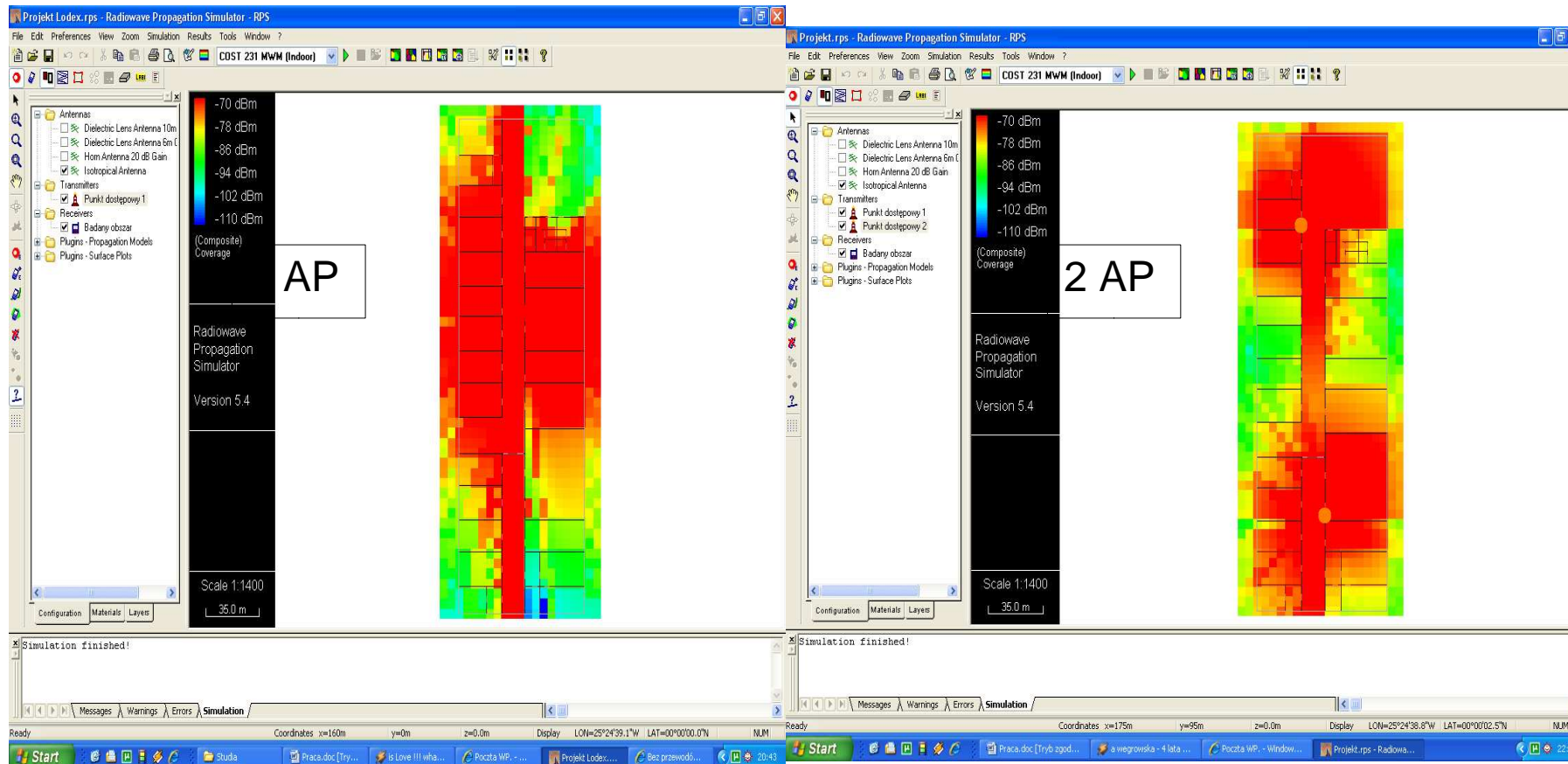
- Radiowave Propagation Simulator
 - model Multi Wall
 - Ray Tracing (2,5D, 3D)



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

- Radiowave Propagation Simulator

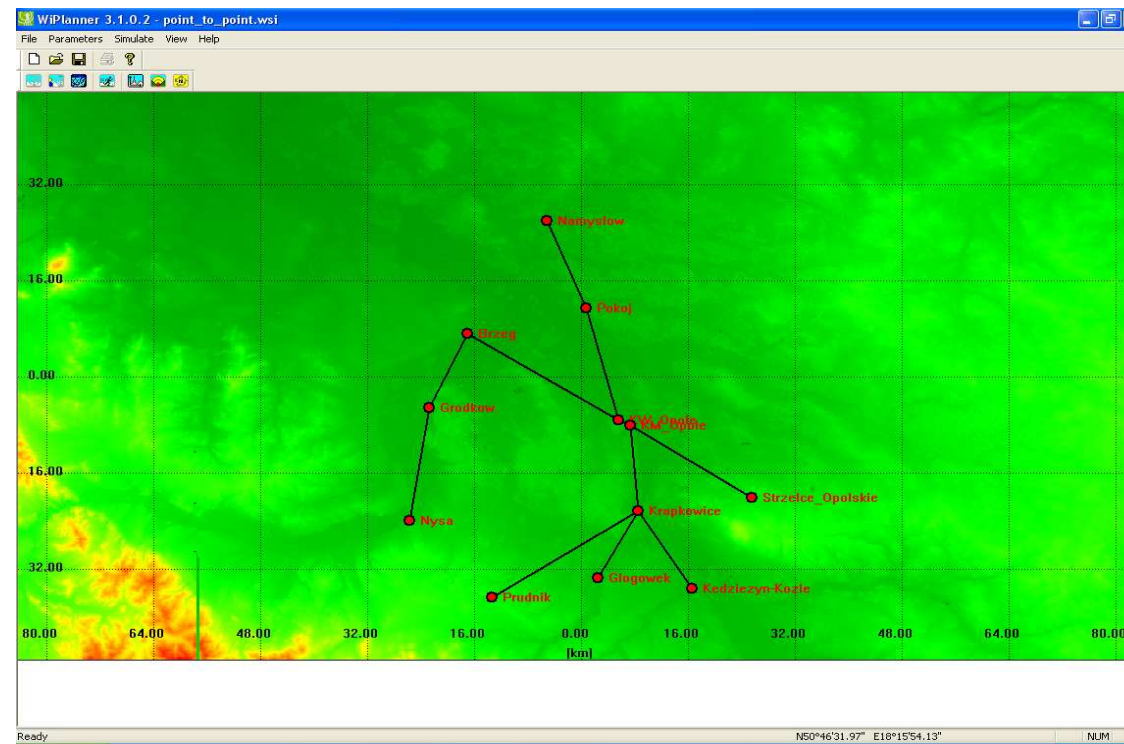


Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

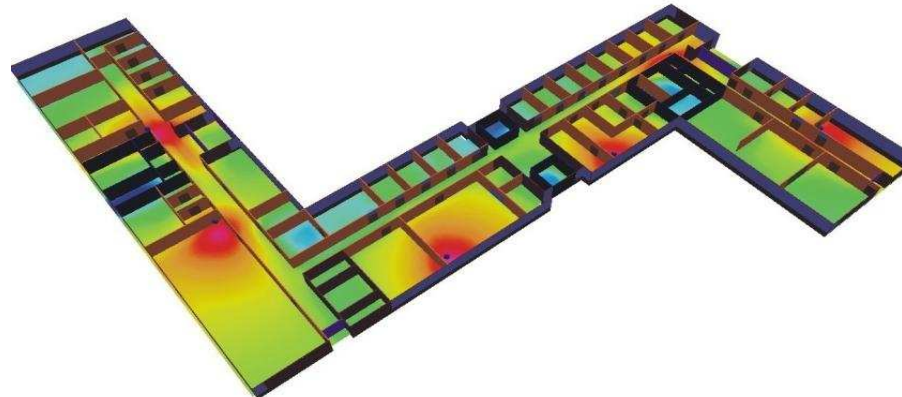
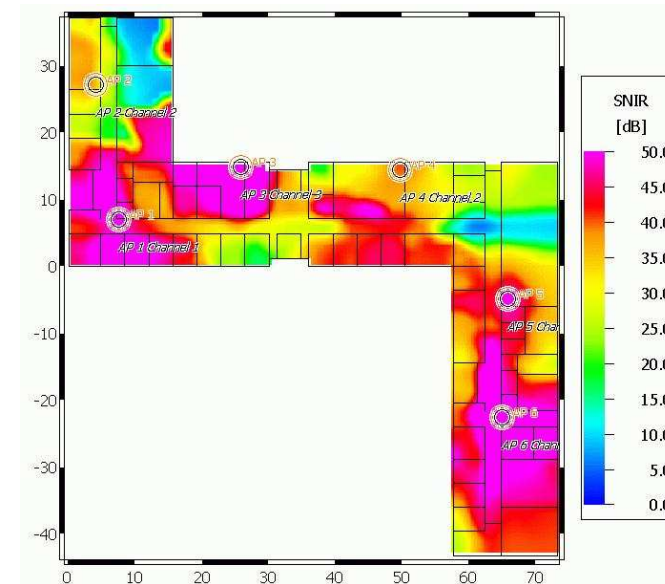
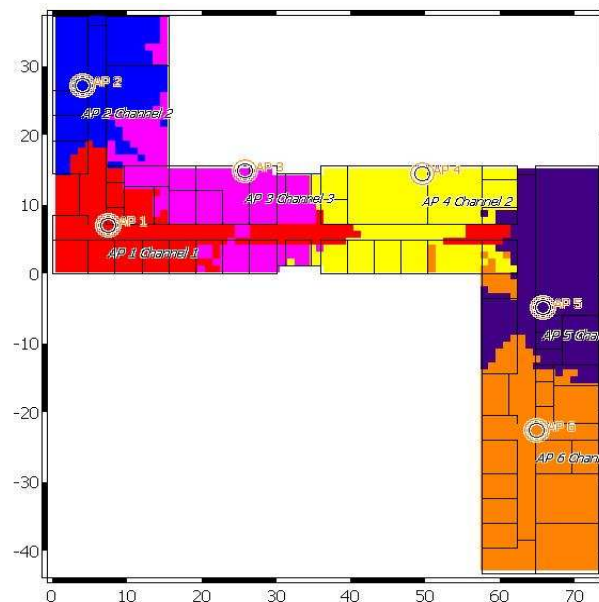
Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

- WiPlanner
 - sieci działające na zewnątrz budynków
 - analiza zasięgów
 - analiza zakłóceń



Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

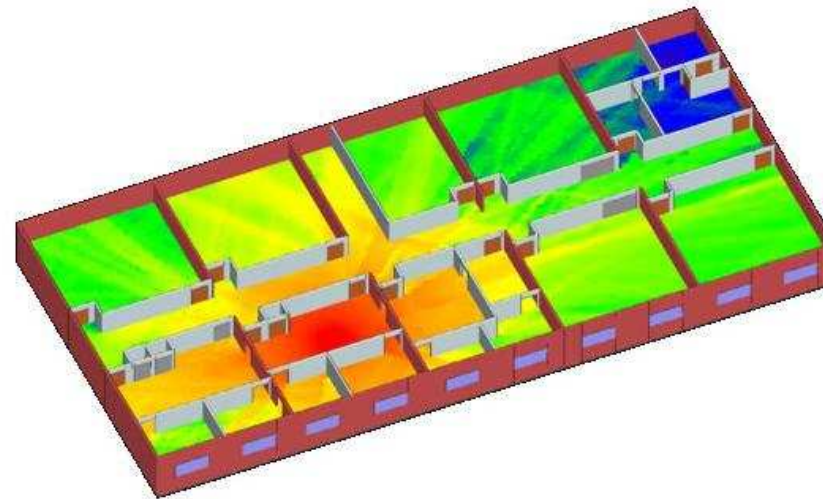
- WinProp (AWE Communications)
 - modele One Slope, Multi Wall, Dominant Path
 - śledzenie promieni



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

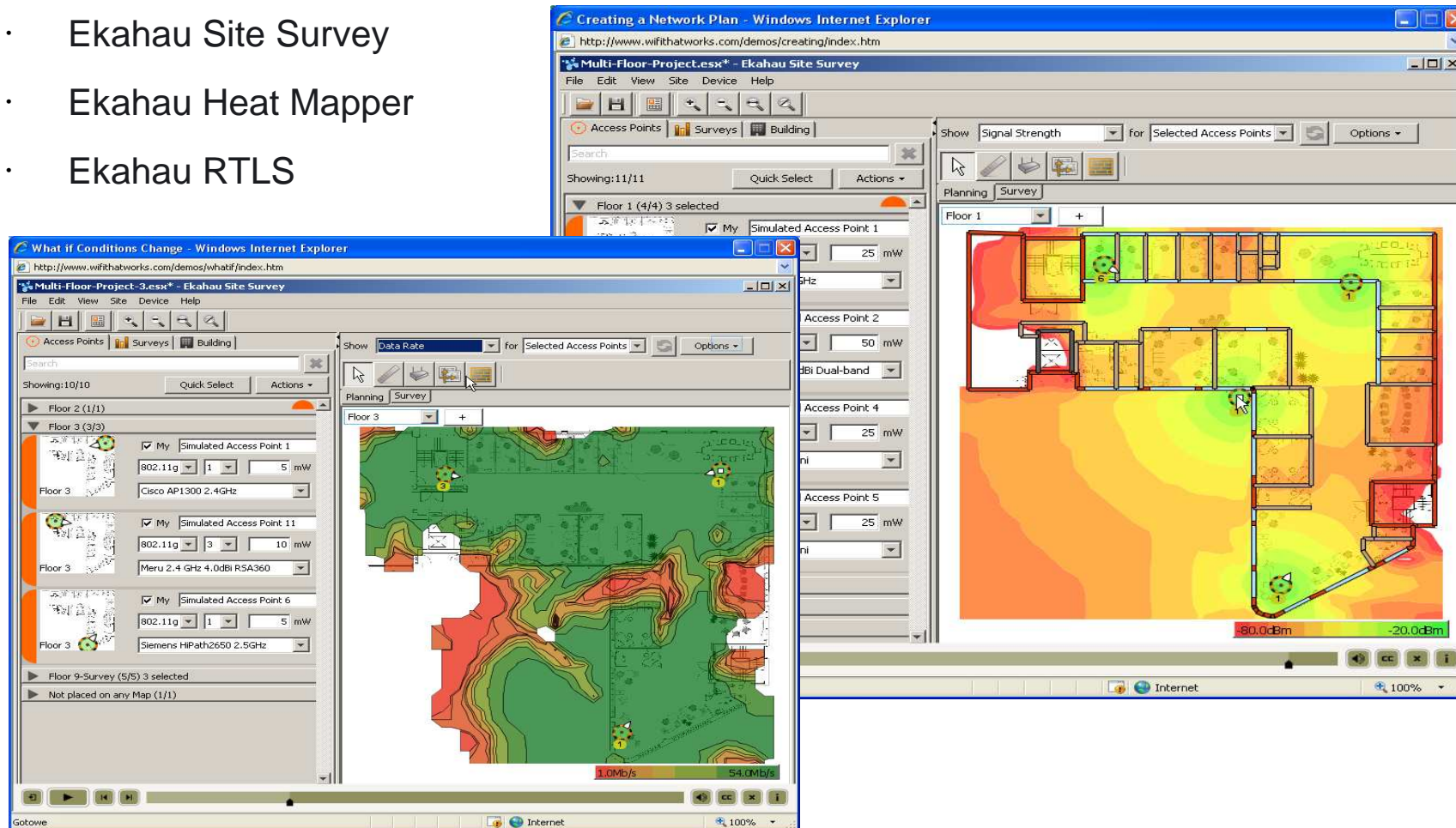
Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

- Remcom Wireless InSite
 - metoda śledzenia promieni (Ray Tracing)
 - UTD



Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

- Ekahau Site Survey
- Ekahau Heat Mapper
- Ekahau RTLS



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



Projektowanie sieci WLAN – programy wspomagające

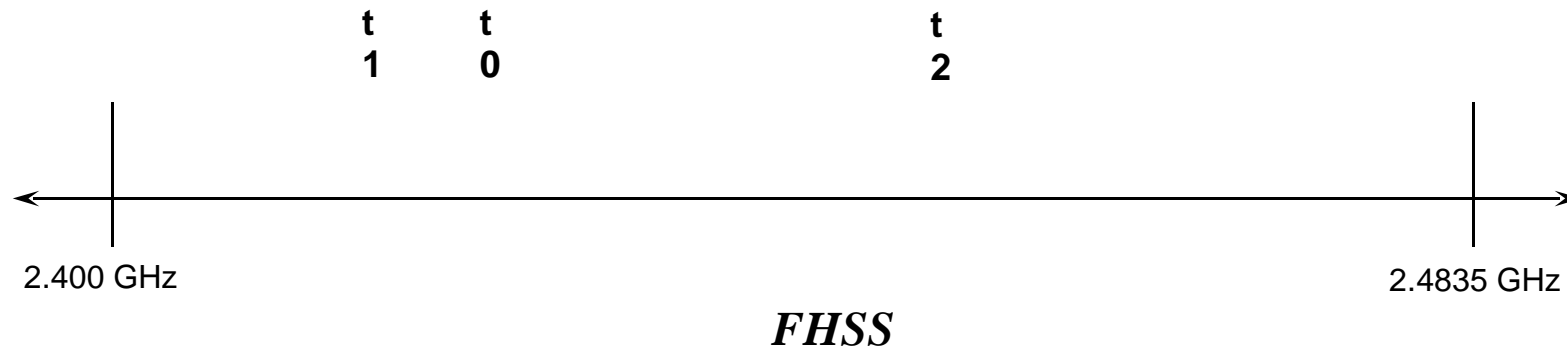
- Ekahau
 - RTLS (Real Time Location System) – usługi lokalizacyjne
 - HeatMapper – analiza funkcjonowania istniejących sieci (zasięgi)
 - SiteSurvey – planowanie oraz zaawansowana analiza funkcjonowania istniejących sieci
 - analiza widma
 - analiza mocy sygnału, SNR, obszarów dominacji, szybkości łączy, zakłóceń
 - optymalizacja rozmieszczenia AP, minimalizacja poziomów zakłóceń





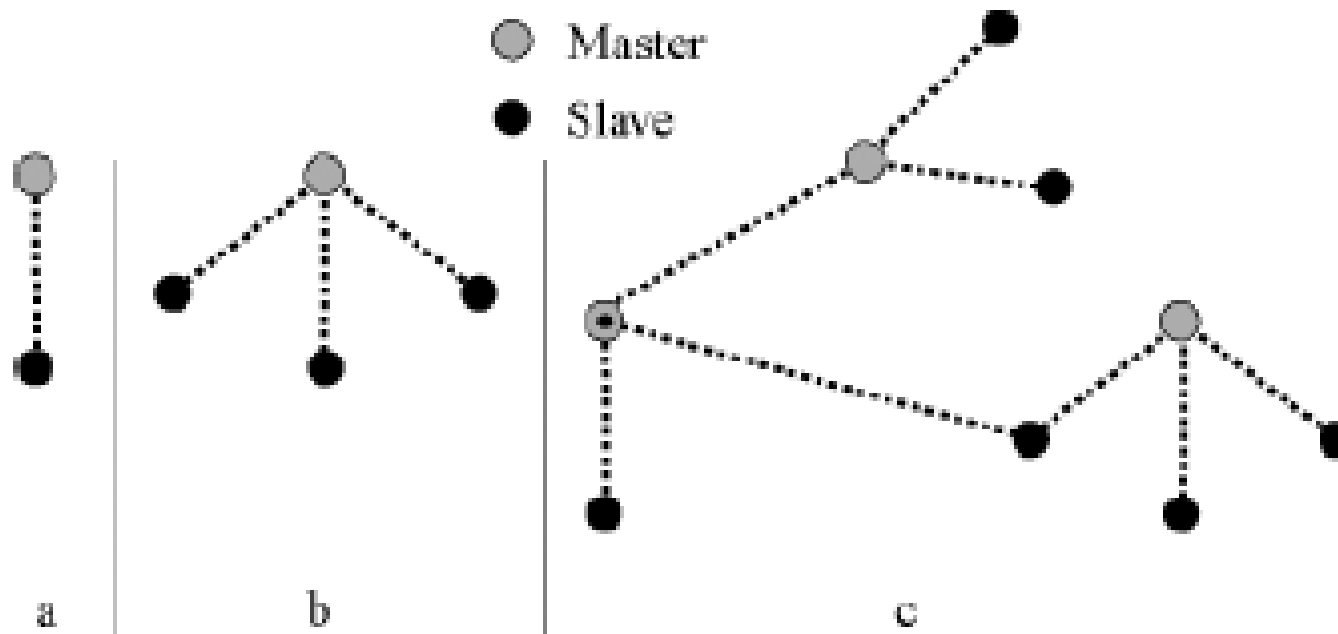
Sieci WPAN – Bluetooth

Regulatory range	RF channels
2.400–2.4835 GHz	$f = 2402 + k \text{ MHz}, k = 0, \dots, 78$

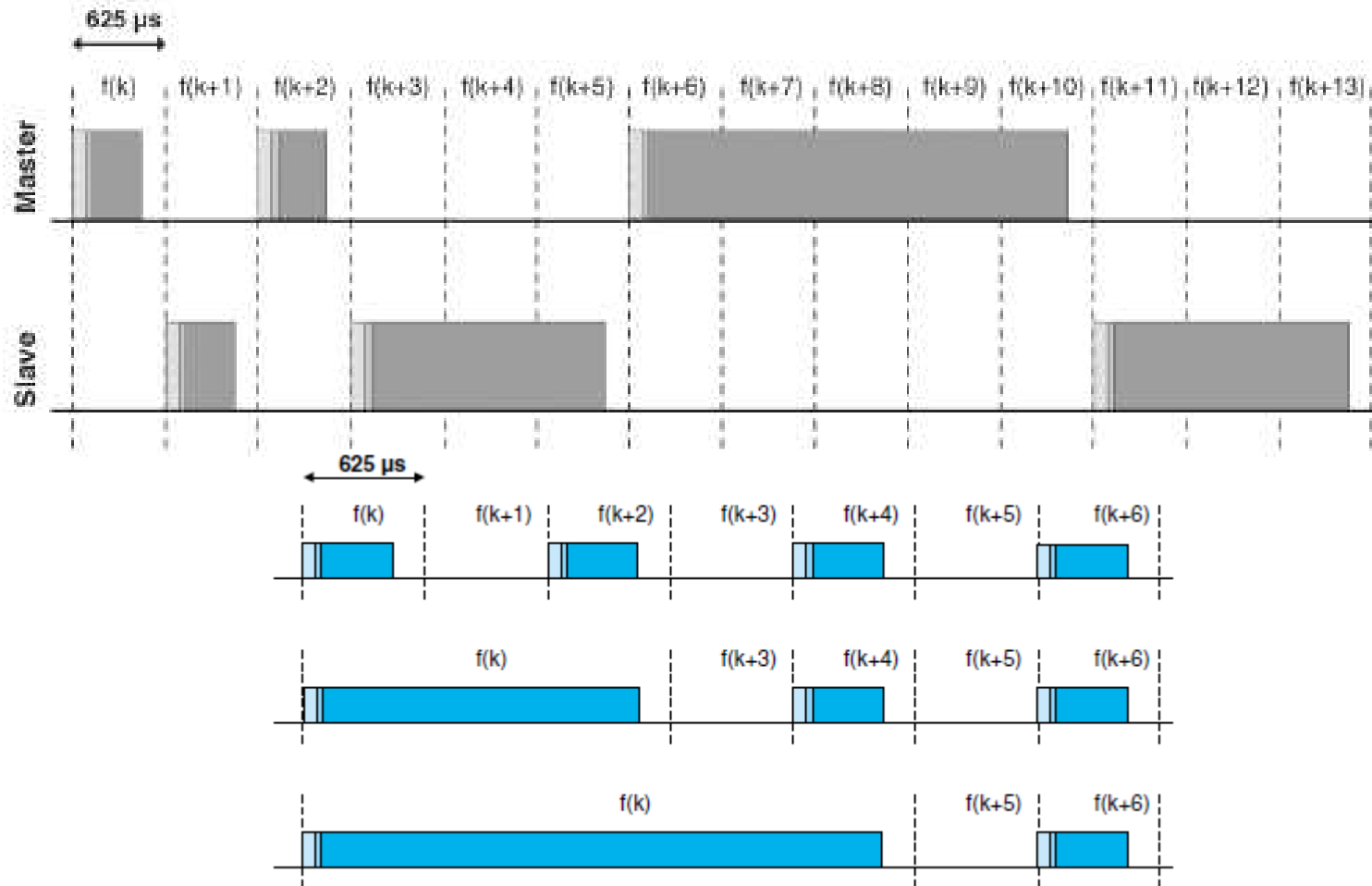


WPAN – Bluetooth

- Pikosieci



WPAN – Bluetooth



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

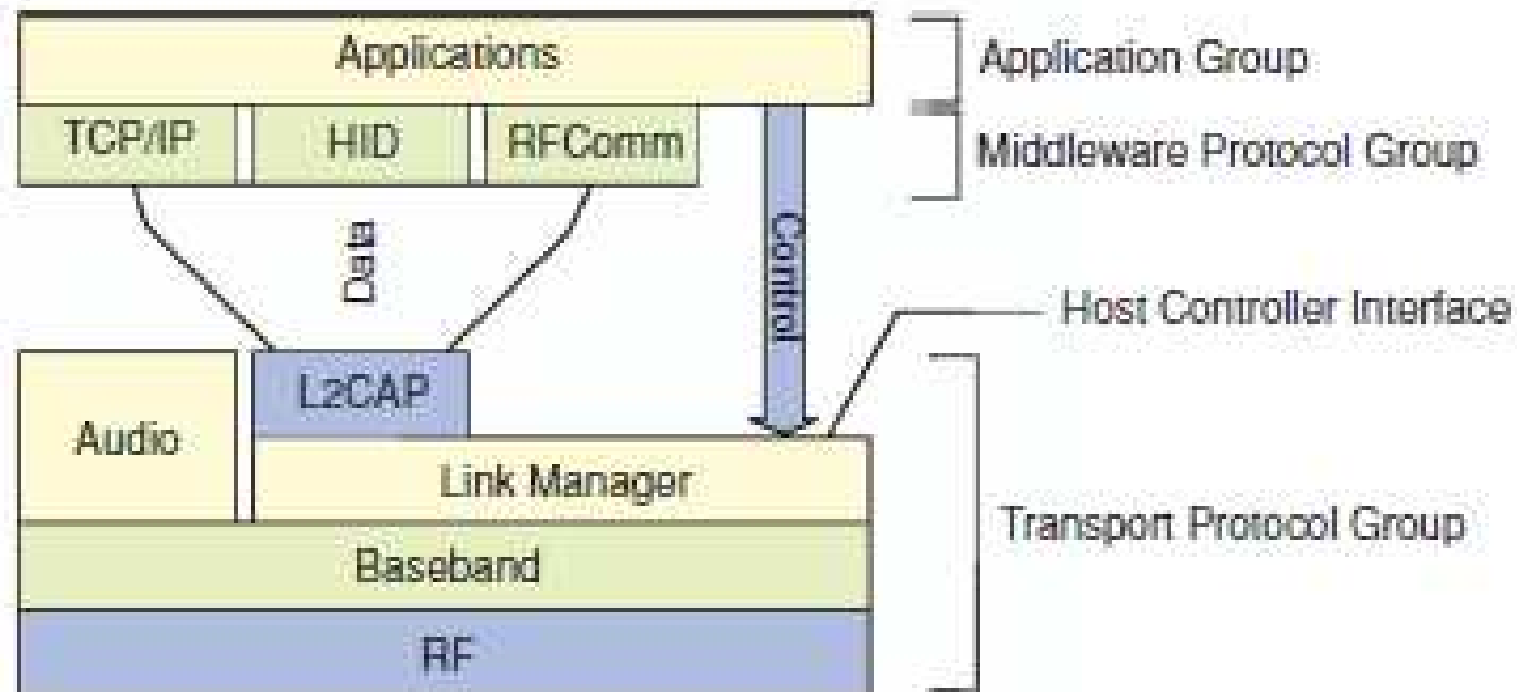


Bluetooth

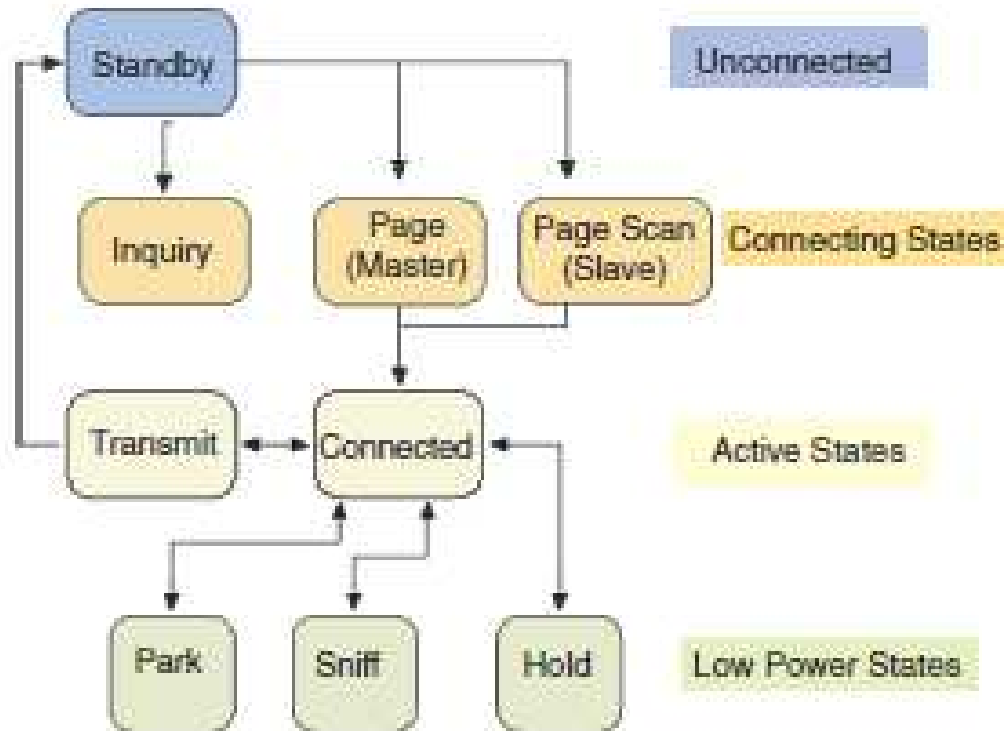
Power class	Maximum output power (P_{\max})	Nominal output power	Minimum output power (P_{\min})	Power control
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	$P_{\min} < +4$ dBm to P_{\max} Optional: P_{\min}^a to P_{\max}
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	Optional: P_{\min}^a to P_{\max}
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	Optional: P_{\min}^a to P_{\max}



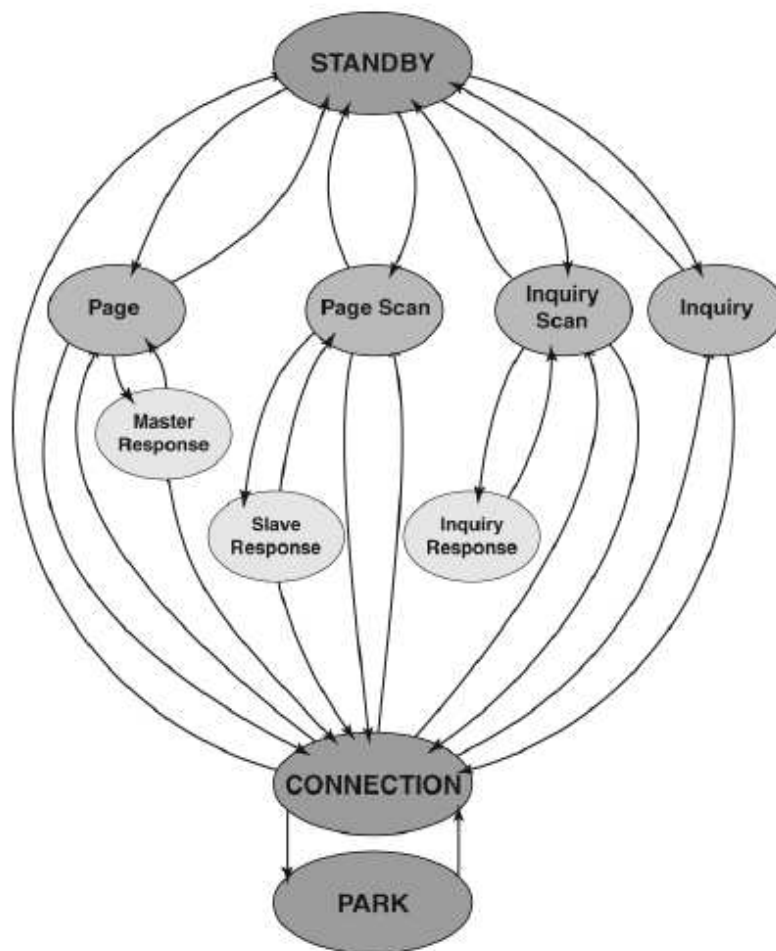
Bluetooth – stos protokołów



Bluetooth – stan pracy urządzeń

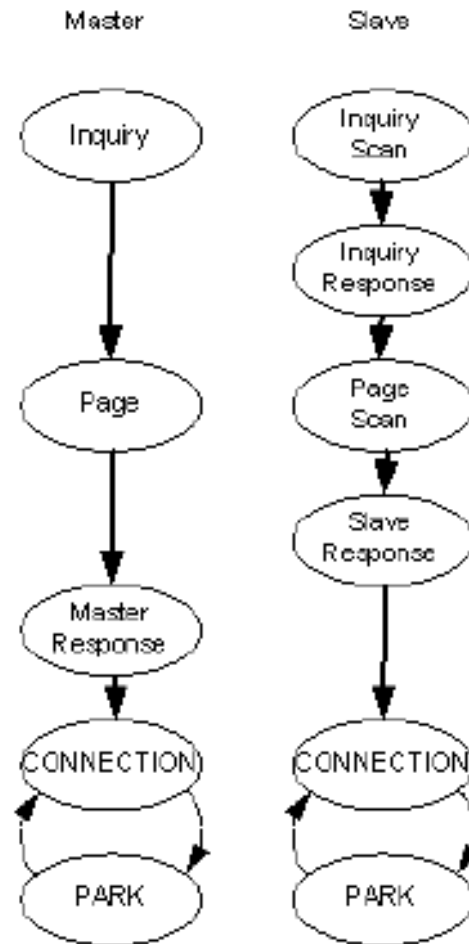


Bluetooth – stan pracy kontrolera łączy



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Bluetooth – realizacja połączenia





Sieci WPAN – ZigBee

- Wykorzystują standard IEEE 802.15.4-2003 (PHY, MAC)
- Mała przepływność (250 kbit/s)
- Długi czas pracy urządzeń (przesyłanie małej ilości krótkich pakietów danych, tryb uśpienia)
- Zintegrowane mechanizmy szyfrowania danych (AES)

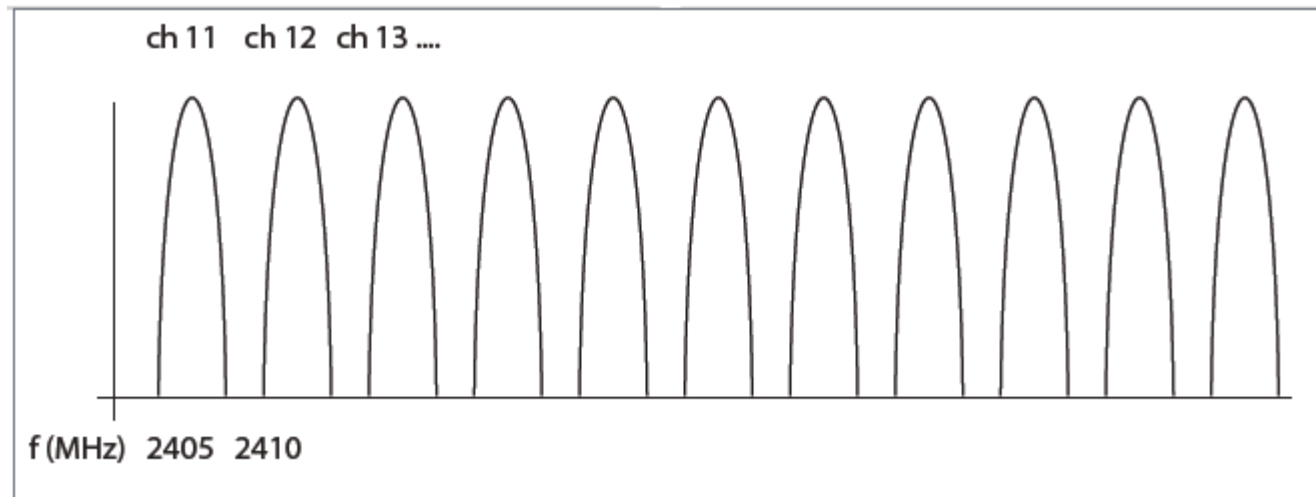
Pasmo RF	Zakres częstotliwości (MHz)	Przepływność (kbps)	Numery / liczba kanałów	Dostępność
868 MHz	868,3	20	0 (1 kanał)	Europa
915 MHz	902-928	40	1-10 (10)	Ameryka, Australia
2400 MHz	2405-2480	250	11-26 (16)	Świat

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne



ZigBee

- Pasmo 2,4 GHz
 - 16 kanałów 5 MHz – nie nakładają się





Sieci WPAN – ZigBee

- Typy i funkcje węzłów sieci
 - Koordynator
 - Router
 - Węzeł końcowy



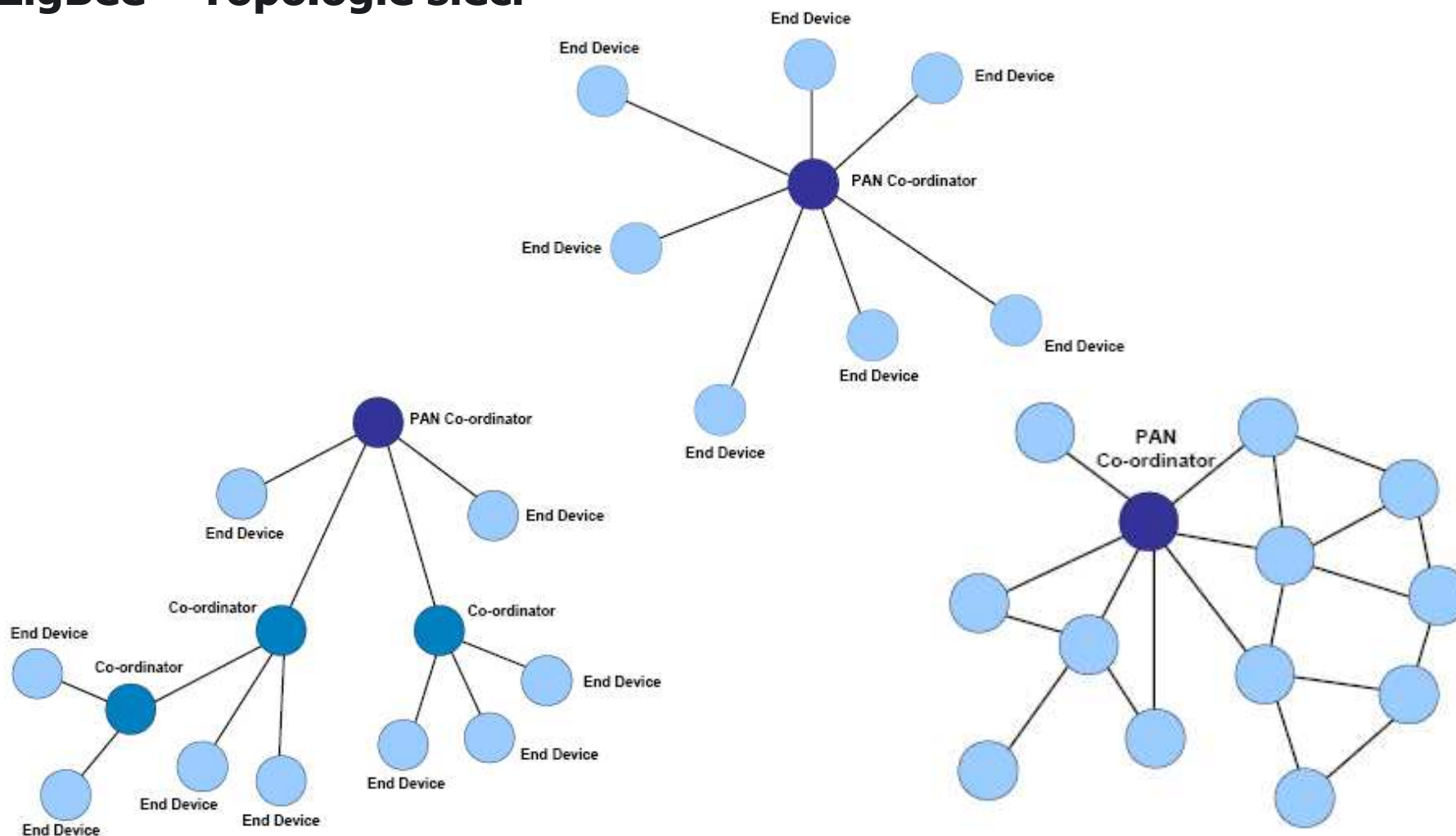


ZigBee – Topologie sieci

- IEEE 802.15.4
 - punkt – punkt
 - gwiazdy
- ZigBee
 - drzewa
 - typu mesh (kraty)
- Sieci złożone z maksymalnie 65535 węzłów

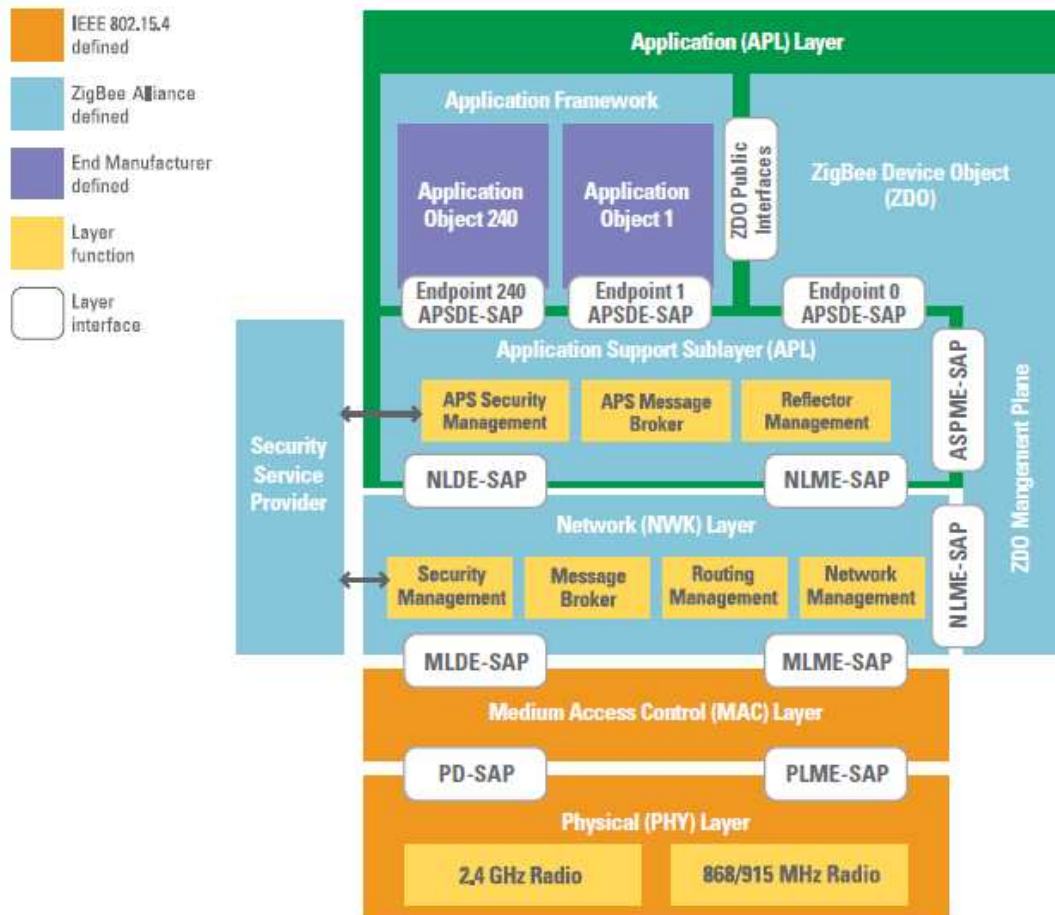


ZigBee – Topologie sieci



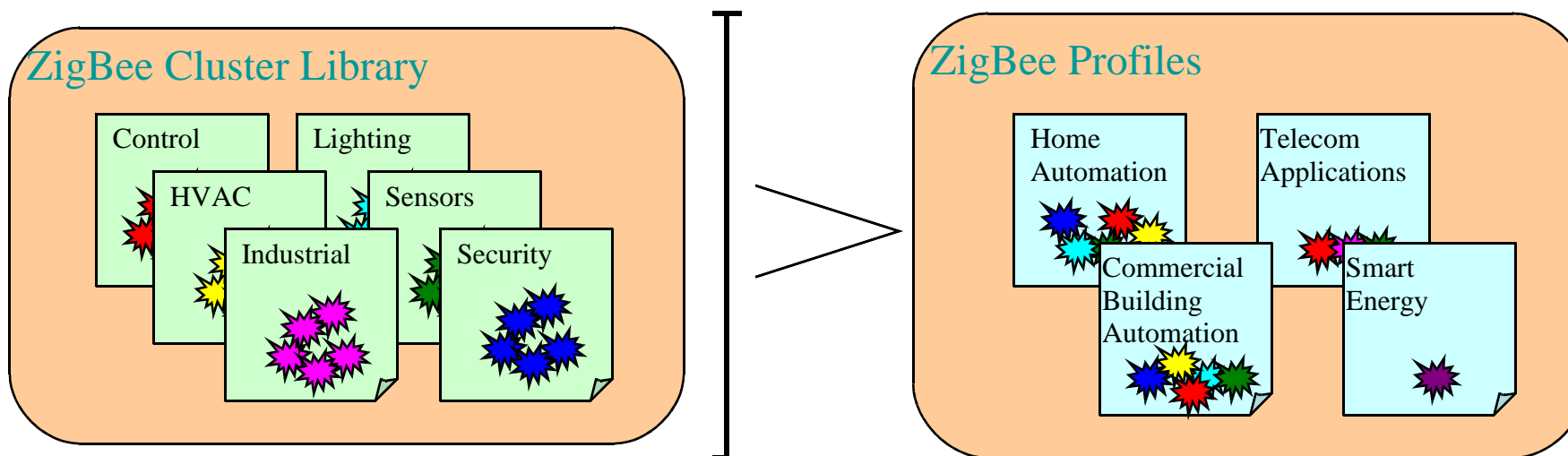
Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Stos ZigBee



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

ZigBee – Profile aplikacji



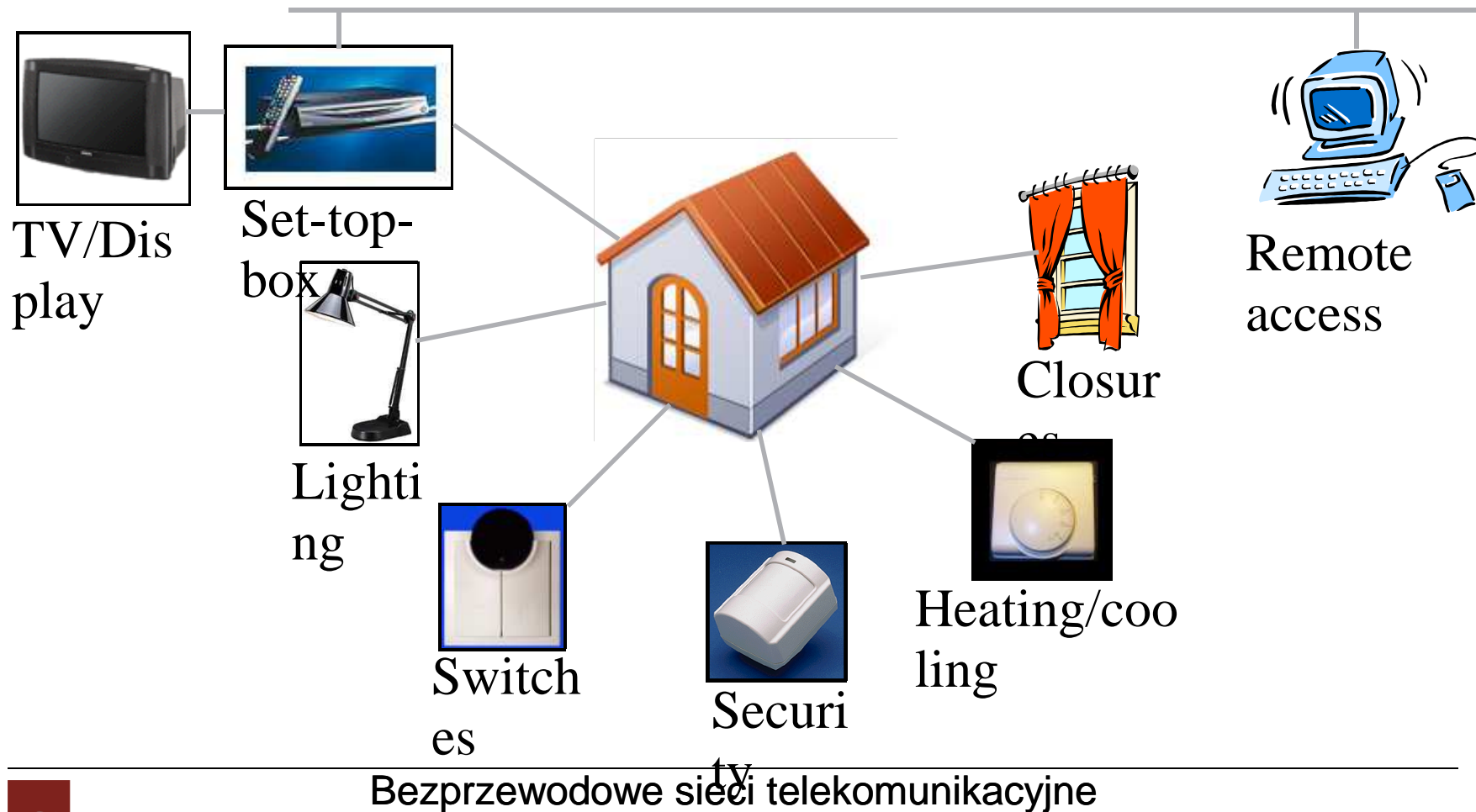


ZigBee – Profile aplikacji

- Publiczne/prywatne
- Advanced Metering Infrastructure (AMI)
- Commercial Building Automation (CBA)
- Home Automation (HA)
- Personal, Home & Hospital Care (PHHC)
- Telecom Applications (TA)
- Wireless Sensor Applications (WSN)



ZigBee – Profile aplikacji (HA)



ZigBee – Profile aplikacji (CBA)

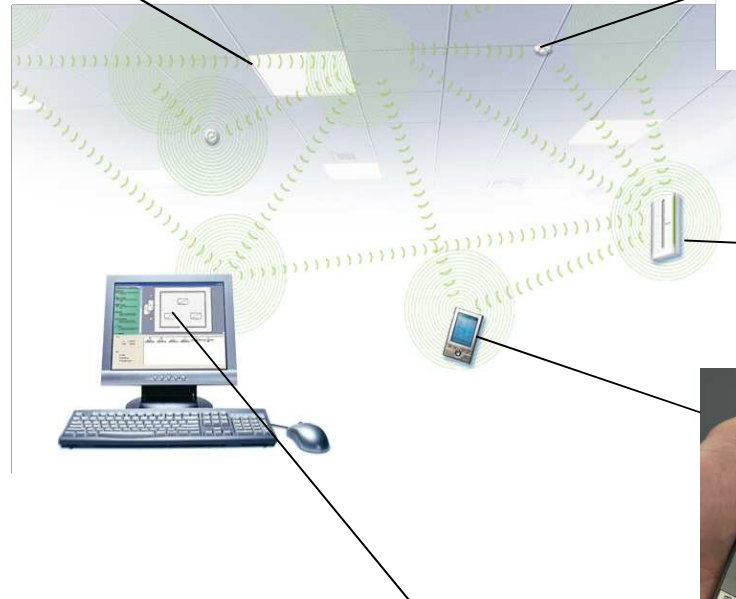
Lighting Ballast



Occupancy Sensor



Wall Switch



System Commissioning

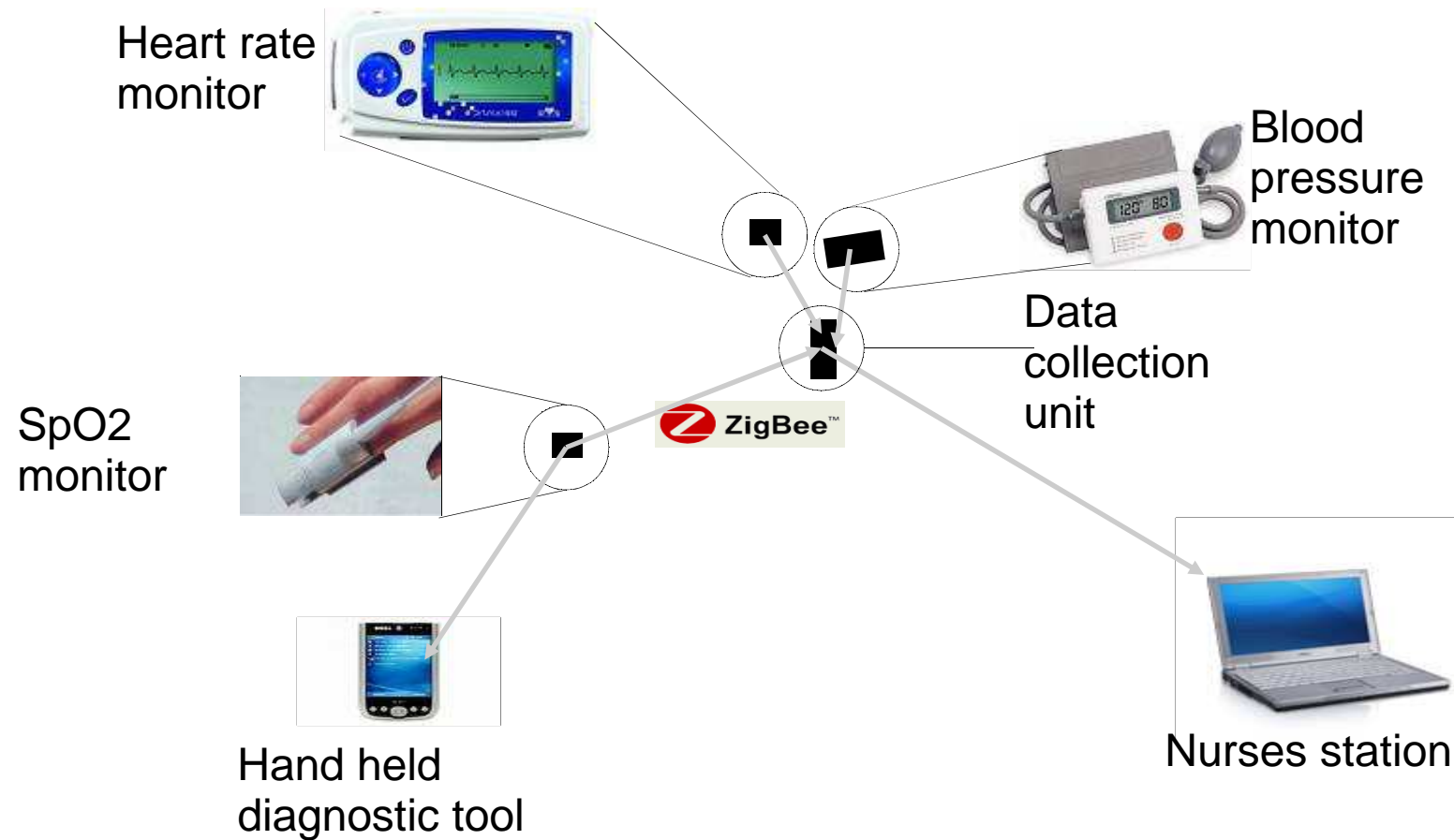


PDA Controller



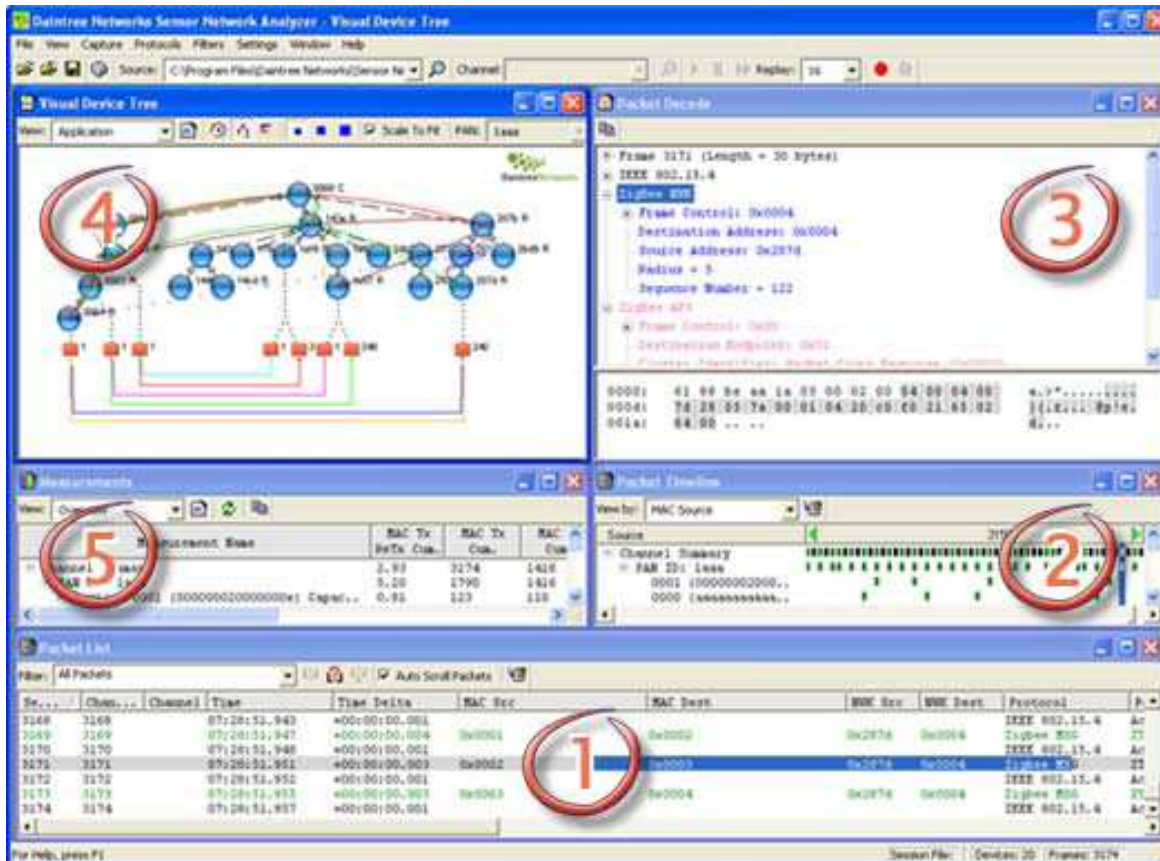
Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

ZigBee – Profile aplikacji (PHHC)



Projektowanie i analiza sieci ZigBee

- Daintree Networks Sensor Network Analyzer



- 1 – lista pakietów
- 2 – pakiety – oś czasu
- 3 – dekodowanie pakietów
- 4 – wizualizacja topologii sieci
- 5 – pomiary parametrów sieci

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCIUNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Piotr Korbel

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Przegląd standardów sieci bezprzewodowych – sieci krótkiego zasięgu

Zadanie nr 14 – Studia podyplomowe „Bezprzewodowe systemy nadzoru i monitorowania”

Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*

Politechnika Łódzka
Instytut ElektronikiPolitechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl